

Т Р У Д Ы
ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ
ВОДОХРАНИЛИЩ

5 (8)

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ВОДОХРАНИЛИЩ

Т Р У Д Ы
ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ
ВОДОХРАНИЛИЩ

2.6.614-17.

В Ы П У С К

5 (8)

1963

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

О т в е т с т в е н н ы й р е д а к т о р

д о к т о р б и о л о г и ч е с к и х н а у к

Б. С. Кузин

Р е д а к т о р и з д а н и я

д о к т о р б и о л о г и ч е с к и х н а у к

Б. К. Штегман

СОДЕРЖАНИЕ ВИТАМИНА В₁₂ В ФИТОПЛАНКТОНЕ РЫБИНСКОГО И УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ

В комплексе биологически активных веществ водоема витамин В₁₂ принадлежит видное место. Не говоря уже о его значении для животных, этот витамин необходим для развития диатомовых, зеленых, жгутиковых и некоторых других водорослей (Droop, 1954, 1955, 1957; Saunders, 1957). Витамин В₁₂ влияет на размножение водорослей и на их химический состав. В опытах Форда и Гоулдена (Ford a. Goulden, 1959) отсутствие В₁₂ тормозило размножение, а также биосинтез белка и жира у *Ochromonas malhamensis*. С увеличением в среде цианкобаламина у этой хризомонады возрастало содержание белка, никотиновой, пантотеновой, нуклеиновой кислот и рибофлавина. По мнению Друпа (цитировано по Cowey, 1956), для нормального развития водорослей и простейших достаточно сотых долей γ-витамина В₁₂ на литр морской воды. Согласно данным Роббинса с соавторами (цитировано по Смирнову, 1959), Друпа и Коуэи, количество В₁₂ в морской воде открытых участков составляет десятитысячные и тысячные доли γ/л, в прибрежье — сотые доли, а в прудах — сотые и десятые.

Источниками витамина в водоеме являются бактерии, актиномицеты и синезеленые водоросли. Выделенные из илов, воды или с поверхности водорослей бактерии и актиномицеты синтезируют сотые, а нередко и десятые доли γ-витамина на мл среды (Петунова, 1958; Ericson a. Lewis, 1953; Darken, 1953). Способность синезеленых водорослей к синтезу витамина В₁₂ доказана на бактериально чистых культурах. По данным Даркена, содержание витамина у *Plectonema Nostocorum* достигает 0.07 γ/г сухого вещества, у *Calothrix parietina* — 0.64 γ/г и у *Diplocystis aeruginosa* — 0.24 γ/г. По нашим данным (Феоктистова, 1961) максимальное количество витамина в культуре *Anabaena spirroides* не превышает 0.633 γ/г сухого вещества, *Aphanizomenon flos aquae* — 0.640 γ/г и *Coleosphaerium dubium* — 0.330 γ/г.

Помимо синезеленых водорослей, витамин В₁₂ найден у бурых — 0.07 γ/г сухого веса, красных — 0.27 γ/г и зеленых — от 0.02 до 0.35 γ/г (Brown, 1956; Ericson a. Lewis, 1953; Fink u. a., 1958). Наличие витамина у этих водорослей большинство авторов объясняют синтезирующей деятельностью окружающей микрофлоры и способностью водорослей аккумулировать В₁₂ из воды. Эстергард (Østergaard, 1956) в жидкости, освобожденной центрифугированием из клеток *Ochromonas* и *Euglena*, нашел вещество, способное связывать В₁₂. Однако до настоящего времени единого мнения о происхождении витамина у этих водорослей нет.

Ввиду того что кобальт является составной частью молекулы В₁₂, накопление последнего синтезирующими организмами связано с концентрацией этого микроэлемента в среде (Букин и др., 1956; Holm-Hansen a. oth., 1954). Холм-Хансен с сотрудниками при работе с чистыми куль-

турами синезеленых наннел, что наибольшее количество витамина давали те из них, которые росли при высоких концентрациях Со. Нами было установлено, что с увеличением содержания Со в среде от 0.01 до 5.00 μ /л в культурах синезеленых количество витамина возрастает от 0.07 до 0.64 μ /г сухого веса (Феоктистова, 1961). Однако С. В. Лступова (1958) отрицает наличие подобной связи для микроорганизмов, находящихся в природных условиях. Она считает, что для витаминнообразования им нужны небольшие количества Со и в природе его вполне достаточно. К сожалению, в литературе отсутствуют данные, характеризующие зависимость между содержанием витамина в фитопланктоне и концентрацией Со в воде пресных водоемов.

В настоящей работе определялось содержание витамина В₁₂ в планктоне и в воде Рыбинского и Угличского водохранилищ за вегетационный период 1960 г. Параллельно учитывалась концентрация Со в воде.

МЕТОДИКА

Пробы воды и планктона отбирались с поверхностного горизонта в июне, июле и октябре на 13 станциях в Рыбинском водохранилище и в августе на 10 станциях в Угличском. На Рыбинском водохранилище места взятия проб были расположены в Центральном лимбе, на Угличском — близ Углича и от Калязина до Кимр. Планктон концентрировался в 100—200 раз планктонной сеткой (раз № 70) и дополнительно в 5—10 раз на мембранных фильтрах.

В июньских, июльских и августовских образцах витамин определялся в смешанном планктоне. В образцах, отобранных в августе на Угличском и в октябре на Рыбинском водохранилищах, диатомовые и синезеленые водоросли разделялись. Для этого их помещали в высокий сосуд и оставляли стоять на некоторое время. После отстаивания синезеленые всплывали, а диатомовые опускались на дно. Витамин определялся отдельно в каждой группе водорослей.

Для определения витамина в воде ее пропускали через предварительный фильтр, затем в присутствии KCN концентрировали в 50—100 раз. Со определялся фотометрически с нитрозо-R-солью (Малюга, 1950); В₁₂ пробирочным методом с тест-объектом E. coli 113—3 (Кудева, 1955).

Учет фитопланктона производился в камере типа Наикота объемом 0.01 см³. Определялось количество и примерный состав зоопланктона. Витамин В₁₂ рассчитан в μ на 1 г биомассы водорослей, вычисленной по их объему.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наблюдения, проведенные с июня по октябрь 1960 г. на Рыбинском водохранилище и в августе на Угличском, показали, что содержание витамина В₁₂ в фитопланктоне зависит прежде всего от его видового состава. В июне, когда в фитопланктоне Рыбинского водохранилища преобладали диатомовые (*Melosira*, *Asterionella*, *Fragilaria*, биомасса около 0.25 мг/л) и зеленые (*Scenedesmus*, *Pediastrum* и др., биомасса 0.106 мг/л), содержание витамина В₁₂ не превышало 0.40 μ /г биомассы (табл. 1). В среднем по станциям в июньском фитопланктоне витамина было 0.312 μ /г. В июле в фитопланктоне преобладали синезеленые, они составляли от 77 до 100% от общей биомассы — 0.210 мг/л и были представлены *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae* и различными видами *Anabaena*. Концентрация витамина в фитопланктоне заметно возросла. На 1 г биомассы его приходилось не менее 0.35 μ (табл. 1), а в среднем по станциям с преобладанием синезеленых 1.10 μ /г. Августовский фитопланктон Рыбинского водохранилища состоял из смеси синезеленых, зеленых и диатомовых, при средней биомассе 2.234 мг/л. На станциях 1, 9, 11 и 12, где преобладали синезеленые (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, виды *Anabaena*), содержание витамина колебалось от 0.13 до 0.70 μ /г биомассы. На станции 10 пробы состояли в основном

Таблица 2

Содержание витамина B₁₂ в основных группах фитопланктона Угличского водохранилища, август 1960 г.

Станция	Фракция	% от общей биомассы		B ₁₂ γ/г биомассы	Станция	Фракция	% от общей биомассы		Зоопланктон, тыс./л	B ₁₂ γ/г биомассы
		синезеленых	диатомовых				синезеленых	диатомовых		
1	I	1.0	99.0	0.47	6	I	1.0	99.0	—	3.3
	II	75.6	24.4	2.80		II	97.0	3.0	—	1.22
2	I	1.0	99.0	0.21	7	I	17.0	83.0	3.0	2.6
	II	100.0	—	4.30		II	100.0	—	—	1.00
3	I	—	100.0	0.69	8	I	45.0	55.0	2.0	7.9
	II	100.0	—	5.80		II	100.0	—	—	1.36
4	I	1.0	99.0	0.84	9	I	—	—	4.0	12.0
	II	100.0	—	1.50		II	—	—	—	—
5	I	4.8	98.2	0.93	10	I	23.0	77.0	4.0	15.5
	II	100.0	—	2.54		II	100.0	—	—	0.37

Примечание. В этой и следующей таблице: фракция I — преобладают диатомовые; фракция II — преобладают синезеленые.

Таблица 3

Содержание витамина B₁₂ в основных группах фитопланктона Рыбинского водохранилища, октябрь 1960 г.

Станция	Фракция	% от общей биомассы			B ₁₂ γ/г биомассы	Станция	Фракция	% от общей биомассы			B ₁₂ γ/г биомассы
		синезеленых	диатомовых	зеленых				синезеленых	диатомовых	зеленых	
1	I	0.80	33.60	65.60	0.20	7	I	34.14	53.66	12.20	20.00
	II	10.30	73.20	16.50	0.92		II	58.24	24.45	12.61	3.78
3	I	—	—	—	—	8	I	33.00	67.00	—	26.00
	II	67.09	31.63	1.28	8.00		II	98.06	1.07	0.87	8.40
4	I	23.50	4.80	71.7	3.60	9	I	17.10	73.30	9.60	4.40
	II	99.14	—	0.86	2.74		II	78.00	20.48	1.50	17.00
5	I	66.60	24.60	8.80	13.00	10	I	—	100.00	—	0.69
	II	98.38	—	1.62	5.72		II	—	—	—	—
6	I	34.70	22.00	43.30	0.87	13	I	—	—	—	—
	II	100.00	—	—	5.00		II	91.18	8.57	0.25	5.50

тябрь практически не изменился. В течение всего сезона в нем преобладали виды рода *Melosira*.

Однако содержание витамина B₁₂ на 1 г биомассы к концу вегетационного периода заметно возросло. В июне в среднем по станциям его было около 0.2 γ, в августе — 1.07 γ (Угличское водохранилище) и в октябре — 9.9 γ. Определение содержания витамина в воде Рыбинского водохранилища показало, что количество его с июля по октябрь падает в 3 раза (табл. 4). Вероятно, часть витамина поглощается водорослями. На явление аккумуляции B₁₂ диатомовыми указывал еще Коуэй (Cowe, 1956). По нашим данным, к концу вегетации этот процесс усиливается.

Количество B₁₂ в синезеленых к октябрю также увеличивается. Споры *Aphanizomenon* и *Anabaena* богаче витамином, чем их клетки, и содержат его от 3 до 8 γ/г биомассы. В отличие от диатомовых отдель-

ные виды синезеленых различаются по количеству содержащегося в них витамина. В июльском и августовском фитопланктоне Рыбинского водохранилища *Microcystis aeruginosa* содержала от 1.2 до 2.3 γ В₁₂ на 1 г биомассы, виды *Anabaena* — 0.7 γ /г, *Gleocapsa minuta* — 0.14 γ /г, *Microcystis aeruginosa* Угличского водохранилища — 2.3 γ /г.

Результаты наших наблюдений дают лишь относительное представление о содержании витамина в фитопланктоне. Они несравнимы с данными по монокультурам, так как в пробах наряду с фитопланктоном неизбежно присутствуют животные и бактерии, хотя и в незначительном количестве. Их биомасса не принимается во внимание при расчете содержания витамина, которое поэтому оказывается несколько завышенным.

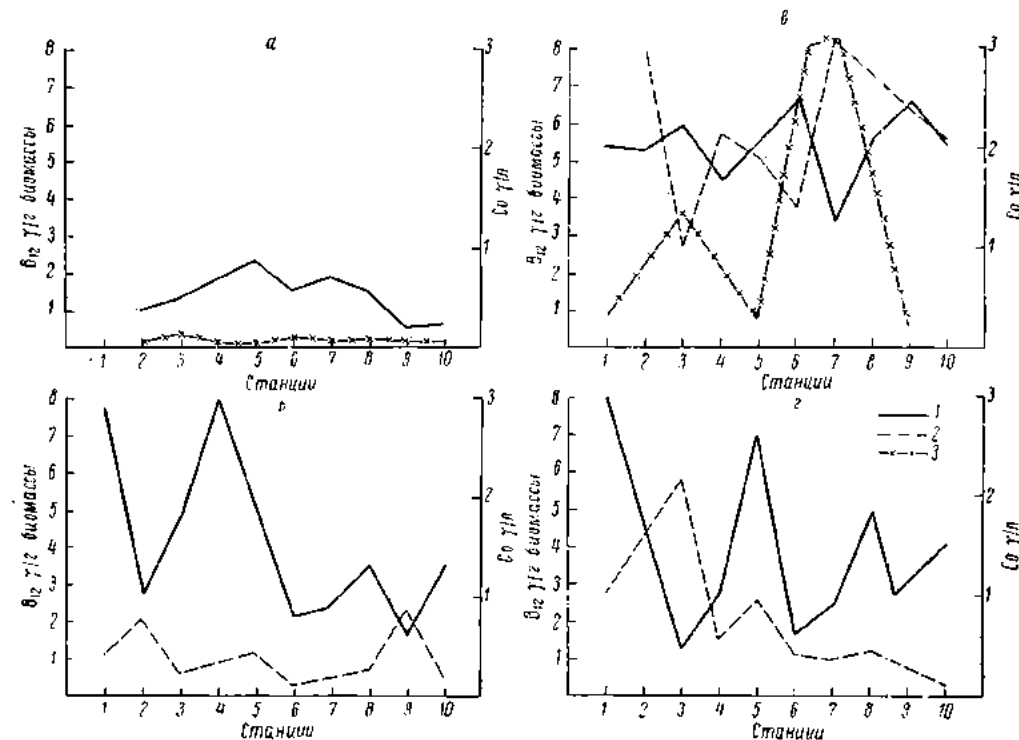
Наблюдения над содержанием Со в воде Рыбинского и Угличского водохранилищ позволяют заключить, что синезеленые не испытывают недостатка в этом микроэлементе для синтеза витамина В₁₂. Уменьшение концентрации Со в воде не снижает количества синтезированного витамина, а в ряде случаев наблюдается его увеличение (см. рисунок). Так, кривые, характеризующие концентрацию Со в воде Рыбинского водохранилища в июле и Угличского в августе, частично являются зеркальным отображением кривых содержания витамина в водорослях. Судя по количеству В₁₂, синтезированного синезелеными, ими используются лишь тысячные, реже сотые доли процента содержащегося в воде Со.

Сходные с нашими данные получили В. В. Ковальский и С. В. Летунова (1961), работавшие также с планктоном Рыбинского водохранилища. Ими установлено, что синезеленые поглощают 0.5% и расходуют на синтез В₁₂ 0.008—0.05% имеющегося в воде Со.

Таблица 4

Концентрация витамина В₁₂ в воде Рыбинского и Угличского водохранилищ (в γ /л)

	Станции													Среднее по станциям
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Рыбинское водохранилище														
26 июля	0.0102	0.0039	0.00078	0.0017	0.0014	0.0126	0.0019	0.0028	0.0022	0.00668	—	—	—	0.00439
8—10 августа	0.0068	—	0.00288	—	—	—	—	—	0.0158	0.0035	0.021	0.0080	—	0.00149
7—8 октября	0.0063	—	0.0095	0.032	0.0047	0.0337	0.0133	0.0124	0.0067	0.0065	—	—	0.0070	0.00133
Угличское водохранилище														
24—28 августа	0.0045	0.0100	0.0070	0.0021	0.0220	0.0145	0.0490	0.0750	0.0060	0.0044	—	—	—	0.0195



Содержание витамина B_{12} в фитопланктоне и концентрация Co в воде.

а — Рыбинское водохранилище, июнь; б — Рыбинское водохранилище, июль; в — Рыбинское водохранилище, октябрь; г — Угличское водохранилище, август. 1 — концентрация Co в воде; 2 — содержание витамина B_{12} в синезеленых водорослях; 3 — содержание витамина B_{12} в диатомовых водорослях.

ЛИТЕРАТУРА

- Букиц В. Н., Л. Я. Арешкина и Л. С. Куцева. 1956. Химия и биохимия витамина B_{12} . Сб. «Витамин B_{12} и его клиническое применение». Медгиз, М.
- Ковальский В. В. и С. В. Летунова. 1961. Роль фито- и зоопланктона водоемов в миграции кобальта. Зоол. журн., т. 40, вып. 6.
- Куцева Л. С. 1955. Микробиологический метод определения витамина B_{12} . Сб. «Витаминные ресурсы и их использование», № 3. Изд. АН СССР, М.
- Летунова С. В. 1958. Образование витамина B_{12} разными видами актиномицетов и бактерий, выделенных из илов кобальтовых биогеохимических провинций. Микробиология, т. 27, № 4.
- Малюга Д. П. 1950. Определение малых количеств кобальта и меди в почвах, растительных и животных организмах. Сб. «Методы определения микроэлементов». Изд. АН СССР, М.
- Смирнов Н. Н. 1959. Растворенные витамины и их значение для водных организмов. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 4.
- Феоктистова О. И. 1961. Влияние кобальта на численность синезеленых водорослей и синтезирование ими витамина B_{12} . Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 10.
- Brown F. a. W. F. J. Guthbertson. 1956. Vitamin B_{12} of *Chlorella vulgaris* and *Anabaena cylindrica*. Nature, № 4500.
- Cowey C. B. 1956. A preliminary investigation of the variation of vitamin B_{12} in oceanic and coastal waters. J. Mar. biol. Assoc. U. K., v. 35, № 3.
- Darken A. 1953. Production of vitamin B_{12} by microorganisms and its occurrence in plant tissues. Botan. rev., v. 19, № 2.
- Droop M. R. 1954. Cobalamin requirement in Chrysophyceae. Nature, № 3946.
- Droop M. R. 1955. A pelagic marine Diatom requiring cobalamin. J. Mar. biol. Assoc. U. K., v. 34, № 2.
- Droop M. R. 1957. Vitamin B_{12} in marine ecology. Nature, № 4594.
- Ericson L. S. a. L. Lewis. 1953. On the occurrence of vitamin B_{12} factors in marine algae. Arkiv. Kemi, Bd. 6, H. 40.

- F i n k H., E. H e r o l d u. H. L u n d i n. 1958. Über Vitamin B₁₂-Gehalt und Vitamin E-Gehalt der einzelligen Grünalge *Scenedesmus obliquus*. Zeitschr. Naturforsch., Bd. 136, H. 9.
- F o r d J. E. a. J. D. E. G o u l d e n. 1959. The influence of vitamin B₁₂ on growth rate and cell composition of the Flagellate *Ochromonas malhamensis*. J. gen. Microbiol., v. 20, № 2.
- H o l m - H a n s e n O., G. C. G e r l o f f a. F. S k o o g. 1954. Cobalt as a essential element for blue-green algae. Physiol. plant., v. 7.
- Ø s t e r g a a r d K. H. P. 1956. A vitamin-building factor formed in cultures of *Euglena gracilis* var. *bacillaris*. Acta physiol. Scand., v. 31, № 1.
- R o b b i n s W. J., A. H e r v e y a. M. E. S t e b b i n s. 1951. Further observation on *Euglena* and vitamin B₁₂. Bull. Torrey botan. Club., v. 77, № 6.
- S a u n d e r s G. W. 1957. Interrelations of dissolved organic matter and phytoplankton. Botan. rev., v. 23, № 6.
-

О ТОКСИЧНОСТИ СИНЕЗЕЛЕННЫХ ВОДОРосЛЕЙ

Вопрос о токсичности синезеленых водорослей имеет особую актуальность в связи с их массовым развитием в пресных водоемах и солоноватых морях. Указания на токсичность этих водорослей для домашних животных, потребляющих воду из водоема в период его «цветения», имеются для Южной Африки, США, Израиля, Финляндии, Австралии, Канады, Аргентины (Deem a. Thorp, 1939; Stephens, 1948; Schilo a. Ashner, 1953; Винберг, 1954; M. Schwimmer a. D. Schwimmer, 1955; Гасевская, 1955). Для СССР достоверно известно только отравление уток, гусей, собак и кошек в озерах Белоруссии (Винберг, 1954). Опыты по выявлению действия синезеленых на рыб ставились Димом и Торном, Прескоттом (Prescott, 1949). В опытах Прескотта в отмирающей массе *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. 14 видов рыб погибали за 2—6 час. В опытах Дима и Торпа гибель явилась результатом введения в тело рыб синезеленых водорослей и вытяжки из них.

По мнению М. С. Куп (1960), цветение синезелеными Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ представляет большую опасность для людей и животных. М. С. Куп предполагает, что массовое развитие синезеленых является причиной гибели сазана в дельте Волги. К сожалению, автор не приводит экспериментальных данных, подтверждающих это предположение.

Токсические вещества, носителями которых, как предполагают упомянутые авторы, являются синезеленые водоросли, до сих пор идентифицированы лишь для *Microcystis aeruginosa* (Bishop a. oth., 1959; Gorham a. oth., 1959; Gorham, 1960). В связи с этим вопрос, могут ли эти водоросли быть действительно первопричиной гибели рыб, остается пока открытым, тем более что существует ряд доказательств положительного действия некоторых синезеленых на животных. В опытах Л. П. Брагинского (1955) синезеленая водоросль *Gleotrichia patens* стимулировала размножение дафний и циклопов. Наблюдаются случаи поедания животными синезеленых. Сферопосток может составлять значительную долю рациона *Gammarus lacustris* (Стройкина, 1960). Синезеленые составляют до 40% веса пищи сеголеток плотвы в Рыбинском водохранилище (Ключарева, 1960). В. Г. Стройкина (1960), производившая стационарные наблюдения над фитопланктоном Куйбышевского водохранилища, отмечает, что «синезелеными водорослями питаются мальки плотвы, уклей и других рыб. Кишечники их летом постоянно набиты кашицей синезеленых, причем мальки не чувствуют себя угнетенными» (стр. 63). Аналогичное явление наблюдала А. Д. Приймаченко (1956) в дельте Днепра.

Возможно, что описанные случаи гибели животных являются результатом распада органического вещества синезеленых в местах массового их скопления. Те же последствия наблюдались при распаде динофлагеллят (Gates a. Wilson, 1960). Прескотт высказывает предположение, что при распаде водорослей образуется гидроксилламин, который и приводит к гибели животных. Не исключено также сочетание отравления и замора.

В настоящей работе приводятся результаты опытов по влиянию водорастворимых веществ клеток синезеленых водорослей на планктонных беспозвоночных и молодь рыб. Полученные данные требуют проверки и детализации на других объектах и в различных условиях. Они не дают пока возможности решить окончательно вопрос о токсичности синезеленых, а намечают пути для дальнейших поисков при решении поставленной задачи. Учитывая большой интерес, проявленный в данный момент к затронутому вопросу санитарными, рыбохозяйственными и проектными организациями, мы считаем возможным поделиться результатами проведенной работы и нашими соображениями по вопросу токсикоза, связанного с массовым развитием синезеленых.

МЕТОДИКА

Изучалось действие на беспозвоночных и молодь рыб альгологически чистых культур синезеленых (*Microcystis aeruginosa*, *Coelosphaerium dubium*, *Aphanizomenon flos-aquae*), зеленых водорослей (*Scenedesmus quadricauda*) и фитопланктона Рыбинского водохранилища в период массового развития синезеленых водорослей. Испытывались извесь водорослей, культуральная жидкость, вода из мест массового скопления синезеленых в водоеме и водные вытяжки из клеток водорослей.

Монокультуры водорослей выращивались 2—3 недели на минеральной среде Чу № 10 в диализате дневого света. Перед опытом среда в культурах несколько раз менялась. Фитопланктон отбирался в местах массового развития синезеленых водорослей в Волжском плесе Рыбинского водохранилища в июле—августе 1959 и 1960 гг. Сбор производился планктонной сеткой (раз № 70) из поверхностного слоя воды. Культуральная жидкость перед опытом несколько раз пропускалась через предварительный фильтр, а вода из мест скопления синезеленых фильтровалась через нату.

Вытяжку из монокультур водорослей и фитопланктона получали следующим образом. Густая извесь водорослей около 2 час. выдерживалась в термостате при 50—60° и затем фильтровалась через складчатый фильтр. Фильтрат имел густо-синий цвет в результате обильной экстракции фикоциана, концентрация которого и давала относительное представление о количестве извлеченных водоем веществ. Учет фикоциана производился на колориметре ФЭНП. Для построения калибровочной кривой подобное количество определялось на спектрофотометре СФ-4. Удельный коэффициент принимался равным 7.9 в расчете на весь хромопротеидный комплекс (Svedberg a. Kalishai, 1929).

По данным Е. И. Казакова и М. В. Проппа (1941), в водную вытяжку переходит до 52% содержимого клеток синезеленых. Следовательно, полученная вытяжка, кроме фикоциана, содержала минеральные вещества, сахара, органические кислоты, азотистые соединения и белки. На долю последних, по данным тех же авторов, приходится 34—47% от общего количества извлеченного органического вещества.

Опыты обычно продолжались двое суток, со *Scenedesmus quadricauda* — трое. Для опытов с беспозвоночными брались 10 особей каждого вида, рассаживаемых поодиночке в пробирку. Молодь рыб помещалась в три кристаллизатора, в каждом из которых было по несколько особей. Глубина жидкости в кристаллизаторах не превышала 1.5 см. Контролем служили животные, помещенные в том же количестве в сосуды с питательной средой Чу № 10 (общая концентрация солей 0.13 г/л), на которой выращивались культуры водорослей. Предварительное испытание показало, что планктонные беспозвоночные живут в ней так же хорошо, как и в фильтрованной воде, взятой из водохранилища.

Беспозвоночные собирались в прибрежной зоне Рыбинского водохранилища в районе Борка, молодь рыб вылавливалась в Волжском плесе. Длина рыб измерялась от кончика рыла до конца наиболее длинных лучей хвостового плавника. В таблицах указан процент погибших особей и срок гибели в часах.

Водоросли подготавливались О. И. Феоктистовой, животные для опытов — П. И. Смирновым. Видовая принадлежность молоди рыб определена М. К. Ильиной.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для испытания действия культуральной жидкости на зоопланктон и молодь рыб брались 2—3-недельные альгологически чистые культуры синезеленых *Microcystis aeruginosa*, *Coelosphaerium dubium*, *Aphanizomenon flos-aquae*. Предполагалось, что культуральная жидкость содержит продукты прижизненного выделения водорослей, действие ко-

Таблица 1

Смертность животных в культуральной жидкости энцефаленных водорослей

Вид животного и размер, мм	Microcystis aeruginosa				Coelosphaerium dubium				Arbacia menon flos-aquae				Контроль	
	возраст культуры, дней	10 ⁶ экз./л	время, ти- белит, час.	% смер- тности	возраст культуры, дней	10 ⁶ экз./л	время, ти- белит, час.	% смер- тности	возраст культуры, дней	10 ⁶ экз./л	время, ти- белит, час.	% смер- тности	время, ти- белит, час.	% смер- тности
Daphnia pulex (De Geer), 1.8	3	0.70	Все живы		2	0.70	Все живы		—	—	—	—	5	10
Acanthocyclops vernalis (Jur.), 1.5	3	0.70	Все живы		2	0.70	Все живы		—	—	—	—	Все живы	
Cyclopoida, 0.5	3	0.70	Все живы		2	0.70	Все живы		—	—	—	—	Все живы	
Науплии, 0.2	3	0.70	Все живы		2	0.70	Все живы		—	—	—	—	Все живы	
Личинки Chaoborus flavicans (Meig.), 1.3	3	0.70	Все живы		2	0.70	Все живы		—	—	—	—	Все живы	
Daphnia longispina (O. F. M.), 1.3	2	0.42	Все живы		2	1.04	Все живы		—	—	—	—	Все живы	
Bosmina longirostris (O. F. M.), 0.5	2	0.42	27	50	2	1.04	27	20	—	—	—	—	21	10
Brachionus calyciflorus (Pallas), 0.2	2	0.60	Все живы		2	0.54	Все живы		2	2.0	Все живы		Все живы	
Eudiaptomus coeruleus (Fischer), 1.31	2	0.60	48	20	2	0.54	48	80	2	2.0	46	30	40	60
Плотва, 24	2	0.35	5	7	2	1.46	42	90	—	—	—	—	Все живы	
					2	0.43	22	7	—	—	—	—	Все живы	

1 Время с начала воздействия до гибели животного.

торых и испытывалось. Большинство подопытных беспозвоночных и молодь плотвы малочувствительны к культуральной жидкости (табл. 1). Большой процент смертности наблюдался лишь у *Eudiaptomus coeruleus* в культуральной жидкости *Coelosphaerium*. В опытах с *Microcystis* и *Aphanizomenon* смертность *Eudiaptomus* была незначительной.

Параллельно опытам с культуральной жидкостью выяснялось действие на беспозвоночных и молодь рыб фильтрованной воды, взятой в местах массового развития синезеленых в водоеме (табл. 2).

Как видно из табл. 3, все испытанные животные очень чувствительны к полученным фильтратам. Молодь густеры и плотвы в фильтратах

Таблица 2

Видовой состав и численность синезеленых водорослей в воде, взятой из водохранилища (10^3 кл./л)

Вид	Номер пробы и дата сбора					
	I 27 VII	II 28 VII	III 18 VII	IV 29 VII	V 10 VIII	VI 3 VIII
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs.	1	133	0.144	0.266	36.860	258.4
<i>Anabaena spiroides</i> (Kleb.)	0.004	228	0.036	0.342	0.014	0.1
<i>Anabaena Scheremetievi</i> (Elenk.)	—	—	0.170	—	—	—
<i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb.) Bréb.	—	3.42	0.016	—	—	0.002
<i>Coelosphaerium dubium</i> (Grun.)	0.174	0.02	0.040	0.080	0.100	—
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz. emend. Elenk.)	—	—	—	—	0.030	0.256
<i>Melosira</i> sp.	—	—	—	—	0.092	—
Всего	1.178	364.440	0.436	0.688	37.096	258.758

Таблица 3

Смертность животных в фильтрованной воде водохранилища, взятой в местах массового скопления синезеленых водорослей

Вид животного	Номер пробы	Предварительная обработка фильтрата	Фильтрат		Контроль	
			время ги-бели, час.	% смер-ности	время ги-бели, час.	% смер-ности
<i>Daphnia longispina</i> (O. F. M.), 1.0—1.5	I	—	14.0	100	Все живы	
<i>Bythotrephes longimanus</i> (Leidig)	VI	—	26.0	30	26 10	
Густера, 20—26	I	—	0.3	100	Все живы	
Густера, 25—30	IV	Разведение 1 : 9	Все живы		Все живы	
		Кипячение, разведе-ние 1 : 9	Все живы		Все живы	
Густера, 26—33	V	Нагревание до 72°	2.7	55	Все живы	
			2.7	55	Все живы	
			2.5	100	Все живы	

водорослей с концентрацией выше $1.1 \cdot 10^9$ кл./л погибла за срок от 20 мин. до 2.5 час. Разведение снижало токсичность. Нагревание до 72° не изменяло действия. Полная гибель *Daphnia longispina* происходит через 14 час. Смертность *Bythotrephes longimanus* в фильтрате за двое суток равнялась 30%, а в контроле 10%. Более сильное действие фильтрованной воды по сравнению с культуральной жидкостью в наших опытах объясняется тем, что пробы воды были взяты в местах с очень высокой концентрацией водорослей, при которой возможна гибель и частичный распад. Поэтому фильтрат, взятый для опыта, мог содержать не только прижизненные выделения водорослей, но и продукты распада.

На следующем этапе работы испытывалось действие на животных водных вытяжек из синезеленых водорослей. Вытяжки получали из концентрированной культуры *Coelosphaerium* и из водорослей, собранных в водохранилище. Концентрацию водорастворимых веществ вытяжки

характеризовало количество содержащегося в ней фикоциана. В 100 г сырых водорослей количество фикоциана не превышало 0.7 г.

Bosmina longirostris, помещенная в водную вытяжку из $0.4 \cdot 10^9$ кл./л *Coelosphaerium*, в течение 48 час. оставалась живой (табл. 4), процент смертности *Daphnia longispina* и *Polyphemus pediculus* по сравнению с контролем был незначителен.

Дальнейшие опыты были поставлены с более концентрированными вытяжками

Таблица 4
Смертность животных в водной вытяжке из *Coelosphaerium*

Вид животного	% смертности	
	вытяжка	контроль
<i>Daphnia longispina</i> . .	30	20
<i>Bosmina longirostris</i> .	Все живы	Все живы
<i>Polyphemus pediculus</i> .	100	70

из синезеленых, взятых из водохранилища. Водоросли отбирались планктонной сеткой в поверхностном слое воды открытых участков в период их наиболее интенсивной вегетации. В фитопланктоне преобладали *Aphanizomenon flos-aquae* или *Anabaena* sp. Предыдущие опыты показали, что наиболее чувствительным к токсическим веществам синезеленых является *Eudiaptomus coeruleus*, с ним и были проведены дальнейшие испытания. Гибель *Eudiaptomus* в вытяжках наступает уже при концентрации фикоциана 0.013 г/л (табл. 5). Полная гибель через сутки наблюдается при 0.052 г/л, ускоряется при более высоких концентрациях и при 0.412 г/л происходит через несколько минут. Последняя вытяжка (0.412 г/л) получена из 6 г сухих водорослей, состоящих в основном из *Aphanizomenon flos-aquae*. Кипячение не повлияло на изменение токсичности, а пропускание через ионнообменную колонку (КУ-1) несколько снизило ее. При пропускании вытяжки через колонку основная масса фикоциана была адсорбирована ионитом. Выходящий из колонки фильтрат имел бурый цвет и большую мутность. Последнее обстоятельство помешало определить на спектрофотометре количество прошедшего фикоциана. По визуальному определению колонкой было задержано не менее $\frac{1}{3}$ от исходного количества. Следовательно, фикоциан не является единственным веществом, с которым связано токсическое действие синезеленых.

Молодь плотвы полностью погибала за сутки в вытяжке, содержащей фикоциана 0.103 г/л. Более концентрированные вытяжки ускоряли гибель (табл. 5). Судя по результатам опыта, водные вытяжки из синезеленых водорослей губительно действуют на подопытных животных. При этом *Eudiaptomus* более чувствителен, чем молодь рыб. Гибель

животных происходит под влиянием веществ, легко переходящих в воду из клеток при разрушении клеточных оболочек. Действие этих веществ проявляется при очень высоких концентрациях и падает с разведением.

Для изучения действия на *Eudiaptomus* и молодь плотвы взвеси водорослей брались альгологически чистые культуры *Microcystis aeruginosa*, *Coelosphaerium dubium* и *Aphanizomenon flos-aquae*. При одинаковой концентрации водорослей ($2.0-2.5 \cdot 10^9$ кл./л) смертность *Eudiaptomus* в культуре *Coelosphaerium* и *Aphanizomenon* за двое суток была почти полная, а в культуре *Microcystis* составляла лишь 30% (табл. 6). Для молоди плотвы культура *Coelosphaerium* также оказалась наиболее токсичной. Результаты опытов свидетельствуют о высокой чувствительности *Eudiaptomus* к культуре *Coelosphaerium* и ее культуральной жидкости. Следует отметить, что эта водоросль образует ароматические вещества, растворяющиеся в воде и придающие сильный специфический запах культурам *Coelosphaerium*.

Следующий опыт был поставлен со взвесью водорослей, взятых в местах их массового скопления в водохранилище. В густую взвесь, содержащую от 0.4 до $37 \cdot 10^9$ кл./л, помещали молодь густеры и плотвы. Видовой состав водорослей приведен в табл. 2. Густера погибает полностью во взвеси, содержащей $1.1 \cdot 10^9$ кл./л,

Таблица 2

Смертность животных в родной матке на фитоцитофитона Рыбного водохранилища

Вид животного	Преобразований вид водорослей	Предварительная обработка листьев	Концентрация фитоциана, г/л										Контроль		
			0.412		0.206		0.103		0.052		0.026			0.013	
			время ги- бели, час.	% смерт- ности	время ги- бели, час.	% смерт- ности	время ги- бели, час.	% смерт- ности	время ги- бели, час.	% смерт- ности	время ги- бели, час.	% смерт- ности		время ги- бели, час.	% смерт- ности
Eudiaptomus coreu- leus.	Aphanizomenon flos-aquae.	{ Натуральная. » Кипячение 10 мин. » Проточное через полнообъемную колонку. То же » Натуральная. Натуральная. »	0.1	100	0.1	20	2.5	40	4.5	20	4.5	20	26.0	40	— Все живы Все живы —<

Таблица 6

Смертность животных в альгологически чистых культурах синезеленых водорослей

Вид животного		Культуры водорослей									Контроль	
		Microcystis aeruginosa			Coelosphaerium dubium			Aphanizomenon flos-aquae				
		10 ⁶ кл./л	время ги-бели, час.	% смерт-ности	10 ⁶ кл./л	время ги-бели, час.	% смерт-ности	10 ⁶ кл./л	время ги-бели, час.	% смерт-ности	время ги-бели, час.	% смерт-ности
Eudiaptomus co-eruleus	{	6.60	40	20	2.57	40	70	2.00	25	50	40	40
		—	—	—	—	46	90	—	46	100	—	—
		2.47	46	30	3.64	27	50	—	—	—	Все живы	—
Плотва, 24 мм	{	—	—	—	—	42	90	—	—	—	—	—
		0.60	Все живы	—	0.62	48	50	—	—	—	Все живы	—

Таблица 7

Смертность молоди рыб в пробах воды, взятой в местах массового скопления синезеленых в Рыблском водохранилище

Виды рыб и размеры, мм	Номер пробы	Предварительная обработка проб	Опыт		Контроль
			время ги-бели, час.	% смерт-ности	
Густера, 20—26	I	—	0.3	100	Все живы
Густера, 17—24	III	Разведение 1 : 5	1.0	65	Все живы
Густера, 26—33	V		16.0	100	Все живы
Плотва, 33—39	I		0.5	55	Все живы
Плотва, 29	III	Разведение 1 : 5	2.3	100	Все живы
Плотва, 26—33	V		1.0	100	Все живы
		—	0.2	100	Все живы

за 20 мин., а плотва во взвеси $3.7 \cdot 10^9$ кл./л за 30 мин.

Полученные результаты аналогичны результатам опыта с фильтрованной водой водохранилища (табл. 3). Однако во взвеси гибель наступает несколько раньше, чем в воде. Может быть, в последнем случае имеет место и механическое действие водорослей на жаберный аппарат (табл. 7).

Все описанные опыты были поставлены со свежими культурами водорослей. С целью выяснения влияния гниющих синезеленых мы помещали *Daphnia longispina*, *Bosmina longirostris* и *Polyphemus pediculus* в культуральную жидкость, полученную от трехмесячных культур *Microcystis aeruginosa* и *Coelosphaerium dubium*. Культуры имели гнилостный запах. Их жидкость содержала около 0.5 г/л органического вещества. На протяжении 2 суток дафния и босмина в фильтратах оставались живы (табл. 8). Смертность *Polyphemus* в фильтрате *Microcystis* была на 30% больше, чем в контроле. Этот опыт показал, что фильтрат явно гниющих водорослей не оказывает сильного токсического действия на животных. Возможно, ядовиты продукты неполного распада водорослей.

Для сравнения синезеленых с другими водорослями в отношении токсичности мы поставили ряд опытов с зеленой водорослью *Scenedesmus quadricauda*. Была взята альгологически чистая трехнедельная культура *Scenedesmus*, ее жидкость и водный экстракт из клеток. Опыты продолжа-

Таблица 8

Смертность животных в культуральной жидкости гниющих синезеленых водорослей

Вид животного	Культуральная жидкость				Контроль	
	Microcystis		Coelosphaerium		время гибели, час.	% смертности
	время гибели, час.	% смертности	время гибели, час.	% смертности		
<i>Daphnia longispina</i>	Все живы		Все живы		21.0	20
<i>Bosmina longirostris</i>	Все живы		Все живы		Все живы	
<i>Polyphemus pediculus</i>	29.0	40	29.0	50	21.0	10
	48.0	100	48.0	70	48.0	70

лишь 3 суток. *Eudiaptomus*, оказавшийся чувствительным к синезеленым водорослям, аналогично реагировал также на прижизненные выделения и экстракт из клеток *Scenedesmus* (табл. 9). В вытяжке из довольно концентрированной культуры этой водоросли ($6.6 \cdot 10^9$ кл./л) смертность *Eudiaptomus* за сутки составляла лишь 40%. При увеличении концентрации вытяжки смертность была более высокой. Но в живой культуре водорослей *Eudiaptomus* вызывал даже при концентрации $12.8 \cdot 10^9$ кл./л. Культуральная жидкость также вызывала гибель *Eudiaptomus*. Характерно, что при одинаковой концентрации водорослей — примерно $2.0—2.5 \cdot 10^9$ кл./л — за 2 суток смертность *Eudiaptomus* была полной в культуре *Coelosphaerium* и *Aphanizomenon*, равнялась 30% в культуре *Microcystis* (табл. 6) и отсутствовала в более длительных опытах в культуре *Scenedesmus*, содержащей $12.8 \cdot 10^9$ кл./л (табл. 9).

Причина такого различия в действии этих двух групп водорослей неясна. Возможно, она кроется в неодинаковой физиологической активности этих водорослей и в особенностях морфологии клеток. Токсичность экстракта из зеленых и синезеленых водорослей в наших опытах была почти одинакова. Вытяжка из клеток *Scenedesmus* ($89.4 \cdot 10^9$ кл./л или 1.3 мг сухого вещества) полностью убивала *Eudiaptomus* за 23 часа; вытяжка из синезеленого фитопланктона с концентрацией фикоциана 0.103 г/л, что соответствует 1.5 г/л сухого вещества, убивала *Eudiaptomus* за 22 часа. Совпадение этих величин дает возможность предполагать, что продукты, выделяемые в воду убитыми синезелеными и зелеными водорослями, взятыми в большей концентрации, токсичны в равной

Таблица 9

Смертность животных в опытах с зеленой водорослью *Scenedesmus quadricauda*

Вид животного и размеры, мм	Взвесь водорослей			Культуральная жидкость			Вытяжка			Контроль	
	10^9 кл./л	время гибели, час.	% смертности	10^9 кл./л	время гибели, час.	% смертности	10^9 кл./л	время гибели, час.	% смертности	время гибели, час.	% смертности
<i>Eudiaptomus coeruleus</i>	12.8	Все живы	—	4.72	47	45.0	89.4	2	55.0	47	15.0
	—	—	—	—	48	65.0	89.4	23	100.0	—	—
	—	—	—	—	—	—	6.6	27	40.0	48	10.0
	—	—	—	3.3	Все живы	—	—	—	—	Все живы	—
Плотва, 21	0.6	71	20.0	—	—	—	—	—	—	Все живы	—
Плотва, 24	1.13	51	25.0	0.91	22	7.0	—	—	—	Все живы	—

степени. Продукты прижизненного выделения синезеленых токсичнее выделений зеленых. Но в целом у тех и других водорослей продукты прижизненного выделения менее ядовиты, чем водные экстракты из клеток.

По сравнению с *Eudiarptomus* молодь плотвы плохо выживает в культуре *Scenedesmus* (табл. 9). При концентрациях клеток в 10—20 раз меньших, чем в опытах с *Eudiarptomus*, при которых последний выживал, смертность молоди плотвы достигала 20—25%. При сравнении действия взвесей синезеленых и зеленых водорослей оказалось, что только *Coelosphaerium* превосходит *Scenedesmus* по силе действия (табл. 6). В культуральной жидкости из синезеленых и *Scenedesmus* смертность молоди плотвы равнялась 7% (табл. 1 и 9). Однако культуры синезеленых были менее концентрированы. Следовательно, культуральная жидкость синезеленых водорослей более ядовита для молоди плотвы, чем таковая зеленых.

Синезеленые, как показали наши опыты, могут вызывать гибель животных лишь при большой концентрации, которая в природе возможна лишь в тихую погоду. В открытой глубоководной части водохранилища штормовые погоды бывают весьма кратковременны. Если бы никакого перемешивания не происходило, то слой, где концентрируются токсические вещества синезеленых, был бы незначителен по сравнению с общим объемом воды. При ветровом перемешивании концентрация токсических веществ в поверхностном слое снижается.

Иное положение создается в прибрежной мелководной зоне и особенно в заливах при ветровых нагонах синезеленых. В таких местах водоросли быстро погибают в результате недостатка питательных веществ и света. Поскольку органическое вещество синезеленых хорошо используется бактериями (Феоктистова, 1960), в местах их скопления начинает бурно развиваться микрофлора, которая также может быть серьезным источником токсических веществ. Распад водорослей и бурное развитие бактерий приводят к обеднению кислородом воды мелководий, что может вызвать замор рыб. Такого рода явления мы наблюдали в одном из заливов Рыбинского водохранилища осенью 1960 г. Описанные в литературе случаи гибели домашних животных и птицы при пользовании водой водоема в период его цветения синезелеными вполне возможны при этих обстоятельствах.

Вегетация синезеленых весной в прибрежной зоне начинается гораздо раньше, чем в открытой части водоема, и при достаточном количестве питательных веществ их численность может достигнуть больших размеров. С появлением прибрежно-водной, особенно погруженной растительности (которая является серьезным конкурентом водорослей в потреблении питательных веществ, вызывает затенение и т. п.), численность синезеленых постепенно снижается.

Вопрос о неблагоприятном влиянии синезеленых на санитарное состояние водоемов еще далек от окончательного разрешения. Не вызывает сомнения, что эти водоросли при определенных условиях в лаборатории оказывают губительное влияние на некоторых животных. В природе наблюдаются случаи серьезного ухудшения санитарных условий в тех участках водоемов, где синезеленые концентрируются большими массами. Но до сих пор остается недостаточно выясненной природа токсических веществ, действующих на животных, находящихся в том или ином контакте с синезелеными. Не изучены химические процессы, происходящие в воде при массовом скоплении живых или отмерших синезеленых. Несмотря на это, уже теперь поднимается вопрос о снижении численности синезеленых в водохранилищах путем проведения различных мероприятий, в том числе и химической борьбы. При этом не учитывается, что, помимо чисто технических трудностей, решение проблемы подавления

водорослей одной только группы без обоснованного регулирования всего остального растительного и животного населения водоемов отрицательно сказалось бы на общей биологической продуктивности водохранилищ, которая и без того невысока. Синезеленые не только мощные продуценты органического вещества, но также энергичные синтетники витамина В₁₂.

Выяснение физиологических свойств синезеленых, их химизма, а также химизма продуктов их жизнедеятельности и распада, выявление их роли в жизни пресных водоемов должно быть предметом дальнейших исследований. Только на основе этих исследований могут быть предложены какие-либо способы подавления их численности, если выявится безусловная необходимость таких мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследования в опытах беспозвоночные и молодь рыб оказались сравнительно малочувствительны к культуральной жидкости и лизеи клеток синезеленых.

2. Водные вытяжки из клеток синезеленых водорослей при большой их концентрации обладали сильным токсическим действием для молоди рыб и некоторых беспозвоночных. Водные экстракты, полученные из того же количества зеленых водорослей, оказывали сходное действие.

3. Из испытанных синезеленых *Coelosphaerium dubium* обладает наибольшей токсичностью, а *Microcystis aeruginosa* наименьшей.

ЛИТЕРАТУРА

- Брагинский Л. П. 1955. О токсичности синезеленых водорослей. Природа, № 1.
- Вибберг Г. Г. 1954. Токсический фитопланктон. Усп. совр. биол., т. 38, вып. 2(5).
- Гавевская Н. С. 1955. Основные задачи изучения кормовой базы и питания рыб в аспекте главнейших проблем биологических основ рыбного хозяйства. Тр. Совещ. по мет. изуч. кормовой базы и питания рыб, М.
- Казаков Е. И. и М. В. Проппи. 1941. Химический состав разных форм планктона и бентоса. Тр. Лабор. по изуч. генезиса сапропеля, вып. 2, М.—Л.
- Кзючарева О. А. 1960. К вопросу о летнем питании Рыбинского водохранилища. Тр. Дарвинск. гос. запонедн., вып. 6, Вологда.
- Куп М. С. 1960. О причинах заболевания сазана в дельте Волги. Зоол. журн., т. 39, вып. 10.
- Куп М. С., Т. В. Астахова и Д. Л. Теплый. 1960. Почему гибнет сазан в дельте Волги. Природа, № 5.
- Приймаченко А. Д. 1956. Фитопланктон Днепровско-Бугского лимана. Изд. АН УССР, Киев.
- Стройкина В. С. 1960. Основные черты формирования фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Тезисы докл. на Совещ. по типол. и биол. обосн. рыбохоз. пользов. внутр. водоемов южной зоны СССР. Киншасев.
- Феокистова О. И. 1960. Влияние отмерших водорослей на численность сапрофитов. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 3(6).
- Bishop C. T., E. F. L. J. A net a. P. R. Gorham. 1959. Isolation and identification of the fast-death factor in *Microcystis aeruginosa* NRC-1. Canad. J. biochem. physiol., v. 37.
- Deem A. W. a. F. Jr. Thorp. 1939. Toxic algae in Colorado. J. Amer. Veter. med. Assoc., v. 95, № 742.
- Gates J. H. a. W. B. Wilson. 1960. The toxicity of *Conyaulax moniliata* Howell to *Mugil cephalus*. Limnology and oceanography, v. 5, № 2.
- Gorham P. R. 1960. Toxic waterblooms of bluegreen algae. Can. vet. J., v. 1, № 6.
- Gorham P. R., B. Simpson, C. T. Bishop a. E. F. L. J. A net. 1959. Toxic waterblooms of blue-green algae. IX int. Bot. congr. Proc., v. II.
- Hughes E. O., P. R. Gorham a. A. Zehnder. 1958. Toxicity of a unialgal culture of *Microcystis aeruginosa*. Canad. J. microbiol., v. 4, № 3, 6.
- Prescott G. W. 1949. Objectionable algae with reference to the killing of fish and other animals. Hydrobiologia, v. 1, № 1.
- Shelubsky M. 1951. Observations on the properties of a toxin produced by *Microcystis*. Proc. Intern. Associat. theor. and appl. limnol., v. 11.

- Schillo M. (Shelubsky) a. M. Ashner. 1953. Factors governing the toxicity of cultures containing the phytophagellate *Prymnesium parvum*. J. gen. microbiol., v. 8, № 3.
- Schwimmer M. a. D. Schwimmer. 1955. The role of algae and phytoplankton in medicine. New York.
- Stephens E. L. 1948 *Microcystis toxica* sp. nov. a poisonous alga from the Transvaal and Orange Free State. Hydrobiologia, v. 1, № 1.
- Svedberg T. a. T. Katsurai. 1929. The molecular weights of phycocyan and of phycoerythrin from *Porphyra tenera* and of phycocyan from *Aphanizomenon flos-aquae*. J. Amer. Chem. Soc., v. 51.
-

СООБЩЕСТВА ХВОЩА ПРИРЕЧНОГО НА ИВАНЬКОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

В 1937 г. в южной части Верхневолжской низины было создано Иваньковское водохранилище. Более двадцати лет происходило интенсивное зарастание прибрежий этого водоема.

Быстрому заболачиванию мелководий Иваньковского водохранилища способствуют характерные черты его гидрологического режима, а именно: отсутствие значительного волнения в связи с небольшой шириной, сравнительное постоянство уровня как из года в год, так и в течение вегетационного периода и, наконец, небольшая проточность на мелководьях.

В настоящее время в литорали Иваньковского водохранилища господствуют сообщества манника водяного [*Glyceria aquatica* (L.) Wahlb.] и хвоща приречного (*Equisetum fluviatile* L.).

В предлагаемой работе перед нами стояли следующие две задачи:

1. Выявить основные растительные сообщества, создаваемые хвощом приречным, дать анализ их состава и строения, показать закономерности распределения на водохранилище в зависимости от условий среды.

2. Выяснить взаимоотношения сообществ хвоща и манника при их контакте. Этот вопрос мы сочли необходимым рассмотреть ввиду того, что на экологическом профиле зарастающего водоема сообщества манника водяного сменяются сообществами хвоща приречного.

Сбор материала производился летом 1958 и 1959 гг. Участки ассоциаций описывались на площадках в 100 м². В тех случаях, когда такой участок занимал меньшую площадь, он описывался целиком. Ярусы выделялись по методу, предложенному В. М. Катапской (1956). Обилие видов учитывалось по шкале Друде.

ФОРМАЦИЯ ХВОЩАТНИКА НА ИВАНЬКОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Ниже мы приводим описание выделенных нами основных сообществ хвоща, различающихся по ярусному строению: чистые хвощатники, ассоциации хвоща приречного с подъярусом воздушно-водных растений, ассоциации хвоща с ярусом плавающих растений и ассоциации хвоща с ярусом погруженных растений.

Ассоциация чистого хвощатника

Участки этой ассоциации были описаны в нескольких местах Иваньковского водохранилища. Как правило, они встречаются в заливах и сильно заросших межостровных протоках. Иногда участки ее занимают большие площади, образуя основной фон растительности, и только местами она встречается в виде куртин. Почти во всех случаях участки ассоциации приурочены к серому илистому грунту с большим или меньшим количеством неразложившихся растительных остатков. Реже сообщество занимает прибрежья с торфянистым или слегка торфянистым коричневым

грунтом. Чаще всего участки ассоциации встречаются на глубине 20—40 см, нередко на обсохших, но сильно увлажненных местах, на которых это сообщество оказывается в результате спада воды. Предельная глубина распространения чистого хвощатника на Иваньковском водохранилище 80 см.



Рис. 1. Ассоциация *Equisetum fluviatile*.

Травостой ассоциации развит хорошо и достигает высоты 120—140 см. Внешний вид хвощатника очень характерен и его можно без труда издалека отличить от других сообществ. Он имеет вид сплошной густой высокой щетины сизо-зеленого цвета. На этом фоне изредка выделяются светло-зеленые блестящие листья манника и возвышаются редкие побеги рогоза.

Растения по площади распределены равномерно, пятнистости в покрытии грунта, как правило, не наблюдается. Проективное покрытие в среднем равно 60%, иногда доходит до 90%.

Видовой состав травостоя может быть охарактеризован табл. 1.

Как видно из таблицы, ассоциация включает 19 видов, причем на описанных участках встречалось от 1 до 8 видов. Среднее число видов на площадке 5. Лишь вид *Equisetum fluviatile* встречался на всех без исключения площадках. Вообще надо отметить непостоянство видового состава участков этой ассоциации. Можно предположить, что это непостоянство объясняется изменением уровня водохранилища, вслед за которым изменяется и видовой состав сообществ. Поэтому в последних всегда есть своего рода реликты предшествующего уровня воды.

В целом по ассоциации средний коэффициент общности по 100-метровым пробным площадкам очень невелик — 27.2%. Он колеблется в широких пределах: от 7 до 75%.

Разнообразие видового состава позволяет подразделить эту ассоциацию на 2 основные группы: группа с преобладанием плавающих сопутствующих видов (рис. 1) и группа с преобладанием воздушно-водных растений. Участки ассоциации чистого хвощатника с плавающими растениями тяготеют больше к закрытым местам. Участки ассоциации второй группы встречаются главным образом на более открытых местах, но тоже защищенных от полнотопья.

В этих группах коэффициент общности выше среднего по ассоциации: в группе с плавающими растениями он равен 49%, в группе с воздушно-водными — 53%.

Класс ассоциаций хвоща приречного с осоками

Сообщества хвоща с осоками представляют собой переходные фитоценозы от осочника к хвощатнику. Они располагаются на затопляемых весной сильно увлажненных местах или в воде на глубине 10—20 см. Грунт торфянистый, пронизанный отмершими корнями и остатками неразложившихся растений.

Травостой сообществ густой. Растения создают равномерное покрытие, достигающее 100%. Высота травостоя 110—130 см.

Видовой состав в пределах этого класса довольно однороден и нельзя было бы выделить группы с преобладанием тех или иных видов. Однако некоторые сообщества располагаются по берегам, которые рано выходят из-под воды, другие же до конца июля растут на небольшой глубине (10—20 см). Это приводит к различиям в их ярусном строении. Сообщества на сухих местах одноярусные; на обводненных участках, кроме первого яруса, появляются плавающие и погруженные растения, создающие второй и третий ярусы.

Первый подъярус первого яруса образован хвощом приречным и осоками. Высота подъяруса 120—130 см. Иногда осоки не достигают этой высоты и образуют второй подъярус. В этом же подъярусе можно встретить угнетенный и не цветущий мапиш водной и хорошо развитый поручейник.

Второй подъярус складывается чаще всего частухой, кизляком, лютиком длиннолистным. Иногда в нем встречаются такие не характерные для данного класса ассоциации виды, как *Menyanthes trifoliata*, *Oenanthe aquatica*, *Stachys palustris*.

Третий подъярус выражен не всегда. Высота подъяруса 40—60 см. Он состоит из *Caltha palustris*, *Equisetum arvense*, *Galium palustre*, *Rorippa amphibia*, *Sagittaria sagittifolia*, *Lysimachia vulgaris*, *Lythrum salicaria*.

Ярус плавающих растений чрезвычайно разрежен и составлен угнетенными экземплярами водокраса и рясок.

Класс ассоциаций включает 25 видов (табл. 2). Для ассоциаций описываемой группы в отличие от других сообществ хвоща характерно большое число видов на единице площади. На 100-метровых пробных площадках встречались в среднем по 12 видов. Из них постоянно присутствуют на всех участках *Equisetum fluviatile*, *Carex vesicaria*, *Naumburgia thyrsoflora*, *Sium latifolium*, *Typha latifolia*.

Коэффициент обичности в среднем между 100-метровыми площадками участков ассоциаций этого класса равен 35%.

Таблица 2

 Ассоциации *Equisetum fluviatile* с осоками

№ п. п.	Видовой состав	Пробные площадки			
		1	2	3	4
1	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	sol.	sol.	sol.	
2	<i>Caltha palustris</i>		sol.		sol.
3	<i>Carex gracilis</i>				cop. ₂
4	<i>C. vesicaria</i>	cop. ₂	cop. ₁	cop. ₁	sp.
5	<i>Cardamine pratensis</i>				sol.
6	<i>Comarum palustre</i>		sol.		
7	<i>Dicranis arundinacea</i>				sol.
8	<i>Equisetum arvense</i>				sol.
9	<i>E. fluviatile</i>	cop. ₁	cop. ₂	cop. ₂	cop. ₂
10	<i>Galium palustre</i>				sol.
11	<i>Glyceria aquatica</i>		sol.		sol.
12	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>		sol.	sol.	
13	<i>Lemna trisulca</i>		sol.		
14	<i>Lysimachia vulgaris</i>		sol.		
15	<i>Lythrum salicaria</i>			sol.	
16	<i>Menyanthes trifoliata</i>		sol.		
17	<i>Naumburgia thyrsoflora</i>	sol.	sol.	sp.-cop. ₁	sp.
18	<i>Oenanthe aquatica</i>			sol.	
19	<i>Ranunculus lingua</i>				sol.
20	<i>Rorippa amphibia</i>		sol.	sol.	
21	<i>Sagittaria sagittifolia</i>			sol.	
22	<i>Sium latifolium</i>	sol.	sp.	sol.	sol.
23	<i>Stachys palustris</i>		sol.		
24	<i>Stratiotes aloides</i>		sol.		
25	<i>Typha latifolia</i>	sol.	sp.	sol.	sol.

Класс ассоциаций хвоща приречного с подъярусом воздушно-водных растений

Участки ассоциаций хвоща с подъярусом воздушно-водных растений на Иваньковском водохранилище встречаются довольно часто. Они образуют большие массивы в различных местообитаниях, по главным образом в протоках, заливах и на зарастающих открытых участках Шошнского плёса.

Наибольшая глубина, на которой были отмечены участки этих ассоциаций, равна 70 см.

Травостой сообществ развит хорошо, причем в число доминант входят как хвощ, так и другие воздушно-водные растения. Внешне сообщества выглядят довольно пестрыми: сплошной стеной стоит хвощ, среди его побегов видны листья осок, камыша лесного, манника водяного, соцветия частухи, поручейника, сусака. Над общим ярусом возвышаются метелки тростника и соцветия рогоза.

Растения распределены по площади равномерно, иногда отдельные виды встречаются группами. Общее проективное покрытие доходит до 90—100%.

Класс ассоциаций хвоща с воздушно-водными растениями включает 19 видов, в среднем по 7 на одной 100-метровой площадке (табл. 4).

Линь хвощ является видом, который встречается на всех без исключения участках. Коэффициент общности равен 27.5%. Этот класс ассоциаций включает несколько групп ассоциаций. В них коэффициент общности возрастает (в среднем по группам 41.7%).

Первая группа ассоциаций составлена сообществами, в которых доминантой является один хвощ. Коэффициент общности равен 38.5%. Сообщества одноярусные, травостой довольно плотный. Первый подъярус создает основное покрытие грунта. Он образован хвощом, достигающим высоты 120—130 см. В этом же ярусе в обилии *sol.* встречается манник водяной и омежник. Второй подъярус очень разнородный, образован сусаком, осокой острой, поручейником, иногда камышом лесным. Высота подъяруса 70—90 см. Третий подъярус выражен слабо. Он образован наземной формой горца земноводного. Высота его около 40 см. На обсохшем грунте разбросаны *Spirodella polyrrhiza* и *Hydrocharis morsus-ranae*.

Другая группа с коэффициентом общности, равным 43%, включает в себя ассоциации *Equisetum fluvatile*+*Scirpus silvaticus*+*Sium latifolium*; *Equisetum fluvatile*+*Scirpus silvaticus*; *Equisetum fluvatile*+*Sium latifolium*.

В этой группе ассоциации кондоминанты образуют подъярус высотой около 1 м.

Третья группа объединяет ассоциации, в которых кондоминанты создают нижний подъярус высотой в 20—40 см. Группа включает следующие ассоциации: *Equisetum fluvatile*+*Rorippa amphibia*; *Equisetum fluvatile*+*Naumburgia thyrsoflora*+*Carex vesicaria*; *Equisetum fluvatile*+*Naumburgia thyrsoflora*. Коэффициент общности между пробными площадками участков ассоциаций этой группы 46%.

Группы, где в число доминант, кроме хвоща, входят другие воздушно-водные растения, принципиально не отличаются друг от друга ни по глубинному распространению, ни по грунтам, ни по защищенности занимаемого участка. Видовой состав их, надо полагать, определяется ценотическими отношениями или порядком заселения. Ассоциации эти одноярусные или двухъярусные, в зависимости от глубины расположения. Сообщества на обводненных местах бывают иногда трехъярусные.

Группа ассоциаций манниково-хвощовых

Участки этих ассоциаций очень часто встречаются на мелководьях Иваньковского водохранилища, являясь переходными между сообществами хвоща и манника. Грунт под ассоциацией торфянистый или илистый. Сообщества не заходят глубоко в воду (глубины не превышают 40—50 см). Травостой густой, покрывающий поверхность грунта на 100%.

Аспект всего сообщества в целом зависит от относительного количества в нем хвоща и манника, а также от сезона вегетации. В начале июня, когда манник еще вегетирует, основной фон создают сизо-зеленые побеги хвоща, сквозь которые проглядывают зеленые листья манника. В период «фенологического лета», когда манник достигает своего полного развития, он играет главную роль в создании аспекта сообщества.

Видовой состав группы ассоциаций включает 19 видов, на пробных площадках в среднем встречаются по 6—7 видов (табл. 3). В целом по группе коэффициент общности между 100-метровыми площадками участков ассоциаций не очень высок — 31%.

По ярусному строению можно выделить две группы: участки ассоциаций, в маловодные годы рано освобождающиеся от воды; участки ассоциаций, растущие на больших глубинах и поэтому постоянно обводненные.

Ассоциация Equisetum fluviatile с

№ п. п.	Видовой состав	Пробы						
		1	2	3	4	5	6	7
1	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	sol.				sp.		
2	<i>Bidens cernuus</i>	sol.				sol.		
3	<i>Butomus umbellatus</i>	sol.		sol.		sol.	sp.	
4	<i>Calla palustris</i>							
5	<i>Carex gracilis</i>			sol.		sol.	sp.	
6	<i>C. vesicaria</i>		sol.					
7	<i>Eleocharis acicularis</i>			sol.				
8	<i>E. palustris</i>							
9	<i>Equisetum fluviatile</i>	cop. ₁	cop. ₁	cop. ₁	cop. ₁	cop. ₂	cop. ₁	cop. ₂
10	<i>Glyceria aquatica</i>	sol.		sol.		sol.		
11	<i>Hottonia palustris</i>					sol.	sp.	sp.
12	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	sol.						
13	<i>Lemna trisulca</i>							
14	<i>Naumburgia thyrsiflora</i>							
15	<i>Oenanthe aquatica</i>							
16	<i>Phragmites communis</i>		cop. ₃					
17	<i>Polygonum amphibium</i>		sol.	sol.			sol.	
18	<i>Ranunculus lingua</i>				sol.			
19	<i>Rorippa amphibia</i>	sol.	sol.		sol.-sp.	sol.	sol.	sp.
20	<i>Sagittaria sagittifolia</i>		sol.					
21	<i>Scirpus silvaticus</i>			sp.				
22	<i>Sium latifolium</i>	sol.		sol.-cum.		sol.		sol.
23	<i>Sparganium simplex</i>				sp.			
24	<i>Spirodella polyrrhiza</i>	sol.			sp.	sol.		
25	<i>Stratiotes aloides</i>							
26	<i>Typha latifolia</i>			sol.				

Сообщества обсохших мест одноярусные, с покрытием грунта в 90—100%. В нем обычно выделяются четыре подъяруса. Наиболее хорошо выражены первый и второй подъярусы.

Участки хвощово-мапниковых ассоциаций обводненных мест трехъярусные. Высота травостоя приблизительно такая же, как в сообществах первой подгруппы (180—220 см). Растение второго яруса неравномерно покрывает поверхность воды. Между побегами хвоща небольшими скоплениями плавают листья водокраса лягушачьего, горца земноводного, иногда встречаются пятна многокоренника. Проективное покрытие, создаваемое плавающими растениями, 30—40%. В начале лета оно не превышает 10—15%. В некоторых ассоциациях имеется третий погруженный ярус. Он образован входящей в число доминант урутью колосковой и отчасти водяным лютиком. Общее покрытие дна, создаваемое тремя ярусами, доходит до 80—90%.

**Класс ассоциаций хвоща приречного с ярусом
плавающих растений**

Сообщества хвоща с ярусом плавающих растений занимают защищенные участки с серыми растительными илами (рис. 2). Участки этих ассоциаций приурочены к глубинам от 20 до 70 см. Во внешнем виде фитоценозов этой группы обращает на себя внимание резкая расчлененность сообщества на ярусы. Первый ярус образован хвощом. Высота его 120—160 см, проективное покрытие 60—70%. Во втором подъярусе первого яруса изредка встречаются воздушно-водные виды.

Таблица 4

подъярусом воздушно-водных растений

площадки										
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
sol.	sol.	sol.	sol.		sol.		sol.	sol.		
				sol.		cop. ₁	sp.	sol.		sol.
sp.		sol.		sol.					sol.	sol.
cop. ₂	cop. ₂ -cop. ₃	cop. ₂	cop. ₂ sp.-cop. ₁	sol. cop. ₂ sp.	sp. cop. ₂	cop. ₁	cop. ₃	cop. ₂	cop. ₃ sp. sp.	cop. ₃ sol.-sp.
								sp. sol.	sp.	sp.-cop. ₁
sol.		sol.	sol.	sol.			sol.	sol.		
sol.-sp.	sol. sol.	sol.	cop. ₂	cop. ₁	sol. cop. ₂		sol.	sol.	sol. sp.	sol.
sol.	sp. sp.	sp. sol.	sol.	sol.-sp.	sol.			sol. sol. sp.		
	sol.		sp. sol.			sp. sol.			sp.	
				sol.	sol.					

Водная поверхность сплошь покрыта ряской многокорневой и другими плавающими растениями: водокрасом лягушатник, кувшинкой чисто-белой, гордом земноводным (рис. 3). Все эти виды равномерно покрывают поверхность воды на 60—80% и развиваются нормально. В образовании второго яруса иногда большую роль играет всплывший цветущий телорез.

Ввиду значительного затенения третий ярус угнетен. Он составлен телорезом, пузырчаткой, элодсией.

Группа ассоциаций включает 21 вид. На пробных площадках встречается в среднем по 7 видов. Постоянными для всех площадок являются лишь два: *Equisetum fluviatile* и *Hydrocharis morsus-ranae*. В целом по классу ассоциаций коэффициент общности между 100-метровыми площадками равен 34% (табл. 5).

Класс ассоциаций хвоща приречного с ярусом погруженных растений

Ассоциации этого класса нередко можно встретить на мелководьях Иваньковского водохранилища. Сообщества хвоща с погруженными растениями расположены на средних по проточности участках и на открытых местах, подверженных волнению. Разнообразны и грунты под этими сообществами: в заливах и притоках это серые илы с содержанием органических веществ до 40—50%. На открытых, подверженных волнению местах серый ил обычно погребен под слоем песка до 10 см толщины. Сообщества описаны на глубинах от 20 до 80 см.

Ассоциация *Equisetum fluviale* с ярусом плавающих растений

№ п. п.	Видовой состав	Пробные площади										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	<i>Alisma plantago-aquatica</i>							sol.				
2	<i>Butonius umbellatus</i>			sol. sol.						sp.-gr.		
3	<i>Carex gracilis</i>					sol.	sol. sp.-cop-1 sol.	sol.-gr. cop-2	cop-3 sol.	cop-2	cop-2	cop-2
4	<i>Elodea canadensis</i>		sol.-sp. cop-1									
5	<i>Equisetum fluviale</i>	cop-3		cop-1	cop-1 sol.							
6	<i>Glyceria aquatica</i>											
7	<i>Hydrocharis morsus- tae</i>	sp.	sol. sol.	sol.	sol.	sol.	cop-1	sol.-sp.	sp.	sol. sp.-cop-1	sol. sol.	sol.
8	<i>Lemna trisulca</i>							sol.				
9	<i>Lysimachia vulgaris</i>											
10	<i>Lythrum salicaria</i>					sol.						
11	<i>Myriophyllum spicatum</i>	sol.			sol.			sol. sol.				
12	<i>Naumburgia thyrsiflora</i>								sp.-gr.			sol.
13	<i>Nymphaea candida</i>	sol.		sol.				sol.				
14	<i>Oenanthe aquatica</i>											
15	<i>Polygonum amphibium</i>			sol.			sol.					
16	<i>Ranunculus lingua</i>							sp.-gr.	sol.		sol.	sol.
17	<i>Sagittaria sagittifolia</i>											
18	<i>Sium latifolium</i>	sol.										
19	<i>Spirodella polyrriza</i>		cop-2-cop-3 cop-1				cop-1	sp. sol. sol.	sol. cop-1 sp.-gr.	sol. sp.	cop-1 sol. sol.	cop-3 sol.
20	<i>Stratiotes aloides</i>			sp.	cop-1							
21	<i>Utricularia vulgaris</i>											



Рис. 2. Ассоциация *Equisetum fluviatile* в верховьях залива.



Рис. 3. Ассоциация *Equisetum fluviatile* с ярусом плавающих растений.

Такое разнообразие условий произрастания сказывается на видовом составе сообществ. Сообщества, находящиеся в защищенных местах, отличаются более богатым видовым составом в сравнении с сообществами открытых участков. В классе ассоциаций отмечено 13 видов. В защищенных участках на пробных площадках встречается 4—10 видов, на открытых — 3—5. Сообщества, занимающие открытые места, характеризуются разреженным травостоем и неравномерным распределением растений.

Коэффициент общности в целом по классу ассоциаций между 100-метровыми площадками участков его ассоциаций равен 29% (табл. 6).

Таким образом, формация *Equisetum fluvatile* на Иваньковском водохранилище представлена бесконечным разнообразием участков ассоциаций, отличных по видовому составу и по условиям местообитания, но объединяемых хвощом, в которых он является эдификатором и доминантой.

Таблица 6

Сообщества *Equisetum fluvatile* с ярусом погруженных растений

№ п. п.	Видовой состав	Пробные площадки			
		1	2	3	4
1	<i>Alisma plantago-aquatica</i>		sp.		
2	<i>Elodea canadensis</i>	sol.			
3	<i>Equisetum fluvatile</i>	sp.	cop. ₂ -gr.	cop. ₂	sp.
4	<i>Lemna trisulca</i>			sp.	
5	<i>Myriophyllum spicatum</i>			sp.	
6	<i>Polygonum amphibium</i>	sol.		sol.	
7	<i>Potamogeton compressus</i>			sp.	
8	<i>P. lucens</i>		sol.	sol.	
9	<i>P. pectinatus</i>	sol.			
10	<i>P. perfoliatus</i>		cop. ₁ -gr.	sol.	sol.-gr.
11	<i>Sagittaria sagittifolia</i>			sol.	sol.
12	<i>Sium latifolium</i>			sol.	
13	<i>Stratiotes aloides</i>	sol.		sol.	

Из 49 видов, характеризующих видовой состав формации, на одной площадке имеется в среднем по 7 видов. Сообщества хвоща распространены в местах, различных по степени увлажнения и защищенности от волнения. Наибольшая глубина распространения сообществ хвоща на мелководьях Иваньковского водохранилища 80 см. Фитоценозы хвоща в течение вегетационного периода находятся в условиях постепенного спада воды. Это в большой степени определяет разнообразие видового состава участков ассоциаций. Можно показать немало сообществ, которые заполнили бы промежутки между выделенными классами и группами ассоциаций. Но эти переходные сообщества не служат предметом нашего рассмотрения.

Кроме описанных ассоциаций, образуемых хвощом, следует упомянуть об участии хвоща в составе лугового ценоза и об участии его в образовании вахтовой сплавины.

КОНТАКТНЫЕ ПОЛОСЫ НА ГРАНИЦЕ УЧАСТКОВ АССОЦИАЦИЙ ХВОЩА И МАШНИКА

Детальное изучение взаимоотношения сообществ хвоща и машника при их непосредственном контакте были произведены нами в условиях стационара на Шошинском плёсе Иваньковского водохранилища. При

изучении контактных полос протягивался профиль от зоны подтопления к воде и последовательно описывались все ассоциации, входящие в состав экологического ряда. Через границу ассоциаций хвоща и манника закладывалась трансекта. Ширина трансекты 1 м, длина выбиралась в зависимости от характера границы, ее резкости, мозаичности. Трансекта, пересекая контактную полосу, заканчивалась в участках ассоциаций, где уже не сказывалось «окрайное уклонение». На парцеллах площадью 0.5 м^2 (1×0.5) подсчитывалось число побегов всех видов и определялось покрытие.

В результате проведенных исследований можно утверждать, что граница между сообществами хвоща и манника в разных случаях имеет различный характер. Принимая

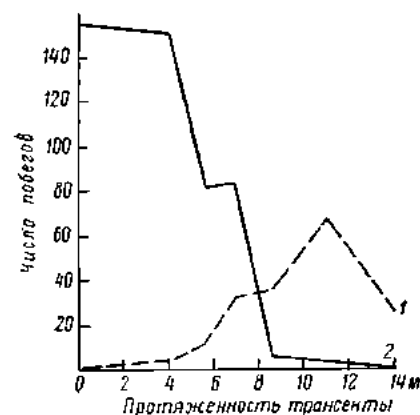


Рис. 4. Количественные соотношения хвоща (1) и манника (2) в контактной полосе при резком типе границ.

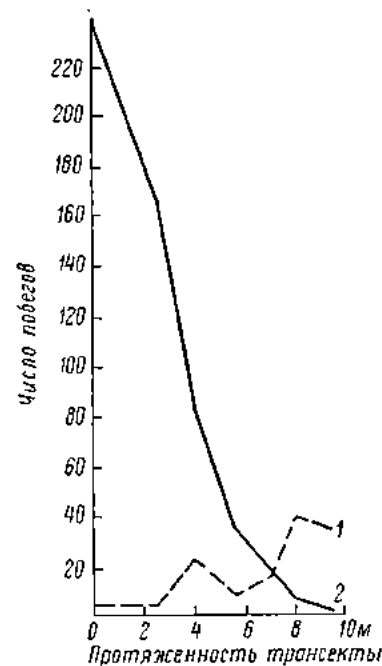


Рис. 5. Количественные соотношения хвоща (1) и манника (2) в контактной полосе при мозаичном типе границ.

классификацию А. А. Нищепко (1948) и Б. А. Быкова (1957), все многообразие границ между рассматриваемыми ассоциациями можно свести к трем типам: резкие, мозаичные, касмчатые.

Резкие границы. В случае резкого типа границ ширина контактной полосы около 2 м. Внедрение сообществ друг в друга осуществляется лишь отдельными рассеянными побегами их эдификаторов. При этом побеги хвоща проникают в сообщества манника на большее расстояние, чем побеги манника в сообщество хвоща. Результаты подсчета числа побегов, произведенных на парцеллах одной из трансект этого типа границ, изображены на графике (рис. 4). От середины ассоциации к границе число побегов хвоща на единице площади медленно падает. В контактной полосе происходит резкое сокращение количества побегов хвоща. В сообществе манника идет постепенное уменьшение числа побегов хвоща до их полного исчезновения. Кривая изменения количества манника более пологая, так как численность манника всегда намного меньше хвоща. Она довольно быстро поднимается и достигает максимума у края ассоциации манника.

Мозаичные границы. В случае мозаичного типа границ ширина контактной полосы возрастает до 4—5 м. У границы в сообществе хвоща

разбросаны пятна манника. По другую сторону полосы пятна смыкаются, плотность сообществ манника быстро возрастает. Кривая падения числа побегов хвоща на единицу площади повторяет ход кривой при резких границах (рис. 5). Вначале она спускается медленно, затем наблюдается резкое падение вблизи границы и снова замедленное падение на территории участка соседней ассоциации. Кривая изменения числа побегов манника в общем повторяет ход кривой в первом типе, но отличается от нее более резкими скачками, отражающими мозаичность контактной полосы.

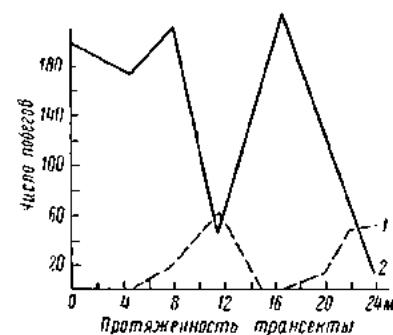


Рис. 6. Количественные соотношения хвоща (1) и манника (2) в контактной полосе при каемчатом типе границ.

Анализируя график (рис. 6), можно утверждать, что контактная полоса характеризуется чрезвычайной пятнистостью. При возрастании обилия одного вида сокращается обилие другого. Кривая изменения числа побегов манника прерывается в местах резкого возрастания плотности хвоща.

Между рассмотренными типами границ имеется ряд переходов. Так, на рис. 7 изображены количественные соотношения видов в контактной полосе, которая близка к мозаичному и каемчатому типам границ. Кривая изменения числа побегов в этом случае напоминает подобные кривые для мозаичных границ, и только кривая числа побегов манника отличается еще большими скачками, отражая пятнистость контактной полосы. Однако здесь имеется и элемент каемчатой границы — это наличие в пограничной полосе видов, которых нет ни в одной из соседних ассоциаций.

При раскопке корневых систем во всех рассмотренных случаях под сообществом хвоща обнаружены отмирающие корневища манника. На участках, занятых манником, постоянно встречаются молодые жизнеспособные подземные побеги хвоща, образующие в этом фитоценозе сеть надземных побегов. Кроме того, в сообществах хвоща вблизи границы имеются виды, свойственные сообществам манника. Здесь же иногда встречаются фрагменты ассоциаций манника, являющиеся как бы реликтами того времени, когда там господствовал последний.

Рассуждения об увеличении пятнистости и ширины контактной полосы, о преимущественном проникновении хвоща в сообщество манника, о наличии фрагментов ассоциаций манника в сообществе хвоща наводит на мысль о том, что летом 1959 г. на мелководьях Шонинского плеса происходило наступление участков ассоциаций хвоща на участки ассоциаций манника.

Каемчатая граница. Иногда сообщество хвоща отделено от сообщества манника широкой переходной полосой. Она очень пятниста и неоднородна. Ширина ее достигает 15 м. В пределах полосы возрастает количество жерушника земноводного, который в рассматриваемых сообществах встречается единичными экземплярами. Характерно также, что на ней появляются виды, которых нет ни в одном из граничащих сообществ, что и позволило отнести эти границы к каемчатому типу. Рассматривая

график (рис. 6), можно утверждать, что контактная полоса характеризуется чрезвычайной пятнистостью. При возрастании обилия одного вида сокращается обилие другого. Кривая изменения числа побегов манника прерывается в местах резкого возрастания плотности хвоща.

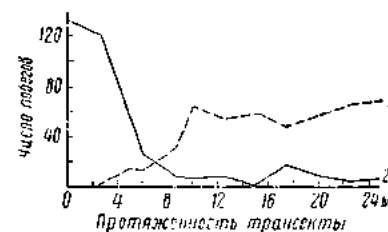


Рис. 7. Количественные соотношения хвоща (1) и манника (2) в контактной полосе в случае, близком к мозаичному и каемчатому типам границ.

Б. А. Быков (1957) выделяет два типа изменения границ: диффузное (обсеменение территории) и фронтальное (наползание эдификатора или субэдификатора). В данном случае происходило фронтальное изменение границ и захват территории участками ассоциаций хвоща за счет участков ассоциаций манника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В некоторые годы на Иваньковском водохранилище в течение вегетационного периода наблюдается небольшой спад воды. Это явление дает возможность сообществам прибрежно-водной растительности в летнее время расширять свою площадь за счет территории, занятой другими ассоциациями, стоящими более низко в экологическом ряду. Благодаря этому в экологических рядах по берегам Иваньковского водохранилища нередко происходит паложение одной ассоциации на другую. Вследствие проникновения ассоциации с господством *Equisetum fluviatile* на территорию соседних сообществ наблюдается растянутый переход от одной ассоциации к другой. Эти переходные формы растительного покрова затрудняют установление четких границ между классификационными единицами более высокого порядка, чем ассоциация.

Захват сообществами хвоща территории, ранее занятой ассоциациями манника, подтверждается:

- а) преимущественным проникновением побегов хвоща в сообщества манника;
- б) изреживанием сообществ манника, место которого занимает хвощ;
- в) сохранением в контактной полосе среди побегов хвоща некоторых видов, характерных для сообществ манника;
- г) жизненным состоянием корневищ хвоща в сообществе манника и отмиранием корневищ манника в сообществе хвоща.

Граница между сообществами хвоща и манника имеет в разных случаях различный характер, изменяясь от вполне редкой до пятнистой. В последнем случае контактная (переходная) полоса становится очень широкой, включая иногда новые переходные формации.

ЛИТЕРАТУРА

- Быков Б. А. 1957. Геоботаника. Изд. АН Каз. ССР, Алма-Ата.
 К а т а л с к а я В. М. 1956. Методика исследований высшей водной растительности. Жизнь пресных вод СССР, т. IV, Изд. АН СССР, М.—Л.
 И п ц е н к о А. А. 1948. К вопросу о границах растительных ассоциаций в природе. Ботан. журн., № 5.

ОСНОВНЫЕ ТРОФИЧЕСКИЕ СВЯЗИ В ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Несколько лет тому назад (Мордухай-Болтовской, 1958) была опубликована статья по вопросу о биологической продуктивности Рыбинского водохранилища. В этой статье показаны особенности в составе и распределении организмов и на основании имевшихся в то время предварительных данных об условиях питания основных групп животных, высказаны предположения о причинах низкой продуктивности этого водоема.

За истекшие после этого годы Институтом биологии водохранилищ были собраны обширные материалы в других, в том числе и новообразовавшихся, водохранилищах Волги. Они показали, что, несмотря на их различия, все эти водоемы имеют много общего в экологических условиях и в составе, закономерностях распределения и динамики фауны беспозвоночных.

Проводившиеся одновременно (начиная еще с 1956 г.) в Рыбинском, Куйбышевском, отчасти Горьковском и Иланьковском водохранилищах исследования по биологии и, в частности, по питанию массовых беспозвоночных позволили выяснить или уточнить трофические связи между ними и другими организмами или органическими веществами. Хотя исследования по питанию и пищевым взаимоотношениям беспозвоночных далеко еще не закончены, в настоящее время уже можно считать, что основные трофические связи их в общих чертах выяснены и во всех изученных волжских водохранилищах они очень сходны. Вследствие этого главное направление процесса биологического продуцирования, определяемое характером пищевых взаимосвязей организмов, должно быть одним и тем же. Предположение о том, что продукционный процесс в Рыбинском водохранилище по сравнению с крупными естественными водоемами отличается определенными особенностями, подтвердилось, и это оказалось возможным распространить на другие водохранилища Волги.

Чтобы показать, в чем заключаются эти особенности, я рассмотрю здесь трофические связи беспозвоночных, так как эта часть населения имеет наиболее сложные связи с различными звеньями продукционного процесса. Пищевые взаимоотношения и связи рыб для рассматриваемого вопроса не играют важной роли. Значение рыб, как фактора, влияющего на количество беспозвоночных, далеко не так велико, как принято считать. Рыбы в волжских водохранилищах по отношению к беспозвоночным являются в общем хищниками, хотя некоторыми из них, в частности лещом (Житенева, 1958), используется детрит или растительные остатки, они должны считаться второстепенными объектами питания. Однако потребляемая рыбами продукция беспозвоночных сравнительно невелика, и ниже я постараюсь показать, что на численность беспозвоночных гораздо большее влияние, чем рыбы, должны оказывать хищные виды и группы беспозвоночных же.

Хищные беспозвоночные в волжских водохранилищах, как и вообще во внутренних водоемах, представлены большим числом

видов из различных систематических групп. Как и в других группах населения, наблюдается резкое различие в составе хищников открытых и прибрежных частей водоема.

В о т к р ы т о м водохранилище среди планктонных беспозвоночных хищничают многие. Из коловраток своеобразным хищником-фильтратором, точнее седиментатором, является *Asplanchna* (*A. herricki*, *A. priodonta*), создающая коловращательным аппаратом мощные токи воды, увлекающие не только коловраток, но и босмин и других мелких кладоцер; захватываемые же заодно водоросли и бактерии почти не усваиваются аспланхной (Трибуш, 1960; Сорокин и Мордухай-Болтовская, 1961).

Среди кладоцер хищники — *Leptodora* и *Bythotrephes*, уничтожающие главным образом кладоцер, не имеющих плотной раковинки (Мордухай-Болтовская, 1958, 1960). Эти рачки высасывают добычу, поэтому состав их пищи можно было установить только путем экспериментов, которые позволили также вычислить, что в июле—августе в Рыбинском водохранилище они уничтожают в 9—12 раз больше других рачков, чем молодь судака.

Среди копепод в открытых частях водохранилищ хищничают циклопы *Mesocyclops leuckarti*, *Acanthocyclops viridis* (последний держится в придонных слоях), а также, вероятно, *Cyclops kolensis*. Они питаются, как и хищные кладоцеры, высасывая добычу, главным образом личиночными стадиями копепод — циклопид и диаптомид, и мелкими кладоцерами; опыты показывают, что водоросли ими не усваиваются, а бактерии почти не улавливаются (Монаков, 1958; Монаков и Сорокин, 1959). Количество циклопид больше, чем лептодор и битотрефов, и хотя их рацион меньше, они истребляют в общем не меньше, а, вероятно, больше последних. Отношения хищника и жертвы возникают и между ними: крупные лептодоры пожирают мелких циклопов, и наоборот. Так как мальки судака, истребляющие гораздо меньше планктона, чем одни хищные кладоцеры, составляют значительную часть молоди рыб в Рыбинском водохранилище, можно не сомневаться в том, что все хищные беспозвоночные истребляют гораздо больше других планктонных беспозвоночных, чем молодь рыб. Вероятно, то же имеет место и в других волжских водохранилищах, так как везде обитают те же планктонные хищники и состав ихтиофауны сходен. При более благоприятных, чем в Рыбинском водохранилище, условиях питания рыб они (лещ, молодь судака и окуня) используют в большей степени бентос и молодь других рыб (или раньше переходят на них) и, таким образом, роль рыб в истреблении планктона становится еще меньшей.

Из донных беспозвоночных хищники — пиявки и некоторые личинки тендипедид. Пиявки *Herpobdella* (*H. octoculata*, *H. testacea*) и *Helobdella stagnalis* потребляют почти всех донных беспозвоночных, особенно тендипедид (Луферов, 1961). Из тендипедид широко распространенные *Cryptochironomus* ex. gr. *defectus*, по всей видимости, специализируются на питании олигохетами, в основном тубифицидами. Другие еще более распространенные и многочисленные формы — *Procladius* (несколько видов) — имеют более широкий пищевой спектр: тубифициды, остракоды, донные кладоцеры, но во всех волжских водохранилищах в их пище преобладают тендипедиды, особенно мотыль *Tendipes plumosus* (Луферов, 1957, 1958). Расчеты показывают, что находящиеся на площади 1 м² личинки *Procladius* в летнее время уничтожают приблизительно в 100 раз больше личинок мотыля (*Tendipes plumosus*), чем находящиеся на той же площади взрослые лещи. Лещ же — один из наиболее крупных и многочисленных бентофагов. К числу бентофагов относятся также густера, ерш, окунь, отчасти плотва, налим, так что общее количество потребляемых рыбами донных беспозвоночных значительно больше. Но общее количество

их, потребляемых хищными беспозвоночными, окажется еще больше, если учесть деятельность более крупных, чем прокладий, *Cryptochironomus* и пиявок, а также не изучавшихся еще в отношении питания других хищников (клещей, некоторых других тензипедид и придонных циклопов).

Таким образом, и на дне волжских водохранилищ основную массу бентоса потребляют не рыбы, а хищные беспозвоночные.

В прибрежной зоне водохранилищ в условиях защищенности от волнений развивается подная макрофлора и совершенно иная, чем в открытой области водоема, фауна. Здесь в планктоне хищничают, кроме аспланхнид, всеядные *Polyphemus pediculus*, потребляющие всевозможные объекты от детрита до кловраток и мелких кладоцер (Смирнова, 1960). Более ясно выраженными хищниками являются придонные циклопы — *Acanthocyclops viridis*, *Macrocyclops albidus*, пожирающие других циклопов, кладоцер, олигохет (наидид) и личинок тензипедид (Монаков и Сорокин, 1961). Основанные на экспериментальных данных расчеты показывают, что в прибрежной зоне Рыбинского водохранилища обитающие на 1 м² дна циклопы *Acanthocyclops viridis* потребляют в летние месяцы около 45 мг рачков (это соответствует 1500 полифемам или 900 дафниям) на 1 м² дна. Если рассчитать количество беспозвоночных, потребляемых молодой рыбой в прибрежной зоне этого водохранилища, то, по данным Д. А. Панова (1962), окажется, что оно выражается цифрой около 3 мг рачков на одного малька. Плотность населения мальков рыб здесь до сих пор не установлена; однако мы не сделаем большой ошибки, считая, что их в среднем несколько экземпляров на 1 м². Если принять для расчетов 5 экз. мальков на 1 м², то получим, что молодь рыб в летние месяцы потребляет в сутки 15 мг/м² и, следовательно, молодь всех рыб потребляет беспозвоночных в 3 раза меньше, чем один циклоп *Acanthocyclops viridis*. Но еще больше беспозвоночных поедает более многочисленный в прибрежной зоне циклоп *Macrocyclops albidus*, а, кроме того, в прибрежных зарослях обитает множество других хищных беспозвоночных. Из них хорошо изучена очень многочисленная личинка тензипедиды *Ablabesmyia* ex. gr. *tonilis*, питающаяся другими тензипедами, в меньшей степени фитомфильными кладоцерами (Луферов, 1957). Еще больше в зарослях водяных клещей, хищничают также все обитающие здесь гидры, пиявки, жуки, личинки стрекоз и даже одно из растений — пузырчатка (*Utricularia*).

Совершенно ясно, что в прибрежной зоне всех водохранилищ хищные беспозвоночные уничтожают во много (вероятно, в сотни раз) больше других беспозвоночных, чем рыбы.

Эти, хотя бы и очень приблизительные, расчеты и примеры хорошо показывают, какое мощное дополнительное звено в круговороте веществ между рыбами и «мирными» беспозвоночными образуют хищные беспозвоночные. Огромная армия хищных беспозвоночных, очевидно, истребляет значительно большую, если не сказать подавляющую, долю кормовой базы рыб, хотя вместе с тем и сама является частью этой кормовой базы. Но такой вывод не должен вызывать удивления, если вспомнить, что в общем и среднем численность беспозвоночных во много раз больше численности рыб.

Такое же соотношение получится, если сопоставить численность беспозвоночных с численностью потребляемых ими бактерий или водорослей: первых — сотни и тысячи, вторых — вообще миллионы на 1 м² или 1 м³. Численность же рыб — единицы на 1 м² или 1 м³.

Вследствие этого эффект выедания беспозвоночных рыбами в большинстве случаев не замечается и даже не может быть замечен.

В самом деле, какое влияние на численность, скажем, мотыля может оказать лещ, если прокладий уничтожает в сто раз больше мотылей? Выедание беспозвоночных вообще имеет место, численность их от этого

может заметно понизиться, но главным образом за счет выедания их не рыбами, а хищными беспозвоночными. При изучении динамики популяции беспозвоночных в водоемах наблюдающиеся понижение численности или биомассы многие авторы объясняют выеданием их рыбами. Мне кажется, что такое объяснение вообще неправильно; в подавляющем большинстве случаев (если, конечно, отвлечься от неизбежных колебаний, вызванных несовершенством методики количественного учета) имеют место или явления естественного отмирания или уничтожения популяции хищными беспозвоночными, на фоне которого деятельность рыб просто не замечается.

Н е х и щ н ы е б е с п о з в о н о ч н ы е по числу видов значительно преобладают над хищными.

В о т к р ы т ы х ч а с т я х волжских водохранилищ в планктоне к этой группе относятся несколько видов коловраток и низших рачков. Коловратки — главным образом виды *Keratella*, *Polyarthra*, *Conochilus* — по характеру питания фильтраторы-седиментаторы, которые, судя по литературным данным, питаются наиболее мелким сестоном. Нами эта группа специально не изучалась. Значительно большую роль играют рачки. Главную часть биомассы зоопланктона составляют в волжских водохранилищах дафнии (*Daphnia longispina*, *D. cucullata*), босминны (*Bosmina coregoni*, *B. longirostris*), временами диаптомиды и циклопы. Относительно дафний известно, что они хорошо развиваются при питании мелкими планктонными водорослями (протококковыми, *Chlorella*), но еще лучше живут на одних бактериях (Родина, 1954). В опытах дафнии развивались на культурах как водорослей, так и бактерий (Монаков и Сорокин, 1961). Взятые же из природы, а именно из открытых частей Рыбинского и Горьковского водохранилищ, дафнии и босминны обычно содержали в кишечниках только неопределимые неокрашенные частицы; водорослевые же клетки почти не встречались даже в летние месяцы. Очевидно, они живут за счет бактерий или детрита.

Наузлиальные стадии всех копепод, как показывают опыты (Монаков и Сорокин, 1959; Маловицкая и Сорокин, 1961), также способны питаться бактериями и простейшими, но наузлики диаптомид еще лучше живут на протококковых. Взрослые диаптомиды (*Eudiaptomus gracilis*, *E. graciloides*) в опытах лучше всего усваивали водоросли — протококковых и мелких диатомей, хуже — бактериальные пленки и еще хуже — бактериопланктон. Однако взятые из открытого водохранилища (Рыбинского) диаптомусы только в июле—августе, в период сильного развития водорослей, содержали в кишечнике диатомей и протококковых, в остальные же месяцы — только неопределимые, скорее всего детритные частицы (Маловицкая, 1961).

Среди дождевых беспозвоночных в волжских водохранилищах преобладают детритофаги. Олигохеты, представленные главным образом тубифицидами *Limnodrilus newaensis*, *L. hoffmeisteri*, *Hyodrilus hammoniensis* и некоторыми другими, как известно, питаются органическим веществом ила. Они лучше всего живут на серых илах (без значительной примеси торфянистых частиц), где добывают пищу на глубине 2—5 см (Поддубная, 1961). Из моллюсков наиболее многочисленным в волжских водохранилищах сфиниды (виды *Sphaerium* и *Pisidium*). По устному сообщению В. И. Митропольского, кишечники сфинид из Куйбышевского и других волжских водохранилищ содержат исключительно детритные частицы. Часто встречающиеся в бентосе мелкие брюхоногие *Valvata piscinalis* и *Vithynia tentaculata* питаются главным образом детритом, причем в значительной степени как фильтраторы-седиментаторы, осаждающие из воды сестон (Цихон-Луканица, 1961). В некоторых волжских водохранилищах — Куйбышевском, Иваньковском и Угличском — в больших количествах развивается дрейссена (*Dreissena polymorpha*). Этот моллюск, как известно,

относится к числу очень тонких седиментаторов, осаждающих мельчайшие сестонные частицы (детрит, фитопланктон, бактерии). В Куйбышевском водохранилище, по С. М. Ляхову (1962), она потребляет живой и отмерший фитопланктон; однако не выяснено, как они усваиваются.

Основная форма тендипедид на дне всех волжских водохранилищ — мотыль *Tendipes plumosus*. Из литературы известно, что мотыль может жить на одном бактериальном питании. При этом по характеру питания это преимущественно фильтратор (Шилова, 1958). По наблюдениям в Рыбинском водохранилище, у личинок *Tendipes plumosus*, взятых в природе, в кишечниках около 70% составлял детрит, около 25% — водоросли и около 5% — бактерии (Марголина, 1961). Если учесть, что по опытам живые водоросли (протококковые) мотылем почти не усваиваются (Сорокин и Мешков, 1958), преобладание детрита в пище станет еще более резким.

В п р и б р е ж н о й з о н е в планктоне преобладают из нехищных форм мелкие дафнии *Ceriodaphnia*, босмины (*Bosmina longirostris*, *B. coregoni*). Их питание здесь специально не изучалось, но, по-видимому, сходно с питанием дафний. Значительно больше кладоцер среди зарослей и в придонных слоях, особенно *Simoccephalus*, *Sida* и различных хидрид и макротрицид. Хидриды и макротрициды, по наблюдениям в водоеме и лабораторным опытам, питаются почти исключительно детритом. У одного из наиболее крупных и массовых видов *Euryceerus lamellatus* в содержимом кишечника водоросли составляют часто 15—20%, однако этот вид, как и другие хидриды, на культурах водорослей не размножается и в конце концов погибает (Смирнов, 1962).

Не менее важную роль в прибрежной зоне играют фитофильные (и отчасти литофильные) личинки тендипедид, особенно *Endochironomus*, *Glyptotendipes*, *Tanytarsus*, *Psectrocladius*, *Cricotopus*. Это преимущественно фильтраторы-сестофаги, отчасти даже всеядные формы, а последние два с наклоном к временному хищничеству (Константинов, 1958; Калугина, 1960; Шилова, 1955). В кишечнике населяющих прибрежную зону Рыбинского водохранилища видов *Glyptotendipes glaucus* и *Endochironomus albirennis* содержатся различные водоросли и частицы детрита, но последние преобладают; это наблюдалось и у живущих на грунте *Gl. pallens* (Константинов, 1958). Личинки первых двух видов, по наблюдениям В. С. Луканина, интенсивно отфильтровывают в опытах из взвеси клетки протококковых *Scenedesmus*, но, по всей видимости, не переваривают их, так как клетки выходят из кишечника личинок неизмененными.

Массовое развитие в прибрежных зарослях волжских водохранилищ дают брюхоногие моллюски, особенно катушки (*Planorbidae*) и мелкие прудовики (*Radix*). По литературным данным (Цихон-Луканина, 1958), эти формы вообще питаются в основном отмершими макрофитами. Один из наиболее распространенных в прибрежье Рыбинского водохранилища видов катушек *Gyraulus albus*, так же как и очень многочисленная здесь затворка *Valvata pulchella*, по Е. А. Цихон-Луканиной (1961), в опытах не трогают живых макрофитов, но охотно питаются остатками отмерших растений, бесформенным детритом, а *Gyraulus* — также эпифитными диатомовыми.

На основании всего изложенного можно составить схему трофических связей основных групп водного населения друг с другом и с источниками пищи (см. рисунок). Схема передает существующее в водохранилищах положение в сильно упрощенном виде, так как она была бы слишком сложной и мало демонстративной, если бы были показаны все связи даже основных групп населения. На схеме ясно видно, что в пределах гетеротрофного звена или гетеротрофного уровня, создающего вторичную продукцию, можно различать три, так сказать, трофических ступени: мирные (хищ-

ные) беспозвоночные, хищные беспозвоночные и рыбы, среди которых тоже есть мирные и хищные.

Первая из этих ступеней — нехищные беспозвоночные, — вообще говоря, должна жить за счет создаваемой в водоеме первичной продукции, за счет водной растительности, создающей органическое вещество путем фотосинтеза при наличии биогенных солей.

Однако из вышеприведенного обзора легко видеть, что первичная продукция используется беспозвоночными чрезвычайно слабо. Живыми водорослями фитопланктона питаются, как мы видели, по имеющимся данным, лишь фитофильные тендипеды, дрейссены в летние месяцы, возможно,

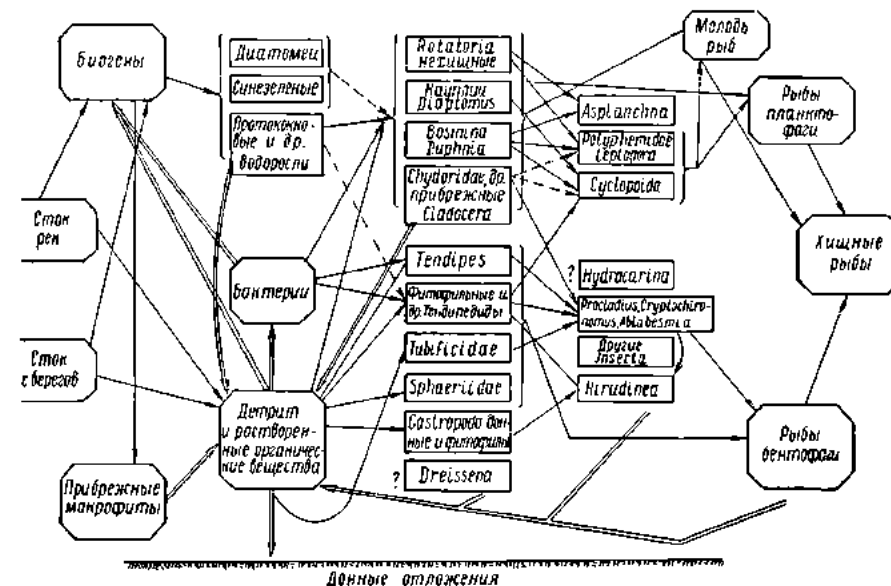


Схема основных трофических связей в волжских водохранилищах.

нехищные коловратки и дрейссена. Другими формами фитопланктон не используется или используется лишь в качестве примеси к другому корму. При этом в большинстве случаев остается недоказанным, усваиваются ли беспозвоночными заглатываемые водоросли.

Высшая же водная растительность (макрофиты) в водоемах, как это было показано многими авторами и недавно подтверждено Н. И. Кашкиным (1961), в живом виде используется беспозвоночными в ничтожной мере. Она принимает участие в процессе продуцирования в основном лишь после распада под влиянием гетеротрофных организмов (бактерий).

Почему же беспозвоночные слабо используют фитопланктон, являющийся, как известно, важнейшей кормовой базой для морского зоопланктона и многих дошлых беспозвоночных?

Продукция фитопланктона в волжских водохранилищах сравнительно высока. Даже в Рыбинском водохранилище с его низкой продуктивностью биомасса фитопланктона (средняя 5 г/м^3) и определенная радиоизотопным методом первичная продукция (Гусева, 1955; Сорокин, 1958) не могут считаться низкими. В других волжских водохранилищах биомасса фитопланктона выше: в Куйбышевском в летние месяцы в первый год — 16 г/м^3 , во второй — 6 г/м^3 , в Иваницком — $7.4\text{--}17.8 \text{ г/м}^3$ (Приймаченко, 1960). Это вполне соответствует сравнительно высокому содержанию биогенных солей в этих водохранилищах. Однако фитопланктон в этих

водохранилищах состоит главным образом из крупных диатомовых и синезеленых. Главную долю биомассы образуют диатомы *Melosira* (*M. italica*, *M. granulata*) и *Asterionella*, а во второй половине лета и в начале осени — синезеленые *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis*, *Coelosphaerium* и некоторые другие. В этом отношении Рыбинское водохранилище не представляет исключения и в упомянутой статье (Мордухай-Болтовской, 1958) я обращал внимание на то, что фитопланктон в нем по своему составу имеет низкую кормовую ценность для беспозвоночных. Указанные диатомы — крупные колониальные формы, как правило, не используемые беспозвоночными фильтраторами, синезеленые же водоросли, по наблюдениям и данным многих авторов (Гаевская, 1948, и др.), обычно плохо усваиваются в живом виде животными. Из фитопланктона беспозвоночными фильтраторами лучше всего используются мелкие диатомы, перидиниевые и зеленые, особенно протококковые. На последних (в частности, *Chlorella*, *Scenedesmus*) хорошо живут в опытах дафнии, диаптомиды и другие фильтраторы. Но таких водорослей в волжских водохранилищах относительно мало. В больших количествах протококковые, перидинии и поливоксые встречались в Горьковском водохранилище в начале лета 1956—1957 гг., в проточных участках Куйбышевского — в 1957 г. и в защищенных от волнения, но не густо зарастающих участках прибрежной зоны Рыбинского водохранилища (Приймаченко, 1959, 1960). Иначе говоря, значительное развитие кормового для беспозвоночных фитопланктона наблюдается лишь в некоторых местах и по временам не обеспечивая благоприятных условий питания беспозвоночных вообще.

Общая биомасса фитопланктона без указаний на его состав, как и данные о суммарной величине первичной продукции, недостаточны для заключений об условиях питания беспозвоночных. По первичной продукции водоема нельзя судить о его вторичной продукции, а стало быть, и вообще о его биологической продуктивности.

В волжских водохранилищах основная масса пехинцых беспозвоночных, как мы видели, живет за счет бактерий и детритных частиц. Детрит поступает в водохранилища, как и в другие водоемы, в результате распада отмирающих организмов — высших растений, фитопланктона, зоопланктона и бентоса.

Мощным источником детрита в водоемах, как известно, являются высшие растения, произрастающие в прибрежной зоне. В водохранилищах с колеблющимся уровнем воды эта зона за время пребывания ее под водой зарастает водными и полуводными, за время обнажения — наземными макрофитами. Отмирая и распадаясь, они производят огромные массы детрита, на котором развивается бактериальная флора. Именно поэтому прибрежная зона в защищенных от волнений и зарастающих районах в водохранилищах наиболее богата.

Отмирающий фито- и зоопланктон, конечно, тоже продуцирует детрит. При цветении водоема фитопланктоном образуются также большие массы детрита. Вероятно, в крупных водохранилищах планктон может продуцировать даже значительно больше детрита, чем прибрежные макрофиты. Однако этот планктонный детрит, по данным многих авторов (Ленина, 1950, и др.), весьма быстро минерализуется, часто даже не доходя до дна и не участвуя в плообразовании. В последнем должен участвовать детрит, получающийся от распада бентоса, но его значительно меньше, чем планктонного, так как продукция бентоса на 1 м², по крайней мере в летние месяцы, вероятно, во много раз меньше продукции планктона над тем же 1 м² дна.

В противоположность планкtonу остатки прибрежных макрофитов распадаются сравнительно медленно и сохраняются в грунтах в период обнажения прибрежья. Особенно долго сохраняется отмершая жесткая при-

брежно-водная и наземная растительность, обладающая более прочными механическими тканями и большим количеством лигнина. Как показал В. К. Горбунов (1953), распад перезимовавших отмерших тростников и ежеголовника происходит в основном лишь при затоплении их весной следующего года.

Однако продукты распада прибрежной макрофиты, по имеющимся наблюдениям, распространяются недалеко за пределы зоны прибрежных зарослей и не достигают открытых частей крупных водохранилищ. Во всяком случае в Рыбинском водохранилище не удается заметить влияния количества прибрежных зарослей (зависящего от уровня) в разные годы на количество планктона или бентоса в открытых частях (Мордухай-Болтовской, 1958). Вообще в крупных водохранилищах с широкими плёсами и малоизрезанной береговой линией зона прибрежных зарослей развита слабо.¹

В открытых частях крупных водохранилищ беспозвоночные должны существовать за счет перичной продукции — фитопланктона, который, как мы видели, почти не используется, или за счет быстро минерализующихся продуктов распада планктона.

По всей видимости, именно этим и объясняется то, что в открытых частях водохранилищ фауна значительно беднее и их продукция гораздо ниже, чем в прибрежных. Особенно ясно видно это в Рыбинском водохранилище, где бентос в центральных областях водоема крайне беден, местами вовсе отсутствует.

Интенсивный продукционный процесс, приводящий к образованию более или менее высокой биомассы фауны, имеет место лишь в малых или узких водохранилищах или прибрежной зоне более крупных, т. е. в таких условиях, когда возможно обилие детрита.

Очевидно, основной путь, по которому идет процесс продуцирования в волжских водохранилищах, это — органические вещества детрита — беспозвоночные.

Уточняя, можно между этими двумя звеньями вставить еще бактерий, хотя они, собственно говоря, неотделимы от детрита.²

Это иной и более короткий путь, чем тот, по которому идет продуцирование в морях и многих глубоких озерах: биогены — водоросли (в основном фитопланктон) — беспозвоночные. Второй путь может еще удлиниться прибавлением дополнительного звена, если беспозвоночные потребляют не столько водорослей, как продукты их распада, т. е. водорослевый детрит и развивающиеся на нем бактерии.

При первом пути используется главным образом детрит, образующийся от распада прибрежной растительности; она может быть наземной или водной, но в обоих случаях вещества, за счет которых она развивается, поступают с берегов. К этому присоединяется детрит, приносимый с реками. В общем детрит имеет в основной массе аллохтонное происхождение.³

¹ В водохранилищах лесной зоны (Горьковское и особенно Рыбинское) в большом количестве распространён сфагновый детрит — продукт распада затопленных торфяников, но, несмотря на обилие в нем органических веществ, он почти не усваивается животными. Легко усвояемые вещества продуцируются прибрежной растительностью, но в количестве, очень незначительном по отношению к огромной акватории водохранилища. По-видимому, это относится и к крупным водохранилищам других бассейнов.

² Частицы детрита окружены огромными скоплениями бактерий, которые, возможно, и обуславливают его питательную ценность (Родина, 1948; Горбунов, 1953).

³ Приносимый реками детрит обладает, видимо, высокой питательностью, так как в крупных водохранилищах в районах впадения рек (в эстуариях), а в меньших по площади — по бывшим руслам, служившим путями следования речных вод, — бентос значительно богаче.

Важное принципиальное отличие второго пути заключается в том, что органические вещества водорослей, которыми питаются беспозвоночные, образуются в самом водоеме, и за счет биогенов, которые возникли здесь же в результате распада других беспозвоночных и водорослей. Иначе говоря, второй путь циклический, в то время как при первом циклическость, возврат веществ, отсутствует, так как продукционный процесс возможен только при постоянно возобновляющемся поступлении растительного детрита с прибрежья или из впадающих рек. Первый тип продуцирования в общем соответствует «поточному» типу, о котором писал В. А. Водяницкий (1953), считающий его характерным для рек. Несомненно он имеет более широкое распространение. Как видно по данным К. В. Горбунова (1953, 1958), именно по этому пути идет в основном процесс продуцирования в водоемах дельты Волги и даже прилегающих к нему частях Северного Каспия, где исходным звеном пищевых цепей служит преимущественно органическое вещество остатков высших растений. По этому пути идет продуцирование и в водохранилищах, по крайней мере на равнинных реках, и, вероятно, в большинстве временных водоемов, заливаемых на несколько месяцев разливающейся рекой в половодье (полон) или искусственно для рыбохозяйственных целей (пруды, рыбхозы).

При таком типе продуцирования в водохранилищах, хотя в открытых частях и осуществляется в какой-то мере обычный круговорот, скольконибудь значительная вторичная продукция может образоваться только за счет распада прибрежной растительности. Этим и объясняется не только богатство фауны в осушной зоне (в защищенных и зарастающих районах), но и высокая биологическая продуктивность водохранилищ в первый год заполнения, когда в воду поступают огромные массы детрита от затопленного наземного растительного покрова. По этой же причине значительные колебания уровня с ранним обнажением прибрежной зоны, успевающей сильно зарастать наземной флорой, должны способствовать повышению продуктивности водохранилищ, как и их вытянутая форма, узость и извилистая береговая линия (обуславливающие относительно большую роль прибрежной зоны и обилие зарастающих участков).

ЛИТЕРАТУРА

- Водяницкий В. А. 1953. О проблеме биологической продуктивности моря и ее значении для рыбного хозяйства. Тр. Всес. конф. по вопр. рыбн. хоз. в декабре 1951 г., М.
- Гаевская И. С. 1948. Трофологическое направление в гидробиологии, его объект, некоторые основные проблемы и задачи. Сб. памяти акад. С. А. Зернова. Изд. АН СССР, М.—Л.
- Горбунов К. В. 1953. Распад остатков высших водных растений и его экологическая роль в водоемах нижней зоны дельты Волги. Тр. Всес. гидробиол. общ., т. V.
- Горбунов К. В. 1958. Первичное звено пищевой цепи в низовьях дельты Волги. Тр. Астрахан. запovedн., вып. IV.
- Гусева К. А. 1955. Фитопланктон Рыбинского водохранилища (сезонная динамика и распределение его основных групп). Тр. Бюл. ст. «Борок» АН СССР, вып. 2.
- Жигарева Т. С. 1958. О питании леща в Рыбинском водохранилище. Тр. Бюл. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.
- Калугина И. С. 1960. Систематика и биология фитофильных хирономид Учинского водохранилища. Автореф. дисс. Моск. гос. ун-та.
- Кашкин И. И. 1961. О размерах использования высших водных растений некоторыми беспозвоночными — фитофагами. Тр. Мурм. мор. биол. инст., вып. 3 (7).
- Копестатников А. С. 1958. Биология хирономид и их разведение. Тр. Саратов. отд. Всес. н.-иссл. инст. озери. и реки. рыбн. хоз., т. 5.
- Лепнева С. Г. 1950. Жизнь в озерах. Жизнь пресных вод СССР, т. III. Изд. АН СССР, М.—Л.

- Ляхов С. М. 1962. Основные черты распределения бентоса в Куйбышевском водохранилище. Первое п.-техн. совещ. по вопр. изуч. Куйбыш. водохр., Тезисы докладов.
- Луферов В. П. 1957. Питание личинок *Ablabesmyia minilis*. ДАН СССР, т. 116, № 6.
- Луферов В. П. 1958. О пищевых связях хищных тензидеид в Рыбинском водохранилище. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 2.
- Луферов В. П. 1961. Особенности питания молодежи окуня в Рыбинском водохранилище. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 8-9.
- Маловицкая Л. М. 1961. Основные черты биологии диаптомид *Eudiaptomus gracilis* и *E. graciloides*. Автореф. дисс. Зоол. инст. АН СССР.
- Маловицкая Л. М. и Ю. И. Сорокин. 1961. Экспериментальное исследование питания *Diaptomidae* с помощью C^{14} . Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4 (7).
- Марголина Г. Л. 1961. К вопросу о питании *Tendipes plumosus* в Рыбинском водохранилище. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4 (7).
- Моцаков А. В. 1958. Основные черты биологии циклопов *Acanthocyclops viridis* и *Mesocyclops leuckartii*. Автореф. дисс. Зоол. инст. АН СССР.
- Моцаков А. В. и Ю. И. Сорокин. 1959. К вопросу об усвоении циклопами протоконковых водорослей. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 3.
- Мордухай-Болтовская Э. Д. 1958. Предварительные данные по питанию хищных клadoцер *Leptodora kindtii* и *Bythotrephes* Рыбинского водохранилища. ДАН СССР, т. 122, № 4.
- Мордухай-Болтовская Э. Д. 1960. О питании хищных клadoцер *Leptodora* и *Bythotrephes*. Бюлл. инст. биол. водохр. АН СССР, № 6.
- Мордухай-Болтовской Ф. Д. 1958. К вопросу о продуктивности Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.
- Мордухай-Болтовской Ф. Д. 1961. Процесс формирования бентоса в Горьковском и Куйбышевском водохранилищах. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4 (7).
- Мордухай-Болтовской Ф. Д., Э. Д. Мордухай-Болтовская и Г. Я. Яновская. 1958. Фауна прибрежной зоны Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.
- Павлов Д. А. 1962. Условия питания личинок некоторых видов рыб в Рыбинском водохранилище. Вопросы экологии, т. V.
- Поддубная Т. Д. 1961. Материалы по питанию массовых видов тубифидид Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4 (7).
- Приймаченко А. Д. 1959. Фитопланктон прибрежной зоны Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 1 (4).
- Приймаченко А. Д. 1960. Состав и основные закономерности распределения биомассы фитопланктона в водохранилищах равнинных рек СССР. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 3 (6).
- Родина А. Г. 1948. Роль бактерий в питании *Cladocera*. Тр. Зоол. инст. АН СССР, т. VII.
- Родина А. Г. 1954. Бактерии, как пища водных животных. Природа, № 10.
- Романова Г. П. 1958. Питание сегодетков судака в Рыбинском водохранилище. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.
- Смирнов И. П. 1962. К экологии прибрежных листоногих ракообразных восточноевропейских водохранилищ. Вопросы экологии, т. V.
- Смирнова Т. С. 1960. Некоторые данные по биологии *Polyphemus pediculus* L. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 7.
- Сорокин Ю. И. 1958. Первичная продукция органического вещества в водной толще Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.
- Сорокин Ю. И. и А. М. Мешков. 1958. Применение радиоактивного углерода C^{14} для определения усвояемости протоконковых водорослей мотылями *Tendipes plumosus*. ДАН СССР, т. 118, № 1.
- Сорокин Ю. И. и Э. Д. Мордухай-Болтовская. 1961. Изучение питания *Asplanchna priodonta* и *A. berricki* с помощью C^{14} . Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 10.
- Трибуш Т. М. 1960. Некоторые наблюдения над коловратками семейства *Asplanchnidae* Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 6.
- Цихон-Лукашина Е. А. 1958. Питание некоторых пресноводных *Castro-poda*. Тр. Моск. рыбн. вуза, т. IX.
- Цихон-Лукашина Е. А. 1961. К вопросу о фильтрационном способе питания у *Velutina tentaculata* и *Valvata piscinalis*. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 10.
- Шилова А. И. 1955. К вопросу о питании личинки *Cricotopus silvestris* в связи с характером строения ротового аппарата. ДАН СССР, т. 100, № 6.
- Шилова А. И. 1958. Материалы по биологии мотыля *Tendipes* Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ И ТЕМП РОСТА НЕВСКОГО ЛИМНОДРИЛА (*LIMNODRILUS NEWAENSIS* MICH., OLIGOSCHAETA, TUBIFICIDAE)

В литературе совершенно отсутствуют данные по росту пресноводных тубифицид. Выявление закономерностей роста и развития животных позволяет оценить продуцирование ими живого вещества в водоеме. Особую ценность такие данные имеют для крупных и массовых форм, какой во многих внутренних водоемах является невиский лимнодрил (*Limnodrilus newaensis* Mich.).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материала производился в 1960 г. на постоянной станции в Воицком плесе Рыбинского водохранилища на бывшем русле Волги (глубина 14 м), в месте скопления невиского лимнодрила. Черви отбирались каждую неделю с мая по октябрь включительно, т. е. в течение пяти месяцев. Орудием сбора служили дночерпатели Эймана—Бердза площадью $1/25$ м². В каждый выезд бралось на станцию 10 проб. В количественных пробах устанавливалось процентное соотношение различных размерных групп *L. newaensis* путем определения индивидуального живого веса всех червей, который и был взят в основу характеристики роста.

Необходимо отметить, что по сборам дночерпателя довольно трудно судить о возрастном составе популяции, так как не все возрастные группы червей полно представлены в пробах. Это связано, вероятно, с неравномерным распределением тубифицид даже в пределах одного бьотона и одного бьотоннозона (Мордухай-Болтовской и Поддубная, 1958). Однако, несмотря на это, принятая методика сбора материала: постоянство станции, частота наблюдений и специфика грунтов водохранилища, имеющих наибольшую мощность и хорошо обламывающихся дночерпателем, — все это, на наш взгляд, давало возможность судить о соотношении в популяции различных размерных групп (по весу) и проследить по ним основные изменения темпа роста червей.

В результате постоянно наблюдающейся у *L. newaensis* в естественных условиях аутогамии (Поддубная, 1959а) 50% червей в пробах имели оторванные хвостовые концы. Для того чтобы оценить темп роста поврежденных животных, нам пришлось прибегнуть к восстановлению веса по имеющимся головным концам. С этой целью использовались морфологические признаки, коррелирующие с весом животного: наибольшая толщина тела, приходящаяся обычно на область генитальных сегментов (10—14), и длина брюшных щетинок переднего отдела тела.

Вес определялся по живым червям, предварительно выдержанным в чистой воде из водохранилища в течение нескольких часов для освобождения кишечника от грунта. Одноразмерные мелкие особи взвешивались группами, затем вычислялся средний вес одного червя. Прежде чем произвести промеры тела червей, они фиксировались очень слабым (10—15%) этиловым спиртом. Такая предварительная фиксация предотвращала ненормальное сокращение мускулатуры, обычно сопровождающее фиксацию. Черви находились в таком растворе до полного прекращения движения и потери реакции на прикосновение. После этого производились измерения толщины и длины тела и щетинок.

Для восстановления веса по головным концам был определен вес 285 неповрежденных живых червей различных размеров. У каждого из них под микроскопом были определены размеры щетинок, предварительно вычищенных из сегментов переднего отдела тела — из IV сегмента (рис. 1). Толщина тела червя измерялась под бинокляром (МБС-1). Веса всех обработанных таким образом червей были разбиты на классы с классовыми промежутками в 10 мг для взрослых и 5 мг для молодых. На каждую весовую группу или класс приходилось в разные сроки сбора проб от 10 до 25 экз. В пределах каждого класса вычислялся средний вес одного червя, соответствующие средние размеры щетинок и толщина тела. Полученные данные представлены на рис. 2

и 3, показывающих зависимость между весом червя, длиной щетинок и толщиной тела. Зависимость между весом червя и длиной щетинок четко проявляется у неполовозрелых особей, поэтому определение веса молодых червей не представляет трудности и дает более точные результаты. У половозрелых рост щетинок замедляется, и при восстановлении веса по обрывкам получаются приближенные данные. Толщина тела продолжает увеличиваться с возрастом и у половозрелых червей. Толщина щетинок также увеличивается по мере роста червя, что хорошо выражено у молодых особей весом до 30 мг. У половозрелых толщина щетинок увеличивается, но амплитуда колебаний веса червей, имеющих одинаковую толщину щетинок, резко возрастает — при росте тела ще-



Рис. 1. Щетинка из брюшного пучка IV сегмента.

d — диаметр щетинок, l — длина щетинок.

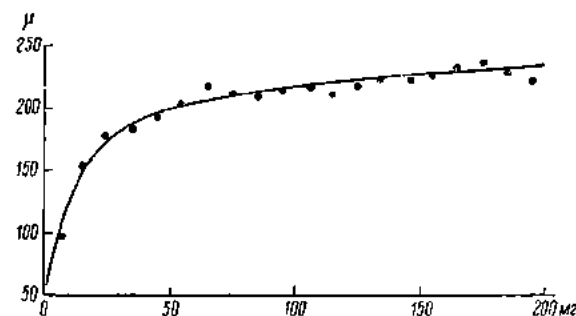


Рис. 2. Соотношение длины щетинок и живого веса невисского лимнодрила.

тинки некоторое время остаются одной и той же толщины, поэтому для восстановления веса тела по фрагментам этот признак нами не используется. Вместе с тем толщина щетинок червя является показателем, который строго следует за развитием червя: до половозрелости толщина щетинок 3—6 м, во время начала созревания толщина 7.5—9 м, во время начала размножения 9—12 м.

После измерения длины щетинок переднего отдела тела и диаметра головного конца (предварительно фиксированного спиртом 10%, как было указано выше) вес фрагмента восстанавливался до веса целого червя по кривым (рис. 2, 3). Для уменьшения ошибки при определении веса таким способом во всех случаях определения произво-

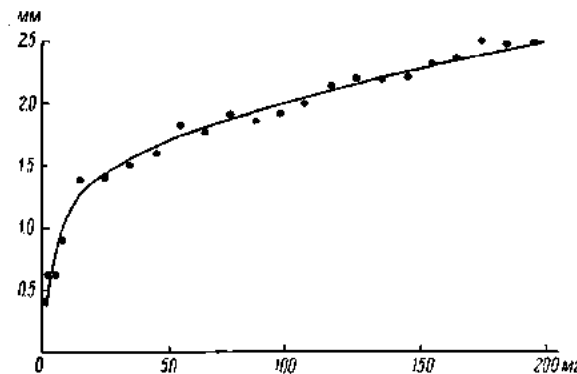


Рис. 3. Соотношение толщины тела (область генитальных сегментов) и живого веса невисского лимнодрила.

дился по обоим показателям, а затем вычислялся средний вес. Для примера приведем восстановление живого веса по следующим обрывкам (головной конец):

	Живой вес по кривой
Длина щетинок IV сегмента 187 м	38 мг
Диаметр тела 1.5 мм	33 »
Длина щетинок IV сегмента 224 м	126 »
Диаметр тела 2.1 мм	124 »

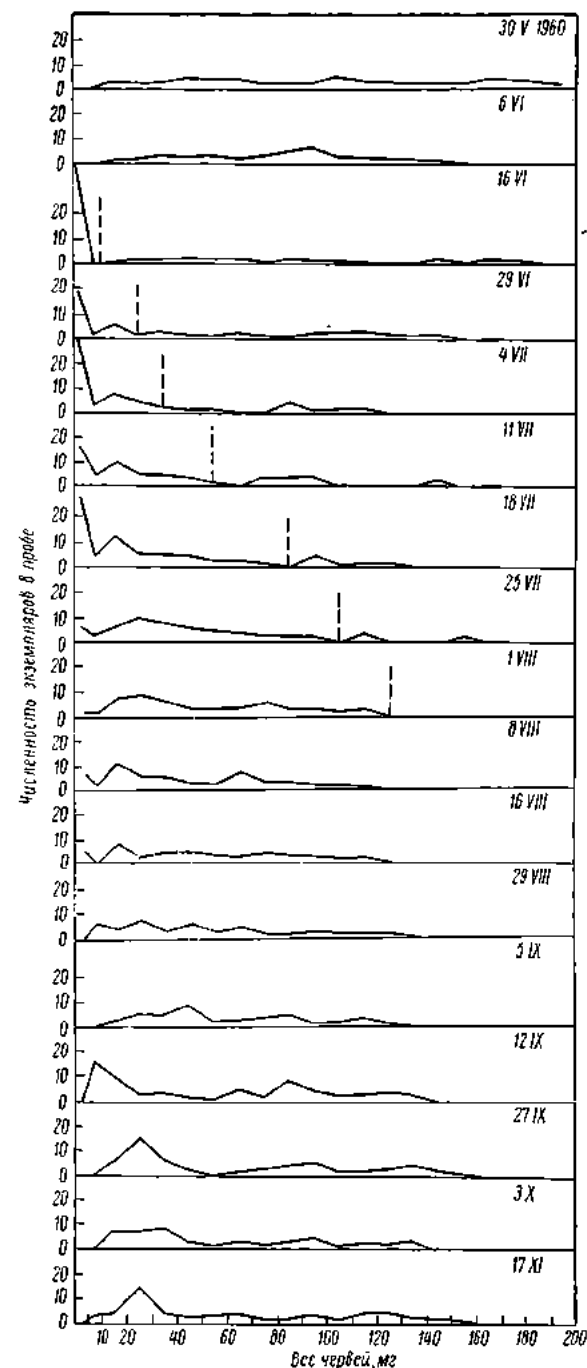


Рис. 4. Сезонная динамика количественных соотношений размерных групп нематоды *L. newae* в популяции на разрезе Борок—Коприно.

Пунктирная линия — предположительная граница между двумя генерациями 1959 и 1960 гг. рождения.

пробах, началось 30 мая и продолжалось по 25 июля. В течение всего периода размножения наблюдалось два четких пика в откладке коконов:

В большинстве случаев разница в весе, восстановленном по длине щетинок и по толщине тела червя, не превышала 10–20%. Примененный нами способ восстановления веса, конечно, приближенный и его можно рекомендовать применять лишь для тех видов, у которых в результате аутогонии, неизбежной при самой осторожной отщипке и разборке проб, преобладают разрывающие особи.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Для выяснения жизненного цикла нематоды было прослежено изменение соотношения в популяции различных размерных групп червей (по весу) за период от конца мая до середины октября 1960 г. (рис. 4). В мае и начале июня 1960 г. *L. newae* были представлены особями рождения 1959 г. Это были в основном (90%) половозрелые особи со сформированным или наметившимся пояском. Они составляли 90 экз./м² при биомассе 7,640 мг/м². Меньшую часть в пробе занимали молодые черви, не успевшие созреть осенью — 25 экз./м² при биомассе 40 мг/м². Средний вес одного взрослого червя с пояском равнялся 122 мг, незрелого червя — 24 мг. В целом вес червей колебался от 20 до 190 мг.

Поскольку начало и конец периода размножения хорошо улавливаются по наличию в пробах коконов, мы легко смогли установить появление новой генерации червей в водоеме.

Размножение в 1960 г., судя по времени появления первых коконов в

30 мая и 4 июля и один, выраженный слабо, 16 июня (рис. 5). Такая периодичность в откладке коконов, видимо, свойственна *L. newaensis*, так как в предыдущие 1957—1959 гг. у этого вида также наблюдалось два-три четко выраженных пика в откладке коконов (Поддубная, 1959б). Первый выход молоди в водоеме отмечался 16 июня, последний 16 августа (рис. 5). В выходе молоди из коконов также отчетливо выступают три пика. Молодые черви имели размеры 7—10 мм и вес 1.8—2.5 мг. Только что вышедшие из коконов черви, по наблюдениям в лаборатории, весят 0.8—1.5 мг и имеют длину 6—8 мм. Черви таких размеров в водоеме не улавливались.

Таким образом, с 15 июня популяция червей *L. newaensis* не была единой, а состояла из червей рождения 1959 и 1960 гг. Вес молоди не превышал 5 мг. При этом черви имели щетинки длиной 60—66 μ и толщиной 3 μ , в то время как минимальный вес червей рождения предыдущего 1959 г. был около 30 мг, они имели щетинки длиной от 135 до 180 μ и толщиной 6—7.5 μ . Оказалось возможным предположительно наметить границу между старой и новой генерацией (рис. 4). Уже 1 августа в пробах оставались единичные экземпляры половозрелых червей рождения 1959 г., а 8 августа популяция *L. newaensis* полностью состояла из червей рождения 1960 г. Изменения соотношения численности и биомассы червей при появлении новой генерации и отмирании старой показаны в табл. 1.

Осенью новая популяция *L. newaensis* состоит из червей различных возрастных групп (по весу) — от 10 до 160 мг. Это следствие очень растянутого периода размножения. Черви, выходящие из коконов уже в конце лета, к осени не успевают вырасти до размера взрослых. Они имеют вес около 10 мг, толщину щетинок 4.5 μ , длину от 90 до 135 μ . Эти молодые особи составляют 20% от общего количества червей в сентябрьских и октябрьских пробах. По пику численности (рис. 4, 12 сентября) их можно было бы отнести ко второй генерации данного года. Однако они имеют гораздо больший вес и размеры, чем черви, только что вышедшие из коконов: вес 1—2.5 мг, толщина щетинок 3 μ , длина 60 μ , т. е. являются последним

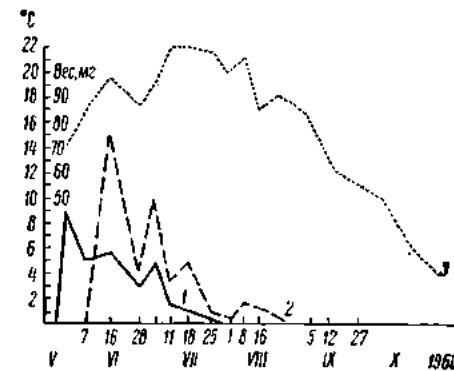


Рис. 5. Динамика численности коконов и молоди в водоеме.

1 — коконы; 2 — молодь; 3 — температура.

Таблица 1

Динамика возрастных групп в популяции *L. newaensis* (в %)

Дата	По числу экземпляров		По биомассе	
	черви рождения 1959 г.	черви рождения 1960 г.	черви рождения 1959 г.	черви рождения 1960 г.
16 VI	19.3	80.7	98.2	1.8
29 VI	39.1	60.8	93.6	6.4
4 VII	13.5	86.5	87.2	12.8
11 VII	13.7	82.3	84.0	16.0
18 VII	10.0	90.0	82.7	17.3
25 VII	7.6	92.4	74.2	25.8
1 VIII	2.1	97.9	69.3	30.7
8 VIII	0	100	0	100

потомством от поздно созревших червей предыдущего года рождения. Большую часть в осенних пробах (80%) составляют созревшие черви. Только в конце сентября появляются особи с заметными поясками — 20% от общего числа червей в пробах. Их максимальный вес 160 мг, длина щетинок колеблется от 180 до 210 μ , а толщина 9 μ . 60% червей в пробах не имеют поясков — это созревающие черви со средним весом 80 мг. Длина их щетинок колеблется от 150 до 180 μ , толщина 6—9 μ .

Для характеристики темпа весового роста *L. newaensis* на рис. 6 представлены кривые изменения среднего веса одного червя в пробе за период с середины мая до середины октября. Уменьшение среднего веса червей рождения 1959 г. (рис. 6, *P*) в период с 30 мая по 7 июня, с 16 июня по

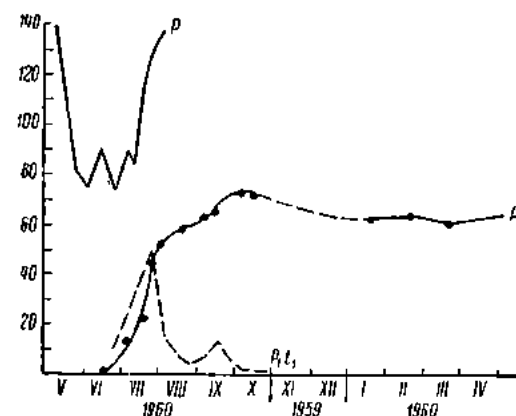


Рис. 6. Сезонные изменения среднего веса одного червя в популяции *L. newaensis* на разрезе Борок—Копринно.

P — рост червей рождения 1959 г.; *P*₁ — рост молодых червей рождения 1960 г.; *P*_{1,1} — декадные приросты веса.

числены декадные приросты (рис. 6). Наиболее интенсивный рост происходит в первые 40 дней после выхода, затем кривая резко снижается, идет на низком уровне в августе и вновь повышается в сентябре. Снижение весовых приростов в августе происходит не под влиянием каких-либо внешних факторов, так как условия обитания червей в это время наиболее благоприятны, а связано с тем, что в течение июля и первой половины августа продолжается интенсивное появление молодых. Это иллюстрирует рис. 7, где указан средний вес червей, сгруппированных в классы по толщине щетинок. Изображенная на рис. 6 кривая роста червей рождения 1960 г. здесь как бы раскладывается на две кривых, показывающих рост червей, вышедших из коконов в первый массовый выклев 16 июня, и предпоследний — 8 августа (рис. 5). Здесь же показаны и приросты для этих групп червей. Разложение кривой на ее составные части произведено путем разделения червей новой генерации *L. newaensis* в каждой пробе на две группы по морфологическим признакам (толщина щетинок и наибольшая толщина тела). Для каждой группы в пробе вычислена средняя арифметическая веса одного червя. По этим средним весам и были построены кривые роста для молодых первых и последних выходов из коконов. Можно видеть, что темп роста наиболее высок в первый месяц жизни и приросты следуют за изменением температуры воды у дна. С понижением температуры в середине августа начинает снижаться и темп роста, достигающий минимума в октябре. Черви, вышедшие из коконов раньше (16 июня),

находит объяснение в происшедшем в эти периоды размножении и выпадении из состава популяции наиболее крупных половозрелых особей, которые погибают после размножения. Плавное и интенсивное нарастание веса происходит в июле за счет роста тех червей, которые в мае были еще неполовозрелыми. К августу они созревают и откладывают коконы.

На рис. 6 *P*₁ характеризует рост молодых червей генерации 1960 г. Можно видеть, что нарастание массы тела происходит с момента выхода до конца сентября. Зимой черви не растут, вес их тела даже несколько снижается.

Для оценки возрастных изменений темпа нарастания веса вы-

имеют более высокий темп роста. Они к осени достигают веса в среднем 100 мг, созревают, образуют пояски и, видимо, первыми участвуют в размножении весной следующего года. У червей, вышедших из коконов в августе, темп роста более низкий, средний вес их 28 мг. Эта часть генерации не успевает созреть к осени, зимует, интенсивно растет весной следующего года и размножается в середине лета. При сопоставлении рис. 6 и 7 очевидно, что летнее снижение приростов, показанное на первом из них, вызвано появлением мелких особей более позднего выхода. Абсолютные весовые приросты у молодежи, рано вышедшей из коконов (рис. 7, P), наиболее высоки в первый месяц жизни, а затем начинают снижаться в связи с началом созревания червей.

Относительные приросты веса, выраженные в процентах, максимальные в первые 20 дней роста, а затем также снижаются (табл. 2).

Суждение о темпе линейного роста *L. newaensis* представилось возможным получить только на основании замеров неповрежденных червей новой генерации, встреченных в пробах с июля по сентябрь (табл. 3).

Можно видеть, что интенсивный рост у ранней молодежи происходит в возрасте до 50 дней, а затем он почти полностью прекращается. Максимальные приросты длины наблюдались между 30 и 40 днем жизни (температура воды у дна в это время была максимальной — 21°). Молодь позднего выклева растет медленно, что связано с понижением температуры воды в водохранилище во второй половине августа и начале сентября.

Параллельно с наблюдениями в природе для рассмотрения темпа весового и линейного роста *L. newaensis* были привлечены данные опытов, проведенных в садках и аквариумах. Садками служили стеклянные сосуды емкостью 0.5 л, заполненные отмытым от животных серым илисто-песчаным грунтом.

В каждый сосуд помещалось по 20 червей, только что вышедших из коконов, которые были собраны в водоеме во время массового размножения и доведены до выхода из кокона в лаборатории. Сосуды с червями затягивались сверху шелковым газом № 23 и помещались на дно полупроточного пруда площадью около 500 м² и глубиной 2 м. Кассеты с сосудами погру-

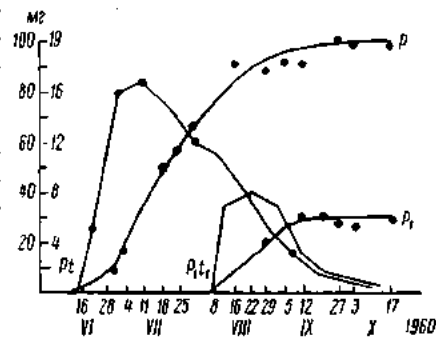


Рис. 7. Сезонное изменение среднего веса червей рождения 1960 г., вышедших из коконов 16 июня и 8 августа.

P — рост червей, вышедших из коконов 16 июня; P_t — прирост веса тела; P_{t_1} — рост червей, вышедших 8 августа; P_{t_1} — прирост веса тела.

Таблица 2

Абсолютные и относительные приросты веса червей

Вес червей, мг		Продолжительность роста	Прирост веса	
исходный	конечный		в мг	в % к исходному весу тела
3	11	20 VI — 1 VII	8	266.6
13	32	1—10 VII	19	146.1
32	50	10—20 VII	18	56.2
50	65	20 VII—1 VIII	15	30.0
65	76	1—10 VIII	11	17.0
76	86	10—20 VIII	10	13.1
86	93	20 VIII—1 IX	7	8.1

Таблица 3

Длина тела и линейные приросты (в мм)

	Количество дней с момента выхода из коконов							Число взвешива- ров
	1	10	20	30	40	50	60	
Молодь выхода 16 VI:								
длина	6.5	16.0	26.5	39	55	62	63	31
линейные приросты . . .	9.5	10.5	11.5	16.0	7.5	0.5		—
Молодь выхода 8 VIII:								
длина	5.5	13.0	23.5	—	—	—	—	—
линейные приросты . . .	7.5	10.5		—	—	—	—	17

жалась таким образом, чтобы на поверхности ила оставалась лишь верхняя часть сосудов. Опыт длился 82 дня и был прекращен в результате выедания червей хищными тендипедами *Cryptochironomus* и *Procladius*, проникшими в сосуды через ячею газа. Температура воды во время опыта испытывала колебания, свойственные естественным условиям. Кислородный режим постоянно оставался благоприятным. Раз в месяц кассета с сосудами извлекалась из водоема, один из них вынимался, остальные опускались обратно. Черви, находившиеся в вынутом сосуде, измерялись и взвешивались. Результаты опыта представлены в табл. 4.

Таблица 4

Рост *L. newaensis* в садках

Дата	Длина, мм			Приросты длины		Вес, мг			Приросты веса		в колич- естве особей в опыте
	максимальная	минимальная	средняя	мм	%	максимальная	минимальная	средняя	мг	%	
10 VII	6.8	5.1	6.3			0.56	0.44	0.50			20
13 VIII	14.9	12.6	14.2	7.9	125.4	4.60	3.41	3.90	3.40	680	20
10 IX	21.0	18.2	19.7	5.5	38.7	13.00	10.01	11.10	7.20	184	20
2 X	28.0	23.1	26.3	6.6	33.0	18.00	16.00	17.10	6.00	54.0	20

Темп роста червей был сравнительно высоким в первые два месяца жизни (но ниже, чем в водохранилище), а затем резко снизился. Относительные приросты веса были выше линейных, снижение их в конце опыта значительнее. По мере роста червей резко усиливается размах колебаний их линейных и весовых показателей. Это явление может быть расценено как следствие наступления неблагоприятных условий питания в связи с понижением температуры, а также снижением пищевой ценности ила, в котором жили черви (Поддубная, 1961).

В лабораторных условиях черви, вышедшие из коконов в том же количестве, что и в садках, помещались в кристаллизаторы (диаметром 10 см и высотой 7 см), заполненные илесто-песчаным грунтом, свободным от животных. Во время опыта над илом поддерживался слой воды высотой 2—3 см. В первый месяц жизни черви взвешивались и измерялись через 10 дней. Одновременно производилась смена грунта. Позднее они бы-

пересажены в сосуды большего размера и во избежание лишнего травмирования (*L. newaensis* очень плохо живет в экспериментальных условиях) промеры производились 1 раз в месяц. Опыт проходил при температуре 14—19° в течение 370 дней. Данные по росту червей представлены на рис. 8. Увеличение размера животных наиболее интенсивно происходило в первые месяцы жизни в июле и августе, когда приросты были наивысшими. Затем линейные приросты начали равномерно снижаться и стабилизировались в конце марта следующего года в связи с созреванием червей. Линейный рост у зрелых особей продолжался с одинаковой интенсивностью до момента откладки коконов. Абсолютные приросты длины после созревания червей за последнюю декаду марта составили 0.6 мм, за весь апрель — 1.5 мм.

Темп весового роста в июле у молодых червей низкий, затем начинает быстро увеличиваться и остается высоким до конца опыта. Приросты веса за декаду с ноября по апрель почти одинаковы (3.5—3.8 мг). В момент созревания изменений весовых приростов не обнаруживается. Данные эксперимента интересны еще и в том отношении, что они дают представление о продолжительности жизни *L. newaensis*. Время, необходимое лимнодрилу для созревания в условиях опыта, исчисляется 10 месяцами. Опыт шел при постоянной высокой температуре, а поскольку в водоеме почти 6 месяцев в году температура воды близка к нулевой и черви не растут, то в природе этот период не может быть короче 6 месяцев.

С целью выяснения влияния качества ила (условий питания) на рост *L. newaensis*, кроме описанного, было проведено воспитание только вышедшей из коконов молодежи на торфянистом грунте, широко представленном в водохранилище, и переходном от торфянистого к илисто-песчаному, также имеющем широкое распространение в водоеме и заселенном тубифицидами. Опыт длился 61 день. Были выявлены некоторые различия в росте червей (табл. 5), подтверждающие установленную нами ранее (Поддубная, 1961) неравноценность указанных илов в пищевом отношении.

Темп линейного и весового роста червей, живших на торфянистом иле, оказался выше, чем на переходном, в первые 15 дней выращивания.

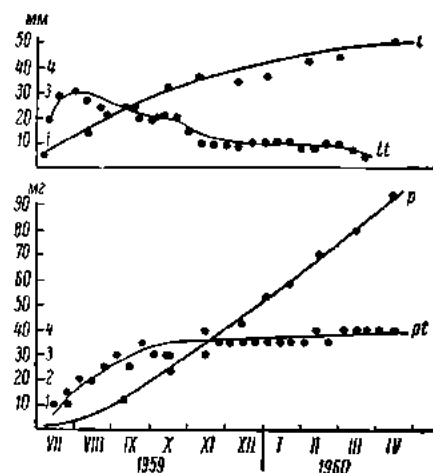


Рис. 8. Линейный и весовой рост *L. newaensis* в опыте.

l — линейный рост; lt — линейные приросты;
p — весовой рост; pt — весовые приросты.

Таблица 5

Рост *L. newaensis* на разных грунтах

Дата	Торфянистый ил				Переходный и илисто-песчаному				Серый илисто-песчаный				количество особей в опыте
	приросты длины		приросты веса		приросты длины		приросты веса		приросты длины		приросты веса		
	мм	%	мг	%	мм	%	мг	%	мм	%	мг	%	
8 VII—24 VIII	5.7	87.7	2.55	392.3	3.92	59.4	1.47	222.7	8.4	140	4.8	738	20
24 VIII— 7 IX	7.45	61.0	4.64	145.0	11.1	105.7	9.17	430.0	8.5	76	7.1	142	27

Затем он резко замедлился, а на переходном иле черви в это время продолжали интенсивно расти. Причина этого явления заключается в более быстрой переработке менее питательного торфянистого ила. К концу опыта черви из переходного ила имели среднюю длину 21.6 мм и вес 11.3 мг, а черви из торфянистого 19.6 мм и 7.84 мг, т. е. заметно отстали в росте. В целом как на переходном, так и на торфянистом илах *L. newaensis* растет хуже, чем на типичных для него илисто-песчаных (7 сентября черви, воспитываемые в аквариуме, имели среднюю длину 22 мм и вес 12.5 мг).

При сопоставлении данных по росту червей, воспитывавшихся в различных условиях (табл. 6), можно видеть, что как в садках, так и в аквариумах черви росли значительно хуже, чем в водохранилище.

Таблица 6

Приросты длины (мм) и веса (мг)

Дата	Аквариум		Садки		Водохранилище	
	длина	вес	длина	вес	длина	вес
10 VII—13 VIII	8.2	4.8	7.9	3.4	28	48
13 VIII—10 IX	8.5	7.1	5.5	7.2	30	15
10 IX—2 X	5.1	6.5	6.6	6.0	Данных нет	5.5
2 X—5 XI	5.9	11.8	Данных нет	Данных нет	Данных нет	Данных нет

Результаты приведенных наблюдений в природе и в опыте позволяют подтвердить высказанное нами раньше мнение (Поддубная, 1959б), что *L. newaensis* в Рыбинском водохранилище имеет одногодичный жизненный цикл.

Зная темп весового роста новой генерации, можно рассчитать также величину продукции данного вида на единицу площади дна водоема в период интенсивного питания. Для оценки суточного прироста биомассы *L. newaensis* в разные месяцы мы воспользовались величинами суточного прироста¹ веса у червей разного размера и их биомассой на 1 м². 16 июня биомасса червей рождения 1960 г. составляла 0.426 г/м². Суточный прирост в это время у червей весом 1.9 мг равен 26%, что от 0.426 г/м² составляет 0.110 г/м² суточного прироста биомассы.

Как видно из табл. 7, суточный прирост живого веса червей, обитающих на 1 м² в Волжском плесе водохранилища, составляет в разное время от 22 до 110 мг.

Таблица 7

Суточный прирост биомассы *L. newaensis* в Волжском плесе Рыбинского водохранилища

Время взятия пробы	Биомасса червей рождения 1960 г., г/м ² в пробе	Средний вес червя, мг	Суточный прирост, % к весу тела	Суточный прирост биомассы, г/м ²
1960 г.				
16 VI	0.426	1.9	26	0.110
18 VII	3.650	40.6	3.6	0.109
16 VIII	2.545	84.0	0.9	0.022

¹ Суточный прирост (в мг) определялся графическим путем по кривой изменения среднего веса червя, вычерченной в крупном масштабе (рис. 7, P).

Кроме суточных, декадных или месячных приростов биомассы, представляющих собой остаточную или наблюдающуюся продукцию, можно вычислить истинную или фактическую продукцию популяции на единицу площади дна водоема, т. е. определить весь прирост биомассы за нужный отрезок времени с учетом выедания и естественной гибели особей. Для этой цели воспользуемся методикой, применявшейся В. П. Воробьевым (1949) при изучении продукции моллюсков Азовского моря и Ф. Д. Мордухай-Болтовским (1948). Вычисления они вели согласно следующей формуле:

$$P = p \cdot d; \quad d = n - n_1 \cdot \frac{v + v_1}{2},$$

где P — фактическая продукция, p — наблюдающаяся продукция, а d — убыль (от выедания и естественной гибели). Принимается, что особи, погибшие в период между двумя наблюдениями, успели достигнуть веса, среднего между весом в предыдущих (v) и последующих пробах (v_1). Умножая разность численности ($n - n_1$), т. е. число погибших особей, на величину этого среднего веса, получаем величину убыли биомассы за нужный период.

Так, наблюдающаяся продукция у *L. newaensis* в Волжском плёсе Рыбинского водохранилища за период от 16 июня по 18 июля составила 2.624 г/м² (биомасса 16 июня — 0.426 г/м², а 18 июля — 3.056 г/м²).

Фактическая продукция за этот период равнялась 5.811 г/м²; $P = p + d$, где $p = 2.624$ г/м², а $d = 225 - 75 \cdot \frac{0.6 + 1.9}{2} = 150.212 = 3.180$ г/м². Полученная цифра фактической продукции на 2.5 г превышает конечную биомассу, что говорит о большой убыли червей. Эта убыль происходила прежде всего за счет выедания молоди хищными тендинидами (*Procladius*, *Sturochironomus*), а также бентосоядными рыбами.

В следующий период наблюдалось понижение биомассы. 18 июля биомасса составляла 3.050 г/м², а 16 августа она оказалась равной 2.545 г/м². Таким образом, наблюдающаяся продукция оказалась «отрицательной». Но это не значит, что продукции не было совсем. Фактическая продукция была вычислена по убыли — d . Зная, какое количество червей убыло за период с 18 июля по 16 августа и их средний вес, вычисляем фактическую продукцию, которая равняется 2.803 г/м².

Снижение биомассы в этот период может быть также объяснено выеданием хищными тендинидами и рыбами. В середине августа наблюдается массовое появление в водоеме личинок 4-го возраста новой генерации криптохиронома, прокладиев, которые активно питаются олигохетами (Шилова, 1959).

Фактическая продукция была рассчитана и за следующий отрезок времени с 16 августа по 12 сентября. Она составила 0.890 г/м². Таким образом, суммарная цифра фактической биомассы за трехмесячный период составила 9.497 г/м².

Для выяснения же продуктивных возможностей *L. newaensis* наиболее важно знать величину удельной продукции, выражаемой отношением P/B , т. е. продукции на единицу (1 г) биомассы (Земкевич, 1934). Если отнести продукцию к исходной весовой биомассе *L. newaensis*, то мы получим коэффициент «удельной фактической продукции», равный 3.1.

Итак, удельная продукция *L. newaensis* за период от 16 июня по 12 сентября (период интенсивного питания и роста) составляет 3.1 г, т. е. в среднем на 1 г биомассы производится 3.1 живых организмов.

Приведенная величина удельной продукции несколько ориентировочна, так как расчет производился не для всей генерации червей рождения 1960 г., а для основной ее части, которая составляет почти 80% (рис. 7, P).

Произвести полный расчет невозможно, так как трудно выделить вариационные кривые размеров молодежи, выходящей из коконов в течение июля и августа.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее интенсивный рост популяции *L. newaensis* происходит в первые 40 дней, когда из отложенных коконов после периода, связанного с инкубацией, идет массовый выход молодежи. Молодые особи весят от 1.8 до 2.5 мг и имеют длину от 7 до 10 мм. При достижении половой зрелости (образование пояса) в возрасте около 120 дней черви весят от 70 до 100 мг.

2. Рост червей не прекращается и после наступления половой зрелости, но темп его снижается. Предельных размеров черви достигают в возрасте 12—14 месяцев. Максимальные их показатели были: вес 190 мг, длина 82 мм, количество сегментов 252.

3. Популяция *L. newaensis* в условиях Рыбинского водохранилища имеет одногодичный жизненный цикл при растянутом периоде размножения.

4. При сравнении данных по темпу роста червей, выращиваемых на разных грунтах, оказывается, что он лучше всего растет на типичном для него илисто-песчаном грунте.

5. Вычисленная фактическая продукция составила 9.497 г/м², а коэффициент «удельной фактической продукции» равен 3.1.

ЛИТЕРАТУРА

- В о р о б ь е в В. П. 1949. Бентос Азовского моря. Тр. Аз.-черн. н.-иссл. инст. рыб.-хоз. и океаногр., вып. 13. Крымиздат.
- З е п к е в и ч Л. А. 1934. Производительность морских водоемов СССР. Тр. фаунистич. конфер. Тезисы докладов Зоол. инст. АН СССР.
- М о р д у х а й - Б о л т о в с к о й Ф. Д. 1948. О сезонной динамике зообентоса в Таганрогском заливе. Сб. научн. тр. Ивановского с.-х. инст.
- М о р д у х а й - Б о л т о в с к о й Ф. Д. и Т. Л. П о д д у б н а я. 1958. О зимних исследованиях бентоса в Волжском предустьевом районе Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 2.
- П о д д у б н а я Т. Л. 1958. Некоторые данные по размножению тубифицид. ДАН СССР, т. 120, № 2.
- П о д д у б н а я Т. Л. 1959а. О динамике популяций тубифицид (*Oligochaeta*, *Tubificidae*) в Рыбинском водохранилище. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2(5).
- П о д д у б н а я Т. Л. 1959б. Об аутономии и регенерации у тубифицид. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 5.
- П о д д у б н а я Т. Л. 1961. Материалы по питанию массовых видов тубифицид Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4(7).
- Ш и л о в а А. И. 1959. *Cryptochironomus assouriensis* Goetg. (=nigridens Tschern.) и некоторые данные по его биологии. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2(5).

К ФАУНЕ РУЧЕЙНИКОВ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Донная фауна Волги до зарегулирования ее стока в районе Горьковского водохранилища изучена сравнительно полно (Лепнева, 1916, 1928; Дамская, 1921; Бенинг, 1924). Из личинок ручейников, типичных для этого участка реки, названные авторы отмечают: *Hydropsyche ornatula* McLach. + *H. guttata* Pict.,¹ *Neureclipsis bimaculata* L., *Brachycentrus subnubilus* Curt., *Leptocerus* sp., *Orthotrichia tetensis* Kolbe. Из них более широко распространена *H. ornatula*, населяющая различные стации реки, преимущественно у берегов. Для речек, ручьев и небольших озер притоков системы Волги в районе Ярославля С. Г. Лепневой (1928) констатированы следующие виды: *Rhyacophila* sp., *Phryganea grandis* L., *Agrypnia obsoleta* Hag., *A. pagetana* Curt., *Molanna angustata* Curt., *Mystacides* sp., *Leptocerus* sp., *Anabolia laevis* Zett., *A. sororecula* McLach., *Limnophilus politus* McLach., *L. rhombicus* L., *L. flavicornis* Fbr., *L. stigma* Curt., *L. affinis* Curt., *L. vittatus* Fbr., *L. decipiens* Kol., *L. sparsus* Ramb., *Phacopteryx brevipennis* Curt., *Chetopteryx villosa* Fbr.

Донная фауна Волги на участке строительства Горьковской ГЭС в период, предшествовавший заливанию водохранилища, была исследована А. Ф. Гунько (1955). Из Trichoptera этим автором был найден только один, наиболее массовый вид *H. ornatula*, который отмечался им на заиленном песке, на крупном песке с галькой и на гальке с мелкими камнями.

Перечисленные выше виды составляют тот исходный биофонд, за счет которого в дальнейшем происходило формирование фауны нового водоема. Имаго ручейников мало подвижны. Они держатся обычно по берегам водоемов у уреза воды, так как в имагинальной стадии не питаются и поэтому не связаны с наземной растительностью. Слаборазвитый летательный аппарат не позволяет им совершать далеких перелетов. Плодовитость ручейников также невелика. Взрослые ручейники, таким образом, не обладают достаточными возможностями для быстрого расселения популяции по водоему. Личинки также не способны расселяться на значительные пространства. Поэтому заселение водохранилища ручейниками происходило очень медленно и их распределение в водоеме носило очаговый характер, особенно резко выраженный в первые годы существования водохранилища.

Заполнение Горьковского водохранилища началось в ноябре 1955 г., но только в 1957 г. уровень воды достиг проектной отметки. Зарегулирование стока повлекло за собой снижение по сравнению с меженьными скоростями течения, особенно в нижней части водохранилища, в районе Юрьевец—Чкаловск. По данным Н. В. Буторина (1958), уже через три недели после начала заполнения водохранилища на бывшем русле Волги средняя скорость потока уменьшилась на Чкаловском створе на 75%, на Пучеж-

¹ Личинки *H. ornatula* и *H. guttata* очень близки и до последнего времени не различались. Поэтому А. И. Бенинг (1924) приводит их под двойным названием *H. ornatula* + *H. guttata*. С. Г. Лепнева (1925) объединяет соответствующих личинок под тройным названием (*H. ornatula* + *H. guttata* + *H. exocellata*), основываясь на устном указании А. И. Мартынова, что в этом районе, кроме имаго *H. ornatula* и *H. guttata*, встречались также экземпляры, напоминавшие *H. exocellata*.

ском — на 67%. В навигационный период 1956 г. резкое падение скоростей наблюдалось только в приплотинном участке. Так, на Чкаловском створе оно уменьшилось на 90% по сравнению с меженивыми, на Пучажском — на 75%, на Юрьевском — на 80%. У Кинешмы скорость течения упала на 50—55%. В 1957 г. в связи с увеличением подпора скорость течения понизилась еще более, так что в нижней части водохранилища даже в поверхностном слое воды оно редко достигало 0.20 м/сек. (рис. 1).

Зарегулирование стока отрицательно сказалось на ряде потамобионтов, особенно на псаммофильных формах, так как оно вызвало интенсивное илонакопление. Однако накопление иловых отложений идет неравномерно на протяжении водоема. Горьковское водохранилище принято подразделять на три участка: верхний, средний и нижний. Верхний участок тянется от Рыбинска до Костромы. Это речная часть водохранилища со скоро-



Рис. 1. График скорости течения Волги от Рыбинска до Чкаловска.

стями течения, понижающимися от 0.75 до 0.45 м/сек., и почти не заиленным дном. Среди грунтов преобладают пески и мелкий гравий. Изредка встречаются участки с глинистым дном и камнями-однцами. Средний участок простирается от Костромы до Юрьевца. Здесь влияние подпора сказывается гораздо сильнее, чем в верхнем участке. Скорости течения па-

дают от 0.45 до 0.20 м/сек. Грунт покрыт тонким слоем ила. Заросли водной растительности развиты главным образом в затопах и устьях притоков. Нижний участок водохранилища начинается от Юрьевца. Течение здесь практически отсутствует (от 0.10 до 0.01 м/сек.) и грунт покрыт значительным слоем отложений разных типов. Вдоль берегов и в многочисленных заливах развиваются заросли высшей прибрежно-водной растительности.

Высокая чувствительность ручейников к количеству растворенного в воде кислорода заставляет их быстро реагировать даже на незначительные изменения его содержания, вследствие чего они являются своеобразными индикаторами газового режима биотопа. Зарегулирование стока тотчас же сказалось на распространении реофильных форм. Сборы, проведенные в июне 1956 г., т. е. во второй год заполнения, показывают, что такой строгий реофил, как *N. ornata*, к этому времени исчез из нижней, расширенной части водохранилища (рис. 2). Взрослые *N. ornata* были собраны в верхнем и среднем участках, в районе между Песочным и Кинешмой. Однако понижение скоростей течения, которое наблюдалось к июню 1956 г., не являлось губительным для личинок *N. bimaculata*. Они встречались по всему водохранилищу, главным образом в устьях многочисленных притоков, и в большом количестве экземпляров. Кроме двух названных видов, единично встречались *Phryganea striata* и *Mustacides longicornis*. В прибрежной зоне ручейники обнаружены не были.

Постепенное заполнение водохранилища положительно сказалось на процессе формирования его бентоса, так как ежегодно в водоем поступали дополнительные питательные вещества с вновь заливаемых угодий (рис. 3). В то же время постепенное повышение уровня задержало формирование прибрежной зоны водохранилища, заселение его мелководий высшей прибрежно-водной растительностью и, как следствие, образование фитофильных биоценозов. Повышение уровня закончилось только в 1957 г.,

поэтому прибрежная зона начала складываться как биотоп только в конце 1957—начале 1958 г. В 1957—1959 гг. уровень значительно не изменялся (рис. 4). Следовательно, только с этого периода можно было ожидать появления в водохранилище лимнофильных форм ручейников, локали-

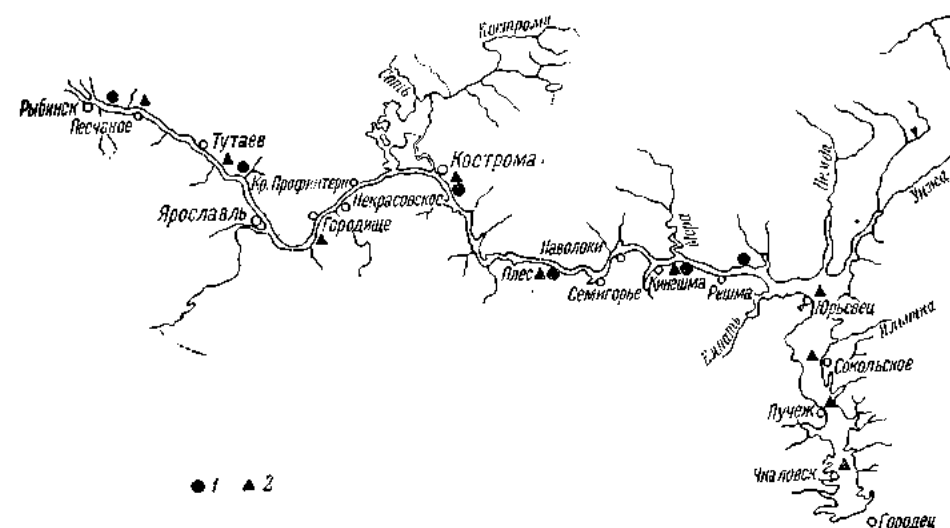


Рис. 2. Распределение личинок *N. ornatula* (1) и *N. bimaculata* (2) в Горьковском водохранилище в 1956 г.

зующихся главным образом в зарослях прибрежной зоны, где под влиянием ассимилирующей деятельности растений создается благоприятный кислородный режим. По данным В. А. Экзерцева (1961), к 1959 г., т. е. на третий год существования водохранилища при проектном уровне расти-

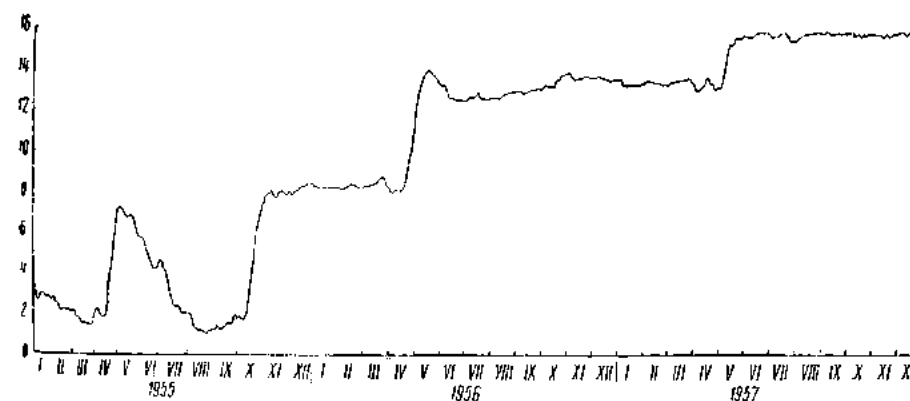


Рис. 3. Колебания уровня Горьковского водохранилища в период его наполнения.

тельный покров литорали находился в начальной стадии формирования. Замкнутые растительные сообщества отмечались лишь на мелководных участках поймы Волги выше г. Плёса, где они существовали и ранее, до подъема уровня. В озерной части водохранилища зарастание происходит по верховьям притоков, где уже к третьему году намечается поясное распределение гидрофитов, так что общая площадь заросших мелководий крайне мала. Однако благоприятный гидрологический режим и изрезан-

ность береговой линии позволяют ожидать в дальнейшем пышного развития в литорали Горьковского водохранилища прибрежно-водной растительности.

Дальнейшее изучение Горьковского водохранилища позволило проследить те изменения, которые произошли в фауне ручейников в связи с превращением этого участка Волги в слабопроточный водоем озерного типа. Обследования водохранилища проводились нами в августе 1959 г., в мае и в июле—августе 1960 г. Пробы брались на 58 станциях, распо-

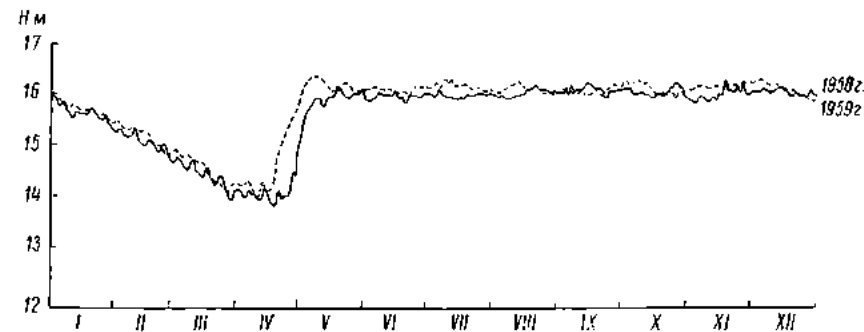


Рис. 4. Колебания уровня Горьковского водохранилища в период 1958–1959 гг.

гавшихся на бывшем русле Волги, на обширных мелководных право- и левобережной поймы, а также в устьях и среднем течении многочисленных притоков. Особое внимание уделялось обследованию зарослей высшей прибрежно-водной растительности. Материал собирался дночерпателем Петерсена (1/40 м²), как правило, в трех повторностях и четырехугольной драгой. Параллельно со сбором личинок производился сбор имаго. Всего собрано и обработано 63 количественных и 192 качественных пробы бентоса и более 500 экземпляров имаго. В результате нами было определено 30 видов ручейников, относящихся к 8 семействам. Их список с краткими данными по распределению и некоторыми замечаниями приводится ниже.

HYDROPTILIDAE

1. *Agraylea multipunctata* Curt.

Широко распространена по всему водохранилищу. Личинки и куколки в массе встречаются на стеблях и листьях водной растительности. Массовый лет начинается со второй половины июля и продолжается до конца августа.

2. *Oxyethira costalis* Curt.

Менее часта, чем предыдущий вид. Личинки и куколки прикрепляют свои домики, построенные из секрета лабиальных желез, к стеблям и листьям водной растительности. Лет в течение июля—августа.

PSYCHOMYIDAE

3. *Ecnomus teneflus* Ramb.

Встречался единично в устьях притоков на песчано-илистом грунте среди зарослей прибрежно-водной растительности.

POLYCENTROPIDAE

4. *Plectrocnemia conspersa* Curt.

Личинки встречены однажды, 10 июля 1960 г., в р. Стежере на слабо заиленном грунте среди зарослей высшей прибрежно-водной растительности.

5. *Holocentropus dubius* Ramb.

Встречается по всему водохранилищу, как правило, в большом количестве экземпляров. В своем распространении связан с зарослями затопленного прибрежья. Лёт в конце июля—июле.

6. *Neureclipsis bimaculata* L.

На Горьковском водохранилище вид имеет прерывистое распространение. Он встречается на протяжении всего верхнего и среднего участ-

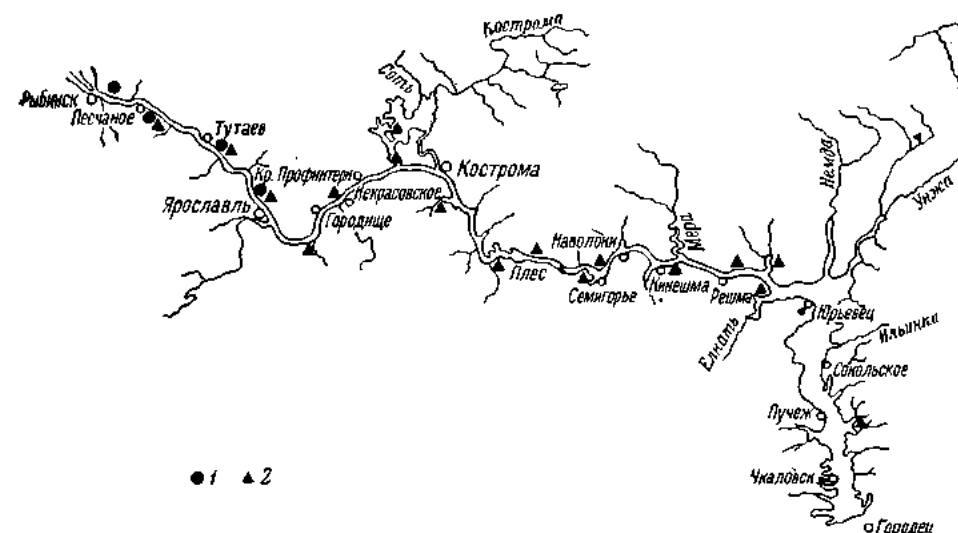


Рис. 5. Распределение личинок *N. ornata* (1) и *N. bimaculata* (2) в Горьковском водохранилище в 1959—1960 гг.

ков, спускаясь несколько ниже Юрьевца, где скорость течения падает до 0.20 м/сек. В верхнем участке, где преобладают течения порядка 0.45—0.75 м/сек., *N. bimaculata* встречается в небольшом количестве. Ее личинок можно обнаружить на глинистом грунте с камнями и корягами, на песчано-илистом и гравелистом грунтах поймы. На русле личинки отсутствуют. В среднем участке, в условиях замедленного стока, где преобладают скорости течения порядка 0.20—0.40 м/сек., *N. bimaculata* получила оптимальные условия для своего развития и встречается здесь в большом количестве (рис. 5). Личинки живут на слабо заиленных грунтах поймы, главным образом в зарослях водной растительности. Следует отметить нахождение *N. bimaculata* в Костромском расширении, где в многочисленных протоках пышно развиваются заросли. Течение здесь вертушкой Жестовского не улавливается, однако мы неоднократно собирали личинок и имаго *N. bimaculata* в районе Семиновских островов и о. Моховатого. Личинки встречались также в многочисленных притоках среднего участка (пр. Елнадь, Желвата, Кубань, Стежера). Следует отметить крайнюю неравномерность распределения личинок по биотопу. Это связано с тем, что личинки концентрируются в тех местах, где есть подходящий субстрат для прикрепления их построек. Строительством ловчих сетей непосредственно на грунте мы не наблюдали.

Неравномерность распределения личинок затрудняет их сбор. Однако плотность заселения обитаемых камней и коряг очень велика. Биомасса личинок достигает здесь 2.57—3.28 г/м². На русле, как и в верхнем участке, личинки отсутствуют. На русле и пойме нижнего участка, где течение практически отсутствует, личинки *N. bimaculata* не обнаружены. Они встречались только в верховьях притоков нижнего участка рр. Мичи и Троицы, где еще сохраняется слабое течение.

Таким образом, зарегулирование стока повлекло за собой исчезновение *N. bimaculata* из нижнего, озерного участка водохранилища, где он сохранился лишь в притоках, но в то же время в условиях замедленного стока среднего участка личинки *N. bimaculata* получили широкое распространение, не отмечавшееся ранее в Волге до образования водохранилища. Имаго встречались в июле и первой половине августа.

7. *Cyrtus flavidus* McLach.

Распространен нешироко. Личинки встречаются среди зарослей на песчаном грунте, обычно на слабом течении.

8. *Cyrtus trimaculatus* Curt.

Личинки найдены в двух крупных притоках водохранилища, рр. Сулже и Стежере. Имаго собраны там же в конце августа—начале сентября.

HYDROPSYCHIDAE

9. *Hydropsyche ornatula* McLach.

H. ornatula представлена в наших сборах личинками, куколками и имаго, собранными в верхнем, речном участке водохранилища. На участках, где скорость течения падает ниже 0.40 м/сек., *H. ornatula* встречается очень редко. Личинки и куколки встречались на песчаном грунте с примесью гравия (Тонаево, ниже Тутаево) и на глине с камнями-единцами (в районе Савинского) (рис. 5).

Период лёта сильно растянут и продолжается со второй половины июня до середины августа. Анализ возрастного состава собранных личинок и морфологических признаков имаго дали нам основание предположить, что на Горьковском водохранилище *H. ornatula* имеет одну полную генерацию с периодом лёта с июня по август и частичную вторую, летающую с конца июля по начало августа (Заречная, 1960).

Интересно сравнить наши наблюдения с данными по питанию стерляди в Горьковском водохранилище. Как известно, стерлядь питается преимущественно личинками гидрпсихид. По данным И. К. Болдиной (1961), у рыб, отловленных в верхнем участке Горьковского водохранилища в сентябре 1958 г., весь пищеварительный тракт наполнен личинками *H. ornatula*. Число личинок в желудке одного экземпляра стерляди доходило до 950. В период окукливания и лёта *H. ornatula* стерлядь охотно поедает и их куколок. В среднем у стерляди размером 300—400 мм из верхнего участка водохранилища 98—99% пищи составляют личинки *H. ornatula*. В среднем участке водохранилища (от Костромы до Юрьевца) *H. ornatula* полностью выпадает из пищи стерляди и место ее занимает *N. bimaculata*. По данным Болдиной, основной пищей стерляди на этом участке являются *N. bimaculata* и *Acanthocyclops viridis*. Количество *N. bimaculata* в желудках стерляди за период 1956—1958 гг. колебалось от 16 до 83%, составляя в среднем 52.5%. У экземпляров, пойманных в районе Юрьевца, количество личинок *N. bimaculata* в желудках составляло в среднем 49% от общего веса пищевого комка.

Таким образом, данные по питанию стерляди подтверждают наши выводы о распределении *H. ornatula* и *N. bimaculata* в Горьковском водохранилище.

PHRYGANEIDAE

10. *Phryganca grandis* L.

Распространена широко и встречается обычно в большом количестве экземпляров. Личинки в зарослях различных рдестов. Лёт в июле—июле.

11. *Phryganca striata* L.

Встречается вместе с предыдущим видом, но в значительно меньшем количестве. Имаго собраны в середине июля.

12. *Agrypnia pagetana* Curt.

Встречается нечасто, большей частью в устьях многочисленных притоков среднего и нижнего участков водохранилища. Личинки в зоне зарослей.

13. *Agrypnia obsoleta* McLach.

Как и предыдущий вид, в зоне зарослей среднего и нижнего участков водохранилища. Встречается sporadически, но в большом количестве.

MOLANNIDAE

14. *Molanna angustata* Curt.

Широко распространена в среднем и нижнем участках водохранилища. Личинки встречались на открытом песчаном побережье, на сильно заливных грунтах затишного побережья и в зоне зарослей. Лёт в июле—августе.

Кладки *M. angustata* собирались в различных частях Горьковского водохранилища в последней декаде июля—начале августа 1959—1960 гг. Кладки круглые, крупные, 15.5—17 мм в диаметре, не прикрепленные, лежат свободно на скоплениях растительности или на грунте. Они богаты прозрачным и бесцветным студенистым веществом, наружный слой которого уплотнен и образует плотную оболочку. К моменту отрождения личинок из яиц студенистое вещество сильно разжижается и несколько мутнеет. Яйца зеленоватые, слегка овальной формы, 0.35—0.37 мм ширины и 0.41—0.44 мм длины. Их расположение в кладке беспорядочно. Количество яиц колеблется от 350 до 400.

LEPTOCERIDAE

15. *Oecetis ochracea* Curt.

Один из наиболее широко распространенных и массовых видов. Связан с зарослями высшей прибрежно-водной растительности, но встречается и на лиственных растительности участках затишного побережья. главным образом на песчано-илистом грунте.

16. *Oecetis furva* Ramb.

Встречается значительно реже и никогда не отмечался в массе. Как и другие виды этого рода, приурочен к зарослям водной растительности.

17. *Oecetis lacustris* Pict.

Встречается несколько чаще, чем предыдущий вид, но также в небольшом количестве. Имаго наблюдались в течение всего августа.

18. *Leptocerus annulicornis* Steph.

Один экземпляр личинки этого характерного потамофила найден в верхнем участке водохранилища на русле Волги (ниже Песочного) 17 августа 1960 г.

19. *Leptocerus aterrimus* Steph.

Найден в верховьях мелких притоков. В самом водохранилище личинки не обнаружены.

20. *Leptocerus excisus* Morton.

Личинки собраны в небольшом количестве в верхнем участке водохранилища (ниже Песочного, Савинское). Личинки в домиках, построенных целиком из песка. Домик конический, сильно суженный сзади, слабо изогнутый. Личинка с характерным рисунком про- и мезонотума

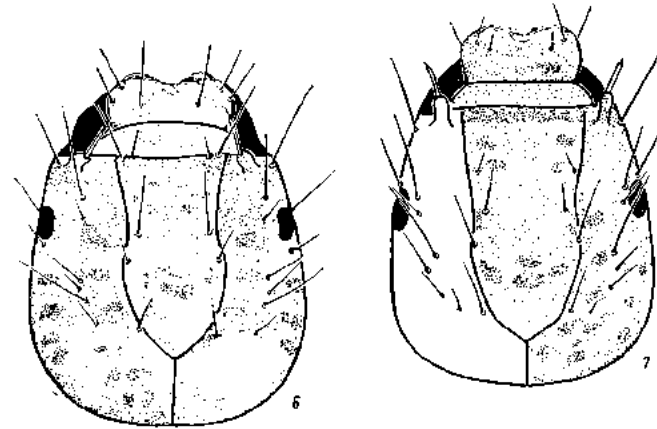


Рис. 6. Голова личинки *Leptocerus* sp. дорзально.
Рис. 7. Голова личинки *L. excisus* дорзально.

(рис. 11). Одновременно с личинками этого вида встречались личинки, отличающиеся и от *L. excisus* и от близкого ему *L. fulvus*, но относящиеся к одной с ними группе видов. Их описание приводится ниже.

Домик личинок конический, слегка изогнутый, построенный из секрета лабальных желез с включениями песка, растительных остатков

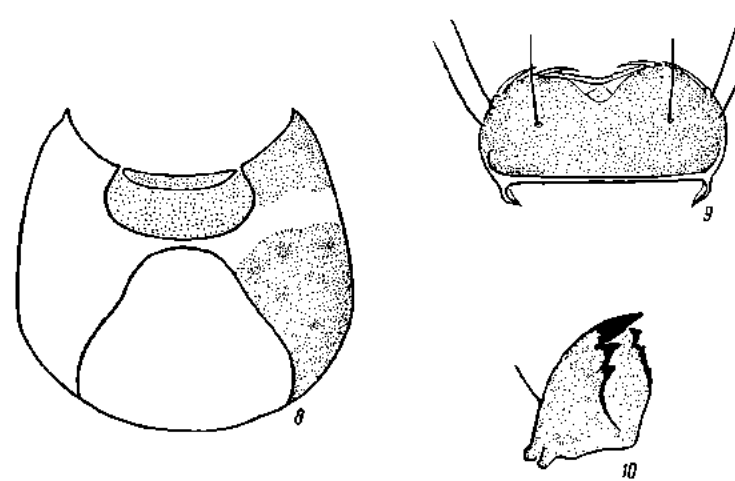


Рис. 8. Голова личинки *Leptocerus* sp. вентрально. Рис. 9. Верхняя губа личинки *Leptocerus* sp. Рис. 10. Мандибула личинки *Leptocerus* sp.

и детрита. При этом целиком из секрета построена передняя, расширенная часть домика, составляющая $1/3$ — $1/5$ общей его длины. Голова желтовато-бурая с коричневыми, более или менее отчетливыми пятнами, расположенными на дорзальной и вентральной поверхностях (рис. 6 и 8). Мандибулы долотовидные (рис. 9, 10). Пронотум желтоватый, без темных отметин. Передний край его не темнее основной части. Мезо-

Схема распределения жаберных нитей по сегментам брюшка
(D — дорзальный ряд, L — латеральный, V — вентральный)

Leptocerus sp.				Leptocerus excisus (по Руссо)			
	D	L	V		D	L	V
II {	2 2	1 0	2 2-3	II {	1 1	0 1	0 1
III {	2 1	1 0	2 2-0	III {	1 1	0 1	0-1 1
IV {	1 1	0 0	0 2	IV {	0-1 1	0 1	0 0-1
V {	1 1	0 0	0 1	V {	0 1	0 1	0 0
VI {	1 1	0 0	0 1	VI {	0 1	0 1	0 0
VII {	1 1	0 0	0 1	VII {	0 0	0 1	0 0

ногум с двумя черными, дугообразно изогнутыми продольными полосами в задней половине сегмента, по средней линии с широкой темной полосой (рис. 12). Мезостернум с двумя симметричными щетинками. Метастернум с тремя-четырьмя щетинками с каждой стороны. Жабры

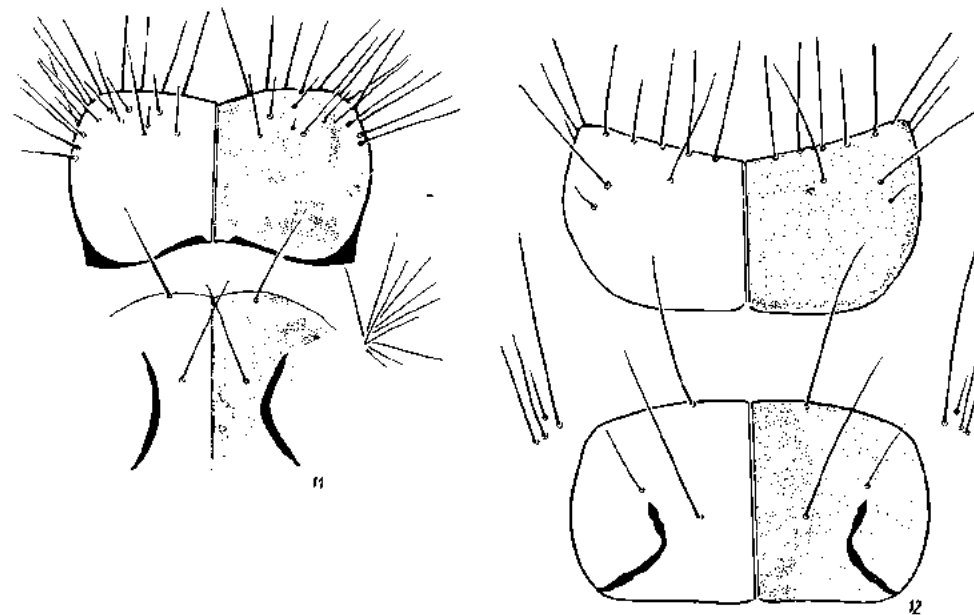


Рис. 11. Пронотум и мезонотум личинки *L. excisus*. Рис. 12. Пронотум и мезонотум личинки *Leptocerus* sp.

и пучках, расположены на II—VII сегментах брюшка. На рис. 13, 14 изображены торакальные и анальные ножки личинки.

Признаки *L. excisus* следующие: голова желтовато-бурая с коричневыми пятнами, большая часть которых не отчетлива (рис. 7). Пронотум желтоватый, передний раздел его темнее, задний с неясными точками. Мезонотум с двумя черными продольными полосами в задней половине сегмента. Жабры на II—VII сегментах. *L. fulvus* очень близок к *L. excisus*

и отличается главным образом тем, что жабры у него размещены не на II—VII, а на I—VIII сегментах.

Отличие собранных нами личинок от этих двух видов состоит в том, что они имеют равномерно окрашенный пропотум, без затемненного

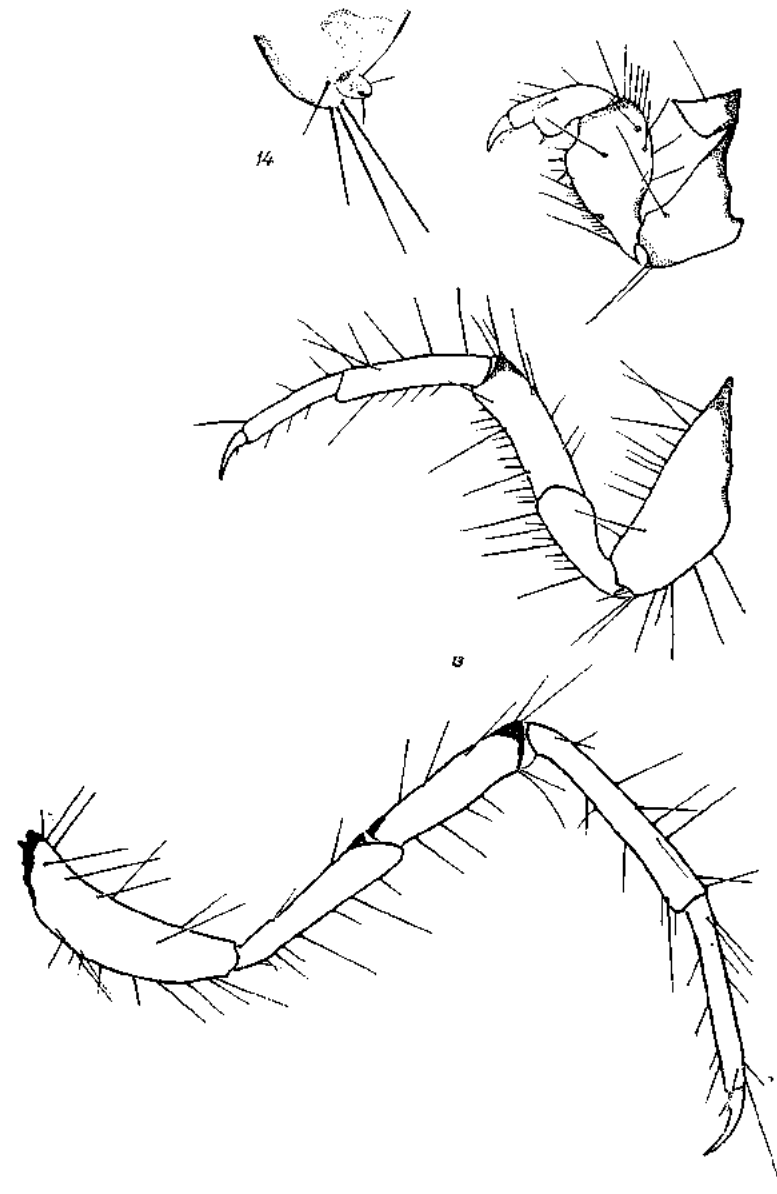


Рис. 13. Торакальные ножки личинки *Leptocerus* sp. Рис. 14. Анальная ножка личинки *Leptocerus* sp.

переднего края и без темных отметин в задней половине сегмента. Пучки жаберных нитей располагаются у наших личинок на II—VII сегментах брюшка, что сближает их с *L. excisus*, однако схема расположения жаберных групп по сегментам существенно отличается от схемы, которую приводит для *L. excisus* Руссо (Roussau, 1920).

Таким образом, собранные нами личинки нельзя отнести ни к *L. exci-*

sus, ни к *L. fulvus*. Отсутствие материалов выведения не позволяет описать их как новый вид.

21. *Leptocerus cinereus* Curt.

Характерный озерный вид. Личинки его найдены на бывшей пойме Волги в районе впадения р. Стежеры на слабо заиленном грунте с небольшими зарослями водной растительности.

22. *Mystacides longicornis* L.

Один из типичных и массовых обитателей зарослей Горьковского водохранилища, но встречается и на открытом заиленном побережье среднего и нижнего участков.

23. *Mystacides nigra* L.

Имаго встречались по всему водохранилищу, но в небольшом количестве, в конце августа—начале сентября.

24. *Trienodes bicolor* Curt.

Один из массовых видов. Как и перечисленные выше представители сем. Leptoceridae, является обитателем зарослей прибрежной зоны. Имаго встречались в августе.

25. *Trienodes conspersa* Curt.

В середине июля—начале августа 1959—1960 гг. в мелких, сильно заросших высшей водной растительностью притоках водохранилища (рр. Кубань, Юг и др.) мы неоднократно находили одновременно с кладками *T. bicolor* также кладки *T. conspersa* (рис. 15). Они помещались на нижней стороне плавающих листьев кубышки и стрелолиста и отличались от кладок *T. bicolor* меньшими размерами самой кладки, величиной, формой и количеством яиц. Собранные кладки были помещены в аквариумы, где отродившиеся из них личинки воспитывались до февраля 1961 г.

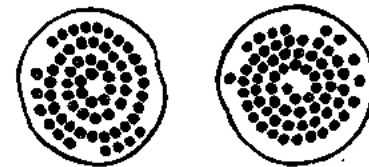


Рис. 15. Кладки *Trienodes conspersa* Curt.

Кладка *T. conspersa* до сего времени не была известна и описывается нами впервые. Она плоская, дисковидная, диаметром от 3.5 до 4.5 мм. Яйца расположены по спирали, имеющей неполных четыре, реже четыре с половиной витка. Число яиц очень невелико: от 60 до 70. Яйца желто-зеленоватые, круглые, диаметром 0.22—0.25 мм. В процессе развития эмбриона форма яйца несколько изменяется и к моменту выклева личинки становится слегка овальной. Кладка очень бедна студелистым веществом. Она состоит из слизи яйцевого тяжа и лишена периферического студенистого слоя. Наружный слой слизи уплотнен и образует защитную оболочку. Последняя очень тонка и легко отделяется от основного вещества кладки. На свежесотложившейся кладке оболочка совершенно прозрачна, бесцветна, и на ее поверхности хорошо заметны полосы, повторяющие изгибы яйцевого тяжа. Однако к поверхности кладки могут прилипать частицы детрита, в этом случае оболочка кажется непрозрачной. В собранных кладках отрождение личинок началось на 8—9-й день. Как и во всех других кладках ручейников, развитие которых нам удалось наблюдать, отрождение личинок растянуто и в данном случае продолжалось трое суток. Отродившиеся личинки держатся в толще воды на глубине до 10—15 см от поверхности и немедленно приступают к постройке домика из растительных частиц, располагаемых по спирали.

LIMNOPHILIDAE

26. *Limnophilus rhombicus* L.

Встречается спорадически и в небольшом количестве. Личинки встречались в притоках среднего участка водохранилища и в Костромском расширении в конце мая—начале июня.

27. *Limnophilus politus* McLach.

Встречается нечасто, вместе с предыдущим видом. Личинки встречались в мае, имаго — в конце августа—начале сентября.

28. *Limnophilus nigriceps* Zett.

Вид обычный для литорали озер. В водохранилище встречается нечасто. Личинки в зарослях прибрежной зоны. Лёт в конце августа—начале сентября.

29. *Anabolia sororcula* McLach.

Часто встречается в притоках среднего участка водохранилища (пр. Кубань, Стежера, Юндекса, Желвата и др.). Личинки встречаются на песчано-илистом грунте, часто с примесью древесных остатков.

Таблица 1
Фауна ручейников Волги до и после ее зарегулирования на
участке Горьковского водохранилища

Название вида	Волга до зарегули- рования	Горьков- ское водохра- нище
<i>Rhyacophila</i> sp.	+	—
<i>Agraylea multipunctata</i>	—	+
<i>Oxyethira costalis</i>	—	+
<i>Orthotrichia tetensii</i>	+	—
<i>Ecnomus tenellus</i>	—	+
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	—	+
<i>Holocentropus dubius</i>	—	+
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	+	+
<i>Cynus flavidus</i>	—	+
<i>C. trimaculatus</i>	—	+
<i>Hydropsyche ornatula</i>	+	+
<i>Phryganea grandis</i>	+	+
<i>P. striata</i>	—	+
<i>Agrypnia pagetana</i>	+	+
<i>A. obsoleta</i>	+	+
<i>Molanna angustata</i>	+	+
<i>Oecetis ochracea</i>	—	+
<i>O. furva</i>	—	+
<i>O. lacustris</i>	—	+
<i>Leptocerus annulicornis</i>	—	+
<i>L. aterrimus</i>	—	+
<i>L. excisus</i>	—	+
<i>L. cinereus</i>	—	+
<i>Leptocerus</i> sp.	+	—
<i>Mystacides longicornis</i>	—	+
<i>M. nigra</i>	—	+
<i>Mystacides</i> sp.	+	—
<i>Triaenodes bicolor</i>	—	+
<i>T. conspersa</i>	—	+
<i>Anabolia laevis</i>	+	—
<i>A. sororcula</i>	+	+
<i>Chaetopteryx villosa</i>	+	—
<i>Halesus interpunctatus</i>	—	+
<i>Limnophilus affinis</i>	+	—
<i>L. decipiens</i>	+	—
<i>L. flavicornis</i>	+	—
<i>L. nigriceps</i>	—	+
<i>L. politus</i>	+	+
<i>L. rhombicus</i>	+	+
<i>L. sparsus</i>	+	—
<i>L. stigma</i>	+	—
<i>L. vittatus</i>	+	—
<i>Phaenopteryx brevipennis</i>	+	—
<i>Brachycentrus subnubilus</i>	+	—

30. *Halesus interpunctatus* Zett.

Один экземпляр личинки этого вида найден в р. Юдкесе 9 июня 1960 г.

Сопоставляя группу видов, обитавших в бассейне Волги до образования водохранилища, с группой видов, населяющих Горьковское водохранилище в настоящее время, не трудно заметить, что фауна водохранилища гораздо разнообразнее исходных биофонов реки (табл. 1). Из собранных нами 30 видов 19 не было констатировано для этого района Волги до ее зарегулирования.

Основная масса лимнофилов, отмечавшихся ранее для бассейна Волги (*Phryganea grandis*, *Agrypnia pagetana*, *A. obsoleta*, *Molanna angustata*, *Anabolia sororcula*, *Limnophilus politus*, *L. rhombicus*), сохранились в водохранилище и, получив оптимальные условия для своего развития, широко здесь распространились. Исключение составляют *Limnophilus vittatus*, *L. sparsus*, *L. stigma*, *L. affinis*, *Phacopteryx brevipennis*, пред-

Т а б л и ц а 2

Распределение ручейников по биотопам Горьковского водохранилища

Название вида	Проточные участки со скоростными течениями 0.75—0.45 м/сек.		Проточные участки со скоростными течениями 0.45—0.20 м/сек.		Открытое прибрежье водохранилища			Закрытое прибрежье водохранилища	
	русло	пойма	русло	пойма	пойма			пойма	
	песчаный	галечная	песчаный илистый	ил с зарослями	песчаный	песчаный илистый	заросли	илистый	заросли
<i>Agraylea multipunctata</i> .									+++
<i>Oxyethira costalis</i> . . .				+					++
<i>Ecnomus tenellus</i>				+					
<i>Plectrocnemia conspersa</i> .				+					
<i>Holocentropus dubius</i> . .							+++		
<i>Neureclipsis bimaculata</i> .		++	+	+++			+		
<i>Cymus flavidus</i>				+++			+++		+
<i>C. trimaculatus</i>				+					
<i>Hydropsyche ornatula</i> . .	+	++							
<i>Phryganea grandis</i>							+	+	+++
<i>P. striata</i>									+++
<i>Agrypnia pagetana</i>				+					++
<i>A. obsoleta</i>				+++					+++
<i>Molanna angustata</i>					+++	+	+	+	+++
<i>Oecetis ochracea</i>								++	+++
<i>O. furva</i>									++
<i>O. lacustris</i>									++
<i>Leptocerus annulicornis</i> .	+								
<i>L. aterrimus</i>				++					
<i>L. excisus</i>							+		
<i>L. cinereus</i>				+					
<i>Mystacides longicornis</i> . .						++	+++	++	+++
<i>M. nigra</i>						++	++		
<i>Trienodes bicolor</i>							+++		+++
<i>T. conspersa</i>				+					
<i>Limnophilus rhombicus</i> . .							++		++
<i>L. politus</i>							++		++
<i>L. nigriceps</i>							++		++
<i>Anabolia sororcula</i>			++						
<i>Halesus interpunctatus</i> .			+						

Примечание. +++ — много; ++ — мало; + — единично.

почитавшие мелкие, сильно заросшие и даже заболоченные водоемы. Из этой группы видов в водохранилище может распространиться только *L. stigma*. Разнообразие видов, населяющих водохранилище, возникло в результате вселения фитофилов, среди которых большая часть относится к сем. Leptoceridae. Широко распространились виды родов *Oecetis*, *Mystacides* и *Trienodes*. Значительно увеличилось число видов рода *Leptocerus*, хотя они и не получили широкого распространения. В большом количестве встречаются озерные виды *Cygnus flavidus* и *Holocentropus dubius*.

Однако наряду с обогащением фауны за счет широкого распространения фитофилов произошло ее обеднение реофильными элементами. *Hydropsyche ornatula*, *Neureclipsis bimaculata*, *Leptocerus annulicornis* сохранились в водохранилище, но локализовались на участках речного типа, тогда как *Rhyacophila* sp. и *Brachycentrus subnubilus* совсем исчезли из водохранилища.

Из табл. 2 видно, что основная масса ручейников, собранных нами на Горьковском водохранилище, концентрируется в зарослях затопного и открытого побережья. По числу видов и особей более богаты заросли затопного побережья. Широкое распространение здесь получили *Agraylea multipunctata*, *Phryganea grandis*, *Mystacides longicornis*, *Trienodes bicolor*, *Oecetis ochracea*.

Заросли открытого побережья также количественно богаты ручейниками, но видовой состав их несколько иной. Наряду с *Mystacides longicornis* и *Trienodes bicolor* в зарослях открытого побережья широкое распространение получили *Cygnus flavidus* и *Holocentropus dubius*. Эти два вида являются здесь доминирующими. Заросли, развивающиеся на участках со слабой проточностью, небогаты ручейниками. Здесь количественно преобладают личинки *N. bimaculata*, остальные формы встречаются в небольшом количестве. Мало ручейников также на илистых грунтах и на песке. В этих биотопах нами не было обнаружено ни одной массовой формы.

ЛИТЕРАТУРА

- Бенниг А. Л. 1924. Придонная жизнь рек Волги. Саратов.
 Болдина Н. К. 1961. О питании стерляди в Горьковском водохранилище. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4 (7).
 Буторин Н. В. 1958. О скоростях течения Волги от Рыбинска до [Волгограда]. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 2.
 Буторин Н. В. 1961. Формирование гидрологического режима Горьковского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4 (7).
 Гупко А. Ф. 1955. О беспосе Средней Волги до зарегулирования ее стока. Автореф. дисс. М.
 Дамская С. А. 1921. Очерк зарослей озера Неро и их фауны. Тр. Яросл. ест.-исгор. общ., т. 3.
 Заречная С. Н. 1960. О количестве генераций *Hydropsyche ornatula* в районе Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 8—9.
 Лепнева С. Г. 1916. Очерки из жизни пресных вод. Ярославль.
 Лепнева С. Г. 1925. Личинки ручейников из сборов Окской биологической станции. Работы Окской биол. ст., т. III, Муром.
 Лепнева С. Г. 1928. К фауне ручейников бассейна Средней Волги. Тр. Яросл. ест.-истор. общ., т. 4.
 Окзерцев В. А. 1961. Зарастание литорали Горьковского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 10.
 Rousseau 1920. Les larves et nymphes aquatiques des insectes d'Europe, XXIV.

**METAMORFOZ LIPINIELLA ARENICOLA
SHILOVA (DIPTERA, TENDIPEDIDAE)**

В последней декаде июня 1958 г. на Рыбинском водохранилище в районе Первомайских островов мы наблюдали массовый вылет крупных ярко-зеленых перистоусых комаров с блестящими черными полосами на среднеспинке. Вид этот не был нам известен. По окраске и строению переднеспинки, которое имеет значение родового признака, комаров можно было отнести к роду *Endochironomus*, по строению половых придатков — к роду *Tendipes*. По другим признакам собранные комары также сочетали в себе особенности этих двух родов. Так, самки по числу члеников усика (7) приближаются к *Endochironomus*, по наличию больших лобных штифтов сближает их с *Tendipes*. Самцы, как у *Tendipes*, имеют 12-члениковые усики, большие лобные штифты и сходное в общем строение гипопигия, но по строению переднеспинки они, как и самки, сходны с *Endochironomus*.

По строению гребешков и количеству шпор на голених этот вид занимает особое положение. *Endochironomus* и *Tendipes* имеют на ногах по паре гребешков и по одной шпоре на каждом из них. У самцов нового вида этот признак варьировал: из 57 просмотренных комаров 40 имели по одной шпоре на гребешке, а 17 комаров — различное количество шпор на гребешках разных ног.

Таким образом, можно видеть, что по ряду важных диагностических признаков этот вид занимает особое положение. Но описание его было нами отложено до ознакомления с преимагинальными стадиями.

Собрать материал по метаморфозу удалось через два года после первого сбора имаго. В конце июня 1960 г. у о. Хохотка в Волжском плесе Рыбинского водохранилища были найдены две большие куколки. Сквозь покровы одной из них отчетливо был виден сформировавшийся комар-самец, окраска и строение половых придатков которого соответствовали таковым комаров, собранных нами в июне 1958 г. у Первомайских островов. Одновременно на Хохотке была собрана большая серия тех же самых крупных зеленых комаров с блестящими черными полосами на среднеспинке. Никаких других комаров, соответствующих этим куколкам по размеру, окраске и строению гипопигия, не было обнаружено. По счастливой случайности на брюшке одной куколки остался прикрепленным хорошо сохранившийся экзувий личинки. Этот материал позволил идентифицировать все три фазы развития.

Кладки были собраны в природе и получены в лаборатории. Из них вылупились личинки, которых удалось вырастить до II возраста, личинки III и IV возрастов и куколки в большом количестве были собраны в прибрежье водохранилища. Большое количество комаров было выведено из куколок и личинок, собранных в природе. Таким путем мы получили массовый материал по развитию вида (12 кладок, масса новорожденных личинок, 4 личинки II возраста, много личинок III возраста, несколько сотен IV возраста, около 100 куколок и около 100 самцов и самок).

Личинка IV возраста под названием «*Chironominae genuinae* № 1» была очень кратко описана Н. Н. Липиной (1926). Под этим же названием она вошла в определитель личинок и куколок (Липина, 1928). В определителе А. А. Черновского (1949) она известна как *Tendipedini* gen. sp. (*Tendipedinae* «*genuinae* № 1») Lipina. В этом же определителе приводится краткий диагноз личинки без рисунков. Н. Н. Липиной (1926) дано также краткое описание куколки, но указанные ею признаки не имеют диагностического значения.

Изучение всех фаз метаморфоза дало возможность установить, что эта форма действительно занимает особое положение в подсемействе *Tendipedinae*. Поскольку нами установлено ее систематическое положение, мы сочли возможным описать ее под названием *Lipiniella arenicola* gen. et sp. n. (Шилова, 1961), назвав новый род в честь покойной Н. Н. Липиной. Здесь мы даем описание преимагинальных фаз развития (кладка, личинки I—IV возрастов, куколка) и приводим данные по биологии вида.

КЛАДКА

Кладка имеет веретеновидную форму. Одна ее сторона чуть выпуклая, противоположная несколько вогнутая. На рис. 1 приводится фотография кладки с вогнутой стороны. Длина кладки 10—12 мм, ширина 2.5—3 мм в самой широкой части и 1.5 мм в самой узкой. Яйца желтоватые, длина 0.38—0.4 мм, ширина 0.09—0.12 мм. От одного конца кладки, который мы называем базальным, отходит довольно длинный прикрепительный



Рис. 1. Кладка.

тяж, состоящий из клейкой слизи. В некоторых свежих кладках на базальном конце хорошо видно слизистое образование, очевидно, аналогичное «пробке из слизи» кладок *Pelopinae* (Коренева, 1959). Слизь кладки поделена на едва заметные сегменты. В каждом сегменте 4 попарно сближенных ряда яиц. Наружный слой слизи очень тонкий, прозрачный. Непосредственно под ним, в слизи другой консистенции, проходит яйцевой тяж, образующий очень тесно прилегающие одна к другой и трудно различимые петли. Середина кладки полая. Длинная ось яиц ориентирована перпендикулярно к поверхности кладки, но на вогнутой стороне яйца расположены под углом к ней. Внутри кладки нет двойного перегородо-

слизистого тяжа, столь характерного для кладок *Tendipes* (Константинов, 1958), *Limnochironomus* (Силипа, 1959) и некоторых других тендипедид (Munsterhjelm, 1920; Thienemann, 1954).

ЛИЧИНКА

IV возраст. Длина 8—14 мм. Ширина головной капсулы 0.6—0.68 мм. Ярко-красная, часто с зеленоватым мраморным рисунком и просвечивающими серебристыми, сильно разветвленными трахейными стволами в грудных сегментах. Головная капсула желтая, слабо хитинизирована, у фиксированных личинок часто смята и по глаза втянута в I грудной сегмент; наибольший ее поперечник больше длины и расположен впереди середины головы. Зубцы верхней челюсти, нижней губы, премандибулы и затылочный склерит, за исключением середины его дорсальной части, черные. У зрелых личинок на вентральной поверхности головы близ затылочного склерита 2 небольших темных пятна (рис. 2). Глаз 2 пары (рис. 3). Глаза одной стороны головы расположены один над другим. Расстояние между верхним и нижним глазом равно полуторной или двойной ширине каждого из них. Клипеус правильной трапецевидной формы, его наружные углы мелкозернистые. Лоб и наличник образуют единый фронтоклипеус. При рассмотрении сбоку хорошо видно, что верхняя губа и передняя часть фронтоклипеуса (клипеус) расположены в плоскости, лежащей значительно ниже собственно фронтального склерита. Передняя треть последнего выпуклая. Эпистомальный шов едва намечен лишь у основания усиков, а далее он совсем не развит.¹ Передняя часть фронтального склерита от задней, третьей пары клипеальных щетинок, до первой пары фронтальных с нежной складчатой структурой (рис. 3). Усики пятичлениковые, широко расставленные. Цоколи низкие, с внутренней стороны с небольшим коричневым бугорком (рис. 4). Щетинка усика не заходит за вершину III членика, добавочная щетинка едва заметна. Кольцевой орган расположен ниже середины базального членика, который в 1.4—1.5 раза длиннее всех остальных члеников,

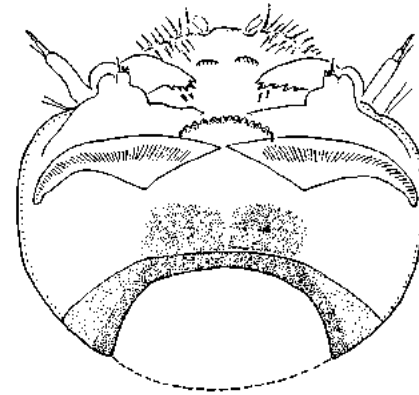


Рис. 2. Личинка IV возраста. Голова сверху.

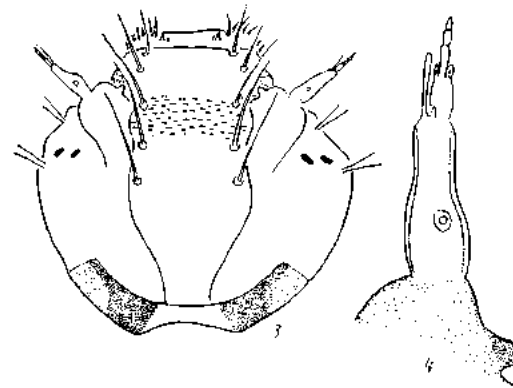


Рис. 3. Личинка IV возраста. Голова снизу.

Рис. 4. Личинка IV возраста. Усик.

своей длины. Цоколи низкие, с внутренней стороны с небольшим коричневым бугорком (рис. 4). Щетинка усика не заходит за вершину III членика, добавочная щетинка едва заметна. Кольцевой орган расположен ниже середины базального членика, который в 1.4—1.5 раза длиннее всех остальных члеников,

¹ Это видно лишь на отпрепарированных склеритах головной капсулы: на толстых препаратах головы передний край фронтального склерита образует складку, имитирующую эпистомальный шов.

взятых вместе. Лаутерборновы органы противостоящие. Вооружение верхней губы полное. Близ заднего края верхней губы с каждой стороны по одному двучленистому (рис. 5, IV, а) и одному сопровождающему палочковидному (рис. 5, IV, б) чувствительному штифту. К центру от них расположены крупные, широкие щетинки (боковые по Черновскому) (рис. 5, II), еще ближе к центру, чуть сзади предыдущих, короткие тонкие щетинки (срединые по Черновскому) (рис. 5, III) и почти в самом центре широкие, плоские щетинки, рассеченные на вершине и по внутреннему краю (нижние по Черновскому) (рис. 5, I). Боковые участки верхней губы снабжены многочисленными длинными, прямостоящими хетондами

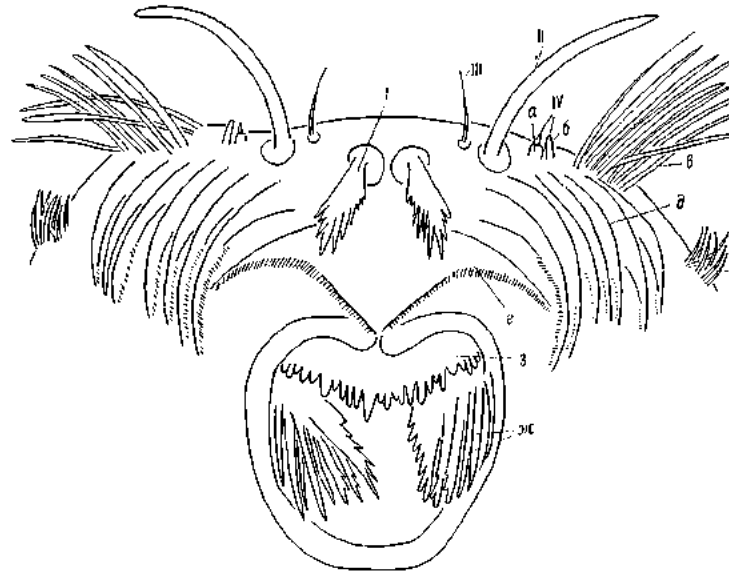


Рис. 5. Личинка IV возраста. Вооружение верхней губы.
Объяснение в тексте.

(рис. 5, в) и изогнутыми («серповидными» различных авторов) (рис. 5, д). Первые хетонды с гладкими краями, но иногда с рассеченными концами, вторые — бахромчатые по вогнутому краю. В задних углах верхней губы (в наружных по Черновскому) группа коротких «зубцовидных» хетондов (рис. 5, з). На границе верхней губы и эпифаринкса располагается своеобразно устроенный верхнегубной гребень (рис. 5, е). Хетонды эпифаринкса простые и рассеченные по краям (рис. 5, жс). Эпифарингеальный гребень (рис. 5, з) с 20 и более зубцами.

Премандибула с 5 зубцами (рис. 6). Рукоятка премандибулы желтая, вся зубчатая, расширенная часть черная, часто 2—3 базальных зуба желтые. Мембрана, соединяющая премандибулу с верхней губой и эпифаринксом у дистальной зубчатой части премандибулы, густо покрыта короткими волосками. Мандибула с одним небольшим, желтым, верхним (внутренним в определителе Черновского) зубцом и 4 темно-коричневыми, почти черными нижними (внешними в определителе Черновского) першинными зубцами (рис. 7а, б, 8, а, б). На наружной стороне мандибулы у основания имеется округлый выступ (рис. 7 в, 8, в). Плоская щетинка состоит из 4 сложно рассеченных ветвей; 2 верхние несколько короче нижних и слабее рассечены (рис. 7, г). На внутренней стороне дистальной части мандибулы имеется, как у большинства детритоядных тендипед, густая щеточка из очень длинных хетондов, расположенных в один ряд

(рис. 7, б). Внутренний край вершины максиллы у основания щупика с густым пучком волосков разной длины (рис. 9, а). Щупик максиллы короткий с одним двучленистым, несколькими одночленистыми штифтиками и одной длинной щетинкой. Внутренний задний угол максиллы с несколькими одно- и двучленистыми, острыми, узкими и широкими хетодами (рис. 9, б). Нижняя губа с четырехраздельным средним зубцом и 6 боковыми с каждой стороны (рис. 10). Центральные вершины среднего



Рис. 6. Личинка IV возраста. Премандибула.

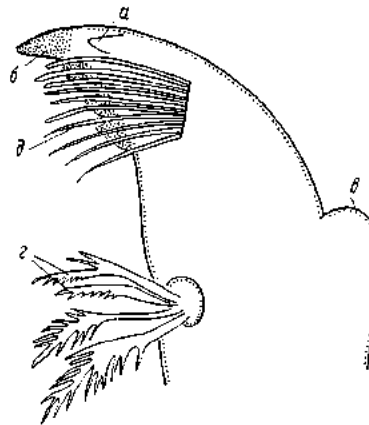


Рис. 7. Личинка IV возраста. Мандибула сверху. Объявление в тексте.

зубца выше² крайних или одной высоты с ними. Крайний боковой зубец часто светлый и очень мелкий, иногда может совсем отсутствовать. Паралабиальные пластинки очень широкие, в 4 раза шире своей наибольшей высоты, с почти соприкасающимися внутренними углами; наружная треть пластинок изогнута к основанию головы. От внутреннего до внешнего угла срединная часть пластинки покрыта тонкой, четко выраженной, продольной штриховкой. Гипофаринкс с непарной срединной веерообразной, бахромчатой по переднему краю лопастью (рис. 11, а) и с парой небольших простых по краям от нее. На дорсальной поверхности гипофаринкса сзади лопастей с каждой стороны по 6 чувствительных штифтиков (рис. 11, б). Передний край гипофаринкса по краям от простых лопастей покрыт нежными волосками (рис. 11, в). На дорсальной поверхности с каждой стороны имеется складка, идущая параллельно переднему краю гипофаринкса, покрытому нежными волосками. Складка с двумя рядами таких же волосков (рис. 11, г). Брюшко вальковатое, без отростков³ на VIII сегменте.

Подставки кисточек низкие. Высота их почти равна ширине. Кисточки из 7—8 щетинок, короче задних подталкивателей. Анальных папилл две

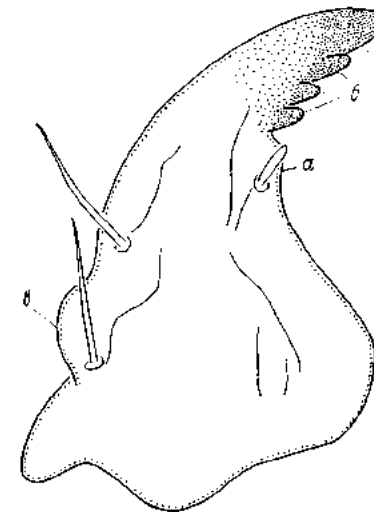


Рис. 8. Личинка IV возраста. Мандибула снизу. Объявление в тексте.

² А. А. Черновский (1949) придает значение относительной длине вершины срединного зубца, между тем этот признак подвержен возрастной изменчивости.

³ По Липиной, а за ней и по Черновскому, такие отростки имеются. Но из многочисленных литературных данных и по собственным наблюдениям мы знаем, что у многих тендапедид длина отростков зависит от солевого состава воды и поэтому не может использоваться в диагностических целях.

пары. Они массивные, по всей длине одинаковой ширины, превышают половину длины задних подталкивателей. Последние толстые, короткие,

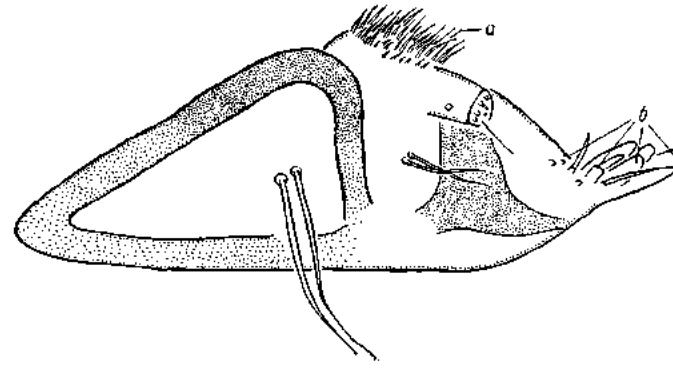


Рис. 9. Личинка IV возраста. Максилла.
Объяснение в тексте.

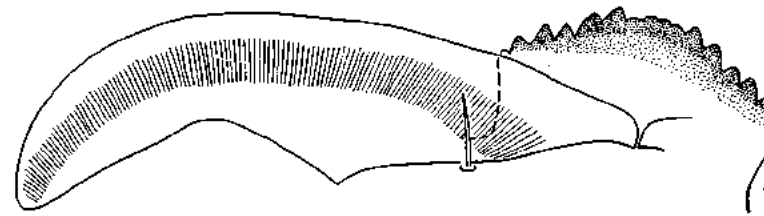


Рис. 10. Личинка IV возраста. Нижняя губа и паралабальная пластинка.

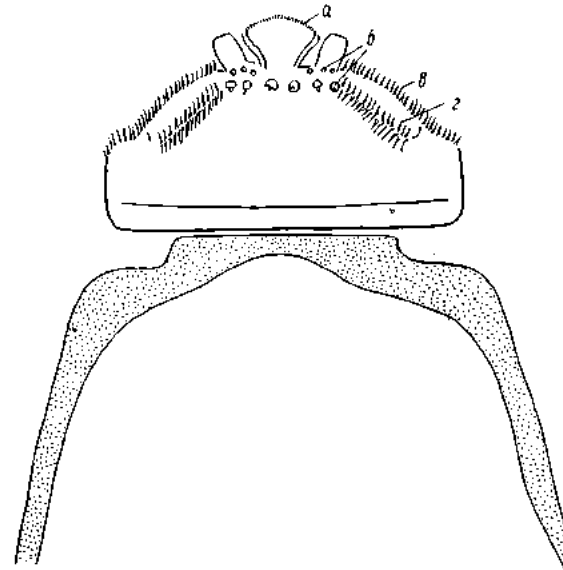


Рис. 11. Личинка IV возраста. Гипофаринкс.
Объяснение в тексте.

их крючки желтые, стройные, сильно изогнутые, с гладкими краями. Большинство длинных щетинок передних подталкивателей зазубрены

по внутреннему краю. Личинка хорошо опознается по широкой голове, бугорку у основания усиков, четырехраздельному срединному зубцу нижней губы, очень широким паралабнальным пластинкам и выступу на наружной стороне мандибулы.

III возраст. Длина 5—8 мм. Ширина головной капсулы 0.33—0.40 мм. Первый членик усика почти равен по длине всем остальным, взятым вместе. Широкие, плоские щетинки (рис. 5, I) верхней губы 5—6-лопастные. Эпифарингеальный гребень с 11—15 зубцами. Прямостоящие хетоиды (рис. 5, e) не развиты. Длинные щетинки передних подталкивателей простые, лишь некоторые с едва заметными зарубками.

II возраст. Длина 2.5—5.0 мм. Ширина головной капсулы 0.18—0.25 мм. Окраска тела бледно-розовая. Передний членик усика в 1.3 раза короче всех остальных члеников, взятых вместе. Широкие, плоские щетинки (рис. 5, I) верхней губы 3—4-лопастные. Ряды хетоидов не развиты. Эпифарингеальный гребень из 4—6 зубцов.

I возраст. Длина 0.9—2.0 мм. Ширина головной капсулы 0.08—0.1 мм. Окраска тела, как и у всех личинок теидипедид в этом возрасте, светлая. Первый членик усика почти в 3 раза короче всех остальных, взятых вместе (рис. 12, e). Тонкие волосковидные щетинки (рис. 5, III) и хетоиды верхней губы не развиты. Широкие, плоские (рис. 5, I) щетинки простые. Эпифарингеальный гребень без зубцов. Премандибула с двумя зубцами (рис. 12, a). На наружной стороне мандибулы нет выступа (рис. 5, б). Нижняя губа (рис. 12, e) с 6 парами боковых зубцов и трех-вершинным срединным. Подставки кисточек не развиты. В кисточке 5—6 щетинок, длина которых чуть превышает таковую задних подталкивателей.

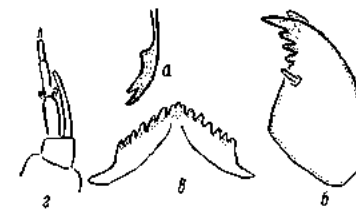


Рис. 12. Личинка I возраста.
a — премандибула; б — мандибула;
e — нижняя губа; e — усик.

КУКОЛКА

Длина 9.0—10.5 мм. Экзuvий светлый, с бледно-желтой головогрудью, желтыми латеральными полосами на VI—VIII сегментах и светло-коричневыми шипами в задних углах VIII сегмента. Созревшая куколка ярко-зеленая, спинная и брюшная поверхность груди светло-коричневая или черноватая. Оральные рожки бледно-желтые, крупные (0.36 мм), слабо изогнутые, с апикальной щетинкой (рис. 13, a, e). Органы дыхания состоят из двух густых пучков очень тонких, нежных, серебристых нитей, в основании собранных в 3—4 ствола. Мелкие коричневые крючки (рис. 13, б) по заднему краю второго брюшного тергита образуют сплошной ряд. Шагреневка брюшных тергитов нежная, хорошо заметна лишь при соответствующем освещении и образована двумя видами шипиков. Середину тергитов II—VI занимает своеобразных очертаний поле (рис. 14, a), образованное тупыми и широкими шипиками (рис. 13, e). На передней трети VII—VIII тергитов поля (рис. 14, e) более узких и длинных шипиков (рис. 13, e). Точно такие же шипики покрывают задние углы V—VI тергитов (рис. 14, 15) и поверхность II—III между полем тупых, широких шипиков и «ячеистыми полосками» (рис. 14, б). Так называемые ячеистые полосы расположены по краям II—VI тергитов. На VII тергите полосы редуцированы до 2—3 ячеек. Шипы задних углов VIII брюшного сегмента светло-коричневые, состоят из одного большого тупого зубца и 0—3 добавочных, расположенных с внутренней стороны основного (рис. 13, в). Число краевых, «шланговидных» щетинок V—

VIII сегментов 3, 4 (3), 4, 5. Анальный плавник чуть длиннее своей ширины. Стерниты брюшных сегментов не шагреневаны. Ложные ножки IV стернита сильно вытянуты и почти достигают середины сегмента (рис. 16).

По строению органа дыхания, сплошному ряду крючков по заднему краю II брюшного тергита, наличию шипов в задних углах VIII сегмента куколка близка к роду *Tendipes*. Хорошо отличается размерами оральных рожек, строением шипов VIII сегмента и формой ложных ножек IV стернита.



Рис. 13. Куколка.

a — оральные рожки; б — крючки II тергита; в, г — шипы тергитов; д — шипы задних углов VIII сегмента; е — головогрудь.

Н. Н. Липина (1926) приводит в описании куколки «*Chironominae* genicinae № 1» признаки, не имеющие диагностического значения, поскольку разветвленный дыхательный орган и IX сегмент в виде плавающей пластинки имеют все куколки подсемейства *Tendipedinae*. Число краевых щетинок VIII сегмента, по Липиной, 4, по нашим наблюдениям — 5. Возможно, количество щетинок может варьировать. Строение шипа задних углов VIII сегмента, как видно на рис. 13, д, варьирует.

Сравнивая личинок, куколок и имаго *L. arenicola* с соответствующими стадиями других представителей подсемейства, мы видим, что *L. arenicola* совмещает в различных для разных стадий комбинациях признаки родов *Endochironomus* и *Tendipes*. Самка близка к *Endochironomus*, самец и куколка — к *Tendipes*. Личинка I возраста сходна с таковыми *Tendipes*, *Endochironomus* и некоторых других родов тендипедид. Личинки

личинки II—III возрастов имеют очень своеобразное строение и четко отличаются по всем основным признакам не только от личинок *Tendipes* и *Endochironomus*, с которыми имагинальные стадии вида имеют общие признаки, но и от всех других форм подсемейства *Tendipedinae*. Все эти данные подтверждают целесообразность выделения вида в особый род.

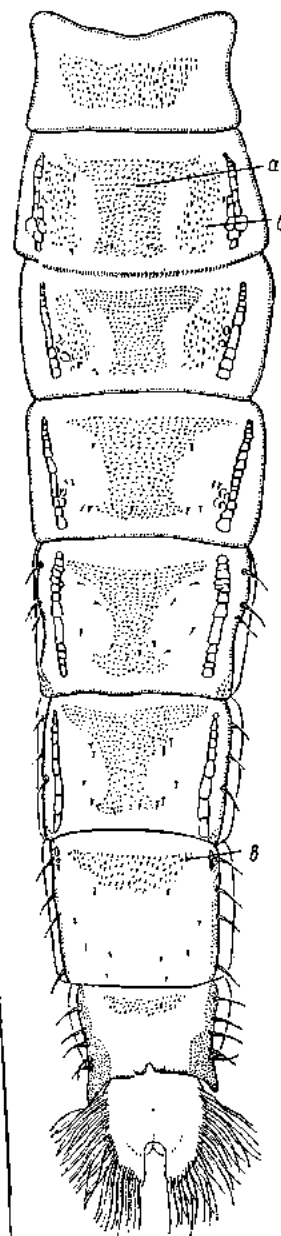


Рис. 14. Куколка. Брюшко со спинной стороны. Описание в тексте.

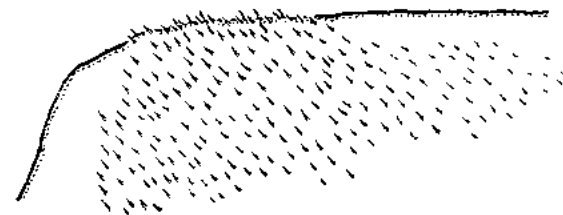


Рис. 15. Куколка. Задний угол V брюшного сегмента.

Личинка *Tendipedinae* gen. sp. *lv. kanevi*, описанная О. С. Зверевой (1957) из бассейна Печоры, относится к этому же роду. Основанием для этого заключения служит строение нижней губы, паралабиальных пластинок, усика, мандибул и окраска головной кап-

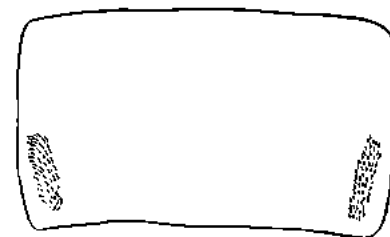


Рис. 16. Куколка. Щетинистые ножки на IV брюшной стерните.

сулы. Эта личинка имеет, как и *L. arenicola*, нижнюю губу с четырехраздельным срединным зубцом и 6 парами боковых, из которых крайний боковой зубец меньше остальных и светлее окрашен; очень широкие паралабиальные пластинки с косо изогнутыми к основанию головы внешними углами и почти соприкасающимися внутренними; пятичлениковый усик, щетинка которого не заходит за вершину III членика; мандибулу с округлым выступом на наружной стороне; темно-коричневый, за исключением срединной дорсальной, светлоокрашенной части, затылочный склерит и темное пятно на нижней поверхности головы у затылочного отверстия.

В то же время личинка, описанная О. С. Зверевой, отличается от *L. arenicola* следующими признаками: с внутренней стороны основания цоколя усика *L. arenicola* имеется коричневый бугорок, которого нет у *L. kanevi*, у *L. arenicola* с каждой стороны головы по два глаза, у *L. kanevi* — по три.

БИОЛОГИЯ

Личинки и куколки обнаружены лишь в двух пунктах Рыбинского водохранилища: в районе Первомайских островов и у о. Хохотка. Они обитают на чистом или слабо заиленном песке прибрежной зоны и многочисленных лагун этих островов, на глубине 0—5 м. Личинки строят песчаные домики и держатся в слое грунта от 0.5 до 4 см. Плотность популяции очень большая. В районе Хохотки было обнаружено 6392 экз./м², биомасса — 20 г/м²; у Первомайских островов — 6740 экз./м², биомасса — 48 г/м². Основной источник пищи личинок синезеленые, диатомовые и протокочковые водоросли. Количественное соотношение различных групп водорослей изменяется в зависимости от сезона и места обитания личинок. Так, в период массового развития синезеленых у личинок, собранных в лагунах, где наблюдалось скопление этих водорослей, они составляли основную массу пищевого комка. В это же время в пище личинок из открытой части водохранилища синезеленых водорослей было значительно меньше, а примерно в одинаковом соотношении были найдены все три группы водорослей, мелкие органические частицы и песок.

L. agensis имеет две генерации. Первый вылет имаго происходит в конце июня, второй — в конце июля—августе. Комары роятся после заката солнца, на высоте 7—10 м, изредка опускаясь на 2 м от поверхности земли.

Кладки собраны в прибрежной зоне на глубине 0—30 см на песке, подводных частях растений и корягах. Плодовитость самок от 500 до 1000 яиц. Выход личинок из яиц растянут, при 18—20° продолжается 5—7 дней. Интересно, что личинки вылззают из яйца задним концом вперед. Покинув кладку, они ползают по дну чашки и тут же строят песчаный домик. Плавают лишь при отсутствии субстрата.

Вид, по-видимому, широко распространен. Кроме верхней Волги и Рыбинского водохранилища, известен из Оки (Липина, 1926, 1928), Амура (Константинов, 1950), Печоры и Вычегды (Зверева, 1953), Енисея (Грезе, 1957), Дона (устное сообщение Ф. Д. Мордухай-Болтовского) и Куйбышевского водохранилища (личинки найдены И. К. Болдиной в желудках стерляди, определены автором).

ЛИТЕРАТУРА

- Г р е з е И. М. 1957. Личинки тендипедид Енисея. Тр. Всес. гидробиол. общ., т. VIII.
- З в е р е в а О. С. 1953. Личинки тендипедид (хинономид) равнинных рек европейского севера СССР. Тр. Всес. гидробиол. общ., т. V.
- З в е р е в а О. С. 1957. Новая форма личинки *Tendipedidae* (Diptera) из реки Печоры. Эн. обозр., т. XXVI, вып. 1.
- К о р с н е в а Т. А. 1959. Об откладке яиц самками *Pelopiinae* (Diptera, *Tendipedidae*) в Учинском водохранилище. Тр. Всес. гидробиол. общ., т. IX.
- К о н с т а н т и н о в А. С. 1950. Хиномиды бассейна р. Амур и их роль в питании амурских рыб. Тр. Амурск. ихтиол. экп. 1945—1949 гг., т. I. Изд. Общ. ис. природы.
- К о н с т а н т и н о в А. С. 1958. Биология хиномид и их разведение. Тр. Сар. отд. Всес. н.-иссл. инст. озерн. и речн. рыбн. хоз., т. 5.
- Л и п и н а И. Н. 1926. Личинки хиномид из бассейна р. Ока. Работы Окс. биол. ст., т. IV, Муром.
- Л и п и н а И. Н. 1928. Личинки и куколки хиномид. Изд. научн. инст. рыбн. хоз.
- С и л и н а Ю. П. 1959. К систематике и морфологии хиномид рода *Limnochironomus* Kieff. Тр. Всес. гидробиол. общ., т. IX.
- Ч е р н о с к и й А. А. 1949. Определитель личинок комаров сем. *Tendipedidae*. Определители по фауне СССР, изд. Зоол. инст. АН СССР, № 31.
- Ш и л о в а А. И. 1961. Новый род и вид тендипедид (Diptera, *Tendipedidae*, *Tendipedidae*). Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 11.
- M u n s t e r h j e l m G. 1920. Om Chironomidernas äggläggning och ägggrupper. Med. Soc. pro Fauna et Flora Fennica, vol. 47, Helsingfors.
- T h i e n e m a n n A. 1954. Chironomus. Leben, Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung der Chironomiden. Die Binnengewässer., Bd. XX.

О ПИТАНИИ ХИЩНЫХ РЫБ В ПЕРВЫЕ ЧЕТЫРЕ ГОДА СУЩЕСТВОВАНИЯ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В Горьковском водохранилище после его заполнения до проектной отметки начиная с 1958 г. создались неблагоприятные условия для размножения основных промысловых видов рыб (Ильина, 1960), что отрицательно сказалось на величине ежегодного пополнения их стад. В этих условиях при отсутствии промысла воздействие хищников на численность различных видов рыб в водоеме может стать особенно существенным. Некоторые авторы весьма настойчиво высказываются за необходимость отлова щуки, якобы отрицательно влияющей на состояние популяций промысловых видов рыб, и в первую очередь леща во всех водохранилищах (Лукин, 1961). Нашей задачей было выяснение вопросов питания щуки, налима и судака в Горьковском водохранилище.

Наблюдения производились в первые четыре года (1956—1959 гг.) существования Горьковского водохранилища. Материал собирался в прибрежной и открытой частях водоема неводом, сетями и тралом. Всего собрано и проанализировано 923 экз. хищных рыб (табл. 1).

При обработке материала использовалась методика изучения питания хищных рыб, предложенная К. Р. Фортунатовой (1951).

Таблица 1

Количество и размеры исследованных рыб

Вид хищных рыб	1956 г.		1957 г.		1958 г.		1959 г.		Итого	
	количество экзemplаров	длина тела, мм	количество экзemplаров	длина тела, мм	количество экзemplаров	длина тела, мм	количество экзemplаров	длина тела, мм	количество экзemplаров	длина тела, мм
Щука	197	65—325	296	104—618	137	168—753	50	120—745	680	65—753
Налим	15	145—435	55	73—540	37	165—430	74	198—518	181	73—540
Судак	8	193—364	30	120—650	11	150—525	13	200—393	62	120—650

ЩУКА

Наиболее многочисленной из хищных рыб в Горьковском водохранилище в период наблюдений была щука — типичный хищник-засадчик. После заполнения водоема в среднем его участке, который еще частично сохранил речные черты (Захарова-Ильина, 1959), концентрируется мелкая неполовозрелая щука, а в нижнем, типично озерном участке — более крупная. Такое неравномерное распределение хищников объясняется различными условиями пагула и питания щуки в этих двух участках.

Средний участок. Пища щуки здесь очень разнообразна и состоит из рыб, лягушек и беспозвоночных.

В первый год заполнения водохранилища (1956 г.) по всему прибрежью ловилась масса сеголетков различных рыб. Соотношение их по видам в уловах мальковыми орудиями лова, по данным Л. К. Ильиной (1960), было следующим: окунь — 55.0%, лещ — 14.0, плотва — 8.5, судак — 8.6, густера — 3.8, чехонь — 3.0 и прочие — 7.1%. В июне—июле щука потребляла сеголетков 11 видов различных рыб, из которых на долю малоценных видов приходится 87% всего пищевого комка (плотва — 21.4%, окунь — 15.2, густера — 13.4, елец и голавль — по 12.6, язь — 11.8%). Из ценных рыб в этот период щука потребляла только леща, но в очень незначительном количестве (0.7%). Помимо сеголетков рыб, в пище молоди щуки, как и в других водоемах, встречались заросшие ракообразные, личинки стрекоз, тендипедид, поденок, водяных жуков и т. п.

В осенний период по всему среднему участку количество щук в уловах уменьшается и снижается количество питающихся особей. Одновременно

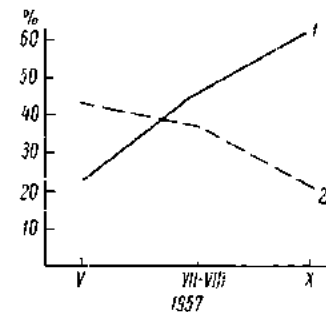


Рис. 1. Количество плотвы (1) и окуня (2) в пище щуки в среднем участке Горьковского водохранилища.

сужается спектр их питания (до 6 видов рыб) и увеличивается значение плотвы (до 50%).

Весной 1957 г., на второй год заполнения водохранилища, условия размножения основных фитофильных рыб по сравнению с 1956 г. уже ухудшились. Количество сеголетков всех видов рыб в водоеме резко сократилось: окуня в 1956 г. было поймано 4333 экз., а в 1957 г. — 1234 экз.; леща в 1956 г. — 1095 экз., а в 1957 г. — 57 экз. и т. д. (Ильина, 1960). В связи с этим характер питания щуки несколько изменяется. Основными объектами питания щуки (с мая по октябрь) становятся плотва и окунь (рис. 1).

В мае щука питалась неполовозрелым окунем (42%), плотвой (21%) и ершом (17%).

Довольно существенное значение в пище как мелкой, так и крупной щуки имели перыбные объекты: лягушки, дождевые черви, а также личинки поденок и стрекоз. Появление в пище щуки лягушек носит сезонный характер и связано с их концентрацией в период размножения. Это явление отмечено и для других водоемов (Теплова и Теплов, 1953).

В июле—августе преобладающим пищевым объектом щуки стала плотва (44%). Размеры ее в желудках хищников колебались от 17 до 95 мм, причем на долю сеголетков в этом году приходилось 75% (в 1956 г. было 100%). Значение окуня по сравнению с весенним периодом снижается (26%), размеры его колеблются от 20 до 90 мм, причем на долю сеголетков приходится 85% (в 1956 г. было 94%). Кроме этих двух видов в пище щуки встречены: ерш (8.2%), язь (4.9%), голавль (3.2%), жерех (1.6%), щука (4.9%) и лещ (6.5%).

В осенний период (октябрь) значение плотвы в пище щуки еще более увеличивается (62%), а спектр питания щуки сужается и охватывает лишь 4 вида рыб (плотва, окунь, ерш, елец). В небольшом количестве, как и весной, появляются лягушки, что объясняется их концентрацией на зимовку и повышением их доступности для хищников.

Таким образом, на второй год заполнения водохранилища в связи с менее эффективным нерестом наблюдается уменьшение в пище щуки количества сеголетков и выпадение ряда видов рыб; одновременно возрастает значение плотвы.

В последующие годы (1958—1959 гг.), как уже указывалось, наблюдались неблагоприятные условия размножения основных фитофильных рыб. Уловы таких многочисленных в 1956 г. видов, как лещ, окунь, плотва, в эти годы резко сократились. Совсем не встречались сеголетки густеры, язя, сльца, щуки, жерева, ерша и других рыб. Уменьшение количества сеголетков в водохранилище отразилось на видовом и размерном составе пищи щуки.

Наметившееся в 1957 г. сужение спектра питания щуки продолжалось в 1958 г. и особенно резко проявилось в 1959 г., когда в летний период хищники потребляли всего 4 вида рыб (плотву, окуня, ерша и уклейку), а в 1956 г. — 11 видов. Параллельно выпадению ряда видов наблюдается дальнейшее увеличение значения плотности (до 69% в 1959 г., 21% в 1956 г.). На втором месте в среднем участке остается окунь. Размеры особей этих двух видов в пище щуки увеличиваются с каждым годом, что связано с уменьшением количества их сеголетков в водоеме и переходом хищников на потребление более крупных особей (табл. 2).

Таблица 2

Размеры плотвы и окуня в пище щуки в прибрежной зоне среднего участка Горьковского водохранилища (1956—1959 гг.)

Год и месяц наблюдений	Плотва		Окунь	
	размер, мм	% сего-летков	размер, мм	% сего-летков
Июль—сентябрь 1956 г.	12—50	100	25—90	94
Июль—октябрь 1957 г.	17—95	75	20—90	89
Июль—сентябрь 1958 г.	25—110	62	30—113	60
Июль—август 1959 г.	35—123	60	42—115	66

Однако, несмотря на абсолютное увеличение размеров особей плотвы и окуня в пище щуки, сеголетки этих видов составляют основную массу пищевого комка хищников даже в 1959 г. (60% плотвы и 66% окуня). Азавиз питания такого многочисленного хищника, как щука, показывает, что плотва и окунь быстрее ценных видов рыб приспособились к неблагоприятным условиям размножения, сложившимся в Горьковском водохранилище, и их молодь встречалась даже в 1958 и 1959 гг.

Нижний участок. В расширенном озеровидном участке, где в стаде щуки преобладают половозрелые особи, пища ее в отличие от среднего участка состоит исключительно из рыбы.

В первый год заполнения водохранилища щука всех размеров питалась здесь преимущественно сеголетками различных рыб. В летний период сеголетки окуня в нижнем участке отошли от берегов и ловились почти исключительно на пойме (Ильина, 1960). Подобное распределение сеголетков окуня в летний период характерно и для Рыбинского водохранилища (Чиркова, 1956), причем осенью эти скопления в открытой части водоема значительно сокращаются.

В июне—июле 1956 г. в нижнем участке в отличие от среднего спектр питания щуки был очень узок. В него входили всего 3 вида: окунь, густера и судак, причем на долю сеголетков окуня приходилось 71% всех потребленных рыб. Видимо, щука нагуливалась в местах скопления сеголетков окуня. В осенний период (октябрь) наблюдалось уменьшение значения сеголетков окуня в пище щуки (38%) и в связи с этим расширение спектра ее питания.

На второй год заполнения водохранилища, в мае, щука нижнего участка потребляла годовиков плотвы (58%) и окуня (33%) (рис. 2).

В июле—августе она питалась окунем (54%) длиной 30—81 мм, плотвой (37%) — 21—90 мм и ершом (9%) — 27—69 мм. Таким образом, пища щуки летом 1957 г. состояла не только из сеголетков (как это имело место в 1956 г.), но и из годовиков. Осенью 1957 г. значение окуня упало до 31%. В составе пищи щуки появились язь, жерех, елец, голавль, судак. Размеры этой молодежи колебались от 35 до 103 мм.

В последующие годы (1958—1959 гг.) сохраняется тот же характер сезонных изменений в питании щуки, что и в период заполнения, а именно основным кормовым объектом в летний и осенний период остается окунь. Размерный состав потребляемой молодежи изменяется подобно тому, как это уже было описано для среднего участка.

Таким образом, роль щуки в течение первых четырех лет существования водохранилища можно охарактеризовать как положительную. Отметим, что если в первые два года заполнения водоема (1956—1957 гг.) спектр ее питания был очень широк и включал как промысловые виды,

так и промысловые (лещ и судак, правда в незначительном количестве), то в 1958—1959 гг. пища щуки состояла почти исключительно из плотвы (в среднем участке) и окуня (в нижнем), причем ценные виды совершенно из нее выпали.

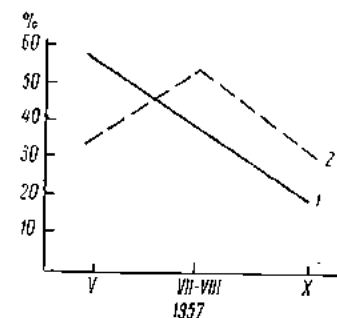


Рис. 2. Количество плотвы (1) и окуня (2) в пище щуки в нижнем участке Горьковского водохранилища.

НАЛИМ

Стадо налима в Горьковском водохранилище по сравнению со щукой непомножено. В 1956 г. он составлял лишь 1% от общего вылова рыбы исследовательскими орудиями лова. А уже в 1959 г. количество его в уловах увеличилось до 4%. Такая же картина наблюдалась и в Рыбинском водохранилище (Сергеев, 1959).

Налим обитает почти исключительно на русловых участках. Только молодь встречается в прибрежье. Основная масса налима концентрируется в нижнем, более глубоководном участке. Здесь наблюдались максимальные уловы налима (до 30 экз. на одно траление).

Биология налима (Сергеев, 1959) резко выделяет его среди других видов рыб. Период наибольшей активности налима (нагул) приходится в отличие от всех других рыб на холодное время года.

В Горьковском водохранилище летом (июнь—июль 1956 г.) налим в уловах не встречался. В августе с понижением температуры воды он начал появляться в уловах, однако основная масса рыб еще не питалась. Массовое питание налима начинается с понижением температуры воды до 8—9°, что приходится на начало сентября.

Как уже указывалось, молодь налима в небольшом количестве встречалась в прибрежной зоне (август 1957 г.). По данным Р. С. Сергеева (1959), сеголетки в отличие от взрослых особей, так же как и молодь других видов, наиболее интенсивно растут, а следовательно, и питаются в летне-осенний период. Мы располагаем всего лишь несколькими сеголетками, пойманными в сплошных зарослях питчатки на дне небольшого залива в устье р. Покши. В их желудках были обнаружены зарослевые формы ракообразных (*Sida*, *Eurycercus*, *Chydorus*), зарослевые и иловые формы личинок тендипедид (*Cryptochironomus* ex gr. *parastratus*, *Psectrocladius ischimensis*, *Tendipes plumosus*) и один сеголеток плотвы.

Старшие возрастные группы налима обитают исключительно в русловой части водохранилища.

В первый год заполнения водохранилища наблюдалось массовое развитие тендипедид. Биомасса мотыля увеличилась почти в 10 раз (Мордухай-Болтовской и Гунько, 1959). В сентябре 1956 г. налим длиной 220—250 мм в нижнем участке питался только личинками *Tendipes plumosus*, *Cryptochironomus* и *Procladius*. Более крупные особи размером 220—453 мм потребляли рыб: ерша, плотву, пескаря, судака и жереха.

В 1957 г. количество тендипедид в водоеме уменьшилось. В августе самые мелкие налимы (162—196 мм) потребляли планктонных (*Bythotrephes*, *Bosmina*, *Daphnia*, *Mesocyclops*) и зарослевых (*Sida*, *Eurytemora*) ракообразных. Кроме того, в их желудках встречены формы фауны эпиплозов камней, свай и деревьев: *Limnochironomus* sp. и *Neuroclipsis bimaculata*. Почти исключительно ручейниками питался некрупный налим (214—289 мм) на каменистых грунтах в среднем участке. Более крупные особи (289—460 мм) потребляли рыб: взрослого ерша, сеголетков судака и снетка, а также в незначительном количестве личинки комаров *Tendipes plumosus*.

В сентябре—октябре с повышением активности питания количество видов рыб в пище налима увеличивается (окунь, ерш, снеток, судак, лещ, плотва, пескарь, жерех) и появляется лягушка. Из тендипедид налим потребляет личинок *Tendipes*, *Cryptochironomus* и *Procladius*.

Снижение биомассы тендипедид в водохранилище продолжалось и в последующие годы. Начиная с 1958 г. личинки тендипедид исчезают из пищи налима.

В августе 1958 и 1959 гг. налим питался только рыбами: взрослым ершом, неполовозрелыми плотвой и судаком. В сентябре—октябре, так же как и в предыдущие годы, спектр его питания расширяется и в него входят окунь, ерш, плотва, язь, пескарь, судак, налим, елец, а также лягушки, в верхнем участке ручейники (*Hydropsyche*) и пиявки.

Таким образом, в отличие от щуки налим обитает на глубинных участках, питается в зимний период и в большем количестве потребляет нерыбные объекты, что было особенно характерно в первые два года существования водохранилища.

СУДАК

Численность стада судака в Горьковском водохранилище невелика. Незначительной она была и в других водохранилищах в первые годы их существования (Романова, 1956; Лапчик, 1960). Поскольку, по данным Л. К. Ильиной (1960), условия для нереста судака в Горьковском водохранилище благоприятны, в ближайшее время можно ожидать некоторое увеличение его численности в этом водоеме.

Взрослый судак ловится только в русловой зоне водохранилища и питается исключительно рыбами. В течение рассматриваемого периода (1956—1959 гг.) в желудках судака обнаружена преимущественно молодь следующих видов рыб: окуня, ерша, плотвы, язя, уклей, леща, судака, пескаря, ельца, налима, чехони. Обращает внимание каннибализм у судака: в августе 1957 г. в нижнем участке годовики его (120—172 мм) питались сеголетками своего вида (23—46 мм).

В первые четыре года существования Горьковского водохранилища основными биомелнораторами в нем были щука и налим. Стадо судака находилось в начальной стадии формирования, а остальные виды хищных рыб — жерех, берш и сом — малочисленны.

В годы заполнения водоема, когда наблюдалось массовое появление основных фитофильных видов рыб, спектр питания щуки был очень широк. Она потребляла сеголетков плотвы, окуня, ерша, густеры, ельца, голавля, язя, судака, вьюпа, щуки, налима, леща, снетка, синца и жереха.

Налим в эти же годы в значительном количестве использовал нерыбный корм (личинки тензипедид и др.).

В неблагоприятных условиях (1958 и 1959 гг.) щука перешла на питание исключительно малоценными видами: плотвой, окунем, ершом, язем, уклейей, причем основной пищей ее стала молодь плотвы и окуня. Налим в этот же период перешел на питание почти исключительно рыбами, в основном ершом.

Существование в водохранилище хищников различного типа: щуки — типичного обитателя прибрежной зоны, питающейся наиболее интенсивно в теплое время года, налима — придонного хищника русловой зоны, период активности которого приходится на холодное время года, и судака — пелагического хищника — следует считать положительным фактом. В связи с различием в составе пищи, ритма питания, местах и времени нагула щука, налим и судак не конкурируют между собой, а дополняют друг друга, уничтожая в основном молодь малоценных рыб и улучшая тем самым условия существования ценных промысловых видов.

ЛИТЕРАТУРА

- Захарова-Ильина Л. К. 1959. Возрастной состав стада и рост леща Горьковского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 3.
- Ильина Л. К. 1960. Об эффективности размножения рыб и распределения молоди в Горьковском водохранилище. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 3(6).
- Лавицкий П. И. 1960. Динамика численности промысловых рыб Цимлянского водохранилища. Вопр. ихтиол., вып. 15.
- Лукин А. В. 1961. Рыбные запасы Куйбышевского водохранилища и мероприятия по их увеличению и улучшению. Тезисы докл. на Совещ. по биол. основам рыбн. хоз. на внутр. водоемах СССР 23—26 мая 1961 г.
- Мордухай-Болтовской Ф. Д. и А. Ф. Гунько. 1959. Донная фауна Горьковского водохранилища в первый год его существования. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2(5).
- Романова Г. П. 1956. Питание судака Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 2.
- Сергеев Р. С. 1959. Материалы по биологии налима Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 1(4).
- Теплова Е. Н. и В. П. Теплов. 1953. Питание щуки в бассейне Верхней Печоры. Вопр. ихтиол., вып. 1.
- Фортунова К. Р. 1951. Методика изучения питания хищных рыб. Зоол. журн., т. XXX, вып. 6.
- Чиркова З. Н. 1956. О распределении и росте сеголетков окуня в Рыбинском водохранилище. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 2.

ПАТОГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ У ЛЕЩА ПРИ ДЕФИЦИТЕ КИСЛОРОДА

Заморы рыб представляют собой очень распространенное явление. Они часто причиняют в озерном и речном рыбном хозяйстве крупный материальный ущерб. Заморные зоны в СССР занимают обширные площади. Последние, по данным Н. А. Мосевича (1947), на одной только Западно-Сибирской низменности составляют около 1 300 000 км². Распространенные тяжелые зимние заморы описаны и для территории водосборов р. Припяти и ее притоков (Тарап, 1936). Весьма реальна опасность зимних заморов в широко создаваемых в настоящее время в Советском Союзе искусственных водохранилищах. Последние питаются в значительной мере глубинными почвенными водами с малым содержанием кислорода, концентрация которого еще более падает в конце зимнего периода вследствие снижения горизонта воды и замедления скорости течения (Баранов, 1964). Интересны заморы и с теоретической стороны, как один из важных разделов биологической проблемы дыхания животных.

Если факторы внешней среды, уменьшающие содержание кислорода в воде до субпороговых и летальных для рыб количеств, в значительной мере изучены, то физиология заморных состояний организма выяснена гораздо слабее, несмотря на немалое количество литературных публикаций, посвященных этому вопросу.

Исследования преимущественно потребление кислорода и ритм дыхания различных пресноводных и морских рыб в меняющихся условиях температуры, концентрации O_2 и CO_2 , солености, pH. Старые работы суммированы в сводке Лейнера (Leiner, 1938). Содержательный обзор многих других работ принадлежит Т. И. Привольцеву (1947). В том же направлении продолжают исследования Клаузен (Clausen, 1936), Е. Г. Свиренко (1937), Линдрот (Lindroth, 1940), Блэк (Black, 1942), Фрай, В. Блэк и Э. Блэк (Fry, V. Black, E. Black, 1947), Грехэм (Graham, 1949), Эриксен (Erichsen, 1952), Денцер (Denzer, 1952). В онтогенетическом плане вопрос изучали Виллер (Willer, 1928), А. Н. Трифонова и Н. М. Коновалов (1937), А. Н. Трифонова и Н. А. Попов (1937), Линдрот (Lindroth, 1942), Т. И. Привольцев (1947). Дыхательные свойства крови некоторых пресноводных рыб подробно изучил В. А. Павлов (1940). Однако перечисленные авторы оставляли в стороне важнейшие вопросы регуляции дыхания как сложной эволюционно закрепленной реакции целостного организма. Поэтому с полным основанием утверждает Браун (Brown, 1957), что даже «о механизме циркуляторных ответов (у рыб) на апноэ известно очень мало», хотя именно расстройства кровообращения стоят в центре анатомо-физиологического синдрома при асфиксии. Еще меньше знаем мы о морфологических изменениях организма при расстройствах дыхания. Отрывочные данные находим мы у Холла и сотрудников (Hall, Gray, Lepkowsky, 1926). Они описали при асфиксии морских рыб венозные застои. В другой работе Холла (цит. по Brown, 1957) отмечено сморщивание селезенки. Пожалуй, мы пока что располагаем по этому вопросу не многим более богатыми сведениями, чем рыбаки-

практики, которые узнают заморных лещей по бледности плавников («белые лещи») и обилью крови во внутренних органах. Такое состояние морфологических сведений находит свое объяснение не только в недостаточном интересе исследователей, но и питается, как это ни странно, малой нашей осведомленностью в гистологии обычных пресноводных рыб. По существу, кроме признаков тела, важных для систематики, некоторых морфометрических показателей, изменений строения гонад и эндокринных желез в половом цикле гистологические особенности этих видов почти не изучались. Между тем морфолог способен показать не только структурный субстрат динамических физиологических сдвигов в норме, но и выявить патологоанатомические особенности, в частности и при заморах различного происхождения, а также представить значимый материал для оценки обратимости изменений и тем содействовать разработке и рациональному применению мер для профилактики и, быть может, «исправления» при хозяйственно оправданных для этого обстоятельствах неблагоприятных условий среды.

Предметом настоящей работы является патогистологический анализ некоторых органов и систем тела леща Рыбинского водохранилища в экспериментально созданных условиях зимнего замора.

Зимние заморы патогенетически представляют собой аноксию, переходящую в асфиксию, вследствие недостатка или полного отсутствия кислорода и принципиально отличаются от так называемых заморов летних, возникающих обычно в результате комбинированного воздействия дефицита кислорода и прямой интоксикации продуктами органического распада или ядовитыми веществами, поступающими в водоем обычно с промышленными стоками. Кроме того, и зимой и летом могут наблюдаться заморы чисто токсического происхождения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

Угнетение дыхательной функции у разных видов рыб наступает при различном содержании кислорода. Т. И. Привольцев (1947) называет для стерляди величину 7—7.5 мг/л, для карася — ниже 1—2 мг/л. Для леща пороговая величина составляет, по этому автору, 2—2.5 мг/л. Мы предпочли, однако, ставить эксперимент более остро в бескислородной воде или с ничтожным содержанием кислорода, рассчитывая получить яркую картину гистологических изменений, развивающихся в жесткие сроки.

Организация эксперимента принадлежит А. В. Фотиеву, который указал источник водоснабжения, модифицировал построенную на принципе Крюга проточную камеру и производил определения PH , t и O_2 по ходу эксперимента. Как было им раньше установлено (Фотиев, 1959), эти параметры остаются во взятой воде почти постоянными. Используемый нами герметически закрывающийся аквариум из плексигласа имел 75 л объема. В нем помещалось одновременно 1—2 рыбы. Применялась вода из скважины, питающей водопровод лаборатории, практически лишенная кислорода, что освобождало нас от всяких предварительных манипуляций, направленных на освобождение ее от кислорода или насыщения индифферентными газами, как это иногда раньше практиковалось. Это приближало наш опыт к природным условиям. Поведение рыбы наблюдалось нами визуально.

Не останавливаясь на описании каждого отдельного эксперимента и не приводя отдельных протоколов, дадим только обобщенную картину.

После закрытия крышки аквариума и заполнения его водой лещ некоторое время ведет себя вполне нормально, свободно плавает. Количество дыханий 56—58 в минуту. Через несколько минут, однако, дыхательные движения замедляются и начинают выполняться с явным затруднением, причем появляется прогрессирующее побледнение плавников тела. Начальный момент замедления дыхания и побледнения обычно близко совпадают по времени. Затем рыба переворачивается на спину, но через несколько секунд нормальное положение тела восстанавливается. Такая смена положений происходит обычно несколько раз, пока лещ не ляжет стойко брюхом вверх. Активные

перемещения его теперь прекращаются. Количество дыханий продолжает падать. В агональном состоянии их бывает 28—30, меньше по размеру рыбы дышат несколько чаще. В ходе опыта дыхание становится аритмичным: после 2—3 вдохов, следующих в ускоренном темпе один за другим, наступает продолжительная пауза. Все большее количество вдохов осуществляется в дни приема. Одышка неудержимо нарастает, возникают судорожные подергивания тела, инстаги, покровы совершенно бледнеют, жабры резко анемизируются. При этих явлениях наступает смерть. Мы ее констатировали после того, как в течение не менее 5 мин. рыба не дышала и не проявляла никаких признаков активности.

Подопытные рыбы на разных сроках опыта извлекались из аквариума. Живые немедленно умерщвлялись разрушением спинного мозга. Вскрытие производилось тотчас же. Пищеварительный тракт вместе с печенью, селезенкой и сердцем извлекался в одном комплексе, почки отсеивались отдельно пинетом, головной мозг отделялся вместе с черепной коробкой, вырезались куски жабр и боковой поверхности туловищной мускулатуры. Весь материал фиксировался в 8%-м нейтральном формалине. У части рыб до фиксации изготовлялись мазки — отпечатки печени, почек, селезенки и жабр, которые немедленно окрашивались по Романовскому—Гимза. На другой день или несколько позже из фиксированных тканей иссекали более тонкие фрагменты средней и задней кишки, туловищного и хвостового отдела почек, остальных органов, изолпировали продолговатый мозг и все это снова помещали в свежий раствор 8%-го формалина.

Заливка производилась в парафин. Срезы в 6—8 м толщиной окрашивались гематоксилином Бюмера и эозинном. Реакция на железо с берлинской лазурью ставилась в препаратах почек, селезенки, печени и сердца. Залитые в желатину и замороженные угловыми кислотой кусочки печени, почек и сердца, разложенные на срезы, окрашивались на жир суданом III и суданом черным. Реакция на пероксидазу по Лёве производилась только в срезах почек.

Основные опыты заняли период с 29 января по 14 апреля 1960 г. и октябрь—ноябрь 1960 г. Контролями служили рыбы тех же уловов, что и взятые в опыт, а также лещи, специально выловленные тралом и тотчас же забитые.

Данные о материале и условиях опыта сведены в табл. 1.

В качестве контроля использовано 8 лещей (№№ 15—22) обоего пола, выловленные в январе, июле (летние) и октябре 1960 г. Вес их составлял

Таблица 1

Материал и условия содержания лещей в опытах

Номер опыта	Дата	Вес рыбы, г	Возраст по чешуе, в годах	Пол	Продолжительность опыта	Состояние рыбы к концу опыта
	1960 г.					
1	25 X	630	6+(6)	♀	20 мин.	Жива
2		720	6+(6)	♀	20 мин. (30 мин.)	Отдых, жива ¹
3	16 XI	555	7+(7)	♀	30 мин.	Жива
4	3 II	440	6+(7)	♀	1 час	»
5	19 XI	820	12+(12)	♂	1 ч. 30 м.	»
6	14 XI	530	6+(6)	♀	3 часа	»
7	18 XI	950	12+(13)	♀	9 ч.	Мертва
8	18 II	615	6+(7)	♀	9 ч. 20 м.	»
9	18 XI	750	6+(7)	♀	9 ч. 20 м.	»
10	23 II	680	7+(8)	♀	12 ч. 35 м.	»
11		508	6+(7)	♀	12 ч. 35 м.	»
12	17 III	415	6+(7)	♀	12 ч. 35 м.	»
13		320	5-(6)	♀	28 ч. ²	»
14	14 IV	308	5-(6)	♀	28 ч.	»

¹ Через 20 мин. после начала опыта вследствие неисправности крышки аквариума начал подсасываться атмосферный воздух. В этих условиях лещ находился 20 мин.

² В течение 24-часового наблюдения оставался живым. Через 28 час. от начала эксперимента найден мертвым.

от 150 до 990 г, возраст, определенный по чешуе, от 3+(4) до 13+(14) лет. Определения возраста всех рыб произведено В. И. Остроумовой.

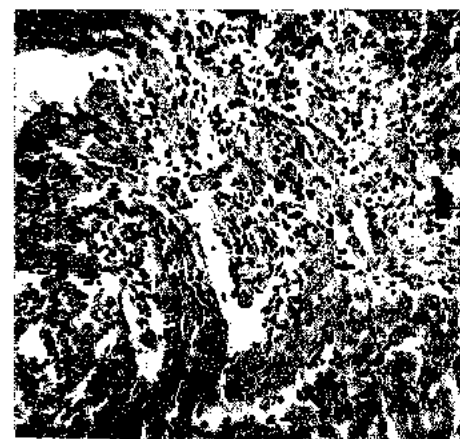


Рис. 1. Лещ № 22. Мышцы сердца летнего леща. 20×10.

не совпадали. У последних, как правило, сосудистое русло было значительнее, полнокровнее. Особенно отчетливо различие выражено в сердце. Кровеносная сеть сердца летнего леща до мельчайших капилляров заполнена кровью. Отдельные эритроциты кое-где проникают даже между миофибриллами (рис. 1). Под эпикардом наблюдались единичные мельчайшие экстравазаты, а иногда небольшие скопления белковой жидкости. Последних в миокарде мы ни разу установить не могли. Никаких альтеративных изменений со стороны миофибрилл и мышечных волокон также не обнаружено. Схематически четко видны переходы волокон из пучка в пучок и синцитиальная структура мышечного состава сердца. Значительно полнокровнее у летнего леща также и почка. В других органах таких разительных отличий кровенаполнения не наблюдалось. Далее мы опишем гистологическую картину изменения отдельных органов.

Сердце

Уже через 20 мин. после начала опыта (лещ № 1) в сердечной мышце появляются первые изменения. В предсердии резко обозначаются капилляры, под эпикардом обнаруживаются многочисленные мелкие

Содержание кислорода показано в табл. 2. Температура воды все время оставалась около 7°, pH 7.2. Интервалы определений — 1 час.

При патологоанатомическом вскрытии подопытных рыб на сроках до 30 мин. включительно никаких видимых изменений против нормальных зимних лещей не отмечалось. Начиная же с 1 часа и позже у опытных обнаруживались признаки венозного застоя внутренних органов, наиболее резко выраженные в погибших в поздние сроки. У летних нормальных лещей органы были несколько полнокровнее, чем у зимних.

В соответствии с макроскопическими данными и микроскопическая картина кровенаполнения внутренних органов лещей зимних и летних

Таблица 2

Содержание кислорода в воде во время опытов (Материалы А. В. Фотиева)

Номер опыта	Содержание кислорода, мг/л
1	0.4—0.8 и далее так до конца опыта.
2	0.7, в конце 2.15.
3	0.4—0.8 и далее так до конца опыта.
4	0.5—0.2 и далее так до конца опыта.
5	0.4—0.08 и далее так до конца опыта.
6	То же.
7	0.35—0.12—0.08—0.0 и далее так до конца опыта.
8	То же.
9	» »
10	0.4—0.35—0.35—0.12—0.08 и далее так до конца опыта.
11	То же.
12	» »
13	0.93—0.56—0.36—0.37—0.20—0.12—0.08—0.04 и далее так до конца опыта.
14	То же.

мельчайшие экстравазаты, которые в норме встречаются только в порядке единичных исключений. В желудочке возникают изолированные некрупные (рис. 2) и более диффузные (рис. 3) очаги круглоклеточной инфильтрации с перифокальной гиперемической зоной, местами мышечные пучки начинают набухать и разволокняются. Аналогичные изменения выявились и у леща № 2. После 30-минутного пребывания в бескислородной воде полости предсердия полны крови, замедление кровотока местами переходит в стазы. Васкулярная система желудочка резко переполнена кровью со стазами в крупных ветвях. Вокруг них обширные круглоклеточные инфильтраты (рис. 4). Вокруг мелких экстравазатов ясная исчерченность миофибрилл несколько стирается и мышечные волокна начинают краситься неравномерно. В миокарде формируются мелкие очаговые инфильтраты из круглых и отростчатых клеток. Патологические явления продолжают нарастать. Кровеносные сосуды переполнены кровью, эритроциты местами проникают между миофибриллами и мышечными пучками. Миофибриллы раздвинуты отеочной жидкостью. На поперечных разрезах отчетливо рисуются поля Конгейма. Значительно меньше изменений

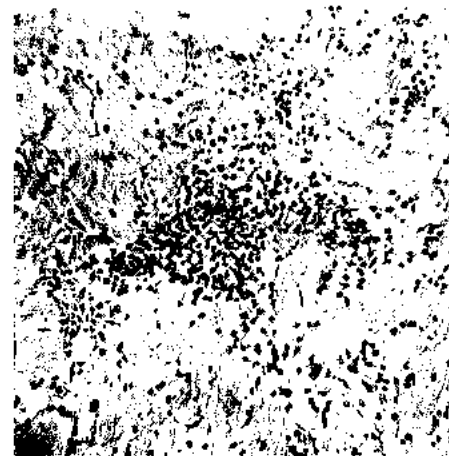


Рис. 2. Лещ № 1. Сердце. Некрупный очаг круглоклеточной инфильтрации в мышце желудочка. 20×10 .

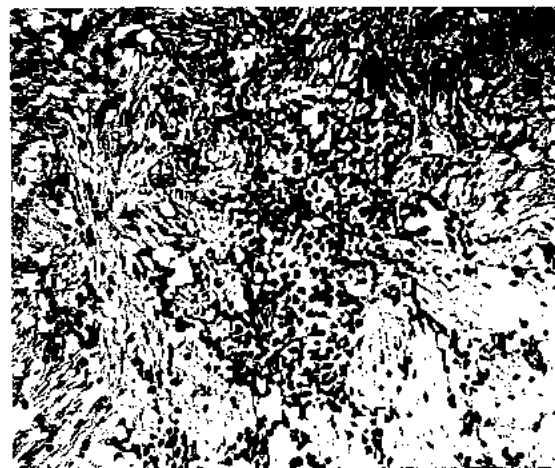


Рис. 3. Лещ № 1. Сердце. Более обширная диффузная круглоклеточная инфильтрация миокарда. Начало межфибриллярного отека. 20×10 .

у леща № 5. Здесь, кроме умеренной гиперемии, наблюдались лишь единичные экстравазаты в миокарде и местами неравномерная окраска мышечных пучков. У леща № 6 через 3 часа от начала опыта резко выражены стазы, мелкоузелковые инфильтраты (рис. 5), субэпикардальные экстравазаты, сильный межфибриллярный отек мышцы (рис. 6) и очаговая ее

дезорганизация преимущественно вблизи узелков инфильтрата (рис. 7). Последние содержат не только элементы гематогенного, но и ретикулярные гистиогенного происхождения. Ядра отдельных мышечных волокон

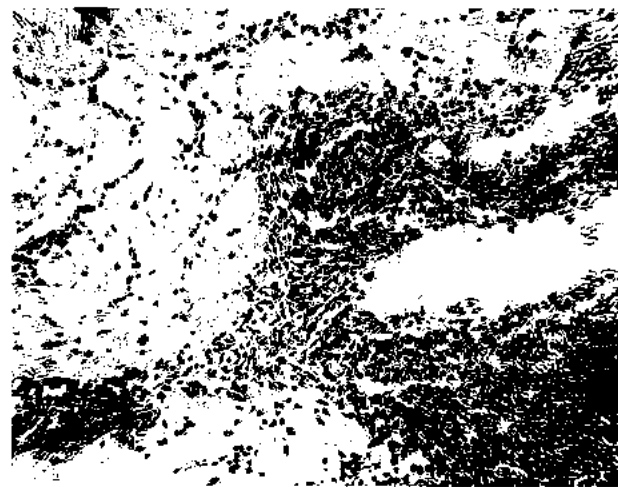


Рис. 4. Лещ № 3. Сердце. Гемостаз, обширный перифокальный круглоклеточный инфильтрат. 20×10 .

находятся в состоянии амьтотоза. Отчетливее выделяется неравномерность окраски некоторых мышечных пучков. Отечная жидкость местами скапливается между волокнами в форме своеобразных мелких «озер» или лакун.

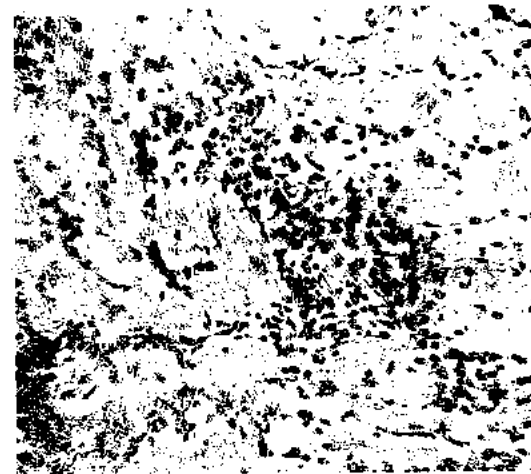


Рис. 5. Лещ № 6. Сердце. Мелкоузелковый инфильтрат в миокарде. 20×10 .

Посмертная картина у всех изученных рыб в общем одинакова. У экземпляров, погибших через 9 час., сохраняются нарушения, описанные для леща № 6, убитого после 3 час. опыта: гиперемия, кровоизлияния, стазы, отек, очаговая дезорганизация мышцы, лакуны, заполненные отечной жидкостью (рис. 8). Инфильтративные узелки местами при



Рис. 6. Лещ № 6. Сердце.
Отек миокарда. Мышечные фи-
бриллы резко раздвинуты.
20×10.



Рис. 7. Лещ № 6. Сердце. Узелковый круглоклеточный
инфильтрат и локальная дезорганизация миокарда.
20×10.

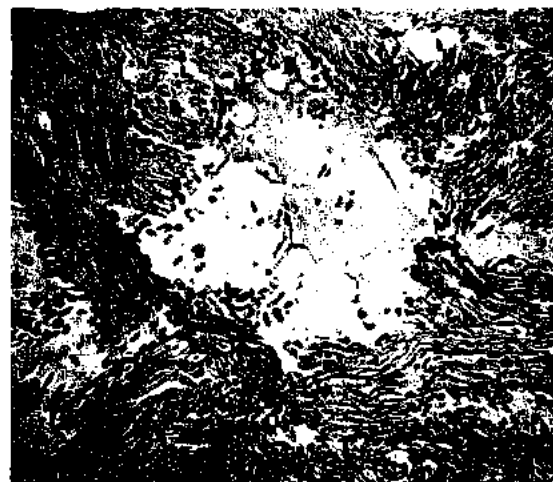


Рис. 8. Лещ № 9. Сердце.
Отек, очаговая дезорганизация
миокарда, скопления отечной
жидкости в форме лакун.
20×10.

реки характер более солидных образований за счет размножения предсуществовавших местных тканевых клеток. У рыб, живших более 24 час., зарегистрирован резко выраженный отек сердечной мышцы.

Реакции на железо и жир во всех случаях оказались отрицательными.

Жабры

Картина жабр зимнего леща представлена на рис. 9. Жаберные лепестки хорошо выражены, содержат мало крови, местами отчетливо

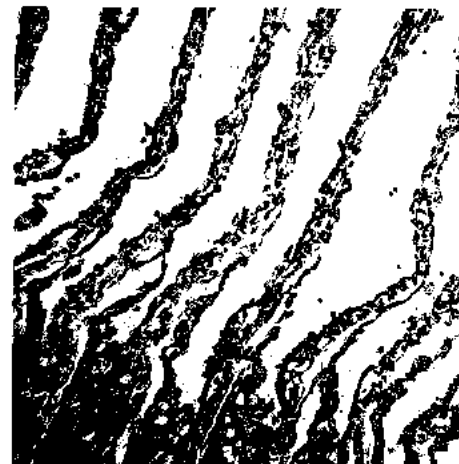


Рис. 9. Лещ № 17. Жабры. Лепестки хорошо выражены, бедны кровью, отдельные ацидофильные клетки. 20×10 .

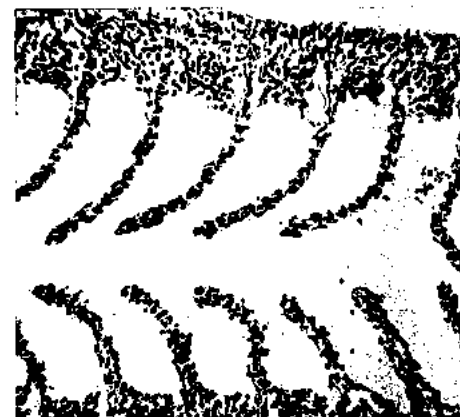


Рис. 10. Лещ № 22. Жабры. Лепестки богаты кровью. 20×10 .



Рис. 11. Лещ № 4. Жабры. Колбообразные вздутия жаберных лепестков. 20×10 .



Рис. 12. Лещ № 4. Жабры. Лепесток с колбообразными расширениями. 20×10 .

выделяются крупные клетки с пузырьчатыми ядрами, в некоторых цитоплазма светлая, ацидофильная, в других бесцветная. У летнего леща лепестки богаты кровью (рис. 10).

Через 20 мин. после начала опыта у зимних лещей № 1 и № 2 наступает резкое переполнение кровью лепестков и кровеносных сосудов, и картина приближается к той, что мы наблюдаем у лещей летнего вылова.

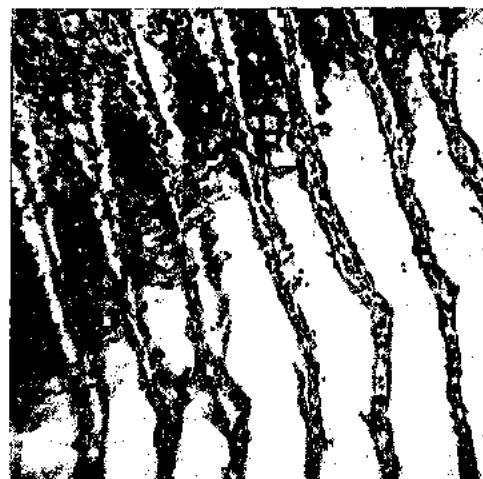


Рис. 13. Лещ № 5. Жабры. Лепестки напряжены, содержат кровь, ацидофильные клетки. Начало дезорганизации отдельных лепестков. 20×10 .

После 30-минутного кислородного голодания картина почти аналогичная. У леща № 4 через 1 час кровенаполнение лепестков достигает крайних пределов. Отдельные из них расширяются так значительно,

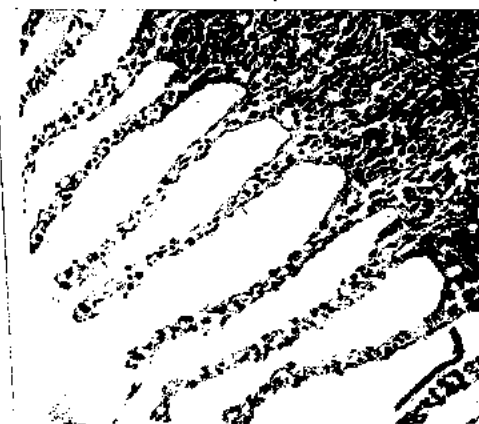


Рис. 14. Лещ № 6. Жабры. Крови в лепестках немного, колбообразные вздутия спались. 20×10 .



Рис. 15. Лещ № 8. Жабры. Лепестки содержат мало крови и частично дезорганизованы. 20×10 .

которые принимают форму овалов или колб (рис. 11, 12). Заметно увеличивается количество ацидофильных и светлых объемистых клеток с круглыми ядрами. У леща № 5 лепестки также переполнены кровью, напряжены. В них кое-где нарушена целостность стенки: отдельные клетки эпителия слущены, наблюдается диapedез эритроцитов. Встречаются ацидо-

фильные клетки (рис. 13). Через 3 часа (лещ № 6) крови в лепестках значительно меньше, они несколько спадаются. Уменьшились также вздутия лепестков (рис. 14). У лещей №№ 7, 8 жабры также относительно малокровны. Отдельные лепестки частично дезорганизованы, ацидофильные и «светлые» клетки сохраняются (рис. 15). У леща № 9 лепестки бедны

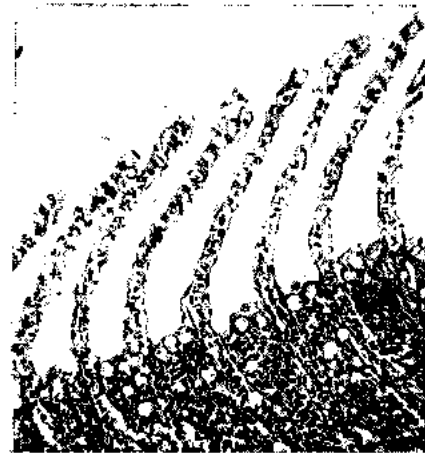


Рис. 16. Лещ № 10. Жабры. Основа лепестков имbibирована кровью, много «светлых» клеток. 20×10.



Рис. 17. Лещ № 14. Жабры. Дезорганизация архитектуры лепестков. 20×10.

кровью и стенки их частично повреждены. Кровь сохранилась только в кровеносных сосудах. У леща, погибшего через 12 час. 35 мин. от начала эксперимента, основа лепестков имbibирована кровью, много ацидофильных клеток (рис. 16). У лещей №№ 13, 14, живших более 24 час. и найденных через 28 час. мертвыми, архитектура лепестков сохранилась, но местами стенка их дезорганизована, много светлых и отдельных ацидофильных клеток, кровь преимущественно в сосудах (рис. 17).

Почки

В нормальной почке леща микроскопическое строение туловищного и хвостового отдела разнятся мало. В ретикулярной основе из ветвистых отростчатых клеток располагаются разрезанные в разных сечениях мочевые канальцы. Дистальные (светлые) и проксимальные (темные) их отделы легко различимы. Мальпигиевы клубочки довольно многочисленны и концентрируются преимущественно на периферии органа. Более крупные собирательные трубки выстланы многослойным цилиндрическим эпителием. В промежутках между нефронами заложены скопления однородных мелких круглых одноядерных элементов лимфоидного характера. Там, где последние лежат более рыхло, удается разглядеть, что ветвистые элементы стромы оплетают капилляры и тесно соприкасаются со стенками вен.

Через 20 мин. после начала опыта и после 30 мин. отдыха несколько усиливается кровенаполнение и появляются отдельные стазы. Через 30 мин. кровенаполнение капилляров, сосудов мелкого калибра, а также мальпигиевой сети клубочка возрастает (рис. 18), местами обнаруживаются стазы и диффузные кровоизлияния (рис. 19). Через 1 и 1.5 ч. наступает резкое полнокровие органа и формируются очаговые скопления

ния крови в лимфодной ткани. Крупные сосуды расширены, имеются стазы, в мочевых канальцах образуются геморрагические цилиндры, в слизистых клетках повышается содержание секрета. Через 3 часа после начала опыта картина примерно та же. У леща № 7, погибшего через

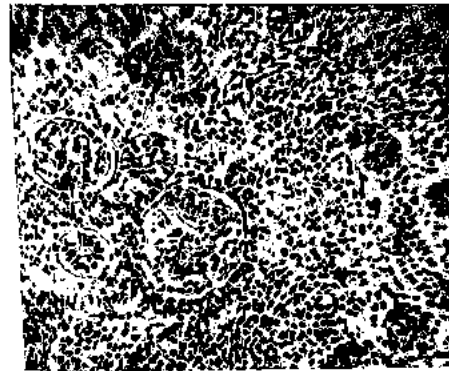


Рис. 18. Лещ № 3. Печка. Повышенное кровенаполнение мелких сосудов мальпигиевой сети клубочка. 20×10 .

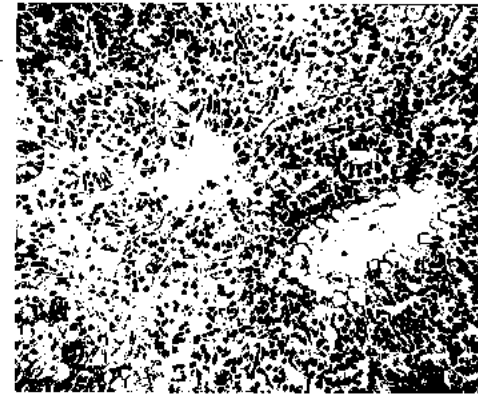


Рис. 19. Лещ № 3. Печка. Стазы и диффузные кровоизлияния в паренхиме органа. 20×10 .

9 час. после начала опыта, резко выраженная гиперемия органа, сосуды паренхимы и клубочков переполнены кровью, диффузные кровоизлияния, скопления отечной жидкости в форме «озерков» или лакун. Сморщиваются отдельные мальпигиевые клубочки. Новым становится появление среди лимфатической ткани различной величины участков крупных, светлых клеток, расположенных довольно свободно. Ядра их объемисты, круглы, часто отеснены к периферии клетки. В них

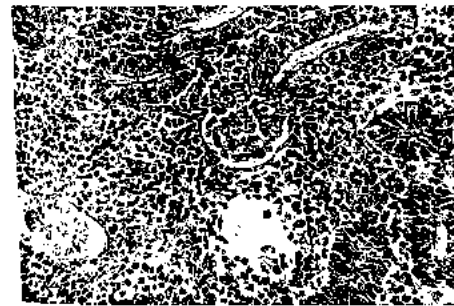


Рис. 20. Лещ № 7. Печка. Набухание и вакуолизация мальпигиевых клубочков, отек органа. Миэмоноцитоз. 20×10 .

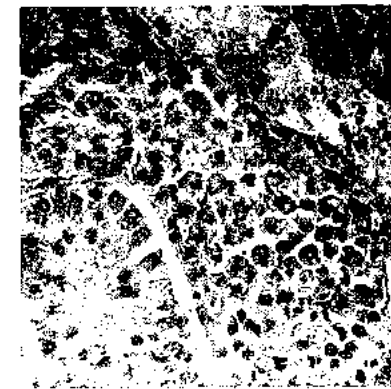


Рис. 21. Лещ № 7. Печка. Очаг миэмоноцитоза. 90×5 .

много митозов на различных стадиях. Некоторые из этих очагов клеточного размножения соседствуют с кровяными сосудами, и новообразующиеся клетки проникают в ток крови. Морфологически они отвечают миэобластическим элементам. Отдельные участки этой почки при возрастающих микроскопических увеличениях изображены на рис. 20, 21, 22 и 23. У леща № 8 доминируют изменения клубочков: сморщивание эпителия бауменовской капсулы, набухание отдельных ее клеток, вакуолиза-

ция и пикнотизация ядер. В мальпигиевых клубочках много крови. Наблюдаются гемостазы и отек органа, скопление бурого пигмента в сосудах. Отдельные крупные собирательные трубки забиты слущенным почечным эпителием (рис. 24).

Распространенные очаги миэлопоза обнаружены и здесь (рис. 25). У леща № 9 резко выражена деструкция клубочков (рис. 26), слущивание эпителия бауменовской капсулы, сморщивание самого клубочка,

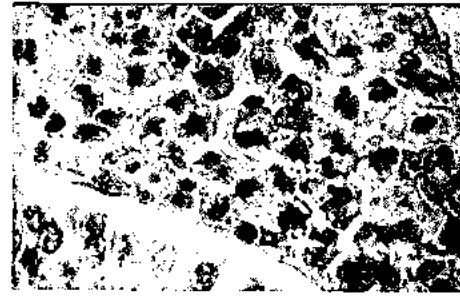


Рис. 22. Лещ № 7. Очаг миэлопоза в почке. 90×10.

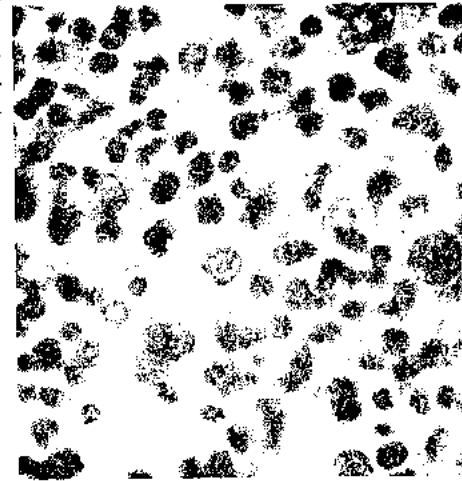


Рис. 23. Лещ № 7. Почка. Участок миэлопоза с преобладанием начальных стадий митозов. 90×10.

свободная кровь в его полости, отек. Другие клубочки, наоборот, велики сочны, вакуолизированы. В паренхиме массивные скопления свободно излившейся крови, отек ткани, значительное количество нагруженных



Рис. 24. Лещ № 8. Почка. Крупные собирательные трубки заполнены слущенным эпителием. 20×10.

бурым пигментом клеток, расположенных как внутри сосудов, так и вне последних. Очаги активного миэлопоза отмечаются и у этой рыбы. У леща № 11, погибшего через 12 ч. 35 м., и № 12, жившего более суток, преобладали деструктивные изменения клубочков, отек органа и диффузные кровоизлияния. Во многих сосудах наблюдалось скопление бурых пигментных клеток. У леща № 13 на первый план выступали диффузные кровоизлияния с разрушением ткани органа, воспалительные изменения клубочков и цилиндры в мочевых канальцах. У леща № 14 резко выражен общий венозный застой. Наблюдалось массовое выхождение эритроцитов в паренхиму, диффузное пропитывание тканей

кровью, некоторая деструкция архитектуры органа. Пигментные отложения и бурые клетки встречались здесь лишь ограниченно. В эпителии мочевых канальцев мелкокапельное ожирение, выявленное окраской су-

даном III и суданом черным. Изменения, характеризующие терминальное состояние, развивались однотипно и примерно с одинаковой интенсивностью у всех погибших рыб вне зависимости от срока их гибели и локализовались как в хвостовом, так и в туловищном отделе с одинаковой силой.

Реакция на пероксидазу. У лещей контрольных и подопытных, недолго находившихся в бескислородной воде, положительно реагировали на пероксидазу лишь белые кровяные клетки внутри сосудов, паренхиматозные же элементы этой реакции не давали. У лещей №№ 9, 13, 14 и слабее у №№ 7, 8, 10 и 11 при длительном эксперименте отмечены более или менее распространенные очаги положительно реагирующих клеток, топографически отвечающие описанным выше участкам миелопоза в паренхиме органа.

Реакция на железо у всех изученных экземпляров в почках оказалась отрицательной.

Реакция на жир. Мелкие капли жира в эпителии мочевых канальцев найдены только у леща № 14.

Печень

Печень у лещей тубулярно-дольчатого типа (Андрес, 1959). У зимних лещей кровь в этом органе обнаруживается в небольшом количестве в междольковых венах и капиллярах. Структура органа и конфигурация клеток выражены ясно. Через 20 мин. от начала опыта (лещ № 1) гиперемия заметно возрастает, появляются стазы, что наблюдалось также и у леща № 2 после отдыха в воде с большим содержанием кислорода. После 30-минутного воздействия бескислородной воды наполнение капилляров несколько сильнее. Через 1 час (лещ № 4) и через 1.5 часа (лещ № 5) те же изменения выражены еще более отчетливо. Стазы попадают чаще. Такая же картина отмечена и после 3 час. эксперимента. У всех погибших в опыте лещей изменения однозначны. У №№ 8 и 9 отмечалось относительное малокровие органа, у №№ 10 и 11 капилляры тоже содержали мало крови, в крупных сосудах еще меньше. У №№ 12 и 13 капилляры не вырисовываются, в более крупных сосудах крови несколько больше, местами стазы. Лещи №№ 7 и 10 обладали исключительно полнокровной

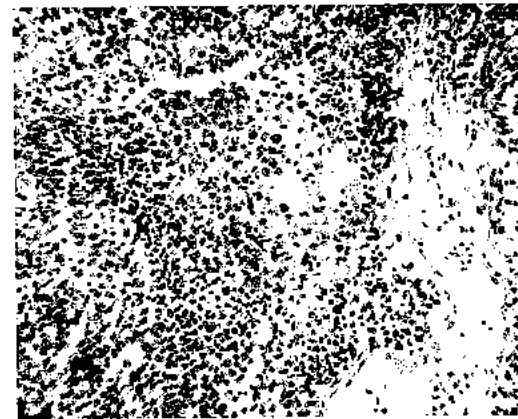


Рис. 25. Лещ № 8. Почка. Очаги миелопоза. 20×10 .



Рис. 26. Лещ № 9. Почка. Кровоизлияния в паренхиму органа, отек, деструкция клубочков. 20×10 .

печенью со светлыми вакуолизированными клетками и хорошо сохранившимися ядрами в последних.

Окраска суданом была проведена как у контрольных зимних и летних рыб, так и у подопытных. У всех она прошла сходным образом. В паренхиматозных клетках органа выявлялось много мелких и мельчайших капелек жира, диффузно расположенных в цитоплазме. Судан черный выявлял несколько больше жировых капелек, чем судан III. Такое содержание и распределение жира в печени надо считать нормальным.

Реакция на железо положительной оказалась у леща № 14, а у всех остальных — отрицательной.

Пищеварительный тракт

Исследованные кусочки средней и задней кишки в отношении сосудистых изменений оказались аналогичными. Изменения в кишечнике в общем развиваются параллельно картине изменений печени. Через 20 мин. от начала опыта выявляется некоторая гиперемия сосудов кишечной стенки и капилляров ворсинок, исчезающая после 30-минутного отдыха. У леща № 4 отмечена интенсивная гиперемия ворсинок и усиленная секреция слизи в бокаловидных клетках. У леща № 5 мы нашли в ворсинках много эозинофилов. К моменту максимального кровенаполнения других внутренних органов, т. е. 1.5—3 часам, венозный застой в кишечнике относительно менее выражен. У погибших лещей как в крупных сосудах, так в мышечной стенке и в капиллярах ворсинок крови значительно больше. Однако такие полнокровные участки чередуются с другими, где подобного не отмечалось. Пестрота в кровераспределении особенно отчетливо была выражена у леща № 14.

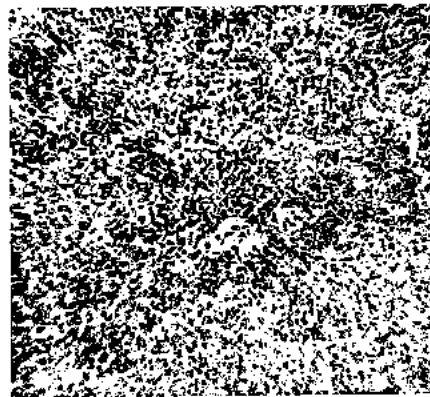


Рис. 27. Лещ № 15. Нормальная селезенка зимнего леща. 20×10.

Селезенка

В селезенке у зимних лещей кровь содержится преимущественно внутри сосудов, выходение эритроцитов в пульпу ограничено. Клеточный состав пульпы мноморфен и представлен большим количеством лимфоцитов различной степени зрелости (рис. 27). Начиная с 20 мин. опыта и в прогрессирующей степени при дальнейшем сроках в пульпе накапливается по-

7
больше эритроцитов. К 1.5 часам развиваются обширные стазы и появляются диффузные очаги кровоизлияний. У погибших лещей вырисовываются залитые кровью участки, наполненные белковой жидкостью с примесью эритроцитов (рис. 28). В пульпе же залегают глыбки бурого и золотистого пигмента. Последний встречается и интравазально, а кое-где пропитывает стенки сосудов среднего и более крупного калибра. У леща № 9 пигмент был отмечен и внутри сосудов в растворенном виде. У леща № 12 этот пигмент имbibировал сосудистые стенки, отлагаясь глыбками внутри сосудов, в форме массивных образований встречаясь в пульпе и был включен в сосуды мальпигиева клубочка. У этого леща наблюдались также и гемостазы. У № 14 в просвете крупных сосудов оказалось много лейкоцитов, нагруженных бурым пигментом. Очаги активного кроветворения в селезенке пигде не выявилось.

Реакция на железо у лещей №№ 9, 11, 12 и 15 была отрицательной, у лещей №№ 13 и 14 — положительной. Топографически она отвечала расположению золотистого пигмента в окрашенных гематоксилином и эозином препаратах.

Поджелудочная железа

Поджелудочная железа представлена у леща отдельными островками и тяжами, сопровождающими кровеносные сосуды печени, селезенки, кишечника и брыжжейки. Группы панкреатических клеток иногда только прилегают к поверхности перечисленных органов, иногда же вместе с питающими сосудами проникают в глубь органа, где окружаются специфической паренхимой последнего. В ходе эксперимента состояние кровеносной системы поджелудочной железы повторяет состояние сосудов того органа, к которому она примыкает. Со стороны же ее железистых элементов никаких особых изменений мы отметить не могли (рис. 29).



Рис. 29. Лещ № 8. Участок поджелудочной железы вблизи печени без существенных изменений. 20×10.



Рис. 28. Лещ № 12. Селезенка. Обширные кровоизлияния в пульпу и ее разрыхление отеочной жидкостью. 20×10.

Продолговатый мозг

В контрольных препаратах разрезов продолговатого мозга через IV желудочек наблюдалось умеренное кровенаполнение, преимущественно сосудов мозговых оболочек. Полость желудочка пуста или содержит небольшие обрывки Choroidae и отдельные спущенные клетки или обрывки эпандимы. Эритроциты встречались в порядке редкого исключения.

В опытах продолжительностью 20 и 30 мин. и после получасового отдыха имело место некоторое полнокровие преимущественно за счет сосудов мозговых оболочек и мелких сосудов и капилляров мозгового вещества. К 1.5—3 часам гиперемия усиливалась. Структура органа и архитектура отдельных нейронов, видимо, не страдала.

Терминальные же изменения, наоборот, отчетливо выражены. Доминирует резкое переполнение кровью мозговых оболочек с отдельными мелкими экстравазатами (рис. 30), венозный застой во всей сосудистой системе и массивные кровоизлияния в полость IV желудочка (рис. 31). Особенно выпукло геморрагические изменения представлены у леща № 14.

Туловищная мускулатура

Как у контрольных, так и у подопытных животных в кусочках, взятых из мышц боковой стороны туловища, строение оставалось нормаль-

ным. Кровенаполнение до 30 мин. опыта примерно соответствовало норме, позже же развивалась анемия, и периферические сосуды и капилляры оказывались часто пустыми.

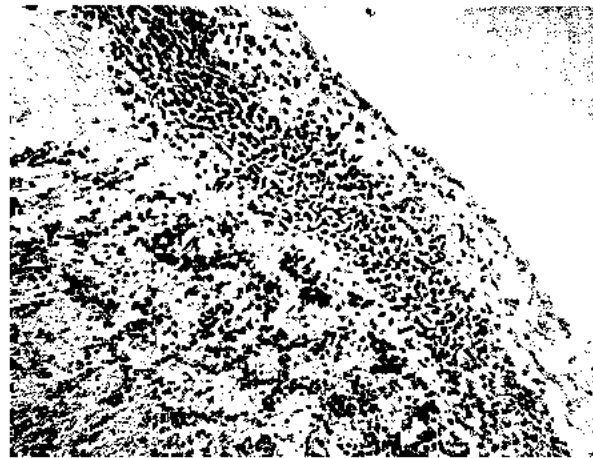


Рис. 30. Лещ № 8. Продолговатый мозг. Обширные субарахноидальные кровоизлияния. 20×10 .

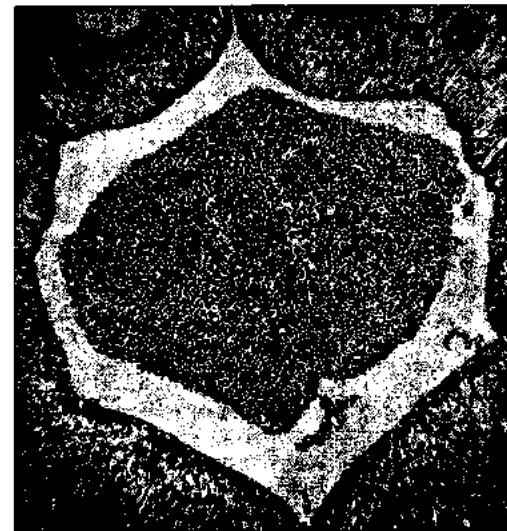


Рис. 31. Лещ № 14. Продолговатый мозг. Массивное кровоизлияние в полость IV мозгового желудочка.

Гонады

Как у самцов (№№ 4, 5, 7, 17, 18, 20), так и у самок (№№ 1, 2, 3, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 21, 22) гонады находились на II или III стадии зрелости. Никаких изменений против нормы в них отметить не удалось.

Исследование препаратов-мазков

Для подтверждения факта усиления кроветворения в почках, обнаруженного гистологически, мы прибегли к цитологическому исследованию мазков-отпечатков этого основного кроветворного органа. В качестве контроля брали мазки из печени, селезенки и жабр. От анализа периферической крови мы отказались, поскольку вследствие венозных застоев в висцеральных органах количественный и морфологический состав кровяных элементов на периферии не отражает локальных сдвигов гемопоэза в отдельных участках тела.

Клеточный состав белой крови леща, как и большинства костистых рыб, все еще является дискуссионным (Jordan-Speidel, 1932; Duthie, 1939; Заварзин, 1945; Dombrowsky, 1953; Topf, 1955; Остроумова, 1957; Пестова, 1960). Основная масса белой крови леща представлена малыми лимфоцитами, в том числе почти лишенными цитоплазмы («голые» ядра). Флемминг (Flemming, 1954) таковых в периферической крови находит до 87%. Остальные типы лейкоцитов леща трактуются по-разному. Флемминг различает пероксидазные элементы и тромбоцитобласты. Поскольку нас интересовали не спорные вопросы состава и генеза клеток белого ряда, а только дополнительные доказательства усиления гемопоэза в почках, мы ограничились более упрощенной классификацией, которая выделяет лишь основные типы кровяных лейкоцитов. Она, однако, вполне достаточна для того, чтобы оценить относительную интенсивность регенерации элементов лимфо- и миелоидного ряда. Если действительно образование миелоидных клеток на определенной фазе замора усиливается, то, очевидно, следует ожидать и повышения их процента по отношению к лимфоцитам при условии, конечно, что эти последние избирательно не страдают. Предположить же усиленный распад лимфоцитов в условиях опыта решительно не было никаких ни теоретических, ни фактических оснований.

Мы дифференцировали только 3 группы: малые лимфоциты, включая и «голые» ядра, моноциты, к которым относили крупные одноядерные клетки, лишенные зернистости, не принадлежащие к миелоидному ряду, и, наконец, гранулоциты — элементы с различного рода и с разным количеством гранул. Последнюю категорию клеток мы рассматривали как имеющую миелоидную природу. Гранулоциты более или менее отвечают пероксидажным элементам Флемминга. Отдельно регистрировались нормобласты и молодые эритроциты.

В каждом случае в мазках просматривалось по 1000—1200 клеток белой крови, причем учитывались только те элементы, морфологические признаки которых были отчетливо различимы.

Как видно из табл. 3, в мазках из почек у лещей №№ 2—6 наблюдается совершенно отчетливое повышение количества гранулоцитов, которое возрастает после начала опыта вдвое, к 1.5 часам достигает трехкратного повышения и остается еще увеличенным вдвое и к 3 часам. Поскольку никаких признаков повышенной гибели или расхода лимфоцитов в ходе исследования не выявилось, мы вправе, очевидно, увеличение процентного содержания миелоидных клеток в полученных цитограммах рассматривать как отражение реального нарастания их численности *in loco*.

Несколько возрастает количество клеток миелоидного ряда к 1.5 часам также в печени и селезенке. Является ли последнее следствием их вымывания из других очагов гемопоэза или тоже свидетельствует о возникновении здесь аутохтонных очагов, решить пока невозможно. Все же отсутствие прямых сосудистых связей между почками, с одной стороны, печенью и селезенкой — с другой, может, пожалуй, скорее склонить нас в пользу второй из этих возможностей, тем более что, судя по мазкам

из жабр, соотношение типов лейкоцитов в периферической крови практически не менялось. Таким образом, даже на ранних сроках опыта, когда нам микроскопически не удастся выявить новых очагов кроветворения, уже наблюдается усиление такового, очевидно, за счет мобилизации дифференцирующихся клеток в существующих депо.

Обращает на себя внимание и появление в мазках из почек некоторого количества эритробластов и юных эритроцитов, что также говорит за усиление кроветворения в почках на этих сроках. У леща № 5 молодые эритроциты были зарегистрированы также в мазках из селезенки.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведенный выше материал позволяет вскрыть некоторые моменты процесса замора лещей и выявить отдельные компенсаторные механизмы организма. При всех индивидуальных вариациях интенсивности реакций со стороны отдельных рыб весь процесс может быть разделен на 3 фазы, которые мы назовем начальной, активной компенсации и заключительной.

Для начальной фазы характерны глубокие гемодинамические сдвиги, гиперфункция сердечной мышцы с резким повышением кровенаполнения питающих ее сосудов, гиперемия жаберных лепестков. Морфологическим эквивалентом второй фазы является мобилизация дополнительных очагов кроветворения, особенно рельефно выраженная в почках, и появление в жабрах ацидофильных и светлых клеток, возникновение очагов распада крови в селезенке. Для заключительной характерными являются поражения миокарда, паралич сердца и васкулярной системы с резкими венозными застоями во внутренних органах, гиперемия и кровоизлияния в головном мозгу. Фазы сменяются постепенно и границы между ними, естественно, в известной степени условны.

Остановимся на каждой из этих фаз отдельно.

Гемодинамические сдвиги в первой фазе обнаруживаются уже после 20-минутного воздействия дефицита кислорода. По-видимому, эти изменения первоначально легко обратимы, поскольку 30-минутный «отдых» нормализует кровенаполнение. Максимум сосудистых расстройств первого периода достигается в условиях опыта через 1.5—3 часа, когда кровообращение по своей интенсивности приближается к таковой у «летних» высоко активных лещей. В опыте она, однако, осложняется рядом признаков наступающего тканевого отека и задержки крови в отдельных участках русла, чего у нормальных рыб мы не наблюдали.

Разительным же морфологическим отличием является образование описанных выше колбовидных вздутых жаберных лепестков, приводящее к увеличению дыхательной поверхности. Подобные образования ранее наблюдал Г. Д. Гончаров у тюльки и хамсы Азовского моря, выловленных при условиях естественного замора в 1948 г. (личное сообщение). В литературе же подобные образования описываются впервые. Механизм их формирования не может еще считаться выясненным. Мы склонны думать, что в основе такой своеобразной перестройки лепестка лежит двойственная его функция: как дыхательного органа и как своеобразного капилляра. Волосные кровеносные сосуды, как известно, легко расширяют свое русло, а в анатомическом устройстве лепестков нет никаких структур, которые могли бы препятствовать именно такому изменению его просвета. Исходная стимуляция кровообращения, по-видимому, определяется непосредственно дефицитом кислорода. Дори и Рейц, как цитирует Браун, прямыми опытами установили, что уменьшение количества омывающей жабры воды у *Scyliorhinus stellare* повышает кровяное давление. Естественно предполагать, что принципиально тот же эффект наступит и при уменьшении количества протекающей через

жабры крови или снижения в ней концентрации кислорода. Раньше всего из механизмов компенсации микроскопически удается констатировать интенсификацию кровотока. Усиление окисления достигается при этом, однако, не только этим, но и сопутствующим ему расширением воспринимающей поверхности жабр. Именно в этом плане следует оценить массивное кровенаполнение жаберных лепестков, их напряженность и описываемые нами колбообразные и веретенообразные расширения и вздутия.

В фазе активной компенсации резко усиливается кроветворение. Прежде всего мобилизуются дополнительные депо клеток крови в предрасположенных центрах гемопоэза, позже возникают и новые очаги, начиная с почек как основного кроветворного органа костистых рыб. Не исключено, что и в других зонах организма активируются гемопоэтические функции, поскольку в известной мере последняя сохраняется у рыб за многими дериватами соединительной ткани (Пестова, 1960). В почках такие очаги были обнаружены микроскопически, а их миелоидный характер подтвержден положительной реакцией на пероксидазу. За то же говорят и цитогаммы мазков изученных в этом направлении органов. При этом оказалось, что элементы эритробластического ряда нарастают более медленным темпом, чем миелоидного. Молодые формы эритроцитов встречались гораздо реже, чем белых клеток крови, и только единично. По-видимому, даже при адекватном раздражении мобилизация клеток красного ряда развивается позже или продолжается дольше, чем регенерация лейкоцитов. Такой порядок активации отдельных гематологических систем, вероятно, имеет глубокие основания, поскольку в онтогенезе эритроциты тоже возникают позже бесцветных элементов крови. Однако в создавшихся в опыте условиях дефицита кислорода отставание эритропоэза становится одним из звеньев патологического процесса, в конечном счете определяющего летальный для рыбы исход. Наши заключения о роли дефицита кислорода для кроветворения стоят в полном соответствии с публикацией И. Н. Остроумовой (1957), наблюдавшей на карпах, что уменьшение потребления кислорода первоначально стимулирует гемопоэз, впрочем, снижая его на более поздних сроках.

Другим морфологически выявленным компенсаторным механизмом этой фазы следует признать обогащение жаберных лепестков крупными своеобразными объемистыми клетками с крупным ядром, протоплазма которых иногда ясно ацидофильна, иногда же при примененных нами методах остается бесцветной и как бы пустой. Располагаются эти клетки преимущественно в основе лепестка и нормально не распространяются к его апикальному концу, только в терминальных стадиях заморов мы констатировали их по всему протяжению лепестка. Нередко в цитоплазме этих клеток встречаются мелкие гранулы секрета, в одних контурированные более резко и отчетливо, в других с менее резкими, как бы расплывающимися границами. Удается наблюдать все переходы между «ацидофильными» и «светлыми» или «пустыми» клетками. Естественно считать их различными функциональными стадиями одного и того же клеточного типа. О природе и физиологическом значении этих элементов в литературе единого мнения не существует. В более новых работах авторы склонны интерпретировать их как специализированные аппараты осморегуляции, осуществляющие свою функцию через деминерализацию преимущественно изотонического организма и выделяющие продукты этого распада в окружающую среду. Существующие по этому вопросу мнения сопоставлены Бертоном (Bertin, 1958), Кейс и Уиллмер (Keys a. Willmer, 1932), Лиу (Liu, 1942), Коупленд (Copeland, 1948) сближают описываемые клетки с клетками, секретирующими HCl в желудке млекопитающих. Однако еще

Т а б л и ц а 3
Содержание различных форм клеток крови в мазках органов подопытных лещей (в %)

Номер опыта	Печень			Селезенка			Жабры			Нижко-бласти
	лимфо-циты	моноциты	грануло-циты	лимфо-циты	моноциты	грануло-циты	лимфо-циты	моноциты	грануло-циты	
1	84.3	7.7	8.0	96.8	1.0	2.2	95.0	1.5	3.5	6.0
2	83.9	2.9	13.2	96.6	1.8	1.6	93.1	2.8	4.3	13/0
3	79.0	3.9	17.4	93.2	2.8	4.0	93.4	1.9	1.7	5/0
5	67.3	6.9	25.8	89.9	2.8	7.3	94.4	2.1	3.9	7/3
6	79.3	6.4	14.3	96.3	1.7	2.0	94.3	4.1	1.6	8/0
16	88	6.3	5.3	97.7	1.5	0.8	98.6	1.2	0.2	Нет
17	86.7	4.7	8.6	97.0	1.4	1.6	98.6	1.0	0.4	Нет

В числителе — содержание в печени; в знаменателе — в селезенке.

Бевеландер (Bevelander, 1935) рассматривал ацидофильные клетки жабр как элементы более сложного функционального значения, приписывая им активную роль в процессе не только осморегуляции и выделения, но и дыхания. Очевидное накопление этих клеток в условиях экспериментального дефицита кислорода подкрепляет суждение последнего автора. Косвенным дополнительным подтверждением этой точки зрения могли бы служить и находки в аналогичных по характеру клетках газовой железы карбоангидразы, участвующей в выделении CO_2 (Коштоянц, 1950). Угольная же кислота принимает участие в регуляции дыхания.

В центре патологических изменений заключительной фазы стоит все возрастающее повреждение сердечной мышцы. Первоначальные изменения в ней носят очаговый характер, однако поражения последовательно распространяются на все новые и новые участки, усиливаются в своей интенсивности и приводят в отдельных зонах к перестройкам и деструкции мышцы, по существу близким к предынфарктным повреждениям этого органа у высших млекопитающих. Эти поражения в высокой степени способствуют нарушению циркуляции. В круге кровообращения рыб сердце расположено позади жабр и впереди крупных венозных стволов туловища, из которых кровь поступает в сердце. Следовательно, ослабление или паралич сердечной мышцы должны вызывать анемизацию жабр и венозные застои внутренних органов. Именно эти изменения и выявились самым рельефным образом в опытах на поздних сроках. Ослабление же циркуляции и уменьшение объема протекающей через жабры крови в свою очередь влекут нарастание аноксемических явлений, создавая в функции кислородного обмена порочный круг.

Очень показательным моментом глобального расстройства циркуляции в длительном эксперименте выступает также все усиливающийся распад крови в селезенке. Усиление роли селезенки, как «ловушки» эритроцитов, становится очевидным с $1\frac{1}{2}$ час. опыта, когда впервые были найдены в мазках из нее те

лодые эритроциты, явно не закончившие своего нормального срока существования в токе крови. Завершение распада эритроцитов в селезенке, морфологически обозначаемое появлением положительной реакции на железо, наступило только у лещей №№ 8, 13 и 14, погибших через длительные сроки.

Вероятной причиной гибели является расстройство кровообращения в центральной нервной системе. Дыхательный центр у низших позвоночных представлен рядом отдельно расположенных зон. У рыб к центрам дыхания и кровообращения имеют прямое отношение ядра V, VII и X пар головных нервов, расположенные в области IV желудочка. Структурная близость этой зоны к моторной области лежит в основе их постоянного взаимодействия и объясняет взаимозависимость между рефлекторными реакциями, играющими столь большую роль в дыхании рыбы, тонусом мускулатуры и ритмом дыхательных движений. Именно в этой области мы отметили развитие массивных венозных застоев, кровонаполнения в мозговые оболочки, резкую гиперемию мелких кровеносных сосудов и, наконец, кровонаполнения в полость IV желудочка. В ходе опыта все эти изменения прогрессивно нарастают. Особенно ярко были они выражены у леща № 14. Развитие диспноэ, изменение частоты, амплитуды и характера дыхательных движений у подопытных животных уже в первые минуты несомненно указывают на весьма раннее вовлечение этих зон центральной нервной системы в патологический процесс, а судорожные явления, пистагм в позднейших стадиях — на расширение территории поражений и, может быть, на усиления функциональных расстройств. Возможно, что непосредственно ответственны за гибель рыбы какие-то субмикроскопические изменения нейронов, еще не выявляемые на микроскопическом уровне.

Смерть наступает так быстро, что дегенеративные изменения паренхиматозных органов часто еще не успевают развиваться. Даже в наиболее ранней в этом отношении печени мы ни белковой, ни жировой дегенерации отметить не могли. В почках жировое перерождение эпителия мочевых канальцев обнаружено лишь у леща № 14. Отеки ткани почек (например, у № 7) и появление почечных цилиндров (№ 13) мы относим скорее за счет расстройства циркуляции, чем прямой дегенерации паренхимы органа.

Общая картина динамики патологических расстройств при экспериментальных заморах леща дает яркий пример образования патогенетических механизмов, приводящих к роковому исходу на основе предсуществующих физиологических.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Осуществлены в строго контролируемых условиях эксперимента кислородные заморы у *Abramis brama* L. Опыты велись в проточной воде с природным содержанием кислорода от 0.0 до 0.5 мг/л при 7° и pH 7.2. Отдельные рыбы выживали до 28 час.
2. Гистологический анализ позволяет наметить в ходе процесса 3 фазы: начальную, активной компенсации и заключительную.
3. Для начальной фазы характерна активация кровообращения и деятельности сердечной мышцы, резкое кровенаполнение питающих ее сосудов, гиперемия жаберных лепестков с образованием своеобразных колбовидных вздутий.
4. Во второй фазе мобилизуются дополнительные резервы кровяных клеток, образуются новые очаги гемато- и миелопоэза, особенно интенсивно в почках, увеличивается количество ацидофильных элементов в жабрах, возникают крупные очаги распада крови в селезенке.

5. Морфологическим эквивалентом заключительной фазы являются распространенные узелковые и деструктивные поражения миокарда, паралич сердца и сосудистой системы, резкие венозные застои внутренних органов, гиперемия и кровоизлияния в оболочках и в полости продолговатого мозга в области IV желудочка.

6. Вероятной непосредственной причиной гибели являются поражения жизненно важных мозговых центров дыхания и кровообращения.

ЛИТЕРАТУРА

- А н д р е с А. Г. 1959. О морфогенезе пети черноморского лосося. Тр. Моск. техн. инст. рыбн. пром. и хоз., вып. X.
- Б а р а н о в И. В. 1961. Заморные явления в некоторых крупных водохранилищах и меры их предупреждения. Тезисы докл. на Совещ. по биол. основам рыбн. хоз. на внутр. водоемах СССР 23—26 мая 1961 г.
- Д р а б к и н В. М. 1951. Изменения морфологического состава крови леща и судака в связи с нерестовым периодом. Тр. Всес. гидробиол. общ., т. III.
- З а в а р з и А. А. 1945. Очерки эволюционной гистологии крови и соединительной ткани, вып. 1. Медгиз, М.
- К о ш т о я н ц Х. С. 1950. Основы сравнительной физиологии, т. I. Изд. АН СССР. М.—Л.
- К о ш т о я н ц Х. С. 1957. Очерки сравнительной физиологии, т. II. Изд. АН СССР. М.—Л.
- М о с е в и ч Н. А. 1947. Зимние заморные явления в реках Обь-Иртышского бассейна. Изв. Всес. н.-иссл. инст. озерн. и речн. рыбн. хоз., т. XXV, вып. 1.
- О с т р о у м о в а И. И. 1957. Показатели крови и кроветворения в онтогенезе рыб. Изв. Всес. н.-иссл. инст. озерн. и речн. рыбн. хоз., т. XLIII, вып. 3.
- П а в л о в В. А. 1940. Дыхательные свойства некоторых пресноводных рыб и их экологическое значение. Изв. Всес. н.-иссл. инст. озерн. и речн. рыбн. хоз., т. XXIII, вып. 2.
- П е с т о в а И. М. 1954. Кроветворная способность сосудистого эндотелия в онтогенезе костистых рыб. Арх. анатом. гистол. эмбриол., № 4.
- П е с т о в а И. М. 1960. Клеточный состав крови и источник развития клеток крови у костистых рыб различных экологических групп. Сборн. научн. раб. каф. гистол. и эмбриол. Пермск. мед. инст.
- П р и п о л ь н е в Т. И. 1947. Изменения дыхания в онтогенезе рыб при различном парциальном давлении кислорода. Изв. Всес. н.-иссл. инст. озерн. и речн. рыбн. хоз., т. XXV, вып. 1.
- С в и р е н к о Е. Г. 1937. Поглощение кислорода стерильно в зависимости от изменений физико-химических факторов внешней среды. Уч. зап. Моск. гос. ун-ва, вып. IX.
- Т а р а н М. К. 1936. Допитання про зимову підлиху риби у верхньому басейні Дніпра. Тр. II-дос. инст. рыбн. господарства України, № 2, Київ.
- Т р и ф о н о в А. Н. и Н. М. К о н о в а л о в. 1937. Влияние повышенного парциального давления кислорода при различных температурах и при различных концентрациях водородных ионов на развитие и дыхание икры окуня и ерша. Уч. зап. Ленингр. гос. ун-ва, № 15.
- Т р и ф о н о в А. Н. и Н. А. П о л о в. 1937. Развитие и дыхание икры рыб при различном парциальном давлении кислорода. Уч. зап. Ленингр. гос. ун-ва, № 15.
- Ф о т т е н А. В. 1959. Влияние заморной грунтовой воды на рыб. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 4.
- B e r t i n L. 1958. Les organes de la respiration aquatique. Traité de Zoolog., publ. sous la direction de Pierre Grassé, t. XIII, fasc. II, Imp. Masson et Co, Paris.
- B e v e l a n d e r G. A. 1935. Comparative study of the branchial epithelium in Fishes. J. morphol., v. 57.
- B l a c k V. S. 1942. The effect of asphyxiation under various tensions of carbon dioxide on the swim bladder gases of some fresh water fishes. Canad. J. Res., v. 20.
- B r o w n M. 1957. The physiology of fishes, v. I, Metabolism. New York.
- C l a u s e n R. G. 1936. Oxygen consumption in freshwater fishes. Ecology, v. 17.
- C o p e l a n d D. E. 1948. The cytological basis of chloride transfer in the gills of Fundulus. J. morphol., v. 82.
- D e n z e r H. W. 1952. Akute Hypoxie und Atemfrequenz bei Regenbogenforellinsetzlingen. Fischwirt, № 7.
- D o m b r o w s k y H. 1953. Untersuchungen über das Blut des Karpfens und einiger anderer Süßwasserfische. Biolog. Zentralbl., Bd. 72, № 3/4.
- D u t h i e E. 1939. The origin, development and functions of the blood cells in certain marine teleosts. 1. Morphology. J. Anat., v. 73/3.

- Erichsen J. J. R. 1952. The reactions of fishes to water of low oxygen concentration. J. Experim. Biol., v. 29, № 3.
- Flemming H. 1954. Über das Blutbild Bauchwassersuchtskranker Bleie. Zeitschr. Fischerei, № 7, II. 6/7—8.
- Fry F. E. J., V. S. Black, E. C. Black. 1947. Influence of the temperature on the asphyxiation of young Goldfish (*Carassius auratus* L.) under various tensions of oxygen and carbon dioxide. Biol. Bull. Woods Hole, v. 92.
- Graham J. M. 1949. Some effects of temperature and oxygen pressure on the metabolism and activity of the speckled trout *Salvelinus fontinalis*. Canad. J. Res., v. 27.
- Hall F. C., I. E. Gray, S. Lepkowsky. 1926. The influence of asphyxiation on the blood constituents of marine fishes. J. Biol. Chem., v. 67.
- Hall F. C. 1929. The influence of varying oxygen tensions upon the rate of oxygen consumption of marine fishes. Amer. J. Physiol., v. 88.
- Jordan-Speidel C. C. 1932. Studies on lymphocytes. Amer. J. nat., v. 32.
- Keys A. B. and E. N. Willmer. 1932. «Chloride secreting cells» in the gills of fishes with special reference to the common Eel. J. Physiol., v. 76.
- Leiner M. 1938. Die Physiologie der Fischatmung. Leipzig.
- Liu C. K. 1942. Osmotic regulation and «chlorid secreting cells» in the paradise fish *Macropodus opercularis*. Sinensia, Nanking, v. 13.
- Lindroth A. 1940. Sauerstoffverbrauch der Fische bei verschiedenem Sauerstoffdruck und verschiedenem Sauerstoffbedarf. Zeitschr. vergl. Physiol., Bd. 28.
- Lindroth A. 1942. Sauerstoffverbrauch der Fische. 11. Verschiedene Entwicklungsstadien von Lachs und Hecht. Zeitschr. vergl. Physiol., Bd. 29.
- Meyer H. 1935. Die Atmung von *Uranoscopus* in ihrer Abhängigkeit von Sauerstoffdruck, von pH und der Temperatur des Aussenmedium. Zeitschr. vergl. Physiol., Bd. 22, H. 4.
- Topf W. 1955. Die Blutbildung und die Blutbildungsstätten beim Karpfen (*Cyprinus carpio* L.). Zeitschr. Fischerei, Neue Folge, Bd IV, H. 3/4.
- Waller A. 1928. Untersuchungen über das Wachstum bei Fischen. Zeitschr. Fischerei, Bd. XXVI, II. 4.

СТРОЕНИЕ И ИННЕРВАЦИЯ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА НАЛИМА

Нами была детально разработана методика наложения хронических фистул, позволявшая приступить к экспериментальному изучению физиологии пищеварения некоторых видов пресноводных костистых рыб (Краюхин, 1956). Продолжая сравнительное изучение закономерностей пищеварительных процессов у рыб, мы в качестве объектов исследования избирали налима, леща и судака, имеющих различную биологию, характер питания и строение пищеварительного аппарата. Опыт показал, что для успеха наложения хронических фистул необходимо знание строения и иннервации пищеварительного тракта каждого изучаемого вида рыб. Сведения по иннервации пищеварительного аппарата необходимы не только для проведения операций по образованию хронических фистул, но и для других физиологических исследований и в первую очередь для изучения роли нервной системы в регуляции пищеварительных процессов у рыб.

Литературные данные по анатомии и особенно по иннервации пищеварительного тракта указанных видов рыб совершенно недостаточны. Работ, посвященных этим видам, мало, а приведенные в них материалы очень общи или фрагментарны.

В настоящем сообщении мы излагаем результаты изучения строения и иннервации пищеварительного тракта налима.

КРАТКИЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА

Некоторые материалы о строении пищеварительного тракта налима мы обнаружили лишь в работах Юнга и Фурмана (Yung et Fuhrmann, 1900), Якобсгагена (Jakobshagen, 1913) и Шейринга (Scheuring, 1929). В них приводятся очень краткие сведения о строении пищеварительного тракта, описывается характер и строение слизистой оболочки разных отделов. Юнг и Фурман приводят данные измерений длины и диаметра различных отделов пищеварительной трубки только у одного налима. Описание биологических особенностей налима, обитающего в Рыбинском водохранилище, дано в обстоятельной работе Р. С. Сергеева (1959). По характеру питания налим — хищник, а по типу строения пищеварительного тракта он относится к желудочным рыбам. Рот у него большой, полость рта обширная. За глоткой следует довольно длинный пищевод с мощными мускулистыми стенками. Складки слизистой продольные, ясно выраженные. Пищевод непосредственно переходит в объемистый мускулистый желудок. Складки слизистой в нем являются продолжением складок пищевода, но здесь они более извилистые.

При обильном наполнении пищей желудок может растягиваться до такой степени, что стенки его становятся прозрачными. Пилорический сфинктер хорошо выражен.

С вентральной стороны брюшной полости желудок граничит с печенью и нередко лежит под ней. Иногда он полностью покрыт печенью, иногда же

выступает из-под нее с правого края. Последнее наблюдается при обильном наполнении пищи. Справа желудок лежит под петлями кишечника



Рис. 1. Положение пищеварительных органов в полости тела налима с правой стороны туловища.

А — пищевод; Б — желудок; В — кишечник; Г — пилорические придатки; Д — печень; Е — плавательный пузырь.

и пилорическими придатками. Количество пилорических придатков, как правило, 36—38, но иногда 44—46.

Кишечник отходит от желудка вначале несколько краниально, а затем в dorso-каудальном направлении. На этом пути он образует еще две петли,

Таблица 1

Размеры пищеварительного тракта налима (в см)

Разм. налима, г	Длина								Размеры желудка		Диаметр кишечника	
	всей рыбы	полости тела	всего пищеварительного тракта			кишечника			длина	ширина	наибольший	наименьший
			см	% к длине рыбы	% к длине полости тела	см	% к длине рыбы	% к длине полости тела				
120	26.4	7.7	24.3	92.0	315.5	20.9	79.1	271.4	3.1	1.8	0.5	0.2
164	28.0	8.6	25.7	91.7	300.0	22.3	79.6	259.3	3.5	2.0	0.7	0.3
326	38.5	12.2	35.0	90.9	286.9	30.5	79.2	250.0	4.0	2.8	1.2	0.5
586	45.4	13.9	40.0	88.1	287.7	34.3	75.5	246.7	4.5	3.2	1.6	0.7
970	51.4	17.2	44.5	86.5	258.7	35.5	69.0	206.4	6.3	3.8	2.0	1.0
1350	58.5	18.5	46.8	80.0	253.0	38.0	64.9	205.4	7.2	4.0	2.2	1.0

лежащие с правой стороны брюшной полости. Кишечник с более мускулистыми стенками в начальной части постепенно уменьшается в диаметре (примерно вдвое) по направлению к анальному отверстию.

Печень очень объемистая. Она лежит в передней части брюшной полости, больше с левой стороны, заполняя иногда почти всю сторону и закрывая собой весь пищеварительный тракт.

Желчный пузырь лежит под верхней долей печени между ней и краем верхней петли кишечника. Проток желчного пузыря впадает в кишку на небольшом расстоянии от пилорических придатков.

Селезенка помещается в изгибе первой петли кишечника.

Положение пищеварительного тракта в полости тела показано на рис. 1, 2 и 3. У рыбы вскрыты правая и левая боковые стенки брюшной



Рис. 2. Положение пищеварительных органов в полости тела налима с левой стороны туловища.

Обозначения те же, что на рис. 1.

полости. Вес — 350 г, длина (L) — 42 см, длина полости тела — 10 см, длина грудного плавника — 4.75 см.

Из табл. 1 видно, что с увеличением длины рыб абсолютные размеры пищеварительного тракта возрастают. В то же время относительная длина пищеварительного тракта с ростом рыб несколько уменьшается.

Табл. 2 показывает, что вес всего пищеварительного аппарата у тех же рыб составляет 9—10% к весу тела, причем относительный вес пищевода, желудка и кишечника с увеличением веса налима немного уменьшается.

Т а б л и ц а 2

Вес пищеварительных органов налима (в г)

а вес пилорических придатков и печени возрастает. Так, если общий вес рыб при увеличении со 120 до 1350 г возрастает в 10.2 раза, то вес пищевода — в 7.5 раз, желудка и кишечника — в 6.9 раза, а пилорических



Рис. 3. Положение пищеварительных органов в полости тела налима с левой стороны туловища. Грудной плавник и печень удалены.

Обозначения те же, что на рис. 1.

придатков и печени — в 14—15 раз. С увеличением тела возрастают размеры желудка и диаметр кишечной трубки.

Иннервация пищеварительного тракта рыб

Литературные данные

Из анатомических работ следует, что у пресноводных костистых рыб спинномозговые нервы выходят из спинного мозга или в виде обособленных вентральных и дорзальных корешков или одним общим нервом, образующимся в результате слияния обоих корешков (Stannius, 1849; Siebold u. Stannius, 1854; Бодрова, 1956). Каждый дорзальный корешок несет ганглий. Второй тип образования спинномозговых нервов характерен для щуки, сома, карпа и некоторых других видов рыб. В составе спинномозговых нервов к пищеварительному тракту идут висцеральные волокна (Третьяков, 1927).

Симпатическая нервная система отличается большим разнообразием строения, степени развития и характера иннервации внутренних органов. У одних видов, как например у щуки и сома, симпатическая нервная цепочка в основном развита лишь в грудной части, а у других, например, у карпа, макроскопически ее обнаружить не удается (Бодрова, 1956).

Симпатический пограничный ствол связан как со спинным мозгом (через *rami communicantes*), так и с системой блуждающего нерва (Бодрова, 1956).

Внутренностный нерв (*n. splanchnicus*) обычно встречается или с двух сторон или только с одной — правой. Он чаще отходит от симпатической цепочки на уровне III и IV спинномозговых нервов. Внутренностный нерв можно наблюдать по ходу кишечнo-брыжеечной артерии. Дальнейший его ход проследить можно только под микроскопом. Подходя к пищеварительному тракту, внутренностный нерв, например у карпа, полностью сливается с кишечной ветвью блуждающего нерва (Stannius, 1849; Siebold u. Stannius, 1854; Белецкий, 1883).

Кишечная петля блуждающего нерва (*n. intestinalis n. vagi*) у большинства рыб распространяется в пищеводе, желудке, иногда в кишечном канале, плавательном пузыре (Stannius, 1849; Siebold u. Stannius, 1854).

Нервные сплетения пищеварительного тракта рыб описаны в ряде работ. Они обнаружены: у линя (Monti, 1895), окуня (Закусов, 1898), сома (Колосов и Иванев,

1930), налима и щуки (Abraham, 1933), карася (McVay и Kann, 1940), карпа (Бодрова и Краюхин, 1952).

Клеточные элементы в нервных сплетениях были обнаружены большинством цитированных выше авторов. Monti (Monti, 1895) описала мультиполярные нервные клетки в первом сплетении пищевода щуки. Наиболее подробно они описаны С. Закусевым (1898), который делит их на клетки первого и второго типов, согласно классификации А. С. Догеля (1895, 1896) у млекопитающих. Клетки первого типа, по Закусеvu, характеризуются наличием большого числа ветвящихся от самого тела клетки плотных коротких дендритов. Нейрит значительно толще дендритов. Клетки второго типа имеют небольшое число дендритов, ветвящихся на значительном расстоянии от тела клетки. Нейрит мало отличается от дендритов. Оба типа этих нервных клеток, по мнению автора, являются характерными для сплетений пищеварительного тракта окуля.

Клетки первого и второго типов Догеля обнаружены также в пищеварительном тракте линя, налима и щуки (Третьяков, 1927; Abraham, 1933, и др.). Мульти- и униполярные клетки были найдены нами (Бодрова и Краюхин, 1952) в нервных стволах и сплетениях переднего отдела кишечника карпа.

Большинство авторов считает, что нервные клетки всех типов распространены диффузно, ганглиозных узлов мало и они состоят из небольшого числа клеток. Этим ганглии рыб будто бы отличаются от многоклеточных нервных узлов высших животных. Это мнение разделяет и Н. В. Пучков (1954). Он пишет: «... нервные клетки в желудочно-кишечном тракте рыб диффузно разбросаны по ходу нервных пучков и лишь изредка образуют скопления из двух-трех нервных клеток».

Более обстоятельные данные имеются о рецепторах и нервных окончаниях. По данным Monti (Monti, 1895), у линя от поделистого кишечного сплетения нервные ветви идут в эпителиальный слой, в котором заканчиваются в виде пучковатых расширений. Абрахам (Abraham, 1933) обнаружил окончания, отходящие от безмякотных стволов, в межмышечном нервном сплетении линя, налима и щуки. По его мнению, это двигательные окончания. В мышечном слое кишечника карпа, исследованные и клубочкообразные окончания найдены нами (Бодрова и Краюхин, 1952). А. А. Мисюхин (1955) показал, что у рыб семейства карповых с разным характером питания (лещ, карася, карп, жерех, карась) афферентные окончания в отличие от двигательных значительно отличаются по своему тонкому строению. Он считает, что оба рода окончаний являются начальными и конечными звеньями некоторых рефлекторных дуг пищеварительного тракта и относит их к системе блуждающих нервов. Разнообразные кустиковые рецепторы описаны в стенке пищеварительного тракта судака Г. Н. Кузнецкой (1958). Ею обнаружено, что по длине пищеварительной трубки строение рецепторов варьирует и связано с особенностями различных отделов. В то же время Е. Я. Давыдов (1958) считает, что у судака они однообразны, а у окуля — более сложное строение. По его мнению, в процессе филогенеза происходит усложнение рецепторного аппарата желудка позвоночных. Только у млекопитающих они имеют три вида вполне оформленных рецепторов — древовидно ветвящихся, кустиковидных и клубочкообразных.

Из изложенного видно, что исследований микроскопической иннервации пищеварительного тракта пресноводных костистых рыб немного, причем некоторые из них имеют большую давность. Во многих описываются лишь отдельные элементы нервного аппарата. Вместе с тем они все же дают возможность составить некоторое представление о степени насыщенности пищеварительного тракта рыб нервными элементами и об особенностях их строения. Они дают основание считать, что у рыб, так же как у теплокровных животных, имеются все нервные элементы для осуществления рефлекторных реакций.

Что же касается иннервации пищеварительного тракта налима, то в известном единственном исследовании, цитированном выше (Abraham, 1933), как и в большинстве работ, описываются лишь отдельные нервные элементы.

СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анатомические данные

Анатомическое изучение иннервации пищеварительного тракта налима показало следующее. Последняя, десятая пара черепномозговых нервов — блуждающий нерв (n. vagus) — отходит от продолговатого мозга в виде двух корешков. После выхода из черепной полости (через отверстие затылочной кости) блуждающий нерв образует мощный ганглий. Далее он идет несколькими крупными ветвями к органам чувств боковой линии, жабрам и внутренним органам. К последним направляет одна из крупных ветвей блуждающего нерва — жаберно-кишечная

нерв (n. branchio-intestinalis). От него отходят отдельные ветви к жабрам, пищеводу, и далее он продолжает свой путь каудально к пищеварительному тракту в виде кишечной ветви (r. intestinalis).

В области пищевода кишечные ветви обоих блуждающих нервов вступают в пищеварительный тракт. Кишечная ветвь правого блуждающего нерва спускается по пищеводу и затем вместе с кровеносным сосудом вступает в брыжейку. В области пищевода кишечная ветвь отдает небольшую ветку, которая спускается на желудок и разветвляется преимущественно в области малой кривизны.

Кишечная ветвь левого блуждающего нерва проходит по пищеводу и затем спускается на желудок преимущественно в области большой кривизны. Спустившись примерно на $\frac{1}{2}$ длины желудка, она отдает веточки на его стенки. Число этих веточек и их распределение по желудку варьируют.

Кишечные ветви проходят по пищеводу и кардиальной части желудка поверхностно. Желудок в изобилии снабжен кровеносными сосудами. Артериальная система желудка образует довольно густую сеть на его поверхности.

Как крупные, так и более мелкие нервные стволы проходят по пищеводу и желудку, вблизи кровеносных сосудов. Это обстоятельство значительно облегчает наблюдение за прохождением нервов. Макроскопически менее насыщена нервами пилорическая часть желудка.

Дальнейшее ознакомление с локализацией блуждающего нерва возможно только микроскопическим путем. Кишечные ветви его, по нашим наблюдениям, принимают участие в образовании сплетения совместно с симпатическими волокнами (n. n. splanchnici) в области расположения чревно-брыжеечной артерии. Ответвления от этого сплетения, очевидно, распространяясь по сосудам, также принимают участие в иннервации пищеварительного тракта.

Гистологические данные

Исследование производилось методом метиленовой синей по А. В. Леонтовичу (1939). Применение этого метода при изучении рыб изложено в работах Н. В. Бодровой (1937, 1938, 1956).

Результаты исследования кратко сводятся к следующему. Пищевод в основном иннервируется двумя сплетениями — межмышечным (наиболее развитым) и подслизистым.

Межмышечное нервное сплетение представляет собой довольно развитую сеть плотных и толстых нервных пучков, дрововидно ветвящихся и анастомозирующих между собой. Постепенно разветвляясь, нервные пучки расходятся по всем направлениям, образуя крупнопетлистое сплетение, состоящее из идущих в разном направлении нервных пучков (иногда извилистых) и тонких нервных волокон. В крупных нервных стволах и в сплетении нами обнаружены лишь одиночные нервные клетки.

Подслизистое нервное сплетение пищевода не имеет толстых нервных пучков, они здесь тоньше и рыхлее. Пучки проходят в различных направлениях, многократно ветвятся на более тонкие и пересекаются между собой. В сплетении встречаются мякотные и безмякотные нервные волокна. Нервные пучки в обоих сплетениях располагаются очень часто по ходу кровеносных сосудов в непосредственной близости к ним. Иногда видно, как кровеносные сосуды буквально оплетаются нервами.

На сосудах пищевода нами обнаружены своеобразные образования в виде клубочков, являющиеся, очевидно, чувствительными нервными окончаниями (рис. 4). В желудке наиболее крупные нервные стволы и их разветвления идут главным образом в области большой кривизны и

значительно менее — в области малой кривизны и по стенкам. Нервные стволы отдают значительное количество ветвей, которые в свою очередь многократно делятся и расходятся в различных направлениях, постепенно уменьшаясь в диаметре. На рис. 5 показан крупный нервный ствол из области большой кривизны, идущий, как обычно, параллельно с кровеносным сосудом.

Межмышечное нервное сплетение желудка представляет собой развитую сеть анастомозирующих нервных пучков различной толщины. Сплетение имеет вид густой сети. В нем нет толстых и плотных нервных тяжей, как в пищеводе, нервные пучки здесь тоньше и многочисленнее. Кровеносные сосуды здесь также обильно иннервированы. На рис. 6 показан характер расположения нервов около кровеносного сосуда.

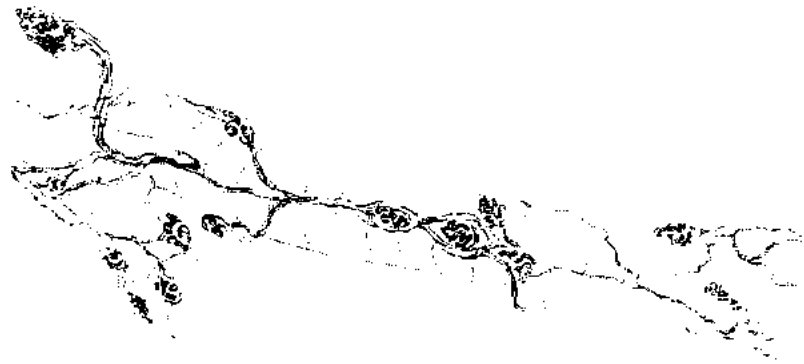


Рис. 4. Пищевод. Нервные окончания в виде клубочков на кровеносном сосуде. Ок. 7×, об. 20.

В межмышечном нервном сплетении желудка имеются мякотные и типичные ядродержащие безмякотные нервы. Клеточные элементы в большом количестве встречаются всюду, начиная от крупных нервных тяжей и кончая мелкими нервными пучками и сплетениями. Клетки располагаются как внутри нервных стволов и нервных пучков (интрапериферически), так и около них (периневрально).

На рис. 7 показан крупный нервный ствол с включенными в него многочисленные отдельные клетки различной величины и формы. На этом участке нерва в поле зрения микроскопа насчитывается более 50 клеток. Нередко клетки расположены группами. Иногда встречаются крупные ганглии, состоящие из скопления большого количества клеток. В ганглии, изображенном на рис. 8, насчитывается более 50 клеток. На микрофотографии отчетливо видны перикалликулы или синапсы. Строение их несколько проще, чем перикалликулов, описанных Н. В. Бодровой (1958) в сердечно-сосудистой системе рыб. Форма клеток разнообразная. Встречаются уни-, би- и мультиполярные, крупные и мелкие. На рис. 9 показана крупная мультиполярная клетка из мышечного слоя пилорической части желудка, очевидно, двигательная. Встречается некоторое количество малодифференцированных нервных клеток эмбрионального типа.

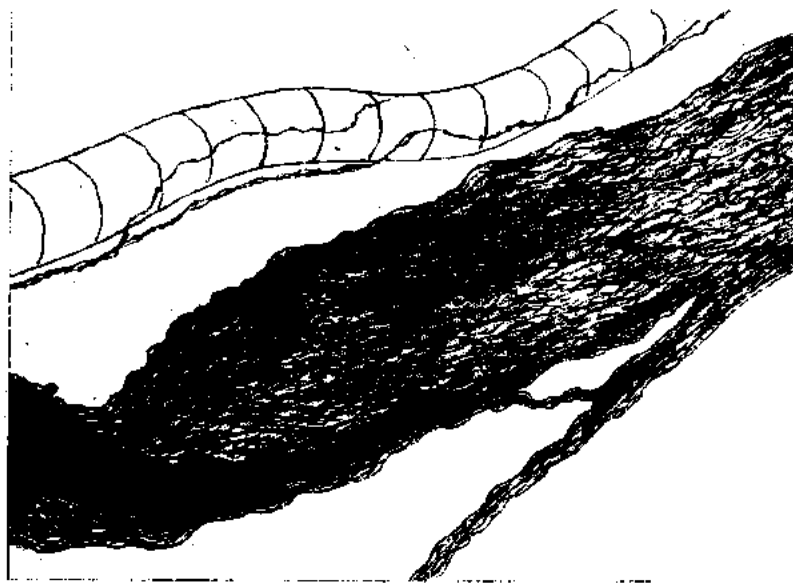


Рис. 5. Желудок. Мышечный слой из области большой кривизны. Крупный нервный ствол рядом с кровеносным сосудом. Ок. 7 X , об. 20.

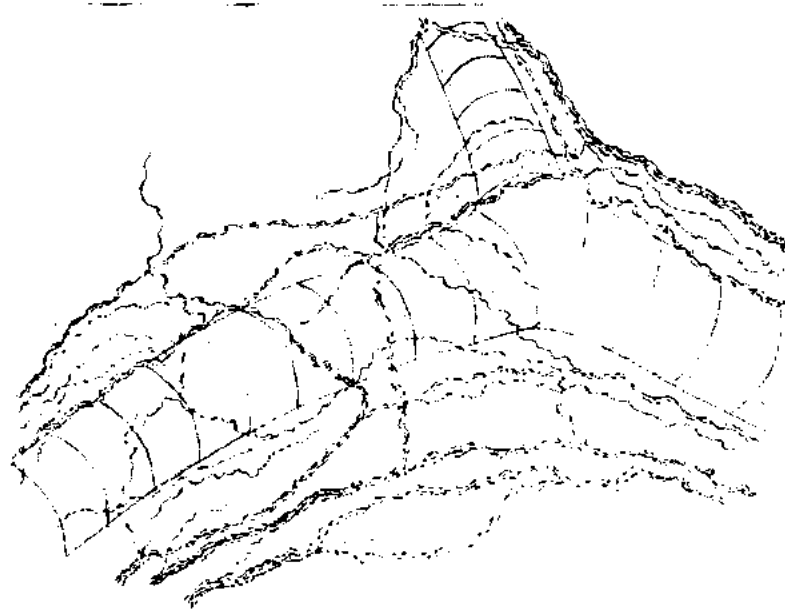


Рис. 6. Желудок. Мышечный слой. Характер расположения нервов около кровеносного сосуда. Ок. 7 X , об. 20.

Строение подслизистого нервного сплетения желудка имеет в основном тот же характер, как и в пищеводе. Отличие заключается в том, что его петли состоят из более тонких волокон и имеют большее количество шванновских ядер. В этом сплетении нам удалось обнаружить отдельные нервные клетки. На рис. 10 показана одна из таких клеток.

После перерезки кишечной ветви левого блуждающего нерва мы наблюдали в желудке через 6 суток значительное количество дегенерирующих волокон. На рис. 11 показаны дегенерирующие волокна из пилорической



Рис. 7. Желудок. Мышечный слой из области большой кривизны. Крупный нервный ствол с большим количеством нервных клеток. Ок. 7×, об. 20.

части желудка. Среди волокон находится нервная клетка с отошедшим от ее тела и распадающимся перичеселлюляром. Подобное отхождение перичеселлюляра от тела клетки было описано Н. В. Бодровой (1956) в сердце рыб при односторонней ваго- и симпатикотомии и названо ею «структурной асинапсией».

Оценивая в целом характер распределения нервных элементов в желудке налима, мы отмечаем, что если в кардиальной части и в области большой кривизны имеется больше крупных нервных стволов и их разветвлений, то в остальных частях желудка и особенно в пилорической наблюдается более густая сеть тонких нервных волокон и скоплений клеток.

В кишечнике, так же как и в желудке, мы выявили два нервных сплетения: межмышечное и подслизистое. В межмышечном сплетении наблюдается сравнительно небольшое количество неплотных нервных пучков, содержащих мякотные и безмякотные волокна. Они идут обычно по направлению продольных мышц на некотором расстоянии друг от друга и соединяются анастомозами. Ход отдельных нервных волокон легко прослеживается. Клетки располагаются одиночно в нервных пучках различного диаметра. Скоплений клеток мы не наблюдали. В кишечнике нами обнаружено два типа нервных клеток: мульти- и униполярные. На рис. 12 показана мультиполярная клетка из переднего отдела кишечника, оче-

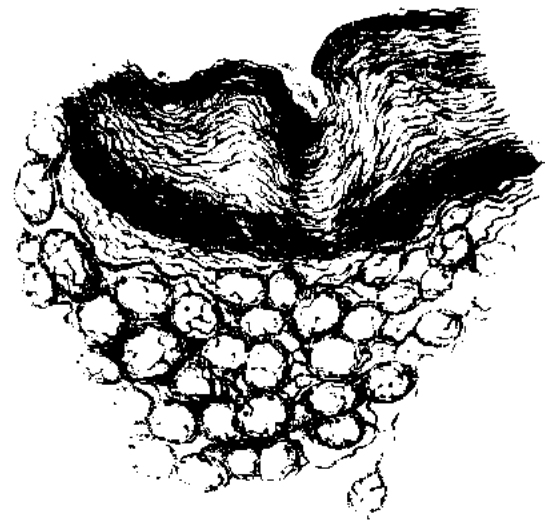


Рис. 8. Желудок. Мышечный слой из области большой кривизны. Крупный ганглий около нервного ствола. Ок. $7\times$, об. 20.



Рис. 9. Желудок. Мышечный слой из пилорической части. Крупная мультиполярная нервная клетка. Ок. $7\times$, об. 20.

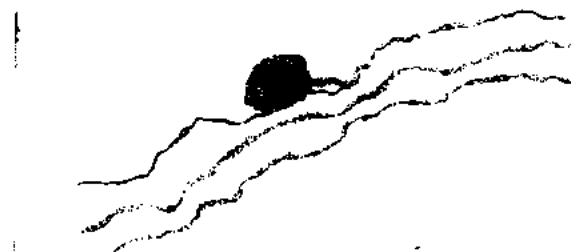


Рис. 10. Желудок. Слизистый слой из области малой кривизны. Небольшой нервный ствол с униполярной нервной клеткой. Ок. $7\times$, об. 20.



Рис. 11. Желудок. Мышечный слой из пилорической части. Дегенерация нервных волокон и перичеллюляра после односторонней ваготомии. Масляная иммерсия 60. ок. 7×.

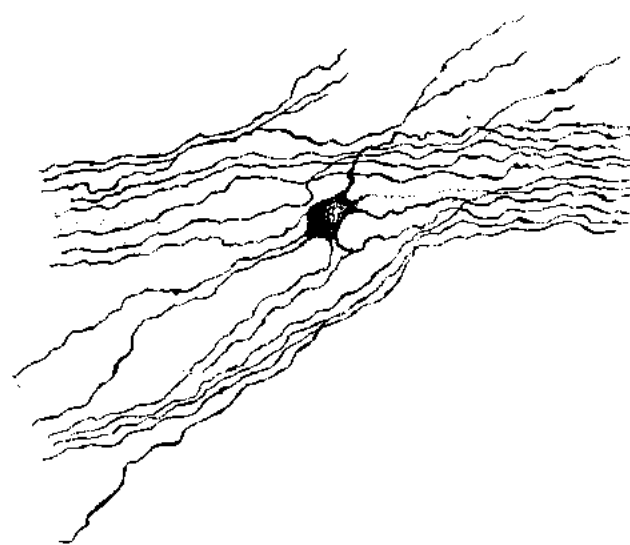


Рис. 12. Кишечник. Мышечный слой из переднего отдела. Мультipoлярная нервная клетка. Ок. 7×, об. 20.

видно, двигательная. На рис. 13 — униполярная клетка из среднего отдела кишечника, очевидно, чувствительная.

Подслизистое нервное сплетение состоит из мелких нервных пучков и одиночных волокон более нежного строения, чем в подслизистой желудка.

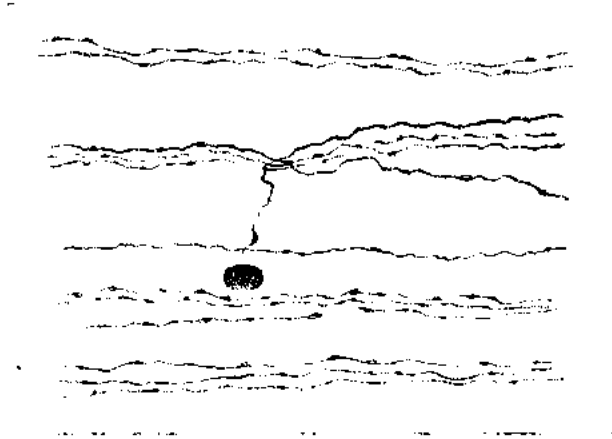


Рис. 13. Кишечник. Мышечный слой из среднего отдела. Униполярная клетка. Ок. $7\times$, об. 20.

В кишечнике не удалось выделить морфологически обособленных отделов. Можно лишь отметить более густое расположение нервных волокон и большее количество клеточных элементов в межмышечном сплетении в переднем отделе.

При перерезке кишечной ветви левого блуждающего нерва дегенерирующие волокна мы обнаружили не только в желудке, но и в кишечнике. Спустя 6 суток после перерезки в переднем отделе отчетливо видны дегенерирующие нервные волокна (рис. 14). Этот рисунок дает также представление о характере иннервации кишечника.



Рис. 14. Кишечник. Мышечный слой из переднего отдела. Дегенерация нервных волокон после односторонней ваготомии. Ок. $7\times$, об. 20.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Желудок налима с вентральной стороны брюшной полости слева покрыт объемистой печенью (рис. 2), а с правой — петлями кишечника и пилорическими придатками (рис. 3). Эти особенности положения пищеварительных органов в полости тела должны учитываться при проведении операций на пищеварительном тракте, в том числе при наложении хронических фистул. В том случае, если операция на желудке производится с левой стороны туловища, то кожно-мышечный разрез для извлечения желудка на поверхность тела следует делать немного правее конца груд-

ного плавника. Чем больше желудок наполнен пищей, тем он больше вытягивается в длину. Укажем для примера, что у налима весом 850 г и длиной 55 см наполненный пищей желудок выступает за грудной плавник на 3.5 см. При извлечении желудка с этой стороны туловища нужно особенно стремиться не повредить печень. Для извлечения желудка с правой стороны туловища кожно-мышечный разрез следует также делать немного отступя от конца грудного плавника. В этом случае необходимо учитывать, что желудок лежит за петлями кишечника и пилорическими придатками и при его извлечении через кожно-мышечный разрез нужно стараться не повредить сосуды брыжейки, селезенку и желчный пузырь. Таким образом, при операциях на желудке его можно извлекать через кожно-мышечный разрез с обеих сторон туловища. Однако опыт показал, что лучше это делать с правой стороны, чтобы избежать травмирования печени. Операции на кишечнике можно делать только с правой стороны туловища.

Полученные нами данные по иннервации пищеварительного тракта налима в общем подтверждают наблюдения предшествующих исследователей об общем строении нервной системы пищеварительного тракта пресноводных костистых рыб. Некоторые наши данные расширяют эти наблюдения. Прежде всего это касается общей картины иннервации и распределения нервных элементов в различных отделах пищеварительного тракта, которую для налима мы даем впервые.

Нами установлено также, что наряду с диффузным распределением нервных клеток последние образуют не только мелкие, но и крупные ганглии, состоящие из большого числа клеток (более 50). Следовательно, общераспространенное мнение об отсутствии у рыб в пищеварительном тракте крупных ганглиозных скоплений требует уточнения. Нами впервые обнаружены также клубочковидные окончания на сосудах пищевода, являющиеся, очевидно, чувствительными.

Некоторыми авторами высказывается мнение, что у животных, находящихся на разном уровне филогенетического развития степень распространения блуждающего нерва по пищеварительному тракту различна. Например, указывается, что у амфибий его распространение заканчивается желудком (Лаврентьев, 1946), а у млекопитающих — кишечником (Коротков, 1949, 1957). Наши опыты с односторонней перерезкой блуждающего нерва у налима и аналогичные наблюдения на карпе (Бодрова и Краюхин, 1952) дают основание высказать мнение, что у этих видов рыб блуждающий нерв участвует в иннервации кишечника.

Таким образом, в пищеварительном тракте налима выявлены все элементы, являющиеся морфологическим субстратом нервной регуляции пищеварения.

При проведении операций необходимо учитывать, что наиболее крупные сосудисто-нервные пучки проходят в желудке в кардиальной части и в области большой и малой кривизны. В остальных частях желудка, особенно в пилорической части имеется более густая сеть тонких нервных волокон и скоплений клеток. В кишечнике более густое расположение нервных волокон и клеточных элементов наблюдается в переднем отделе.

При проведении операций во всех случаях следует избегать перерезки не только крупных нервных стволов, но и крупных кровеносных сосудов, так как около них, как правило, проходит много нервных пучков и волокон, а сами сосуды обильно иннервированы. На важность сохранения нормальной иннервации пищеварительного тракта при изучении физиологии пищеварения рыб указывают специально проведенные нами опыты. Они показали, что при односторонней перерезке кишечной ветви блуждающего нерва происходит дегенерация нервных элементов в желудке и кишечнике, приводящая к значительным функциональным сдвигам, про-

ходит изменение срока переваривания пищи, нарушаются секреторная и всасывающая функции.

Налим является удобным объектом для экспериментального изучения закономерностей пищеварительных процессов. При содержании в благоприятных температурных условиях он хорошо переносит операции на пищеварительном тракте. Техника операций на пищеварительном тракте рыб подробно описана ранее (Краюхин, 1956).

ЛИТЕРАТУРА

- Белецкий Н. Ф. 1883. Физиология воздушного пузыря рыб. Харьков.
- Бодрова Н. В. 1937. Материалы к иннервации сердца карпа (*Cyprinus carpio*) и лягушки (*Rana esculenta*). Мед. журн., т. VII, вып. 3.
- Бодрова Н. В. 1938. Материалы по экспериментальной морфологии первого аппарата сердца рыб. Тр. Инст. зоол. АН УССР, т. III, Киев.
- Бодрова Н. В. 1956. Сравнительные данные по иннервации сердечно-сосудистой системы лаптевника, рыб, амфибий и рептилий. Автореф. дисс. М.
- Бодрова Н. В. и Б. В. Краюхин. 1952. К методике применения хронических фистул на пищеварительном тракте рыб. Физиол. журн. СССР, т. 38, № 5.
- Гиллельсон Е. Я. 1958. Материалы по морфологии рецепторного аппарата желудка позвоночных. Изд. АН СССР, М.—Л.
- (Догель А. С.) Dogiel A. S. 1895. Zur Frage über den feineren Bau des sympathischen Nervensystems bei den Säugethieren. Arch. mikr. Anat., Bd. 46.
- (Догель А. С.) Dogiel A. S. 1896. Zwei Arten sympathischer Nervenzellen. Anat. Anz., Bd. 41, № 22.
- Закусов С. 1898. Окончания нервов в пищеварительном канале рыб. Тр. СПб. общ. естествоисп., т. 27.
- Колосов Н. Г. и И. Ф. Иванов (Kolosow N. G. und I. F. Iwanow). 1930. Zur Frage der Innervation des Verdauungstraktes einiger Fische. (*Acipenser ruthenus*, *Silurus glanis*). Zeitschr. mikr.-anat. Forsch., Bd. 22, H. 4.
- Коротков А. Г. 1949. Об участии блуждающих нервов в иннервации стенки кишечника. Сб. «Вопросы морфологии». Изд. АМН СССР, М.
- Коротков А. Г. 1957. О парасимпатической иннервации тонкого кишечника. Сб. научн. работ Казанск. мед. инст., вып. 4.
- Краюхин Б. В. 1956. Хроническая фистульная методика и ее применение для изучения физиологии пищеварения рыб. Изд. АН СССР, М.
- Кузьминская Г. Н. 1958. Аfferентная иннервация пищеварительного тракта судака. Вестн. Ленингр. гос. ун-та, № 9, сер. биол., вып. 2.
- Лавренко В. И. 1946. Морфология автономной нервной системы. Медгиз, М.
- Леонтович А. В. 1939. Современная методика прижизненного окрашивания нервов метиленовой синькой и другими красителями. Изд. АН УССР, Киев.
- Милохин А. А. 1955. О зависимости строения нервной системы пищеварительного тракта от рода пищи у некоторых представителей семейства карповых (*Cyprinidae*). ДАН СССР, т. 105, № 4.
- Нучков Н. В. 1954. Физиология рыб. Пищепромиздат, М.—Л.
- Сергеев Р. С. 1959. Материалы по биологии налима Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. подохр. АН СССР, вып. 1 (4).
- Третьяков Д. К. (Tretjakoff D.) 1927. Das periphere Nervensystem des Flussneunauges. Zeitschr. wiss. Zool., Bd. 129, H. 2—3.
- Abraham A. 1933. Über die Innervierung des Verdauungstraktes einiger Knochenfische. Arb. d. Ung. biol. Forsch. Inst., Bd. 6.
- Jakobsen E. 1913. Über das Darmsystem der Fische und Dipnoer. Jen. Zeitschr. Naturwiss. (N. F.), Bd. 49.
- McVay I. and H. Kann. 1940. The digestive tract of *Carassius auratus*. Biol. Bull. Woods Hole, v. 78, № 1.
- Monti R. 1895. Contribution à la connaissance des nerfs du tube digestif des poissons. Arch. ital. Biol., t. 24.
- Scheuring L. 1929. Rutte, Quappe (*Lota lota* (L.)). Handb. d. Binnenfisch. Mitteleuropas, Bd. 3, H. 3.
- Stiebold V. und H. Stannius. 1854. Handbuch der Zootomie, 2 Teil, die Wirbeltiere. 1. H. Zootomie der Fische. Berlin.
- Stannius H. 1849. Das periphere Nervensystem der Fische. Rostov.
- Yung E. et O. Fuhrmann. 1900. Recherches sur la digestion des poissons. Arch. Zool. Exper. Gen., sér. 3, t. 8, № 1—2.

О РОЛИ БЛУЖДАЮЩЕГО НЕРВА В РЕГУЛЯЦИИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ У РЫБ

Блуждающий нерв регулирует деятельность пищеварительного аппарата и, кроме того, он является «пусковым» нервом желудочной секреции у теплокровных позвоночных. Это было установлено еще И. П. Павловым и Е. О. Шумовой-Симановской (1889) на собаках. В дальнейшем выяснилось, что такую же роль он играет и у других позвоночных, в том числе и у некоторых холоднокровных — черепахи, лягушки (Тимофеев, 1937; Ковырев, 1938).

При ознакомлении с работами, посвященными изучению закономерностей пищеварения рыб, обращает внимание очень ограниченное число исследований роли нервной системы в регуляции интенсивности пищеварительных процессов. Особенно слабо исследована роль нервной системы в механизме возбуждения пищеварительных желез, в том числе желудочных. По этому вопросу имеется очень небольшое число исследований и только в одном из них показано, что нервная система регулирует секрецию желудочного сока. Это работа Унгара (Ungar, 1935), который установил, что у акул и скатов гистамин и ацетилхолин оказывают стимулирующее действие на желудочную секрецию, а атропин снижает ацетилхолиновый эффект. Автор пришел к выводу, что желудок сельхоз реагирует на вещества, стимулирующие желудочную секрецию, сходно с желудком млекопитающих.

Большинство же авторов (Dobreff, 1927; Babkin a. Friedmann, 1934; Babkin, Chaisson a. Friedmann, 1935; Пегель и Шубин, 1955; Barrington, 1957, и др.) придерживаются мнения, что у рыб нервная система регулирует только моторику пищеварительного тракта и не имеет отношения к регуляции деятельности желудочных желез.

Так, Бабкин с сотрудниками (Babkin a. Friedmann, 1934; Babkin, Chaisson a. Friedmann, 1935) установил, что перерезка блуждающих нервов, а также инъекция гистамина не сказываются на отделении желудочного сока у скатов. В то же время после разрушения спинного мозга у них наблюдается спонтанное отделение желудочного сока, названное Бабиным «паралитической» секрецией.

В. А. Пегель и И. Г. Шубин (1955) пришли к выводу, что у безжелудочной рыбы, сибирского ельца (*Leuciscus leuciscus baicalensis*), вегетативная нервная система влияет лишь на перистальтику и не регулирует секреторную функцию пищеварительных желез.

Нельзя не отметить, что исследования закономерностей пищеварительных процессов у рыб проводились, как правило, в острых опытах и на изолированных органах и поэтому не всегда могут дать целостное представление о регулирующей роли нервной системы.

Учитывая, что вопрос о регуляции интенсивности пищеварительных процессов у рыб представляет сравнительно-физиологический и практический интерес, мы исследовали роль блуждающего нерва в регуляции пищеварения у налима в условиях хронических опытов.

МЕТОДИКА

Опыты проводились на налимах весом 400—600 г весной 1959 г. Рыбы доставлялись в лабораторию из садков, где они некоторое время находились без пищи. В лаборатории налимы содержались в больших аквариумах с проточной водой при температуре 6.5—7.0° и содержании кислорода 6.0—6.6 мг/л. Эти условия сохранялись до конца опыта. Рыбы выдерживались голодными 7 суток, после чего они делились на две группы — контрольную и опытную. В опытной группе было 30 налимов, в контрольной — 12.

У рыб опытной группы производилась перерезка самой крупной ветви, идущей к желудку от г. *intestinalis* п. *vagi sinistri*, при этом в нижней части пищевода вырезался участок нерва длиной около 0.5 см.

Через 6 суток после операции всем налимам обеих групп искусственно вводились в желудок одинаковые порции корма — куски рыбы, сырой вес которых равнялся 25 г, а сухой — 6.65 г. Через установленные промежутки времени налимы забивались и содержимое желудка и кишечника извлекалось (раздельно). В обеих порциях определялись: сырой и абсолютно сухой вес (последний только в содержимом желудка), pH, суммарная активность протсаз (желудка — по Ансону, кишечника — по Вилл-ингеттеру) (Самнер и Сомерс, 1948). Производилось по 3—4 определения и выводилась средняя величина. Некоторые определения в контроле сделаны через 3, 9 и 21 час после дачи корма.

Правильность перерезки блуждающего нерва проверялась. На нескольких оперированных налимах проведены также гистологические наблюдения над дегенерацией нервных элементов в желудке и кишечнике. Окраска производилась метиленовым синим по А. В. Леонтовичу (1939).

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

Как видно из табл. 1, в норме переваривание пищи в желудке налимов длится 5—6 суток. Первые следы переваривания корма наблюдаются в желудке через 9 час. и уже через сутки сырой вес принятого корма уменьшается на 7%, а сухой вес на 7.2%.

На пятые сутки корм переварен почти полностью и сока в желудке очень мало. Максимум сока выделяется в первые сутки (водный коэффициент — количество жидкой фракции на единицу сухого веса химуса — равен 3.9) и затем его количество уменьшается (рис. 1).

Реакция (pH) желудочного содержимого (табл. 2, рис. 2) уже через 3 часа после кормления начинает сдвигаться в кислую сторону, достигая наименьшего значения (3.5) через сутки. Затем pH постепенно перемещается в щелочную сторону, достигая исходной величины на пятые-шестые сутки. Протеолитическая активность в течение первых трех суток возрастает, увеличиваясь с 270 (первые сутки) до 350, после чего значительно снижается и доходит до 100 на пятые сутки.

В кишечнике первые порции жидкого химуса обнаруживаются уже через 9 час. после кормления. Химус кишечника приобретает густую консистенцию через двое суток. Протеолитическая активность кишечника значительно ниже таковой желудка. Она колеблется в процессе пищеварения от 9 до 16, достигая максимума (16) через сутки после начала пищеварения.

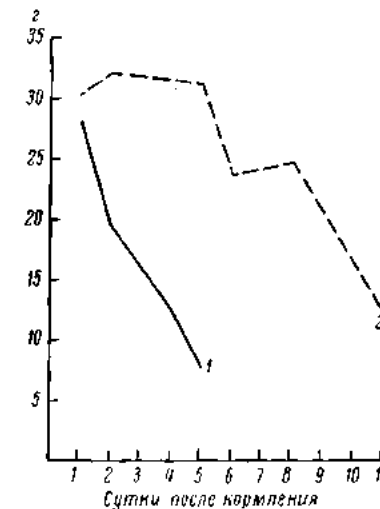


Рис. 1. Изменение веса содержимого пищеварительного тракта в процессе пищеварения.

1 — контроль; 2 — опыт.

Т а б л и ц а 1

Интенсивность пищеварения у контрольных налимов
(средние данные в пересчете на одну рыбу)

Время переваривания, сутки	Содержимое желудка				Содержимое кишечника		Сырой вес хмуса всего пищеварительного тракта, г
	вес хмуса, г		водный коэффициент ¹	протеолитическая активность, γ тирозина	сырой вес хмуса, г	протеолитическая активность, мг 0.1 N KOH	
	сырой	абсолютно сухой					
1	23.48	4.81	3.9	270	4.88	16.25	28.36
2	16.75	3.72	3.5	300	2.83	8.75	19.58
3	7.13	1.75	3.1	350	9.14	12.6	16.27
4	6.45	2.66	1.4	230	6.17	8.75	12.62
5	4.24	0.99	2.1	100	3.99	11.0	8.23

Пищеварение у оперированных налимов (табл. 3) носит иной характер. Переваривание корма в желудке длится более 11 суток. Первые следы гидролиза пищи наблюдаются через 31 час, к этому же времени в кишечнике появляются первые порции хмуса. В течение всего срока пищеварения желудок содержит значительное количество сока, причем количество его в процессе пищеварения даже повышается. Если через сутки

Т а б л и ц а 2

Изменение реакции (рН) желудочного содержимого налимов в процессе пищеварения (средние данные в пересчете на одну рыбу)

Время переваривания	рН содержимого желудка	
	контрольный	опытный
Перед кормлением	6.8	6.8
3 часа	6.6	—
9 час.	5.5	—
1 сутки	3.5	6.6
2 суток	5.5	5.5
3 »	6.0	—
4 »	5.8	5.1
5 »	6.6	4.8
6 »	—	5.2
8 »	—	5.7
11 »	—	5.5

после кормления водный коэффициент был равен 3.4 (при этом сырой вес желудочного содержимого увеличился на 17%), то через 11 суток он достиг 5.7 (рис. 3).

Реакция (рН) желудочного содержимого (табл. 2, рис. 2) сдвигается в кислую сторону очень медленно и достигает через 5 суток всего лишь 4.8, после чего снова медленно сдвигается в щелочную сторону, не достигнув исходной величины даже через 11 суток.

Протеолитическая активность желудка через сутки очень низкая (75 вместо 270 в контроле) и достигает максимума (550) через 4 суток, превышая при этом более чем вдвое контроль и оставаясь еще высокой через 11 дней (390).

Содержимое кишечника имеет вязкую консистенцию даже через 8 суток. Протеолитическая активность ки-

шечника ниже, чем в контроле, и колеблется от 2 до 8, достигая максимума лишь через 6 суток.

Общий вес хмуса всего пищеварительного тракта (табл. 3, рис. 4) в течение 5 суток превышает вес принятой пищи и начинает немного уменьшаться только через 6 суток. Через 11 суток он весит еще 12.7 г, т. е. столько же, сколько хмус контрольных налимов через 4 суток.

У оперированных пенакормленных налимов наблюдается спонтанное желудочное сокоотделение.

¹ Количество жидкой фракции на единицу сухого веса.

Гистологические наблюдения показали, что после перерезки желудочной ветви левого блуждающего нерва на пятые-шестые сутки наступает

Таблица 3

Интенсивность пищеварения у оперированных налимов (средние данные в пересчете на одну рыбу)

Время перерыва, сутки	Содержимое желудка				Содержимое кишечника		Сырой вес химуса всего пищеварительного тракта, г
	вес химуса, г		водный коэффициент	протеолитическая активность, γ тирозина	сырой вес химуса, г	протеолитическая активность, мл 0.1 N КОН	
	сырой	абсолютно сухой					
1	20.42	6.70	3.4	75	0.85	3.5	30.27
2	27.64	5.91	3.7	400	4.52	—	32.16
4	28.81	5.45	4.3	550	2.89	3.5	31.70
5	30.36	5.78	4.3	400	0.88	2.0	31.24
6	22.24	5.48	3.1	250	1.60	8.0	23.84
8	22.17	4.34	4.2	300	2.71	4.5	24.88
11	10.50	1.58	5.7	390	2.21	—	12.71

дегенерация нервных элементов как в желудке (рис. 4), так и в кишечнике (рис. 5).

На рис. 4 видна начальная стадия дегенерации нервных волокон желудка, выражающаяся в неравномерном набухании нервных волокон, особенно у перехватов Ранье.

На рис. 5 также видна дегенерация нервных волокон в кишечнике. Часть этих волокон в стадии набухания, а часть в стадии фрагментации.

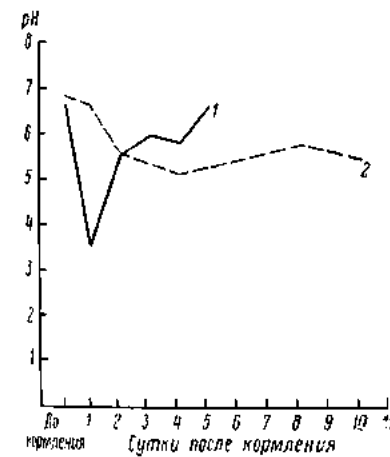


Рис. 2. Изменение реакции (pH) содержимого желудка в процессе пищеварения.

Обозначения те же, что на рис. 1.

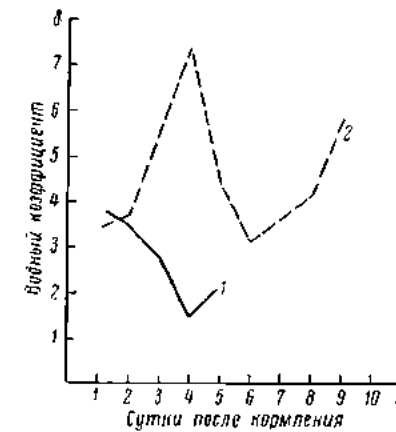


Рис. 3. Изменение водного коэффициента содержимого желудка в процессе пищеварения.

Обозначения те же, что на рис. 1.

Подобные картины дегенерации нервных элементов пищеварительного тракта налима в результате перерезки блуждающего нерва мы наблюдали и ранее (Краюхин, 1962).

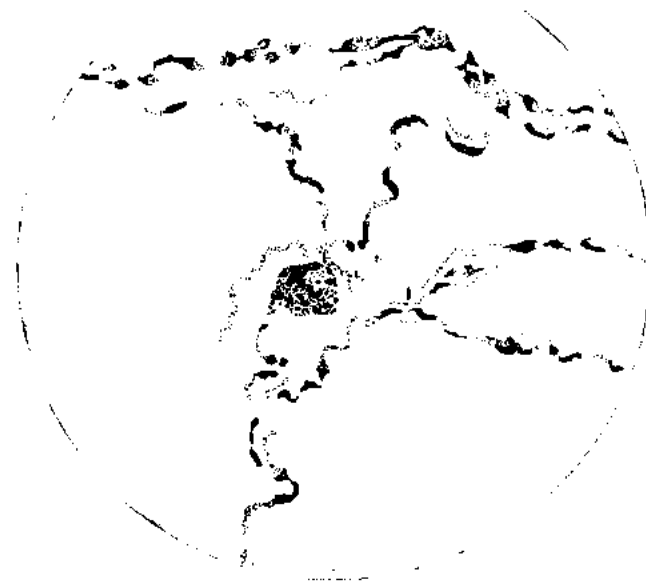


Рис. 4. Дегенерация нервных волокон желудка после перерезки блуждающего нерва. Ок. 7×, об. 20.

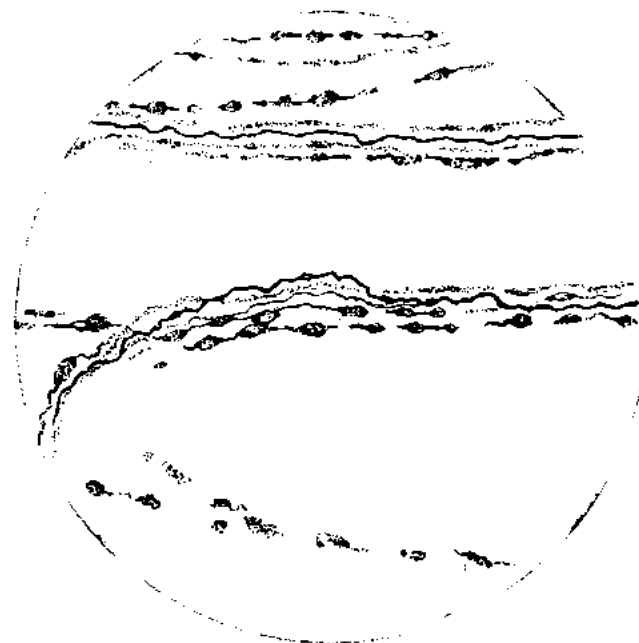


Рис. 5. Дегенерация нервных волокон кишечника после перерезки блуждающего нерва. Ок. 7×, об. 20.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Опыты показали, что перерезка желудочной ветви левого блуждающего нерва приводит к следующим изменениям пищеварительных процессов у налима.

1. Первые следы переваренного корма в желудке оперированных рыб наблюдаются через 31 час против 9 час. в контроле. Время переваривания всей порции корма увеличивается вдвое против контроля.

2. В течение всего периода пищеварения отмечается более высокий водный коэффициент. У оперированных налимов он колеблется в пределах 7.3—3.1 против 3.9—1.4 у контрольных. Вес химуса всего пищеварительного тракта в течение первых 5 суток значительно превышает вес принятой пищи и начинает несколько уменьшаться только через 6 суток.

3. Суммарная активность протеаз желудка в течение всего периода пищеварения в 1.5—2 раза выше, чем в контроле.

4. Реакция (pH) желудочного содержимого в процессе пищеварения сдвигается в кислую сторону очень медленно и достигает через 5 суток значения 4.8, после чего медленно сдвигается в щелочную сторону, не достигая исходной величины даже через 11 суток. В то же время в контроле уже через 3 часа после кормления pH начинает сдвигаться в кислую сторону и через сутки достигает значения 3.5.

5. Через 8 суток после кормления оперированные рыбы выделяют жидкие экскременты в то время, как у контрольных налимов уже через двое суток содержимое заднего отдела кишечника приобретает густую консистенцию.

6. У оперированных голодных налимов наблюдается спонтанное желудочное сокоотделение.

Таким образом, перерезка желудочной ветви блуждающего нерва приводит к существенным изменениям функции всего пищеварительного тракта, вследствие чего пищеварительный процесс значительно растягивается.

Полученные нами данные о спонтанном отделении желудочного сока у оперированных голодных налимов, а также более высокое значение водного коэффициента и общий вес химуса, значительно превышающий вес корма, дают основание считать, что блуждающий нерв у рыб, так же как и у теплокровных животных, принимает участие в регуляции выделения сока желудочными железами.

Самопроизвольное отделение желудочного сока, наблюдаемое нами после перерезки желудочной ветви блуждающего нерва у голодных налимов, напоминает «паралитическую» секрецию, описанную Бабкиным и Фридманом (Babkin и. Friedmann, 1934) у скатов после разрушения спинного мозга. Следует отметить, что самопроизвольное отделение желудочного сока после выключения блуждающих нервов характерно также для высших животных (Быков, 1959).

Механизм регуляции сокоотделения блуждающим нервом у рыб остается пока еще неясным. Поскольку, как это общепризнано, блуждающий нерв является смешанным нервом, вполне вероятно предположить, что в него входит волокна двух родов — возбуждающие и задерживающие, действующие так же, как секреторные нервы пищеварительного тракта собаки. Как известно, И. П. Павлов (1949) считал, что в составе блуждающего нерва собаки находятся нервы двух родов и что «в постоянной работе находятся задерживающие волокна и поэтому при перерезке их, когда задержка перестает функционировать, начинается безудержное выделение сока» (стр. 147).

Существенные изменения функции кишечника, а также дегенерация его нервных волокон после перерезки желудочной ветви блуждающего

нерва показывают, что последний принимает участие в регуляции секреторной деятельности кишечника. Интересную особенность представляет выделение оперированными налимими жидких экскрементов. Этот факт может быть объяснен, с одной стороны, усилением сокоотделения или ухудшением всасывающей способности кишечника.

Установленные нами изменения активности протеаз пищеварительного тракта скорее всего связаны с нарушениями секреторного процесса и реакции среды.

Регуляция деятельности пищеварительного аппарата при огромном напряжении во время пищеварения (по нашим данным (Краюхин, 1959), уровень энергетических затрат, связанных с пищеварением, у карпа повышается почти вдвое, а по данным А. Ф. Карпевич (1958), у морских рыб в два раза и более) обеспечивается его нервной системой. О последнем свидетельствует степень насыщенности желудка налима нервными элементами (Краюхин, 1962). В желудке налима выявлены все первые элементы, являющиеся морфологическим субстратом нервной регуляции пищеварения, а именно рецепторы, клеточные элементы с межклеточными синапсами или перикеллюлярами, сплетения и окончания.

Мы не располагаем еще достаточными гистологическими и физиологическими данными, позволяющими понять механизм регуляции деятельности желудочных желез у рыб, но приведенные данные свидетельствуют, что в этом механизме блуждающий нерв играет определенную роль.

Интересно, что между двигательной деятельностью желудка и секреторной желудочного сока у теплокровных животных имеется тесная связь — в периоды наибольшей секреторной деятельности увеличивается моторная активность. «В основе этой взаимосвязи у теплокровных лежит общность механизмов, регулирующих секрецию и моторику желудка» (Быков, 1959, стр. 637).

Мы не исследовали моторику желудка и можем судить об ее изменении у оперированных налимов лишь по косвенным показателям. Но поскольку роль блуждающего нерва в регуляции моторики пищеварительного тракта как хрящевых, так и костистых рыб является общепризнанной, мы имеем основание высказать предположение, что у желудочных рыб секреция и моторика регулируются общим механизмом и в этом механизме блуждающий нерв занимает определенное место.

Настоящее исследование показывает также, какое большое значение для нормальной деятельности пищеварительного аппарата имеет сохранение основных нервных проводников при операциях на пищеварительном тракте рыб, чем пренебрегают некоторые исследователи (Шегель, 1950) и на что ранее уже указывалось (Краюхин, 1959).

ЛИТЕРАТУРА

- Быков К. М. 1959. Регуляция работы пищеварительных желез. Физиол. журн., т. 45, № 6.
- Карпевич А. Ф. 1958. Потребление кислорода морскими рыбами при различных физиологических состояниях. Вопр. ихтиол., № 13.
- Ковырев Н. Г. 1938. Материалы к сравнительной физиологии пищеварения. Сообщ. VII. Гуморальный и нервный механизм желудочного сокоотделения у рыб. Физиол. журн., т. 25, № 4.
- Краюхин Б. В. 1959. Экспериментальное исследование физиологии пищеварения костистых пресноводных рыб с применением хронической фистульной методики. Автореф. дисс. МГУ.
- Краюхин Б. В. 1962. Строение и иннервация пищеварительного тракта налима. Настоящий сборник.
- Левотинич А. В. 1939. Сучасна методика захиттєвого фарбування нервів метеновою синькою і іншими фарбами. Вид. АН УРСР, Київ.
- Павлов И. П. 1949. Лекции по физиологии. Лекция 26. Изд. АМН СССР, М.

- Павлов И. П. и Е. О. Шумова-Симановская. 1889. Отделительный нерв желудочных желез собаки. Врач, 15.
- Пегель В. А. 1950. Физиология пищеварения рыб. Тр. Томск. гос. ун-та, т. 108.
- Пегель В. А. и И. Г. Шубин. 1955. О значении вегетативной нервной системы в регуляции пищеварительной функции рыб. Тр. Томск. гос. ун-та, т. 131.
- Самнер Д. Б. и Г. Ф. Сомерс. 1948. Химия ферментов и методы их исследования. ИЛ, М.
- Тимофеев П. В. 1937. Материалы к сравнительной физиологии пищеварения. Сообщ. IV. Значение блуждающего нерва в секреции желудочных желез лягушки. Физиол. журн., т. 23, № 2.
- Babkin B. P. and M. H. Friedmann. 1934. The relation of the autonomic nervous system to the mobility and secretion of the stomach in Elasmobranches. Amer. Physiol., v. 109.
- Babkin B. P., A. E. Chaisson and M. H. Friedmann. 1935. Factors determining the course of the gastric secretion in Elasmobranches. J. Biol. Board. Can., v. 1, № 4.
- Barrington E. J. W. 1957. The alimentary canal and digestion in M. Brown's «Physiology of Fishes», v. 1. New York.
- Dobrell M. 1927. Experimentelle Studien über die vergleichende Physiologie der Verdauung. 1. Magen-Verdauung der Haifische nebst einer Bemerkung über die Hungerausdauer derselben Fische. Pflüg. Arch. ges. Physiol., Bd. 217.
- Ungar C. 1935. Perfusion de l'estomac des Sélaciens. Étude pharmacodynamique de la Sécrétion gastrique. Compt. rend. Soc. Biol., t. 119.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Предисловие	132
Введение	133
Температурный режим водохранилища в безледоставный период	142
Распределение температуры воды по вертикали и ее суточный ход	142
Сезонная и многолетняя динамика температуры воды в Главном и Волжском плёсах	168
Распределение температуры воды по акватории водохранилища	182
Основные черты температурного режима водохранилища в ледоставный период	215
Сезоны и периоды годового температурного цикла и температурное районирование водохранилища	225
Литература	235

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для повышения биологической продуктивности водохранилищ и в первую очередь водохранилищ-гигантов, для правильного использования в целях коммунального и технического водоснабжения и орошения их вод необходимо знать гидрологический режим водохранилищ. Среди элементов гидрологического режима большое значение имеет температурный режим. Распределение температуры по акватории водохранилища в ряде случаев является наиболее надежным указателем направления перемещения водных масс, о чем необходимо иметь представление при изучении влияния сбросных вод на качество воды в водохранилищах.

Указанные обстоятельства побудили автора обобщить обширные материалы Института биологии водохранилищ АН СССР по температуре Рыбинского водохранилища, являющегося одним из крупнейших водохранилищ мира. Отсутствие подобных работ, морфологическая и гидрологическая сложность водохранилища, разнородность материала сильно осложнили решение поставленной задачи. Работу нужно рассматривать как первую попытку дать характеристику температурного режима крупного искусственного водоема на основании обширного фактического материала.

Дальнейшие исследования Института биологии водохранилищ АН СССР в этой области помогут уточнить и проверить высказанные положения.

«Температурный режим Рыбинского водохранилища» не является монографией. Поэтому в работе не приведена историческая справка об исследованиях температурного режима озер и водохранилищ и нет полного списка литературы по вопросу.

Приношу глубокую благодарность профессору Л. Л. Россолимо за ценные указания, сделанные им при тщательном просмотре рукописи.

Выражаю свою искреннюю признательность всем сотрудникам Лаборатории гидрологии Института биологии водохранилищ АН СССР принимавшим участие в сборе материалов и особенно С. С. Бакаеву, М. Г. Еришовой, Т. Н. Курдиной, В. П. Курдину и К. К. Эдельштейну оказавшим большую помощь при обработке материалов и подготовке рукописи к печати.

ВВЕДЕНИЕ

В Советском Союзе созданы и продолжают создаваться водохранилища-моря, по морфологии и гидрологическому режиму отличающиеся от естественных водоемов.

Гидрологический режим больших водохранилищ и особенно их термический режим до сих пор изучены слабо. Основными недостатками исследований термического режима водохранилищ-морей являются малое число температурных наблюдений в глубоководных частях, отсутствие синхронности при сборе материалов и малая репрезентативность данных прибрежных наблюдений гидрометеорологических станций и постов. Эти обстоятельства придают особую ценность обширным материалам температурных наблюдений, собранным Институтом биологии водохранилищ АН СССР по Рыбинскому водохранилищу, тем более что последнее является чрезвычайно сложным водоемом как по форме, так и по гидравлическим условиям — наличие нескольких крупных притоков, больших районов с неустановившимся движением, часто меняющих скорость и направление ветровых течений, частичной зарегулированности Волги выше Рыбинского водохранилища и ряда других факторов.

В послевоенный период температурному режиму Рыбинского водохранилища посвящено несколько работ. Первая из них написана на основании исследований, выполненных Гидрометеослужбой в период наполнения водохранилища в 1946, 1947 гг. с целью изучения испарения воды, а не специально для освещения температурного режима, что не могло не отразиться отрицательно на качестве работы. Поэтому, не останавливаясь на ее рассмотрении, следует все же отметить, что в работе в основных чертах правильно представлены особенности температурного режима центральной части водохранилища в годы исследований и в этом отношении работа представляет определенную ценность.

Статья Т. Н. Курдиной (1958) написана по материалам научно-исследовательской биологической станции «Борок» и по данным береговых постов Гидрометеослужбы. В ней помещены термокартограммы, характеризующие распределение по акватории водохранилища поверхностных и придонных температур воды в период интенсивного прогрева при наличии сгонно-нагонных течений. Термокартограммы дают правильное представление о распределении водных масс разной прогреваемости в центральной части водохранилища. Объем материалов, имеющихся в распоряжении автора, позволил лишь схематично осветить затронутые вопросы.

В статье С. Н. Тачалова (1959), посвященной температурному режиму Рыбинского водохранилища за период 1947—1958 гг., не содержится температурных характеристик отдельных лет и годового хода температуры в основных частях Главного плеса (его губах). Использование в основном материалов станций на мысе Рожновском, бывш. г. Молога, наблюдений в Пересборском заливе, не характерных для преобладающей части водохранилища, береговых станций, и единичных измерений в центральной части водохранилища не дает возможности составить представление об основных особенностях температурного режима этого водоема.

Другие крупные водохранилища как на территории СССР, так и за рубежом изучены в термическом отношении недостаточно и многие черты температурной специфики этих водоемов остаются нераскрытыми.

Серьезные затруднения встречаются и на пути попыток сопоставления черт температурного режима водохранилищ с таковыми крупных озер. Знакомство с лимнологической литературой показывает, что, несмотря на значительное внимание, уделяемое температурным наблюдениям на

больших озерах, исчерпывающе полное значение их температурного режима не достигнуто. В этом нетрудно убедиться, знакомясь с работами по Ладожскому и Онежскому озерам, Байкалу, Севану, Иссык-Кулю и др. О недостаточности систематических наблюдений и о серьезных пробелах в знании температурного режима говорят сами авторы работ по перечисленным озерам.

Температурные материалы, собранные Институтом биологии водохранилищ АН СССР, неоднородны. До лета 1957 г. измерение температуры воды производилось в основном только на двух горизонтах: в 0.5 м от водной поверхности и от поверхности дна. Температурные измерения, входившие в программу биологических съемок водохранилища, продолжались в зависимости от типа съемок от 2 до 15 и более дней.

Резкие изменения температуры воды, особенно в период интенсивного прогревания, в течение суток и тем более на протяжении нескольких дней делают эти материалы малоприспособленными для выявления закономерностей распределения температуры воды по акватории водохранилища и совершенно непригодными для выяснения суточного хода температуры. Однако при малой изученности температурного режима Рыбинского водохранилища и эти материалы, собранные в большем количестве, оказывались полезными и были использованы для некоторых обобщений.

С лета 1957 г. Институтом стали применяться синхронные съемки с целью получения материалов по суточной динамике температуры воды на вертикалях в разных частях Рыбинского водохранилища. В синхронных съемках одновременно принимали участие 4—5 катеров, поставленных на якоря, с которых в течение 1—2 суток через каждые 4 часа проводились наблюдения. Программа работ первых синхронных съемок изложена в статье В. И. Рутковского (1958).

Уже материалы первой синхронной съемки показали, что для получения представления о распределении водных масс с разной температурой наблюдения на вертикалях необходимо дополнить маршрутными съемками. Поэтому, начиная со второй синхронной съемки, все катера, прежде чем стать на суточные станции, проводили в разных частях водохранилища маршрутные синхронные наблюдения.

Но и эти наблюдения давали мало материала для выяснения характера распределения температуры водных масс. В связи с этим с середины лета 1959 г. синхронные съемки стали дополняться скоростной температурной съемкой, маршрут которой проходил вблизи всех суточных станций. Скоростная температурная съемка проводилась с помощью быстроходного катера, проходящего за сутки около 450 км. Температура измерялась в воде, зачерпнутой ведром на ходу судна с передней палубы, а также электротермометром автоматической гидрометеостанции, датчик которой был установлен на глубине 1.5 м в кингстоне. В дополнение к суточным станциям с катера, выполнявшего скоростную съемку, в заранее намеченных местах определялась температура воды на вертикалях. Для получения представления об изменении температуры воды за сутки катер повторял маршрут для проведения наблюдений на тех же станциях через 24 часа.

Осенью 1959 г. при малых горизонтальных и вертикальных температурных градиентах измерения температуры производились с судов, каждое из которых в течение двух суток несколько раз прошло по одному и тому же маршруту, повторяя 2—4 раза одни и те же вертикали. В результате были произведены съемки всех плёсов и получены материалы по распределению температуры по вертикалям на многих точках, установлены изменения средних температур за сутки в разных частях водохранилища и распределение температуры в поверхностном слое по всему водохранилищу.

Изменялись и горизонты измерений температуры. При первых синхронных съемках температура измерялась на глубине 0.5 м от поверхности и на 0.5 м от поверхности дна. При последних съемках измерения проводились на глубинах 0.1, 0.5, 2.0, 5.0 м далее через 5 м и 0.5 м от поверхности дна, а в отдельных случаях еще измерялась температура придонного слоя и поверхности грунта.

Измерение производилось в поверхностном слое с помощью родниковых термометров, на остальных горизонтах — глубоководными термометрами. В последние годы стали применяться малоинерционные электротермометры (полупроводниковые). Первичная обработка материалов проводилась по методическим указаниям Гидрометеослужбы. Средние температуры на вертикалях вычислялись как средние взвешенные.

С усовершенствованием методики исследований уточнялась картина распределения температуры воды по акватории и вертикалям. С введением в практику малоинерционных приборов безусловно будет обнаружено более сложное температурное расслоение, чем улавливаемое до сих пор.

Материалы последних лет, позволившие выявить суточный ход температуры на вертикалях, дали возможность более точно проанализировать материалы прежних лет, собранные при длительных съемках.

Чрезвычайно сложную задачу представлял сбор материалов в зимний период. Трещины во льду, исчезающие с приближением температуры воздуха к нулю и появляющиеся в морозные периоды, большие размеры водохранилища, появление в некоторых частях его во второй половине зимы полыней, частые туманы, снегопады, оттепели делают акваторию водохранилища малодоступной для экспедиций, пользующихся гужевым и тем более автомобильным транспортом. Поэтому в начале исследований зимние работы ограничивались в основном Моложской губой. С получением снегоболотохода положение резко изменилось. Исследования с большей или меньшей повторяемостью охватили всю площадь водохранилища. Остались слабо освещенными места, где образуются полыньи и где ледяной покров тонок. Основным недостаток зимних исследований — это краткость периода работ, так как выход на лед возможен только в январе, и заканчивать работы приходится, в лучшем случае, в начале апреля, а обычно в конце марта. Поэтому зимний период на Рыбинском водохранилище освещен хуже, чем летний. Если для открытого периода имеющиеся материалы позволяют выявить в первом приближении температурные различия отдельных лет, распределение водных масс с разной температурой, суточные и сезонные изменения температуры в разных частях водохранилища, то для зимнего периода представление о степени прогретости воды, о размещении прогретых (малопроточных) и непрогретых (проточных) вод можно получить лишь для 2—3 лет. Поэтому исследования температуры в ледоставный период нужно рассматривать как начинающиеся.

В настоящей работе в основном использованы температурные данные, собранные Институтом биологии водохранилищ преимущественно в тех частях водохранилища, где глубины превышают 4 м.

О количестве использованного материала можно судить по табл. 1. Больше всего сделано измерений температуры воды при синхронных съемках — около 3500, затем при маршрутных наблюдениях — около 1500. При стандартных съемках, которые можно рассматривать как стационарные, за рассматриваемый период сделано около 1000 замеров. В зимние периоды температура замерена в 1140 точках. Всего же в основу настоящей работы положено примерно 7300 измерений температуры.

Кроме указанных в табл. 1 материалов, были использованы данные температурных наблюдений нескольких прибрежных станций Гидрометеослужбы на Рыбинском водохранилище.

Т а б л и ц а 1

Сведения об использованном материале температурных наблюдений
на Рыбинском водохранилище (число вертикалей и измерений)

Год	Безледоставный период						Ледоставный период	
	стандартные (станционные наблюдения)		маршрутные наблюдения		спохронные наблюдения		зимние рейсовые наблюдения	
	верти- каль	точки	верти- каль	точки	верти- каль	точки	верти- каль	точки
1954	115	224	27	30	—	—	37	100
1955	83	175	203	305	3	68	9	26
1956	80	185	138	304	—	—	33	69
1957	63	193	16	23	27	365	48	95
1958	66	200	103	406	25	290	46	143
1959	—	—	89	492	129	2712	179	707
Итого . . .	407	977	576	1650	184	3435	352	1140

В настоящей работе рассматривается только температурный режим воды водохранилища, что и определило ее наименование. Тепловой (термический) режим должен составить следующую стадию исследований. Здесь отметим только, что для Рыбинского водохранилища, по исследованиям А. П. Браславского и З. И. Викулиной (1954), расходные элементы теплового баланса в процентах от поглощенной водой суммарной солнечной радиации в период, свободный ото льда, составляют в среднем многолетнем: на испарение 58.5, на эффективное излучение 26.9, на турбулентный теплообмен с воздухом 10.8 и теплообмен с дном 3.8. По мнению А. П. Браславского и З. И. Викулиной, влияние остальных факторов теплового баланса с трудом поддается учету. Для Рыбинского водохранилища и других, находящихся в близких климатических условиях, на тепловой баланс весной оказывает большое влияние принос тепла притоками. Этот элемент теплового баланса не учтен упомянутыми выше авторами.

Как известно, морфологические особенности водоема играют важнейшую роль в определении черт его температурного режима. Это в полной мере должно учитываться в отношении Рыбинского водохранилища, отличающегося, как уже упоминалось, большой расчлененностью и к тому же сложностью гидравлических особенностей. В этих условиях особо важное значение приобретает выбор правильной схемы районирования водохранилища.

В связи с тем что Рыбинское водохранилище уже неоднократно районировалось и одним и тем же частям приспавались разные наименования, необходимо для облегчения изложения принять ту или иную схему деления акватории водохранилища на районы, закрепив за ними наименования, соответствующие их особенностям. Предлагаемая нами схема построена на основании особенностей температурного режима в разных частях водохранилища. Обоснование этой схемы будет приведено в конце работы после рассмотрения температурных материалов. На рис. 1 дается схематическая карта районов водохранилища, на которой помечены основные станции и приведены наименования, упоминаемые в работе.

Приведем некоторые морфометрические характеристики водохранилища, имеющие значение для понимания его температурного режима. По данным Гидрометеослужбы, площадь водохранилища равна 4550 км², объем — 25.42 км³, средняя глубина — 5.6 м. Наибольшая длина во-

дохранилища достигает 140 км. Наибольшие глубины расположены в руслах рек. При НПГ (нормальный подпорный горизонт) в первые годы после наполнения водохранилища они изменялись в пределах: по бывшему руслу Волги 11.5—23 м, по бывшему руслу Мологи 12—30 м и

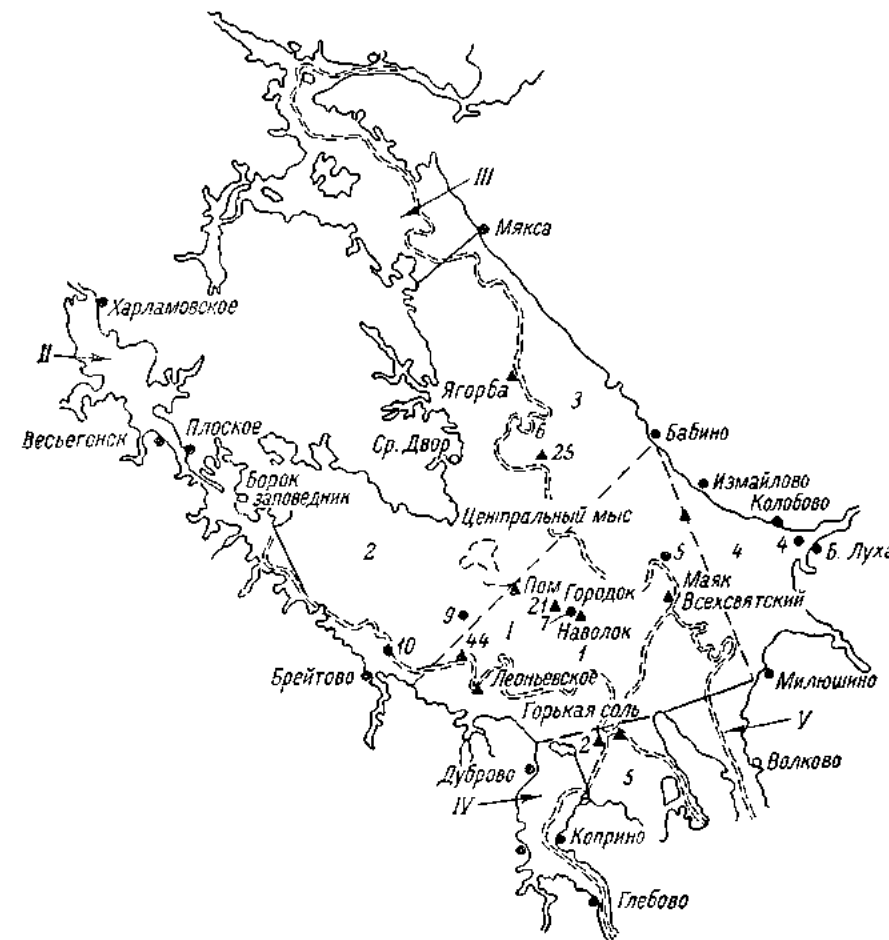


Рис. 1. Схема районирования Рыбинского водохранилища.

I — Главный плёс: 1 — центральная часть, 2 — Моложская губа, 3 — Шекснинская губа, 4 — Ухто-Согожская губа, 5 — Волжская губа; II — Мелкий плёс; III — Шекснинский плёс; IV — Сброной плёс; V — Волжский плёс.

по бывшему руслу Шексны 11—30.4 м. Глубины от 0 до 2 м занимают 21% всей площади водохранилища, глубины более 10 м — 14% и более 15 м всего 0.9%. При этом поверхность водоемов, существовавших на площади Рыбинского водохранилища до его образования, составляет всего 4.2% акватории его при НПГ (Дрягин, 1957).

Главный плёс водохранилища имеет большую площадь и по сравнению с речными плёсами малую среднюю глубину. Волжский и Сброной плёсы и отдельные участки Моложского узки и глубоки. Эти особенности

плёсов, как увидим ниже, оказывают влияние на температурный режим этих частей водохранилища.

На основании работ экспедиции Государственного Гидрологического института в соответствии с морфологическими особенностями было предложено разделение Рыбинского водохранилища на две части: шекснинскую и волжско-моложскую по линии Центральный мыс—Рожновский мыс. Это деление можно принять, так как доминирующей чертой рельефа дна первой части является бывшая долина Шексны, что и определяет движение всей массы шекснинских вод по направлению к плотине и Рыбинской ГЭС. Морфологические особенности второй части таковы, что воды Волги и Мологи лишь в очень небольшой части сбрасываются через шлюз, расположенный в бывшем русле Волги. Основная же масса вод этих рек, направляющаяся к плотине, перебрасывается через Молого-Шекснинский водораздел. Эти особенности динамики водных масс водохранилища очевидно, играют большую роль в распределении в нем температуры.

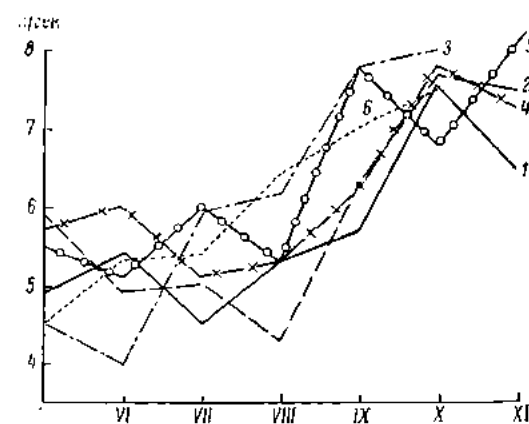


Рис. 2. Среднемесячная скорость ветра. Гидрометеостанция Мыс Рожновский 1954—1959 г.

1 — 1954 г.; 2 — 1955 г.; 3 — 1956 г.; 4 — 1957 г.; 5 — 1958 г.; 6 — 1959 г.

Еще одной важной морфологической чертой Рыбинского водохранилища, как, впрочем, и многих других водохранилищ, является широкое развитие мелководий. Воды притоков в весеннее половодье при заполнении водохранилища, попадая в условия мелководий, быстро изменяют свои температурные особенности.

Не имея в виду останавливаться сколько-нибудь подробно на климатической характеристике района Рыбинского водохранилища, которая в основных чертах уже освещена в ряде работ, остановимся на тех метеорологических элементах, которые имеют наибольшее значение в формировании температурного режима водоема — на скорости ветра и температуре воздуха.

В безледоставные периоды 1954—1959 гг., по данным станции Мыс Рожновский, среднемесячные скорости ветра (м/сек.) колебались в следующих пределах:

Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
4,5—5,9	4,9—6,0	4,5—6,0	4,8—6,4	5,7—7,8	6,8—7,6

В первую половину безледоставного периода скорость ветра значительна (4—6 м/сек.), почти не изменяется по месяцам, но осенью она возрастает и в октябре уже превышает 7 м/сек.

О скорости ветра в безледоставные периоды изучаемых лет можно судить по рис. 2. В среднем за полугодие (май—октябрь) скорость ветра изменялась по годам в пределах 5,6—6,1 м/сек.:

1954	1955	1956	1957	1958	1959
5,6	5,7	6,1	6,0	6,1	6,0

По данным Гидрометслужбы, максимальная наблюдаемая скорость ветра в открытой части водохранилища равна 25 м/сек., скорость ветра 13 м/сек. и выше, при которой в ряде районов водоема высота волны до-

стигает 1.3 м, имеет 10% обеспеченности; время, в течение которого отмечается скорость 10 м/сек. и выше, вызывающая волну до 1 м высотой, составляет в среднем за многолетие 25% от периода навигации. По многолетним данным, в среднем за безледоставный период число дней со скоростью ветра более 4 м/сек. составляет 85%.

Частые штормы и почти непрерывные сильные ветры, особенно осенью, обеспечивают перемешивание всей толщи воды не только на обширных мелководьях, но даже в наиболее глубоких местах водохранилища.

По температуре воздуха резко выделяется теплый 1954 г. с максимальной среднемесячной температурой 21° (июль) и максимальной средней за безледоставный период 13.7°. Самый холодный безледоставный период был в 1956 г. — 11.2°, причем с июля по сентябрь температура воздуха была ниже, чем во все остальные годы этого периода. Холодным был и 1958 г. (табл. 2).

Для района водохранилища очень характерны «возвраты холода» в первую половину лета и «возвраты тепла» во вторую часть его и осенью.

Т а б л и ц а 2

Среднемесячная температура воздуха (гидрометеостанция Мыс Рожковский)

Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Средняя
1954	10.5	17.2	21.0	17.0	11.6	4.8	13.7
1955	7.6	13.2	17.1	17.8	13.8	6.9	12.7
1956	6.8	18.6	14.7	14.9	8.8	3.6	11.2
1957	11.8	13.9	18.0	17.3	12.4	4.5	13.0
1958	8.0	14.0	17.5	15.7	8.8	5.4	11.6
1959	9.2	16.3	19.5	17.2	9.0	1.1	12.0
Средняя	9.0	15.5	18.0	16.6	10.7	4.4	12.4

Оба эти явления, как увидим ниже, изменяют не только среднюю температуру воды водохранилища, но и распределение ее по акватории.

При изучении гидрологического режима водохранилищ и особенно такого, как Рыбинское с годовым регулированием, всегда нужно иметь в виду, что динамика запаса воды в них, а следовательно, уровни и площади зависят в значительной мере от условий эксплуатации.

В период половодья приточность в Рыбинское водохранилище мало отличается от естественной (бытовой), так как из притоков искусственно зарегулирована только Волга, полезный объем основных водохранилищ которой, расположенных выше Рыбинского, составляет всего около 1.8 км³ (Курдина, 1959; Зыкина, 1959) при общей приточности в среднем около 35 км³ в год (Рутковский и Курдина, 1959). Зарегулированность Волги существенно сказывается только в меженьные периоды на Волжском плесе и Волжской губе. Когда Угличская ГЭС резко меняет сбросные расходы, создается неустановившееся движение в этой части Рыбинского водохранилища.

Зато коренным образом изменен сток по сравнению с бытовыми условиями. Так, в апреле, когда проходит значительная часть паводка, сток наименьший (927 м³/сек.). В мае в большинстве случаев сброс близок к минимальным сбросам в другие месяцы и только в отдельные годы он в мае достигал максимальных месячных величин (1955 г.).

Наибольшие сбросы имеют место зимой. В марте, в зависимости от прогноза половодья, в некоторые годы производится большая сработка водохранилища (1958 г.). В большинстве случаев в марте сбросы воды через ГЭС меньше, чем в другие зимние месяцы (табл. 3).

Особенности приточности в разные годы и колебание в потребности электроэнергии обуславливают большие амплитуды сбросов воды из водохранилища в одни и те же месяцы разных лет, особенно в период март—июнь. В марте средние сбросы за изучаемый нами период колебались от 265 (1956 г.) до 2026 м³/сек. (1958 г.) — примерно в 8 раз, в апреле от 382 (1956 г.) до 1317 (1958 г.) — более чем в 3 раза, в мае от 519 (1956 г.) до 3485 (1955 г.) — более чем в 6 раз и в июне от 787 до 3106 м³/сек.,

Т а б л и ц а 3
Среднемесячные расходы воды через Рыбинский гидроузел, м³/сек. (по данным Мосэнерго)

Года	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IX	XII	Среднее
1954	1081	1714	999	697	770	930	855	949	997	1070	964	1548	1098
1955	1193	860	677	790	3485	3106	1555	1028	1230	1243	1367	1430	1500
1956	878	771	265	382	519	787	799	859	984	988	1138	1369	812
1957	1565	1282	986	1030	2102	1109	1313	1183	1213	1079	1458	1484	1318
1958	1537	1835	2026	1317	1220	1471	1260	1090	1027	860	982	1236	1322
1959	1288	1415	1121	745	942	1018	1109	1035	1032	925	923	1014	1047
Среднее	1357	1313	1012	927	1506	1404	1148	1024	1089	1028	1014	1347	1183

При протяжении Сбросового плёса по прямой около 20 км объем его при ННГ составляет 0.9 км³. В среднем за месяц безледоставного периода, считая с мая по октябрь

г. е. в 4 раза. В остальные месяцы колебания сбросов находятся в пределах 50%. В качестве особенностей сбросов отдельных лет следует отметить наименьшие сбросы почти на протяжении всего 1956 г., очень большие сбросы в мае—июле в 1955 г. и в феврале—апреле в 1958 г. В среднем за год наименьшие сбросы были в 1956 г. (812 м³/сек.), а наибольшие в 1955 г. (1500 м³/сек.).

Малые сбросные расходы весной и большие в зимний период характерны для водохранилищ с годовым регулированием стока, каким является Рыбинское водохранилище, единственное в этом роде в системе волжских водохранилищ, и совершенно не характерны для озер. Указанные особенности нужно иметь в виду при рассмотрении температурного режима водохранилища.

Для получения представления об изменении объемов водохранилища приведем следующие материалы за 1954—1959 гг. (рис. 3).

Минимальные среднемесячные объемы за 6 лет изменялись от 8.5 до 14 км³, максимальные от 19.5 до 27.5 км³. Величина весеннего наполнения: максимальная в 1955 г. — 18.3 км³ и минимальная в 1954 г. — 6.1 км³. Следовательно, в 1954 г. наполнение за счет талых вод было в 3 раза меньше, чем в 1955 г.

В Рыбинском водохранилище объем годового притока больше объема водохранилища при ННГ. Отсюда следует, что температура притоков должна оказывать большое влияние на температуру водохранилища. Особенно сильно влияние температуры под пригоном весной, когда в начале паводка температура талых вод ниже средней температуры воды в водохранилище, а во второй его половине выше на 10° и более, а объем приточности в апреле и мае в среднем примерно в полтора раза больше объема воды в водохранилище к началу половодья (Рутковский и Курдина, 1959).

Как известно, в прогревании водоема большое значение имеет его глубина. Средняя глубина Рыбинского водохранилища, вычисленная по среднемесячным и среднедекадным объемам и площадям, мало отличалась по отдельным годам.

Исследования стоковых течений в Рыбинском водохранилище проводились А. П. Кренке (1958). В его работе имеются материалы по скоростям течений в речных плёсах и некоторые данные о течениях в центральной части Главного плёса, основанные главным образом на сведениях, полученных от рыбаков. В настоящее время установлено, что во всех речных плёсах в период весеннего наполнения и зимней сработки стоковые течения хорошо выражены.

Зимой в Сбросном плёсе, как и на всех крупных озерах вблизи истока, образуется одна или несколько больших полыней (промоин). То же явление наблюдается и у Первомайских островов и у узких мест Моложского плёса (у Барка Заповедного). О районах с хорошо выраженными стоковыми течениями в подледный период можно судить по горизонтальным и вертикальным температурным градиентам.

Для получения представления о возможных скоростях течения в Сбросном плёсе приведем следующий приближенный расчет.

включительно с 1947 по 1955 г., Рыбинская ГЭС сбрасывала воды 2.76 км^3 (Рутковский и Курдяна, 1959). Отсюда в среднем весь объем воды в плесе сбрасывается в нижний бьеф за 10 суток. Принимая площадь поперечного сечения плеса на траверзе Волкова равной 0.0284 км^2 (наиболее узкая часть плеса), средняя скорость стокового течения на этом участке равна 4 см/сек. , что соответствует пропуску через ГЭС $1060 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Поскольку сброс ГЭС колеблется в течение суток от нескольких десятков кубических метров до $3000 \text{ м}^3/\text{сек.}$, то и средние скорости должны изменяться

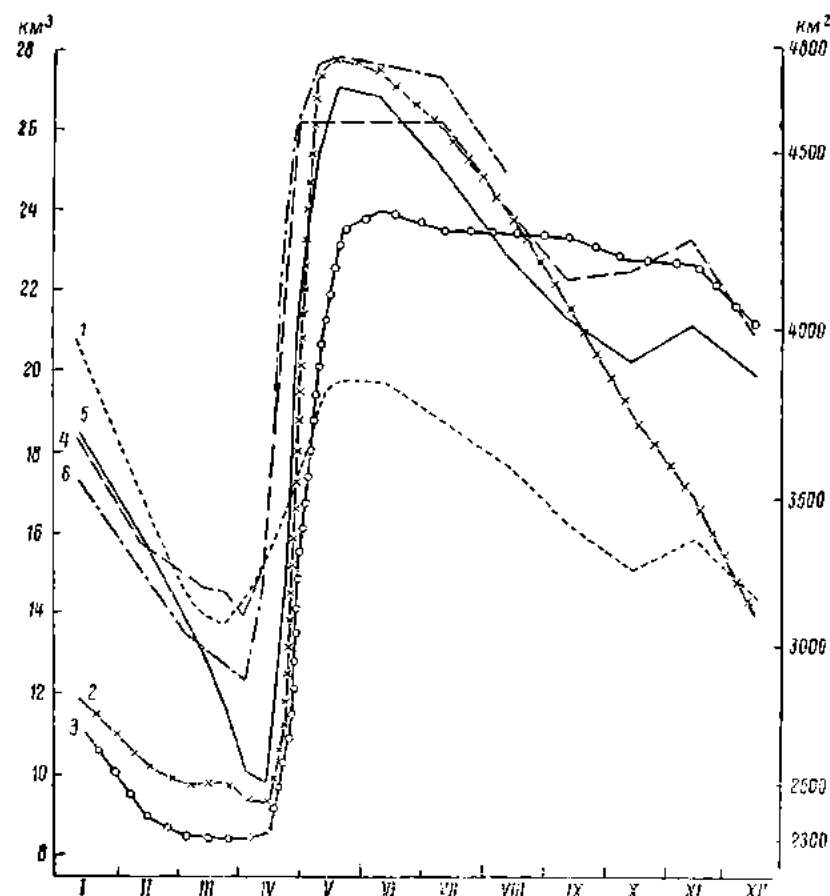


Рис. 3. Изменение объема и площадей Рыбинского водохранилища за 1954–1959 гг.

1 — 1954 г.; 2 — 1955 г.; 3 — 1956 г.; 4 — 1957 г.; 5 — 1958 г.; 6 — 1959 г.

от 0 (могут быть течения в обратном направлении при резком уменьшении сброса) до 12 см/сек.

Конечно, приведенные данные нужно рассматривать как ориентировочные, кроме того, в расчетах не учтены особенности распределения скоростей по поперечному сечению плеса.

Зимой в районе Милославна были замерены скорости до 0.20 м/сек. (Гренке, 1958), а летом при максимальном уровне водохранилища несколько южнее Волкова — до 17 м/сек. (Тачалов, 1957). Судя по данным С. Н. Тачалова, максимальные скорости течения в Сбросном плесе наблюдаются по средней линии последнего. Можно предположить, что эти скорости достаточны для обеспечения перемешивания всей или большей части толщи воды в плесе.

Ветровые течения в Главном плесе Рыбинского водохранилища благодаря сильным и часто меняющимся направлениям ветрам имеют перемешанный характер, полностью затухивают стоковые течения.

Институтом биологии водохранилищ собраны значительные материалы по распределению температуры воды на разрезах и направлению и скоростям течений при ветрах, меняющих направление и скорости. Эти данные подтвердили положение,

высказанное В. Б. Штокманом (1953), что на участках водохранилищ, имеющих корытообразное сечение, сильный ветер вызывает циркуляционные течения, благодаря которым распределение температуры в водохранилище делается очень сложным. Если при корытообразном сечении водохранилища или частей его циркуляционные течения захватывают всю или почти всю массу воды, то на мелких участках, по-видимому, образуется много отдельных циркуляций, перемещающих воду от поверхности до дна, но обычно не вызывающих перемещений всей водной массы от одного берега к другому. Однако сильный ветер может вызвать и перемещение всей водной массы водохранилища по направлению ветра.

О влиянии грунтовых вод на температуру воды в водохранилище в настоящее время из-за слабой изученности этого вопроса не представляется возможным привести конкретные данные.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВОДОХРАНИЛИЩА В БЕЗЛЕДОСТАВНЫЙ ПЕРИОД

Распределение температуры воды по вертикали и ее суточный ход

Для получения представления о температурном режиме такого сложного водоема, как Рыбинское водохранилище, необходимо прежде всего выяснить особенности распределения температуры воды и суточные изменения ее по вертикали в разных районах водохранилища при разных условиях погоды. Эти данные позволяют выявить основные черты теплообмена водохранилища, образование и разрушение термических зон. Наблюдения на суточных станциях позволяют выяснить репрезентативность разовых измерений температуры воды в разных условиях и возможности использования для обобщения обширных данных по температуре поверхностных и придонных слоев воды, собранных при гидробиологических исследованиях. Необходимые для этого материалы были получены Институтом биологии водохранилищ при синхронных температурных съемках, проведенных в разные температурные периоды и при разных условиях погоды.

В дальнейшем неоднократно придется увязывать температурные наблюдения с температурными периодами, а потому здесь уместно привести принятое нами разделение годового температурного цикла на сезоны и их части, обоснование которого будет дано ниже в соответствующем разделе.

Учитывая особенности температурного цикла Рыбинского водохранилища и влияние на него специфического гидрологического режима, выделяются следующие сезоны и их части.

Весна. Начало сезона — начало поступления талых вод в водохранилище (примерно середина апреля).

Первая часть сезона — ранневесенняя — продолжается до очищения ото льда Главного плёса и повышения температуры воды в этой части водохранилища до 2° .

Вторая часть — поздневесенняя — начинается примерно с 10—15 мая и продолжается до последней декады июня, примерно до летнего солнцестояния. На протяжении этого периода происходит быстрое повышение температуры воды до 16 — 17° , т. е. до минимальных температур, наблюдаемых летом.

Летний сезон — сезон максимального прогрева. Начало его или конец весеннего сезона совпадают с временем наступления наиболее раннего годового максимума температуры воды (1956 г.) за изучаемый период. Конец сезона — начало устойчивого выхолаживания, что обычно наблюдается в середине второй половины августа, когда температура воды переходит через 18° .

Осенний сезон — сезон интенсивного выхолаживания. Конец сезона — замерзание водохранилища.

Зимний сезон — от начала ледостава до начала наполнения водохранилища талыми водами.

В настоящей работе используются материалы восьми синхронных съемок, проведенных в следующие периоды:

1. В начале поздневесенней части весеннего сезона (12—14 мая 1959 г.) с суточными наблюдениями на стандартных станциях 1, 6, 7, 10 и у Волково и с измерениями температуры воды на ходу судов (IV синхронная съемка).

2. В середине поздневесенней части весеннего сезона (26—28 мая 1959 г.) с двухсуточными наблюдениями на тех же станциях и с измерением температуры воды на ходу судов (V синхронная съемка).

3. В конце поздневесенней части (8—9 июня 1957 г.) с суточными наблюдениями на пяти станциях на траверзах Мяксы, Ламы, Мышкина, Волкова и у Наволока (I синхронная съемка).

4. В середине летнего сезона (20—23 июля 1959 г.) с двухсуточными наблюдениями на стандартных станциях 1, 6, 7, 10 и у маяка Всехсвятского со съемкой температуры по всему Главному плёсу (VI синхронная съемка).

5. В тот же период (28—29 июля 1958 г.) суточные наблюдения на траверзах Мышкина, Волкова и на стандартных станциях 6, 7, 10 с измерением температуры воды на ходу судов (III синхронная съемка).

6. В начале осеннего сезона (28—30 августа 1959 г.) двухсуточные наблюдения на траверзах Коприна, Волкова, Вичелова, Малиновки и температурные съемки всего Главного плёса (VII синхронная съемка).

7. В середине осеннего сезона (16—17 сентября 1957) суточные наблюдения на траверзах Ламы, Мышкина, Вичелова и на стандартной станции 7 и суточные наблюдения на 3 судах в Сбросном плёсе (II синхронная съемка).

8. В конце осеннего сезона (1—3 октября 1959 г.) с повторными измерениями температуры на маршрутах: а) Волжский плёс (Коприно—Углич), б) Главный плёс—Шекснинский плёс (Наволоки—ж.-д. мост на Шексне), в) Главный плёс—Моложеский плёс (Коприно—Харламовское) и г) Главный плёс (VIII синхронная съемка).

Кроме синхронных съемок, в периоды разрушения ледяного покрова и в период замерзания проводились рейсовые температурные съемки Волжского плёса и прилегающих к нему частей Главного плёса с повторными вертикальными разрезами. Таким образом, безледоставный период повторными, суточными и двухсуточными наблюдениями за температурой воды на вертикалях охарактеризован с большой полнотой.

Синхронные съемки целесообразно разделить на 2 группы: проведенные в дни с повышением температуры воды и в дни с понижением температуры воды. Рассмотрение результатов съемок начнем с первой группы.

В ранневесеннюю часть весеннего сезона, когда центральная часть водохранилища покрыта льдом, синхронная съемка не проводилась. Результаты рейсовых наблюдений этого периода рассматриваются в разделе «Распределение температуры по акватории водохранилища».

В начале поздневесенней части весеннего сезона проведена IV синхронная съемка при повышении среднесуточной температуры воздуха на 1.6 (Моложская губа)— 3.3° (Сбросной плёс), при среднесуточных температурах воздуха в разных частях водохранилища 8.8 — 15.1° и среднесуточных температурах поверхности воды 3.2 — 11.9° (табл. 4).

Ход температуры воздуха в разных частях водохранилища за период наблюдений существенно различался (рис. 4, б). Наибольшая суточная температура наблюдалась в узких плёсах (Волжском и Сбросном), что характерно для них и было отмечено при съемках, проведенных в предшествующие годы.

Максимальная температура воздуха на всех катерах 13 мая замерена в один и тот же срок — 16 час., а минимум в Главном плёсе наступил позже по сравнению с Волжским и Сбросным, что указывает на более медленное охлаждение воздуха над Главным плёсом по сравнению с узкими плёсами.

Во время проведения съемки произошли большие изменения облачности.

В начале съемки в 16 час. 12 мая 1959 г. облачность была сплошной над Сбросным плёсом, облачность в 8 баллов над Волжским плёсом и над Моложской губой. В центральной части и в Шекснинской губе была ясная погода (облачность до 3 баллов). В течение первых суток в Сбросном плёсе существенных изменений погоды не произошло. Ночью с 12-го на 13-е и днем 13 мая над всей акваторией водохранилища облачность была около 10 баллов. С 4 час. 14 мая в центральной части облачность постепенно уменьшалась до 1 балла к концу наблюдений, а в Сбросном и Волжских плёсах в это время облачность составляла 7—9 баллов.

Не менее значительно различались направления и скорости ветра (рис. 4, а). Ветер в начале наблюдений был слабым только в Волжском плёсе и Моложской губе. На остальных точках он был около 4—6 м/сек. 13 и 14 мая скорость ветра 4—6 м/сек. наблюдалась только в Сбросном и Волжском плёсах. В остальных районах водохранилища ветер был слабым.

Как видно из этих данных, в одно и то же время в разных частях водохранилища приходо-расходные элементы теплового режима и интенсивность ветрового перемешивания могут существенно различаться.

Температура поверхности и всей толщи воды в первые сутки наблюдений на станциях изменялась всего в пределах $0.3\text{--}0.6^\circ$ (табл. 4). Исключение составляла только амплитуда средней температуры на вертикали в Моложской губе — 0.9° и поверхностной воды в Сбросном плёсе — 1.0° . Незначительное повышение температуры воды при малых ее значениях ($3\text{--}4^\circ$) в центральной части и Шекснинской губе при сравнительно высокой максимальной температуре воздуха ($9\text{--}11^\circ$) объясняется пасмурной погодой днем 13 мая. За вторые сутки наблюдений от 16 час. 13 мая до 16 час. 14 мая под влиянием уменьшения облачности произошло более интенсивное нагревание водоема и особенно его поверхности в центральной части и в Шекснинской губе, благодаря чему значительно увеличились амплитуды температур: для поверхности — до $0.8\text{--}1.6^\circ$ и для вертикали — до $0.6\text{--}0.9^\circ$.

Только в Волжском плёсе амплитуда поверхностного слоя и за вторые сутки оказалась меньше, чем для всей вертикали (0.8 и 0.9°). Малое различие между максимальной температурой поверхностного слоя и всей водной толщи говорит о хорошем перемешивании, обусловленном в данном случае циркуляционными течениями, вызванными сильным восточным ветром. Здесь от поверхности до 10 м глубины (рис. 5, а) во все сроки температура воды изменялась очень мало, и только от 12 до 16 час. 14 мая произошло повышение температуры по всей вертикали, за исключением придонного слоя (рис. 5, а) и на всех последующих, характеризующих динамику температуры воды по глубине за сутки, для наглядности нанесены кривые только за те сроки, в которые наблюдались существенные изменения температуры. Кривые позволяют судить о глубине вертикалей и ее изменении во время производства наблюдений (вследствие дрейфа судна). За двое суток температура воды в среднем на вертикали поднялась на 1.3° .

В центральной части Главного плёса (рис. 5, б) температура воды 12–13 мая была низкой — всего 3.7° . В первые сутки при ветре 3–4 м/сек. происходило равномерное прогревание всей толщи воды в дневные часы

Температура воды и воздуха (°C) по данным IV синхронной съемки 12—14 мая 1959 г. (по наблюдениям 6 раз в сутки)

	Поверхный пабе (12—14 м) *		Молодская губа (15 м)		Центральная часть (8 м)		Шеншинская губа (10 м)		Сброной пабе (21 м)	
	12—13 V	13—14 V	12—13 V	13—14 V	12—13 V	13—14 V	12—13 V	13—14 V	12—13 V	13—14 V
Температура воды по вертикали:										
среднесуточная	11.3	11.6	7.9	8.1	3.7	4.0	3.1	3.4	7.2	7.0
максимальная	14.6	12.3	8.3	8.6	3.9	4.5	3.6	3.9	7.3	7.4
минимальная	14.0	11.4	7.4	7.8	3.5	3.8	3.0	3.3	7.0	6.7
амплитуда	0.6	0.9	0.9	0.8	0.4	0.7	0.6	0.6	0.3	0.7
Температура поверхности воды:										
среднесуточная	11.4	11.9	10.9	11.1	3.8	4.2	3.2	3.6	8.0	7.7
максимальная	14.6	12.4	11.1	12.1	4.2	5.4	3.5	4.4	8.6	8.3
минимальная	11.3	11.6	10.8	10.6	3.6	3.8	2.9	3.3	7.6	7.4
амплитуда	0.3	0.8	0.3	1.5	0.6	1.6	0.6	1.1	1.0	0.9
Температура воздуха:										
среднесуточная	12.6	14.5	10.7	12.3	9.0	11.7	8.8	10.9	11.8	13.1
максимальная	16.4	18.6	12.9	16.5	13.2	13.2	11.8	14.0	15.8	21.0
минимальная	10.0	12.0	8.6	10.2	6.4	8.9	6.8	8.2	8.9	9.8
амплитуда	6.4	4.6	4.3	6.3	6.8	4.3	5.0	5.8	6.9	11.2

* В скобках указана глубина вертикалей.

и слабое ее охлаждение в ночные. В дневные часы вторых суток благодаря ослаблению ветра, уменьшению облачности и прекращению конвективного перемешивания, так как температура всей толщи воды достигла 4° , произошло сильное повышение температуры поверхностного трехметрового слоя. Только за 4 часа, с 12 до 16 час., 14 мая температура этого слоя поднялась на 1° . Зато глубже 5 м температура воды в эти часы не изменялась. Эти наблюдения показали, что в Главном плёсе в безветренную погоду эпилимнион начинает формироваться сразу после перехода температуры воды через 4° , т. е. температуру максимальной плотности.

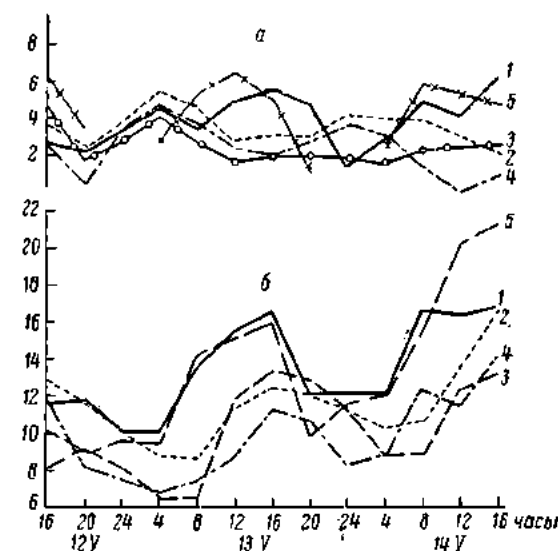


Рис. 4. Ход скорости ветра (а) и температура воздуха (б) на станциях IV синхронной съемки (12—14 мая 1959 г.).

1 — Волжский плёс; 2 — Моложская губа; 3 — центральная часть; 4 — Шекшинская губа; 5 — Сбросной плёс.

званной прогреванием поверхностных горизонтов солнечной радиацией.

В первый срок наблюдений — в 16 час. 12 мая — было следующее распределение температуры по вертикали: от поверхности до 3 м глубины температура понижалась на 0.3° и была около 11° . С 4 м до 8 м глубины наблюдалось уменьшение температуры до 6.3° . От 10 м до дна (15.7 м) температура падала всего на 0.1° (5.6 — 5.5°). К 24 час. эпилимнион достиг глубины 5 м, т. е. запас тепла в эпилимнионе за вечерние часы увеличился. Зато на глубине от 10 до 15.7 м происходило падение температуры воды и у дна разность с предшествующим сроком составила 1.2° . За ночь к 8 час. 13 мая при уменьшении температуры в эпилимнионе на 0.1 — 0.2° слой скачка располагался на глубине 8—9 м от поверхности и температура придонного слоя поднялась на 0.5° . В дневные часы 13 мая от 8 до 20 час. слой скачка поднялся с глубины 9 до 7.5 м, т. е. на 1.5 м. Одновременно с этим происходило, хотя и слабое, но все же повышение температуры воды в придонном слое. Последнее, по-видимому, происходило за счет общего потепления вод в водохранилище. С 20 час. 13 мая до 4 час. 14 мая опять ночью произошло погружение металимниона.

Описанные изменения в распределении температуры воды на станции 10, по-видимому, происходили под влиянием следующих причин. Наблюдения производились в бывшем русле Мологи или, возможно, в затопленном пойменном водоеме с глубинами около 16 м. Глубина большей

температуры воды через 4° , т. е. температуру максимальной плотности.

Совершенно иной характер носило распределение температуры по вертикали в Моложской губе (рис. 5, б), здесь разность между поверхностными и придонными (15 м) температурами достигала 8° . Слой температурного скачка располагался на глубине 6—10 м. Падение температуры на 1 м для всего слоя скачка, по средним суточным данным, составляло 1.2° , а в отдельные сроки 4 — 5° . Столь резко выраженное расслоение, наблюдавшееся всего один раз, объясняется поступлением в водохранилище прогретых вод притоков, в данном случае в основном моложских вод, в не имеет ничего общего по происхождению с температурной стратификацией, вызванной прогреванием поверхностных горизонтов солнечной радиацией.

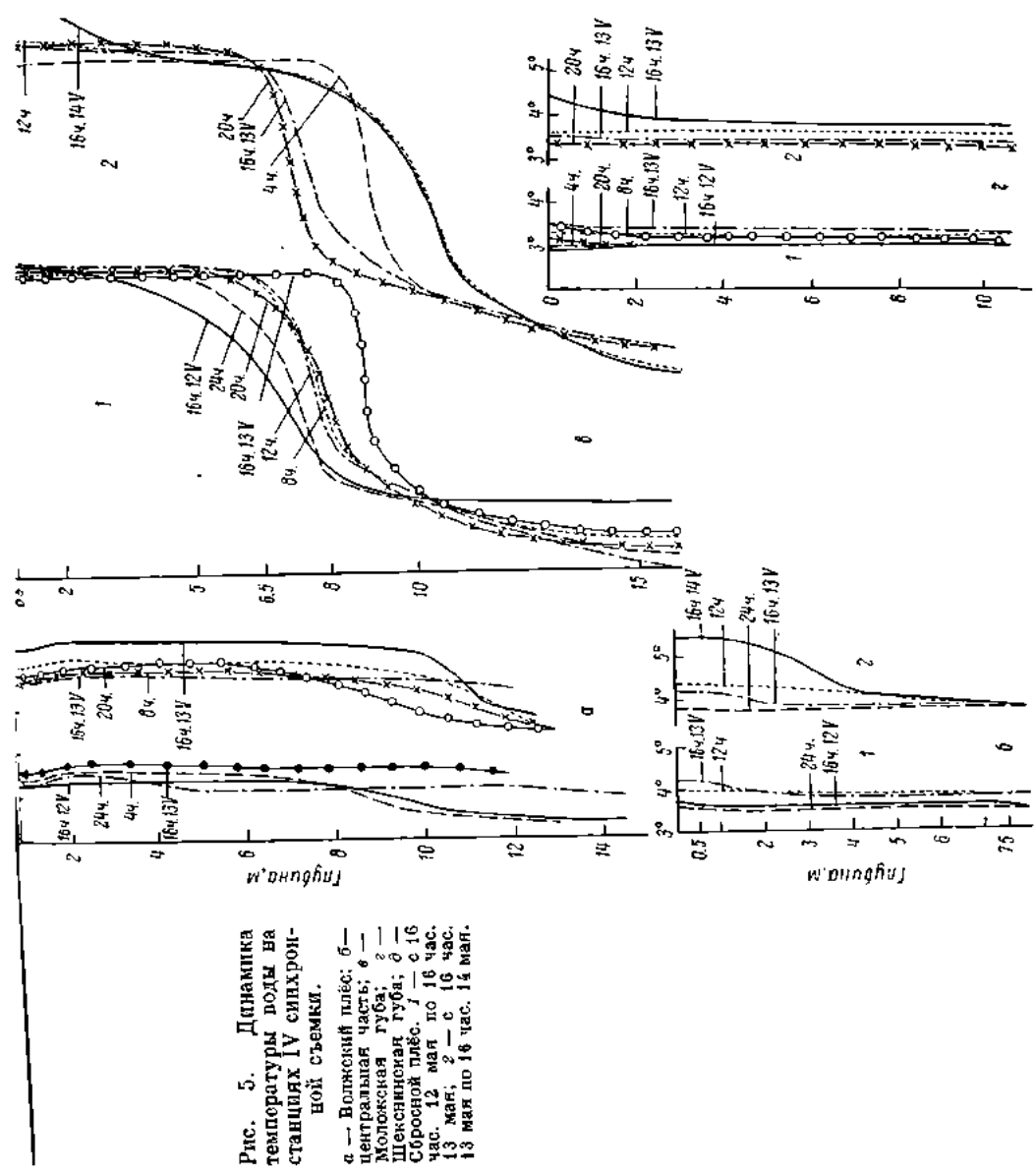


Рис. 5. Динамика температуры воды на станциях IV синхронной съемки.

части Моложской губы, наполненной в это время холодными водами, составляла 8—10 м, т. е. дно, подстилавшее эти воды, возвышалось над дном в районе станции 10 на 6—8 м, что и способствовало притоку к месту наблюдений холодных вод. На этот процесс накладывалось влияние теплых вод, поступающих из Мологи, и постепенное прогревание водохранилища. Наличие потоков холодных и теплых вод могли вызвать образование внутренних волн. Не исключена возможность изменения положения термоклина и под влиянием внутренних (температурных) сейш. Однако эти явления в Рыбинском водохранилище не изучены.

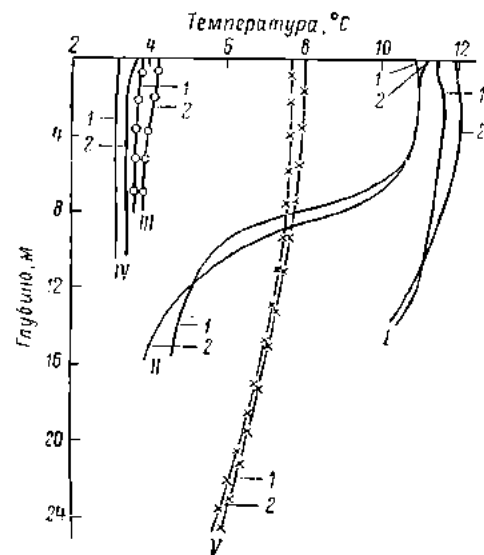


Рис. 6. Распределение среднесуточных температур воды на станциях IV синхронной съемки.

I — Волжский плёс; II — Моложская губа; III — центральная часть; IV — Шекснинская губа; V — Сбросной плёс. 1 — среднесуточная температура воды за 12—13 мая; 2 — то же за 13—14 мая.

нимо только притоком более теплых водных масс. Повышение температуры, равномерное по вертикали, наблюдалось до конца первых суток — 16 час. 13 мая. В последующие сутки к 20 час. температура воды упала на 0.1—0.2° от поверхности до дна, а затем до 12 час. 14 мая поднялась тоже по всей вертикали на 0.3°. Равномерное повышение и понижение температуры по всей толще воды указывает на хорошее перемешивание, которое происходило за счет стоковых и ветровых течений. От 12 до 16 час. продолжалось повышение температуры во всей толще воды. Уменьшение скорости ветра временами до штиля и уменьшение облачности обусловили большее прогревание поверхностного двухметрового слоя. Разность температуры на глубинах 0.1 и 2.0 м достигла 0.5°. Быстрому прогреванию поверхностного слоя в данном случае способствовало и уменьшение плотности воды в связи с переходом температуры через 4°, что стало затруднять перемешивание.

Сравнивая динамику температуры воды в центре Главного плёса с динамикой ее на станции 5 (Шекснинская губа) (рис. 5, б и г), можно сделать вывод о влиянии стоковых течений в Шекснинской губе, так как здесь образование эпилимниона протекало слабее, а повышение температуры в глубинных горизонтах интенсивнее, чем в Главном плёсе.

Диапазон температуры на вертикали станции 10 во время IV синхронной съемки был примерно таким, как и на всей акватории водохранилища (рис. 6). В поверхностном горизонте температура в Моложской губе была близка к температуре самого теплого Волжского плёса, а в придонных горизонтах — к температуре самых холодных частей водохранилища — центральной части Главного плёса и Шекснинской губе.

В Шекснинской губе (рис. 5, г) первые сутки температура воды изменялась одновременно во всей толще с несколько большей амплитудой колебания в верхнем слое, чем в нижележащих. Но и здесь она составляла только 0.6°. С 16 час. 12 мая до 4 час. 13 мая температура по вертикали почти не изменилась. Первое повышение температуры на 0.1—0.5° по всей вертикали произошло утром от 4 до 8 час., когда приход в воду солнечной радиации ничтожно мал, и поэтому может быть объяс-

В Сбросном плёсе у Волкова (рис. 5, б) падение температуры 12—14 мая по всей вертикали составляло 1.5° . Суточного хода температуры на какой-либо глубине выявить не удалось. Если с утра до 16 час. 14 мая температура верхнего десятиметрового слоя повышалась, то в те же часы 13 мая в том же горизонте в основном происходило понижение ее. На глубине 15 м за первые сутки температура поднялась на 1.2° , а за вторые она понизилась на 0.3° ; на глубине 20 м понижение температуры составило 1° .

Сложный температурный режим Сбросного плёса в данном случае, вероятнее всего, объясняется сложными циркуляционными течениями вызванными сильным ветром (около 6 м/сек.) в начале запад-северо-западного, 13 мая — восточного и 14 мая — южного направлений. В этом плёсе, по наблюдениям 12—14 мая 1959 г., можно выделить два горизонта воды: от поверхности до 9 м со среднесуточными температурами от 8.0 до 7.6° с падением на 1 м 0.04° и от 9 м до дна с температурой от 7.6 до 5.9° с падением на 1 м 0.1° . Амплитуда средних температур на вертикали составила в первые сутки всего 0.3° , а во вторые — 0.7° . Амплитуда поверхностной температуры достигала 1.0° . Большая амплитуда температуры воды на всей вертикали (рис. 5, б) указывает, что забор воды ГЭС оказывает влияние на всю толщу воды.

Заключив рассуждения изменения температуры воды по вертикали в весенний период по наблюдениям 12—14 мая 1959 г., вернемся к графику среднесуточных температур воды (рис. 6), который позволяет отметить еще одну интересную особенность температурного режима водохранилища в этот период.

В обширном районе Главного плёса с глубинами до 9 м, заполненном водой с низкой температурой, в период наблюдений произошло повышение температуры во всей толще воды. На станциях в затопленных руслах Мологи и Волги повышение температуры наблюдалось только до глубины 10 м. Нигде в обоих случаях произошло понижение температуры явно за счет притока холодных вод из центральных частей водохранилища. В Сбросном плёсе, несмотря на благоприятные условия погоды, по всей вертикали температура понизилась. Вероятно, под влиянием засоса воды ГЭС и сгонно-нагонных явлений усилился приток холодных вод из центра водохранилища.

Наблюдения при синхронной съемке в конце позднелетней части летнего сезона начались с 24 час. 8 июня и закончились в 24 часа 9 июня 1957 г. (табл. 5).

По данным гидрометеостанции Мыс Рояковский, с 5 по 7 июня включительно при среднесуточной температуре воздуха 14.5 — 15.5° и преимущественно сплошной облачности ветер южных румбов достигал 8 м/сек., составляя в среднем за сутки: 5 июня — 3.5, 6 июня — 5.5 и 7 июня — 3.0 м/сек. 8 июня до 13 час. при ясном небе температура воздуха в течение всего срока наблюдений была около 13° . К 13 час. она поднялась до 17.7° . В первую четверть суток скорость южного ветра составляла 3.2 м/сек. К началу синхронных наблюдений скорость ветра упала до 1.2 м/сек. 9 июня среднесуточная скорость ветра составляла всего 0.75 м/сек. В послеполуденные часы было безоблачным, а средняя температура воздуха достигла 16.2° .

Как видно из описания погоды, в предшествующие синхронной съемке 3 суток в водохранилище происходило усиленное перемешивание при низкой для данного периода температуре воздуха. С начала температурных наблюдений установилась почти безветренная теплая погода при безоблачном небе, что способствовало образованию и развитию стратификации в период съемки. Съемка произведена в дни с повышением

Таблица 5

Температура воды и воздуха (°C) по данным I синхронной съемки за период с 24 час. 8 июня по 24 часа 9 июня 1957 г. (по наблюдениям 6 раз в сутки)

	Шекснин- ский плёс (10—14 м) *	Моложский плёс (8 м)	Цен- тральный часть (8—10 м)	Возле- ский плёс (12 м)	Сбросной плёс (22 м)
Температура воды по верти- кали:					
среднесуточная	14.0	14.7	13.2	15.7	12.6
максимальная	14.5	14.8	14.0	16.3	13.9
минимальная	13.8	14.5	12.8	15.2	13.0
амплитуда	0.7	0.3	1.2	1.1	0.9
Температура поверхности воды:					
среднесуточная	15.5	15.1	14.8	16.4	14.7
максимальная	19.5 **	16.2 ***	17.4	17.3	16.8
минимальная	13.8	14.7	12.8	15.2	13.5
амплитуда	5.7	1.5	4.6	2.1	3.3
Температура воздуха:					
среднесуточная	—	16.0	15.7	17.9	16.8
максимальная	—	19.2	19.2	22.0	22.0
минимальная	—	13.2	13.4	15.0	13.6
амплитуда	—	6.0	5.8	7.0	8.4

* В скобках указана глубина вертикалей.

** На глубине 0.1 м максимальная температура 19.8°.

*** На глубине 0.1 м максимальная температура 17.1°.

температуры воздуха, наступившие после температурной депрессии, наблюдавшейся в конце мая (рис. 14, з).

В отличие от уже описанной IV синхронной съемки при первой съемке станции были расположены значительно выше по бывшим руслам Волги, Мологи и Шексны: у Мышкина, и на границе Моложского и Шекснинского плёсов с Главным плёсом. В Центральной части и в Сбросном плёсе при обеих съемках станции находились в одних и тех же точках.

Распределение температуры воды по вертикали в центре Главного плёса (станция 7) резко изменилось за время наблюдений (рис. 7, а). В первые сроки температура от поверхности до 2 м была почти одинаковой — 13°. Ниже до дна (глубина около 9 м) уменьшалась примерно на 1°. К 16 час. 9 июня температура воды на глубине 0.5 поднялась на 4.4°, а на 2 м всего на 0.2°. Следовательно, за эти часы прогрелся только слой в 1—1.5 м. К 24 час. 9 июня температура на глубине 2 м достигла 16.1°, что говорит об опускании слоя температурного скачка глубже 2 м. Температура придонного слоя за 32 часа поднялась на 1°. В результате нагревания поверхности только в течение 9 июня среднесуточная температура поверхностного слоя воды оказалась выше средней для вертикали на 1.6°, а максимальная температура поверхности — на 4.2°. Амплитуда температуры поверхности за сутки составляла 4.6°, а для вертикали — 1.2°.

Приведенные данные позволяют сделать вывод, что в конце осеннего сезона в центре водохранилища на протяжении одного дня при малой облачности и слабом ветре может сформироваться эпилимнион мощностью более 2 м с температурой, резко отличающейся от средней температуры вертикали.

По данным станции, в Шекснинском плёсе (рис. 7, б) образование и развитие эпилимниона было выражено еще резче, чем в Главном плёсе. Уже к 16 час. 9 июня на глубине 0.5 м температура воды повысилась

с 13.8 до 19.5° , т. е. на 5.7° , а на глубине 2 м с 16 до 20 час. на 2° . Но зато на этой станции, начиная с глубины 5 м и до дна, в течение проводившихся наблюдений температура воды не повышалась, как это имело место в Главном плёсе, а постепенно падала. В результате средняя тем-

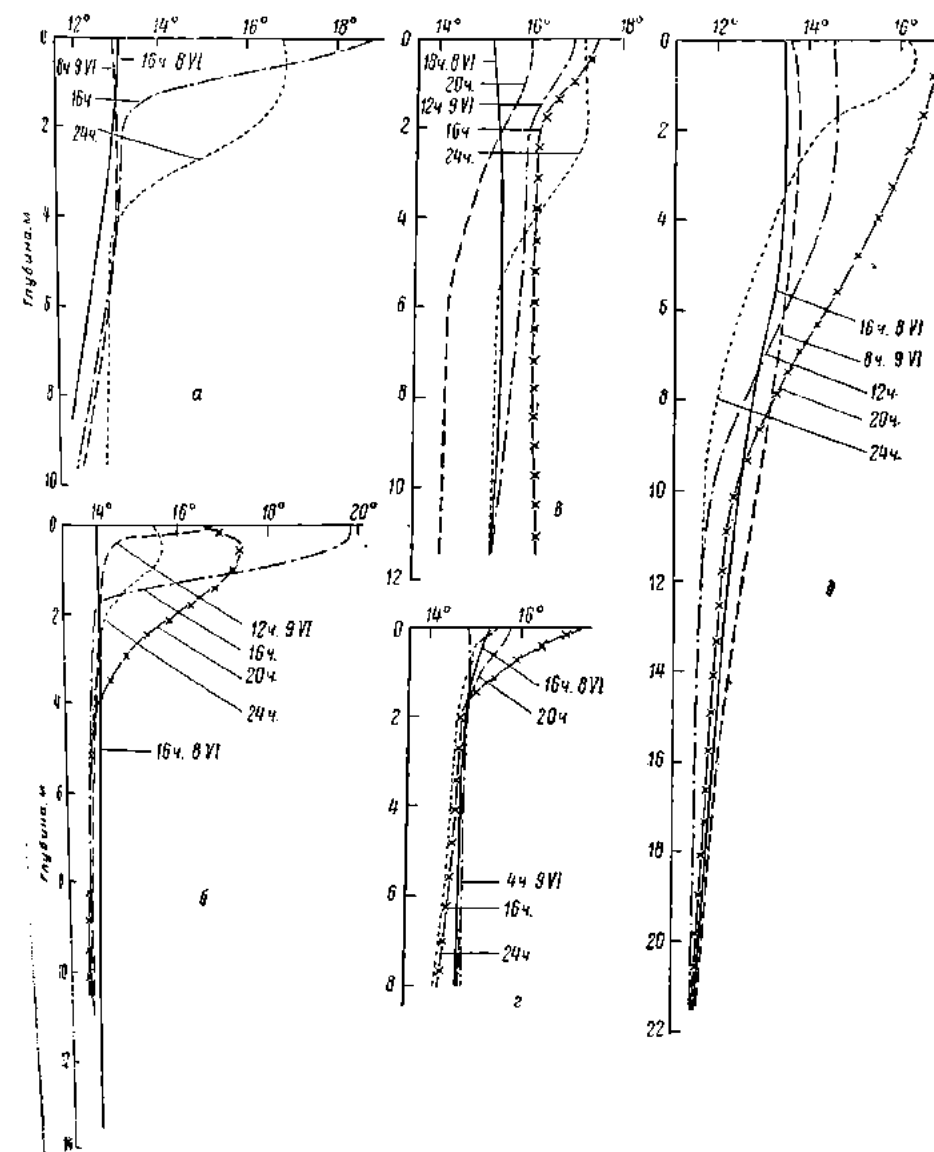


Рис. 7. Динамика температуры воды на станциях I синхронной съемки.

а — центральная часть; б — Шекснинский плёс; в — нижний бьеф Угличской ГЭС; г — Моложский плёс; д — Сбросной плёс.

пература на вертикали днем 9 июня поднялась только на 0.5° (за счет нагревания поверхностного слоя), а к концу наблюдений сравнялась с первоначальной величиной. Это явление можно объяснить только приливом в район расположения станции холодных масс воды. Вероятность этого предположения подкрепляется колебаниями цветности воды в пределах $63-117^{\circ}$ по платиново-кобальтовой шкале.

Иной температурный режим наблюдался в нижнем бьефе Угличской ГЭС у Мышкина (рис. 7, в). Прогревание поверхностного горизонта 9 июня составило всего 2.1° . Такая же амплитуда температуры была и у дна на глубине 12 м. Эпилимнион на этой станции тоже образовался, но был он выражен значительно слабее, чем в центре Главного плёса и у Мяксы в Шекснинском плёсе. Неясна причина наиболее резко выраженного расслоения в ночное время (повышение температуры в верхней половине водной толщи и понижение в нижней — 20 час. 8 июля и 24 часа 9 июня). Большая амплитуда во всей толщине воды при полном отсутствии ветра указывает на наличие стоковых течений, способствующих смене водных масс.

В Моложском плёсе на траверзе устья Ламы, несмотря на почти полный штиль и малую облачность, днем 9 июня температура воды отличалась от других станций исключительным постоянством: амплитуда средней температуры по вертикали составляла всего 0.3° , а поверхности воды только 1.5° (рис. 7, г, табл. 5). Зато амплитуда температуры воздуха была наибольшей по сравнению с другими станциями. Слабое повышение температуры поверхностного слоя воды при ясной и теплой погоде и слабом ветре и постепенное понижение ее в толще воды от 2 м до дна возможно только при поступлении более холодных водных масс, вероятно, из Главного плёса благодаря течениям, вызванным прекращением сильных ветров.

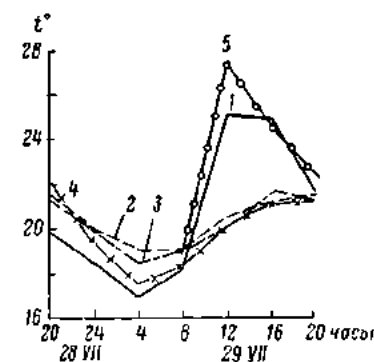


Рис. 8. Ход температуры воздуха на станциях III синхронной съемки.

1 — Волжский плёс; 2 — Моложский плёс; 3 — Шекснинская губа; 4 — центральная часть; 5 — Сбросной плёс.

Своеобразный тип температурного режима 9 июня отмечен в Сбросном плёсе у Волкова (рис. 7, д). Здесь наибольшая амплитуда температуры наблюдалась на глубине 2 м — 2.5° , причем за 4 часа, от 20 до 24 час., произошло падение температуры на 2.0° . В часы наиболее высокой температуры на поверхности в основной массе воды температура была наименьшей. У дна на глубине 19.5 м амплитуда температуры составила всего 0.1° . Максимальная температура на поверхности была выше максимальной средней по вертикали на 2.9° . Среднесуточные температуры поверхности и вертикали отличались на 2.1° .

Температура воздуха была выше температуры поверхностного слоя во все сроки на $1-2^{\circ}$.

III синхронная съемка, проведенная 28—29 июля 1958 г. (табл. 6), характеризует температурный режим водохранилища в период его максимального прогрева — середина летнего сезона (рис. 14, в). При сопоставлении результатов III съемки с результатами I можно иметь в виду, что при III съемке три катера были установлены в пределах Главного плёса: в центре, в Шекснинской и Моложской губах. Поскольку станции 6, 7 и 10 расположены в пределах Главного плёса, то вполне естественно и большое сходство на них в суточном ходе температуры воздуха (рис. 8), а также естественное существенное различие в ходе температуры воздуха над Главным и узкими плёсами (Волжский, Сбросной), полностью подтвердившее результаты, полученные при I синхронной съемке.

В начале III съемки был сильный ветер, который к утру 29 июля достиг 8—9 м/сек., а днем постепенно уменьшался до 2—4 м/сек. Температура воздуха понизилась в ночь с 28-го на 29-е на $2-4^{\circ}$, а к концу наблюдений на столько же поднялась. Только в нижнем бьефе Углич-

ской ГЭС у Мышкина (рис. 7, в) и в Сбросном плёсе у Волкова (рис. 7, д) температура воздуха была выше температуры поверхностного слоя во все сроки на $1-2^{\circ}$.

В начале III съемки был сильный ветер, который к утру 29 июля достиг 8—9 м/сек., а днем постепенно уменьшался до 2—4 м/сек. Температура воздуха понизилась в ночь с 28-го на 29-е на $2-4^{\circ}$, а к концу наблюдений на столько же поднялась. Только в нижнем бьефе Углич-

Т а б л и ц а 6

Температура воды и воздуха (°C) по данным III синхронной съемки 28—29 июля 1958 г.
(по наблюдениям 6 раз в сутки)

	Шекснин- ская губа (11 м) *	Молож- ская губа (14 м)	Цен- тральная часть (8 м)	Волж- ский плёс (14 м)	Сбросной плёс (20 м)
Температура воды по вертикали:					
среднесуточная	19.0	19.5	19.0	20.8	19.1
максимальная	19.6	19.9	19.4	21.2	19.8
минимальная	18.6	19.1	18.8	20.4	18.6
амплитуда	1.0	0.8	0.6	0.8	1.2
Температура поверхности воды:					
среднесуточная	19.7	19.6	19.4	21.4	19.3
максимальная	22.0	20.2	20.6	22.0	20.2
минимальная	18.8	19.2	18.6	21.0	19.0
амплитуда	3.2	1.0	2.0	1.0	1.2
Температура воздуха:					
среднесуточная	20.2	20.4	20.0	20.7	—
максимальная	21.5	21.5	22.0	25.1	27.4
минимальная	18.5	19.1	17.5	17.0	—
амплитуда	3.0	2.4	4.5	8.1	—

* В скобках указана глубина вертикалей.

ской ГЭС и в Сбросном плёсе Рыбинской ГЭС дневной максимум был выше ночного минимума на 8—9°. Следовательно, на большей части акватории водохранилища при этой съемке условия для развития эпилимниона были благоприятными, и, действительно, при малой амплитуде температуры поверхности воды (1.0—3.2°) средняя температура по вертикалям поднялась на 0.6—1.2° (табл. 6), т. е. примерно на такую же величину, как и при I съемке, проведенной в июне, когда приток солнечной энергии в поверхностные слои водохранилища максимален, а потери тепла на ночное излучение минимальны в связи с наиболее высоким стоянием солнца, длинным днем и короткой ночью. Заслуживает внимания то, что, несмотря на высокую температуру воды, с прекращением ветра и короткий промежуток времени в центре водохранилища и в Шекснинской губе начал развиваться эпилимнион, что не наблюдалось в других районах.

В центральной части Главного плёса в начале наблюдений слой температурного скачка (1° на 1—1.5 м) располагался на глубине 4—5.5 м (рис. 9, а). К утру 29 июля температура по вертикали выравнилась и под влиянием ветра и ночного выхолаживания создавалась обратная стратификация. К 16 час. 29 июля поверхностный слой мощностью около 1.5 м имел температуру примерно на 1.5° выше, чем нижележащие слои. Средняя температура вертикали с 8 час. до 16 час. 29 июля поднялась на 0.6°.

Через сутки с 20 час. 30 июля в этой же точке была проведена повторно еще одна суточная станция. Суточный ход температуры воды на разных глубинах по двум суточным станциям представлен на рис. 9, б, в.

В центре водохранилища среднесуточная температура воздуха с 4 по 16 час. 30 июля (20.3°) оказалась выше, чем во время первой суточной станции — 28—29 июля (20.0°), что позволяет говорить о более благоприятных условиях прогрева воды во время второй станции по сравнению с первой, и, действительно, температура воды на всех горизонтах к 16 час. 30 июля оказалась выше, чем была в 20 час. 29 июля, и в течение

ние суток продолжала возрастать. В среднем по вертикали во время второй станции температура воды поднялась на 0.9° в основном за счет прогрева верхней половины толщи воды. Значит и в конце июля разви-

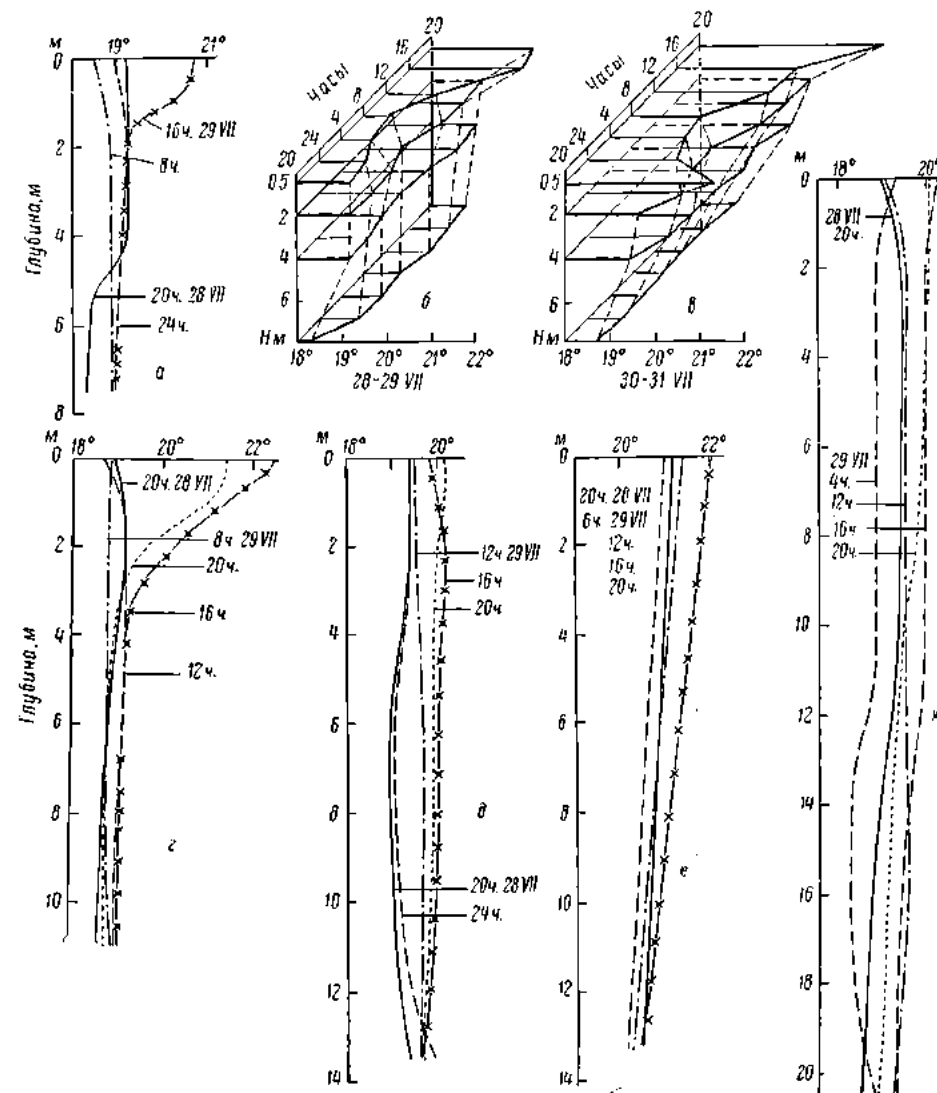


Рис. 9. Динамика температуры воды на станциях III синхронной съемки. а — центральная часть; г — Шекшинская губа; д — Молоканская губа; е — Волынская губа; ж — Сбросная падь; суточный ход температуры на разных глубинах на суточных станциях в центре водохранилища за 28—29 июля (б) и 30—31 июля (в).

тие эпилимниона при благоприятных условиях может протекать интенсивно.

В Шекшинской губе вечером 28 июля (рис. 9, г) температура по вертикали колебалась в пределах 0.8° с хорошо выраженной мезотермией на глубине 2 м от поверхности. К утру 29 июля температура несколько выравнялась, причем образовалась слабо выраженная обратная стратификация. К вечеру 29 июля был уже хорошо выраженный эпилимнион мощностью около 2 м с температурой на 3° выше, чем в гипolimнионе.

В Моложской губе (рис. 9, *д*) в первые сроки на глубине между 2—14 м наблюдалась дихотермия, которая к концу дня 29 июня заменилась слабо выраженной прямой стратификацией. Эпилимнион на этой станции не образовался. Сравнивая распределение температуры в Моложской и Шекснинской губах в вечерние часы 28 июля можно допустить наличие в первой из них холодного течения в нижней половине разреза и теплого течения в верхнем четырехметровом слое во второй.

В нижнем бьефе Угличской ГЭС у Мышкина температура измерялась только у поверхности и у дна (рис. 9, *е*). В начале наблюдений, в 20 час. 28 июля, при средней температуре по вертикали 20.6° в поверхностном слое вода была теплее, чем в придонном на 0.7° , к 8 час. 29 июля средняя температура упала на 0.2° с сохранением прямой стратификации. К 16 час. в поверхностном слое температура поднялась на 1° , а в придонном на 0.3° при подъеме средней температуры вертикали до 21.2° . Таким образом, в этом плесе был хорошо выражен суточный ход температуры.

В Сбросном плесе (рис. 9, *ж*) минимум средней по вертикали температуры наблюдался в 4 часа — 18.6° и максимум в 16 час. 29 июля — 19.8° . За 12 час. средняя температура поднялась на 1.2° . Разность в температуре поверхностного и придонного слоев, за исключением двух случаев, при которых она равнялась 1.3° , не превышала 1° . Примерно одинаковая амплитуда температуры на всех глубинах, включая придонный слой, указывает, что вся водная масса плеса перемешивается до дна. В пределах верхних 10.5 м (0.5 Н) температура почти не различалась, меняясь одновременно во всей этой толще от 18.8 до 20° . В нижней половине вертикали температура падала на 0.5 — 0.7° . Несмотря на слабый ветер и в Сбросном плесе эпилимнион не образовывался.

Данные III синхронной съемки подтвердили основные выводы, сделанные по материалам I съемки: летом при теплой погоде средняя температура по вертикали в течение суток изменяется в пределах 1° , реже 1.5° ; температура поверхностного двухметрового слоя на протяжении суток в летний период изменяется в широких пределах часто на 3° и более, причем резкая пульсация температуры поверхностного слоя характерна для частей водохранилища со слабо выраженными стоковыми течениями.

Перейдем к материалам, характеризующим выхолаживание водохранилища.

Во время двухсуточных станций с 16 час. 26 мая по 16 час. 28 мая 1959 г. V синхронной съемки стояла пасмурная погода, временами шел моросящий дождь при сильном ветре и волнении и низкой температуре воздуха. Во вторые сутки по сравнению с первыми ветер и волнение усилились, а температура воздуха упала (табл. 7).

За период наблюдений наибольшая температура воздуха была в узких плесах (станции Волково и Коприно) и наиболее низкой в Шекснинской губе, причем на всех станциях температура воздуха постепенно падала. Скорость ветра за тот же период возросла с 5 до 7—8 м/сек., а волнение за первые сутки составляло 2 балла, а за вторые — 4—5 баллов. Под влиянием сильного волнения на трех станциях из четырех наблюдалась полная гомотермия — по среднесуточным температурам разность на вертикалях не превышала 0.1° . Только в Шекснинской губе температура поверхностного слоя была выше придонного в первые сутки на 0.9° , а во вторые — на 0.5° (табл. 8).

Несмотря на существенное понижение температуры воздуха, большую скорость ветра и малый приток солнечной радиации, средняя температура воды на вертикали снизилась только в Воляжском плесе, где она была ниже температуры воздуха на 5° . По-видимому, это явление можно

Таблица 7

Температура воздуха, скорость ветра и волнение во время V синхронной съемки
(по наблюдениям 6 раз в сутки: с 16 час. по 16 час.)

	Станции										
	7	1	Вол- ково	6	7	1	Вол- ково	6	7	1	Вол- ково
	температура воздуха, °C				скорость ветра, м/сек.				волнение, баллы		
26/27 мая	8.4	8.9	8.7	7.7	5	5	5.5	5	2	2.5	1
27/28 мая	6.1	6.4	6.3	5.9	7	7	7	8	4	5	4

Таблица 8

Температура воды (°C) на вертикалях в первые (I) и вторые (II) сутки с 16 час.
26 мая по 16 час. 28 мая (по наблюдениям 6 раз в сутки)

Глубина, м	Станции							
	7 (10 м) *		1 (13 м)		Волково (21 м)		6 (17 м)	
	I	II	I	II	I	II	I	II
0.1	8.1	8.1	11.6	11.4	—	—	—	—
0.5	8.1	8.1	11.6	11.4	8.7	8.7	7.6	7.6
2.5	8.1	8.1	11.6	11.4	—	—	7.5	7.6
5.0	8.0	8.1	11.6	11.5	—	—	7.3	7.5
10.0	—	—	11.5	11.4	—	—	7.3	7.5
15.0	—	—	—	—	—	—	7.2	7.4
Дно	8.0	8.0	11.5	11.4	8.7	8.6	6.7	7.1
Средняя	8.0	8.1	11.6	11.4	8.7	8.7	7.3	7.5

* В скобках указана глубина вертикалей.

объяснить отсутствием испарения воды и ничтожно малым излучением.

Об интенсивности выхолаживания воды при похолодании в период наибольшего прогрева воды можно составить представление по материалам VII синхронной съемки, проведенной 21—23 июля 1959 г. Суточные станции были проведены с 0 час. 22 июля по 24 часа 23 июля.

Метеорологические условия и волнение в центральной части водохранилища охарактеризованы в табл. 9.

Таблица 9

Метеорологические условия и волнение в центральной части водохранилища в июле 1959 г. (по наблюдениям 6 раз в сутки)
(VII синхронная съемка)

Дата	Температура воздуха, °C	Скорость ветра, м/сек.	Волне- ние, баллы	Облачность, баллы	
				нижняя	верхняя
22 VII	21.5	2.2	Рябь	—	1—8
23 VII	18.5	5.1	4	2—10	4—10

Вторые сутки отличались от первых большей облачностью, увеличением скорости ветра с уменьшением температуры воздуха.

В результате изменения погоды в центре водохранилища (станция 7) при глубине 10 м произошли следующие изменения температуры. Среднесуточная температура на вертикали за вторые сутки упала по сравнению с соответствующей температурой за первые сутки на 0.2° , а с 20 час. 22 июля по 24 часа 23 июля с 20.3 до 19.5° — на 0.8° . Охлаждение водной массы проходило за счет поверхностных горизонтов. Температура придонного слоя поднялась, следовательно, одновременно с охлаждением водной массы произошло и выравнивание температуры по вертикали (табл. 10).

Благодаря охлаждению и перемешиванию температуры поверхностного слоя с 20 час. 22 июля до 24 час. 23 июля упала на 0.8° и стала ниже температуры глубинных горизонтов, а температура придонного слоя поднялась на 0.6° .

Из этих данных следует, что в условиях Рыбинского водохранилища падения температуры воздуха на 3° , усиления ветра до 6 м/сек. при

обилии усиленного притока солнечного тепла оказалось достаточным, чтобы при глубине 10 м в течение одних суток произошло уменьшение средней температуры воды на вертикали более чем на 0.5° и перемешивание всей водной массы до дна.

При глубине 18 м в аналогичных условиях погоды на станции 6, расположенной в Шекснинской губе, произошло понижение температуры воды в верхних 5 м (табл. 11).

Под влиянием ветра за 36 час. в верхнем десятиметровом горизонте произошло выравнивание температуры. На глубине 15—18 м температура не изменилась.

На других станциях были получены такие же результаты.

В начале осеннего сезона, когда разность между температурой воды и воздуха превышает 5° при характерных для этой части года ветрах 3—7 м/сек. и при значительной или сплошной облачности, происходит равномерное и интенсивное выхолаживание всей массы воды водохранилища даже при глубине 20 м (табл. 12). В этих условиях наблюдалась потеря при разности температуры между поверхностью и дном 0.1 — 0.2° и только в одном случае 0.5° и равномерное выхолаживание. Среднее понижение температуры воды за 2 суток составило в Волжском плесе 1.6° .

Т а б л и ц а 10

Распределение температуры воды ($^\circ\text{C}$) по вертикали на станции 7
22 и 23 июля 1959 г.
(по наблюдениям 6 раз в сутки)

Глубина, м	Среднесуточные температуры		20 час. 22 VII	24 часа 23 VII
	22 VII	23 VII		
0.5	20.6	19.9	21.4	19.6
2.0	20.7	20.1	21.4	19.8
5.0	20.1	20.1	20.1	19.9
10.0 (дно)	19.2	19.3	19.2	19.8

Т а б л и ц а 11

Распределение температуры воды ($^\circ\text{C}$) по вертикали станции 6

Т а б л и ц а 12

Распределение температуры воды по вертикалям, среднесуточные температуры воздуха, скорости ветра и волнение по данным VII синхронной съемки (28—30 августа 1959 г.)

Глубина, м	Возвратный плёс (13,5 м) *			Сбросной плёс (20 м)			Шекунинский плёс (15 м)			Центр Главного плёса (10 м)	
	20 час. 28 VIII		20 час. 29 VIII	1 час. 29 VIII	24 час. 29 VIII	24 час. 30 VIII	1 час. 29 VIII		24 час. 30 VIII	9 час. 29 VIII	10 час. 30 VIII
0,5	17,8	16,9	16,3	17,0	16,2	15,4	16,2	16,3	15,6	16,5	15,4
2,0	17,8	16,9	16,3	17,0	16,2	15,4	16,3	15,7	15,0	16,4	15,4
5,0	17,8	16,8	16,1	16,9	16,2	15,4	16,3	15,8	15,1	16,3	15,3
10,0	17,7	16,8	16,1	16,8	16,2	15,4	16,4	15,7	15,0	—	—
15,0	—	—	—	16,8	16,2	15,4	—	—	—	—	—
Дно	17,7	16,7	15,8	16,7	16,0	15,3	16,3	15,7	15,0	16,3	15,3
Средняя	17,7	16,8	16,1	16,8	16,2	15,4	16,3	15,7	15,0	16,3	15,3

Температура воды, °С

Среднесуточные характеристики

Температура воздуха, °С . . .	11,0	11,0	9,9	10,9	11,1	11,3	—
Волнение, баллы	4	4	3	1	3	3	2
Ветер, м/сек.	6	5	—	—	7	6	7

в Сбросном — 1.4, в Шексинском — 1.3 и в центре Главного плёса за одни сутки — 1.0°.

Материалы II синхронной съемки, проведенной во время шторма в середине периода интенсивного осеннего охлаждения 17—20 сентября 1957 г. с суточными станциями с 12 час. 18 по 12 час. 19 сентября, рассмотрим более подробно.

К сожалению, условия погоды во время II синхронной съемки не позволили провести наблюдения во все сроки в Шексинском плёсе (катер был сорван с якоря ветром). Изучение режима Сбросного плёса проведено с помощью трех катеров с 20 час. 19 по 20 час. 20 сентября на следующих станциях: на траверзе Волкова, в 4 км ниже Волкова и в 2 км выше его.

По данным гидрометеостанции Мыс Рожновский, 15 и 16 сентября преобладали ветры юг-юго-западного направления со скоростью 7—8 м/сек. при температуре воздуха 12.4—12.6°. К вечеру 17 сентября стали преобладать ветры северо-восточного и восточного направления. Во время суточной станции преобладал юго-восточный ветер со скоростью в центре Главного плёса 10—12 м/сек. и в Моложском плёсе 7—11 м/сек.

Температура воздуха с 12 час. 18 сентября по 12 час. 19 сентября упала в Волжском плёсе на 1°, в Моложском на 2.8° и в Главном плёсе на 2.6° при суточной амплитуде соответственно в 10.6, 9.2, 6.4° (рис. 10). Следовательно, как летом, так и осенью соотношение суточных амплитуд температур воздуха в Главном и в речных плёсах примерно одинаково.

Среднесуточная температура воздуха в период II синхронной съемки на всех станциях была ниже температуры поверхностного слоя воды на 1.1—3.6° (табл. 13).

Сильный ветер и, по-видимому, малые разности температур между придонным слоем воды и дном обусловили почти полную гомотермию, так как различие в среднесуточных температурах на каждой в отдельности вертикали не превышало 0.1° в ту или иную сторону.

Т а б л и ц а 13

Температура воды и воздуха по данным II синхронной съемки 18—19 сентября 1957 г. (по наблюдениям 6 раз в сутки)

Характеристика температуры, °С	Молож- ский плёс (130 м) *	Главный плёс (9.8 м)	Волж- ский плёс (12 м)	Сбросной плёс (24.5 м)
Среднесуточная температура по вертикали . . .	14.0	15.2	16.4	14.6
Максимальная за сутки температура по верти- кали	14.6	15.5	16.8	14.8
Максимальная за сутки температура по верти- кали	13.6	15.0	16.0	14.4
Амплитуда	1.0	0.5	0.8	0.4
Среднесуточная температура поверхности воды . . .	14.1	15.2	16.4	14.6
Максимальная температура поверхности воды . . .	14.6	15.5	16.8	14.9
Минимальная температура поверхности воды . . .	13.8	15.0	15.8	14.5
Амплитуда	0.8	0.5	1.0	0.4
Среднесуточная температура воздуха	13.0	13.5	13.6	11.0
Максимальная температура воздуха	18.6	17.6	18.2	12.8
Минимальная температура воздуха	9.4	11.1	7.5	10.1
Амплитуда	9.2	6.5	10.7	2.7

* В скобках указана глубина вертикалей.

На всех станциях охлаждение воды в течение суток протекало равномерно. За сутки в среднем на вертикалях температура воды упала на Сбросном плёсе на 0.4° , в центре Главного плёса на 0.5° , в Волжском на -0.8° и больше всего в Моложском на -1° .

В последний месяц безледоставного периода (1—3 октября 1959 г.) проводилась VIII синхронная съёмка при следующих метеорологических условиях.

Температура воздуха, по наблюдениям на катерах, в разных частях водохранилища 1 октября упала с 6.5° (8 час.) до 5° (24 часа), составляя в среднем за сутки около 5.5° . 2 октября температура колебалась в пределах $2-3.5^{\circ}$, а в среднем была 3° . 3 октября до 12 час. температура изменялась только в пределах 1° и была в среднем 1.5° . За период наблюдений произошло постепенное падение температуры воздуха с 6.5 до 1° .

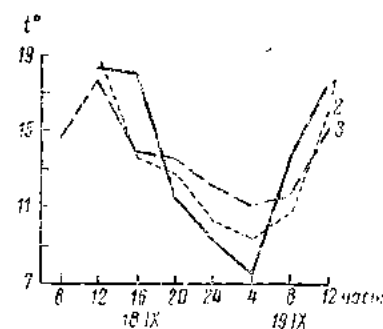


Рис. 10. Ход температуры воздуха. 1 — в Волжском, 2 — в Моложском, 3 — в Главном плёсе.

За исключением коротких промежутков времени, низкая облачность была сплошной. Ветер в основном менялся от северо-западного до северного. Скорость ветра была наибольшей в центральной части водохранилища, где в среднем за рейс составляла около 10 м/сек., а в отдельных случаях превышала 13 м/сек. В Волжском и Шекснинском плёсах скорость ветра в среднем была около 6 м/сек., в Моложском плёсе — 8 м/сек.

В центральной части волнение достигало 9 баллов и в среднем было около 5 баллов. В Волжском плёсе оно изменялось от ряби до 1 балла, в Моложском — 1—4 балла, в среднем 3 балла, в Шекснинском достигало 5 баллов, в среднем 3 балла.

Дождь отмечался на всех плёсах. За исключением Шекснинского плёса в других частях водохранилища несколько раз шел снег.

Вполне естественно, что при таких метеорологических условиях протекало интенсивное выхолаживание водохранилища. Повторные измерения на 29 станциях позволили выяснить, что в среднем в пересчете на 1 сутки температура воды упала в Главном плёсе на 9 станциях на $0.2-1.0^{\circ}$, в среднем на 0.4° ; в Волжском плёсе на 9 станциях — от 0.1 до 1.1° , в среднем на 0.6° , в Моложском плёсе — на 0.5 (от 0.4 до 1.0°). Следовательно, медленнее всего охлаждение протекало в центральной части Главного плёса.

На большей части вертикалей наблюдалась полная гомотермия. Реже отмечалось различие в температуре в размере 0.1° и еще реже 0.2° при прямой и обратной стратификациях.

В начале съемки температура по акватории водохранилища изменялась от 5.8 (Шекснинский плёс) до 9.3° у Золоторучья (пикетный бык Углинской ГЭС).

Суточный ход температуры воды в предзимний период изучен слабо. По наблюдениям в Волжском плёсе, у Глебова температура воды с 18 час. 18 ноября по 11 час. 19 ноября 1955 г. изменялась в пределах $1.05-1.90^{\circ}$ при полной гомотермии. С 11 час. 19 ноября температура падает чрезвычайно быстро.

Часы	11	12	13	14	15
Температура, $^{\circ}\text{C}$	1.6	1.5	0.4	0.09	0.09

Вероятно, в данном случае имеет место приток холодных вод, так как объяснить падение температуры на 1.5° за 4 часа при большой глубине Волжского плёса только выхолаживанием нельзя.

В Главном плёсе осенью при холодной безветренной погоде при температуре воды ниже 4° может происходить сильное выхолаживание поверхностных горизонтов. В этих редко наблюдаемых условиях поверхностная температура может существенно отличаться от средней по вертикали.

Наблюдения на суточных станциях в разные сезоны безледоставного периода показали, что благодаря высокой гидродинамичности Рыбинского водохранилища суточные колебания температуры независимо от глубины захватывают всю водную толщу.

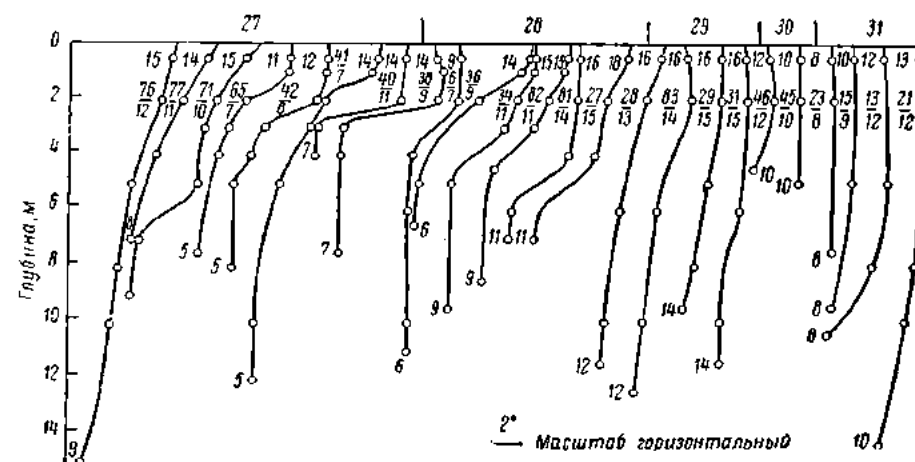


Рис. 11. Кривые распределения температур Рыбинского водохранилища 27—31 мая 1958 г.

Цифры над сплошной чертой — дна; под чертой — поверхностные температуры; над черточками — номера станций; над черточками — средние температуры для вертикали; и нижнего конца эхолота — температуры придонного слоя.

В дополнение к материалам, характеризующим образование и разрушение эпилимниона в весенний и летний сезоны, собранным при синхронных съемках, приведем данные рейсовой температурной съемки, выполненной с 27 мая по 5 июня 1958 г.

27 мая с 13 до 21 часа был сделан разрез по линии Борок — Центральный мыс. Ветер до 15 час. был юго-западный, а затем западный со скоростью в начале 2.5 м/сек., с 14 до 18 час. 4—5 м/сек. и позже 3—4 м/сек. Возникновение от слабой ряби в начале наблюдений до крупной ряби в 18 час. и просто ряби в последующие часы. Температура воздуха с 26° в 14 час. упала к вечеру до 18° .

У о. Шуморовского в Волжском плёсе (рис. 11, станция 76) из-за стоковых течений, вызываемых работой Угличской ГЭС, не было ясно выраженного эпилимниона. Температура уменьшалась с глубиной более или менее равномерно с 15.2° у поверхности до 9° у дна, со средним падением на 1 м 0.41° .

На следующей станции 77, проведенной вблизи затопленного г. Мологи, где возможно течение, хотя и более слабое, чем в Волжском плёсе, тоже отсутствовал четко выраженный эпилимнион, но падение температуры с 14.2° у поверхности до 8.2° у дна составляло в среднем уже 0.85° на 1 м.

На станции 71, расположенной вдали от русел больших рек, эпилимнион был выражен четко. До глубины 5 м температура падала с 15.2 до 10.8°, в среднем на 1 м около 0.9°, а далее располагался слой скачка от 5 до 7 м с падением температуры 2.2° на 1 м.

По мере приближения к Центральному мысу (станция 65), а затем обходя его с востока (станции 42 и 41), в связи с ослаблением ветра эпилимнион вырисовывался все более и более четко и на станции 40 при одинаковой температуре в верхнем двухметровом слое на глубине от 2 до 3 м температура падала от 13.2 до 7.2°, т. е. 6° на 1 м.

28 мая ветровой режим был примерно таким же, как и 27 мая: скорость ветра 2 м/сек. утром и вечером и 3—4 м/сек. днем. Соответственно волнение изменялось от малой до крупной ряби днем и к вечеру опять до малой. Температура воздуха с 17.7° утром поднялась до 22° к 19 час. В этот день был сделан продольный разрез от Центрального мыса до Вичелово.

Таблица 14
Характеристика зоны скачка

№ станции	Время	Глубина расположения скачка от поверхности, м	Градиент температуры, °С на 1 м
38	8 ч. 20 м.	2—3	6.8
6	9 ч. 30 м.	2—4	1.6
36	13 ч. 15 м.	2—5	1.4
34	14 ч. 40 м.	3—5	1.9
82	19 ч. 00 м.	4—6	2.0
81	20 ч. 00 м.	4—6	2.0

Характерными особенностями распределения температуры по вертикалям было постепенное углубление слоя скачка и некоторое увеличение разности температуры между поверхностными и глубинными горизонтами, что видно из табл. 14 и из рис. 11 (станции, проведенные 28 мая).

Исключение по величине скачка составила только станция 38, взятая в защищенном от ветра участке

вблизи Среднего Двора. На остальных станциях в течение дня металимнион погрузился на 2 м, а градиент температуры увеличился на 0.5°.

По-видимому, стоковые течения и усиление ветра оказали влияние на распределение температуры по вертикалям на станциях, взятых у вершины Шекснинского плёса (29 мая) от о. Карагача до станции, расположенной выше Череповца. Здесь при хорошо выраженной прямой стратификации с разностями температуры 2—4°, при глубине 10—12 м слой скачка не обнаружен.

30 и 31 мая на вертикалях у северо-восточного берега водохранилища на траверсе Гаютина и у северо-восточного берега Моложской губы благодаря ветру, скорость которого была 30 мая 12 м/сек., а 31 мая — около 8 м/сек. и соответственно волнение в 3 и 2 балла, в верхнем пятиметровом слое разности температур редко превышали 0.1—0.2° и только на больших глубинах в отдельных случаях отмечалось падение температуры на 4°.

Следовательно, по данным этой съемки оказалось, что при волнении в 2—3 балла в продолжение 1—2 суток в пяти- и даже восьмиметровом слое устанавливается гомотермия при значительных разностях температуры на больших глубинах.

Приведенные графики не характеризуют максимального развития эпилимниона. Имеются данные, показывающие разности температуры между поверхностным горизонтом и гипolimнионом в 10, 12 и даже 16°. Столь большие температурные разности между эпилимнионом и гипolimнионом образуются при штилях или слабых ветрах, продолжающихся несколько дней подряд. Для иллюстрации приводим эюры температур за 7, 8 и 10 июня 1956 г. (рис. 12).

Наиболее мощное развитие эпилимниона наблюдалось 10 июня в 17 час. в Шекспинской губе к востоку от Среднего Двора. В этом случае слой температурного скачка располагался на глубине 4—5 м с разностью температуры почти в 8° , а разность между верхней частью гипolimниона и водной поверхностью составляла около 16° .

При усилении ветра происходит выравнивание температуры: она быстро понижается в поверхностных и повышается в глубинных слоях. При этом величина изменения температуры в той или иной точке на вертикали зависит от разности температур эпилимниона и гипolimниона, характера распределения температуры по вертикали и интенсивности перемешивания.

В условиях Рыбинского водохранилища при расположении метeoлимниона в пределах верхних 3 и реже 5 м волнение в 2—3 балла через несколько часов ликвидирует слой скачка и падение температуры более или менее выравнивается. Разности температуры поверхностного и придонного слоев уменьшаются, и распределение температуры приобретает характер, свойственный плёсам со стоковыми течениями (рис. 11, станции 77, 76, 28, 29).

По данным Рыбинской обсерватории, при ветрах со скоростью до 4 м/сек. стратификация водных масс не нарушается, а при ветре со скоростью 8 м/сек. перемешивание водных масс происходит до глубины 10 м в течение 3 час. с начала развития волнения (Гачалов, 1959).

Некоторые материалы о скорости перемешивания всей толщи воды и выравнивания температуры осенью под влиянием ветра получены при температурной съемке, проведенной перед началом II синхронной съемки 17 сентября 1957 г.

Первые измерения температуры воды были проведены в 16 час. 17 сентября на станциях г. Молога, у пирамиды 21 — центр Главного плёса и у маяка Всехсвятского. В часы, предшествующие наблюдениям, был штиль. Во время наблюдений на всех пунктах скорость ветра составляла 1—2 м/сек., а волнение 1 балл и менее. У пирамиды 21 и у маяка Всехсвятского наблюдалась прямая стратификация с разностью температуры между поверхностью и дном 0.5° , а у г. Мологи в поверхностном двухметровом слое температура с глубиной увеличивалась на 0.2° и уменьшалась ко дну на 1° , т. е. на первых двух станциях с поверхностью, а на третьей с 2 м имела место четко выраженная прямая стратификация.

В 20 час. наблюдения проводились у пирамид 25 и 44 и на стандартной станции 5. Скорость ветра за это время увеличилась до 10 м/сек., а волнение до 3—5 баллов. На всех трех станциях разности температуры поверхность—дно не превышали 0.05° , т. е. стратификация отсутствовала. Следовательно, осенью достаточно 4 час. с волнением, постепенно нарастающим от 1 до 3—5 баллов, для выравнивания температуры на глубинах до 14 м.

Как указывалось, наиболее развитый эпилимнион в Главном плёсе наблюдался 10 июля 1956 г. при разности температуры поверхность—дно 15.8° и при средней по вертикали в 11.8° . В случае интенсивного перемешивания, если не учитывать разность в температуре между поверх-

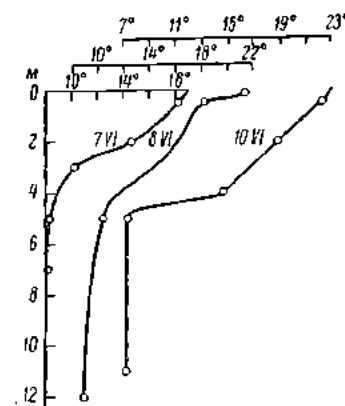


Рис. 12. Кривые распределения температур в Главном плёсе при штиле, продолжавшемся несколько дней.

поверхностью и дном в $0.2-0.3^\circ$, наблюдаемую летом даже при сильных ветрах, за короткий промежуток времени температура поверхностного слоя уменьшится на 11.2° , а придонного слоя поднимется на 4.6° .

Типичное для Рыбинского водохранилища распределение температуры воды по вертикали после нескольких дней ясной и тихой погоды в период интенсивного прогревания было 28 мая 1958 г. на станции 38. В этом случае выравнивание температуры по вертикали благодаря перемешиванию привело бы к падению температуры на поверхности на 4.5° и подъему придонной на 2.5° (табл. 15).

Изменение температуры в поверхностном слое, превышающее 5° , может происходить и при отсутствии слоя скачка, но при хорошо выраженной прямой стратификации и больших глубинах. На станции 41 при глубине 12 м наступление полной гомотермии обусловило бы уменьшение температуры поверхности на 6.4° и повышение температуры придонного слоя на 2.3° .

На мелководьях при большом слое прогретой воды перемешивание слабее отражается на температуре поверхностного горизонта и сильнее на температуре придонного горизонта. Так, на станции 40 вблизи Центрального мыса при глубине 4 м и расположении метеолимниона от 2 до 3 м при быстро наступившей гомотермии температура поверхности должна была уменьшиться всего на 2.5° , а придонная подняться на 3.9° .

Эти материалы позволяют отметить, что в мелководном Рыбинском водохранилище прогревание придонных слоев идет скачками — резкие подъемы температуры приурочены к началу ветреной и обычно холодной погоды. Устойчивая или мало изменяющаяся температура в придонных слоях наблюдается в безветренную погоду, когда тепло, полученное от солнца, прогревает поверхностный слой. Однако даже слабое течение в этих же условиях вызывает равномерное прогревание всей водной толщи, включая придонный слой.

Приведенные в этом разделе работы материалы позволяют составить представление об отклонении разовых определений температуры при рейсовых наблюдениях от среднесуточных.

В начале поздневесенней части весеннего сезона средняя температура по вертикали в Волжском плёсе при разовых наблюдениях могла отличаться от среднесуточных данных от -0.3 до $+0.7^\circ$. Примерно такой же величины достигали отклонения при определении только температуры поверхностного горизонта. В центральной части разовые определения температуры по вертикали могли отклониться от среднесуточной всего на $0.2-0.3^\circ$, при определении только поверхностной температуры от -0.3 до $+1.4^\circ$. Учитывая особенности распределения и динамики температуры на станции 10, в начале поздневесенней части весеннего сезона можно утверждать, что ни разовые определения температуры по вертикали, ни тем более измерения ее в поверхностном слое не могут дать правильного представления о средней температуре воды. В таких условиях необходимы стационарные суточные и двухсуточные наблюдения. Описанное двухслойное распределение водных масс, по видимому, имеет место только ранней весной в затопленных поймах и руслах Главного плёса вблизи речных плёсов.

В конце поздневесенней части весеннего сезона у Мышкина по всей вертикали амплитуда температуры воды 8—9 июня 1957 г. по наблюдениям через 4 часа составляла около 2° , что указывает на большую пульсацию температуры воды. В этих условиях температура по разовым наблюдениям может дать в любой точке вертикали отклонения от среднесуточной $\pm 1^\circ$, а от температуры в другой срок суток $\pm 2^\circ$. Летом 28—29 июля 1958 г. в той же точке амплитуда температуры была меньше, но все же в поверхностном горизонте она составляла 1° , а в придонном

Возможное наименее температуры (°С) при интенсивном перемешивании

Температурная характеристика	При наличии эпилепсии												При отсутствии явно выраженного эпилепсия																					
	27 мая 1958												28 мая 1958 г.												10 июня 1958 г.		27 мая 1958 г.		29 мая 1958 г.					
	ММЭ-станции																																	
	глубина, м																																	
	65	42	41	40	38	6	39	31	82	81															77	75	23	29						
7.5	8.0	12.0	4.0	7.5	11.0	6.5	9.5	8.5	7.0	11.0	7.0															15.0	11.5	11.5	9.5					
Температура поверхности	11.4	12.0	13.6	13.5	13.8	9.4	14.4	14.8	15.2	16.0	23.0	44.2	15.2	15.9	16.2															15.2	15.9	16.2		
Температура придонная	4.9	5.3	4.9	7.1	6.8	5.7	6.1	8.6	9.0	10.9	7.2	8.2	9.0	11.6	13.5															9.0	11.6	13.5		
Разности температур поверхности—дно . .	6.5	6.7	8.7	6.4	7.0	3.7	8.3	6.2	6.2	5.1	15.8	6.0	6.2	4.3	2.7															6.2	4.3	2.7		
Падение температуры на 1 м	0.9	0.8	0.7	1.6	0.9	0.3	1.3	0.7	0.7	0.7	1.4	0.9	0.4	0.4	0.3															0.4	0.4	0.3		
Средняя температура	7.4	7.7	7.2	11.0	9.3	6.8	9.3	10.7	11.4	14.3	14.8	10.8	11.8	13.3	15.2															11.8	13.3	15.2		
Возможное падение поверхностной темпе- ратуры	4.0	4.3	6.4	2.5	4.5	2.6	5.1	4.1	3.8	1.7	11.2	3.4	3.4	2.6	1.0															3.4	2.6	1.0		
Возможный подъем придонной темпера- туры	2.5	2.4	2.3	3.9	2.5	1.1	3.2	2.1	2.4	3.4	4.6	2.6	2.8	1.7	1.7															2.8	1.7	1.7		

около 0.5° . Соответственно и отклонения при разовых измерениях будут от среднесуточных ± 0.5 и 0.25° , а от крайних значений ± 0.5 и $\pm 1^{\circ}$.

Характерна большая амплитуда средних на вертикали температур и в Сбросном плёсе: 8—9 июня 1957 г. — 0.9° , а 28—29 июля — около 1.5° .

В частях водохранилища со слабо выраженными стоковыми течениями в Главном плёсе интенсивное изменение температуры воды отмечалось в верхних 3 м (до 6° за сутки) и значительно меньшее, от 0.3 до 0.7° , в нижележащих горизонтах. Таким образом, следует иметь в виду, что определение температуры воды при разовых наблюдениях, отмечающее ее распределение по вертикали в момент измерения, может существенно отличаться от среднесуточного распределения и распределения в другие сроки.

В период охлаждения для суждения о температуре на вертикали можно ее определить на любой глубине. Зато в течение одних суток при охлаждении средняя температура может меняться в широких пределах, причем суточная амплитуда в разных плёсах различается от 0.4 до 1° .

ВЫВОДЫ

В центральной части водохранилища распределение температуры воды на вертикали в периоды нагревания и охлаждения имеет тот же характер, что и в озерах умеренного типа. В поздневесеннюю часть весеннего сезона и летний сезон при температуре выше температуры воды происходит интенсивный прогрев водохранилища: при глубине 8—10 м средняя температура по вертикали за сутки может повыситься на 1.2 и даже 1.5° . При ветре до 2—3 м/сек. в течение одного дня образуется слой от поверхности до 2 м с падением в нем температуры на 3° и более. При штилевой и слабоветренной погоде на протяжении нескольких дней эпилимнион может распространиться до глубины 4—5 м, а разность температуры между поверхностью и дном достичь 16° . С усилением ветра до 6—12 м/сек., в зависимости от характера температурного расслоения за время от нескольких часов до 2 суток, устанавливается гомотермия до глубины 8—18 м.

При ветровом переменчивании падение температуры в эпилимнионе может достигнуть 12° . Обычно же это падение ограничивается 3 — 5° . Одновременно с падением температуры на поверхности повышается температура в придонном слое. В большинстве случаев это повышение составляет 2—4 и реже 5° .

При наступлении весной и летом циклональной погоды с температурой воздуха ниже температуры воды начинается выхолаживание водохранилища с соответственным падением средних температур всей водной толщи в пределах от 0.1 до 0.8° в сутки. В случае больших разностей температур воздуха и воды выхолаживание идет скорее. Когда температура воздуха и воды одинаковы, при пасмурной погоде охлаждение резко уменьшается.

Осенью при сильном ветре и разности температуры воздуха и воды 5 — 6° средняя температура воды на вертикали за сутки может снижаться на 1° , а при 1.5 — на 0.5° . С изменением глубин и гидродинамических особенностей района даже в пределах Главного плёса выхолаживание представляет неструю картину. Так, выхолаживание за сутки 1—3 октября 1959 г. колебалось в пределах Главного плёса от 0.2 до 1° .

В предзимний период после первого замерзания температура воды в Волжском плёсе и в прилегающих частях Главного плёса была около 0.5° , т. е. выше чем в этих районах зимой. В этом отношении указанные

часть водохранилища отличается от озер, в которых в период замерзания запас тепла соответствует годовому минимуму.

В Волжском плёсе и нижнем бьефе Угличской ГЭС температурный режим очень сложен, так как формируется под влиянием сбросов Угличской ГЭС и циркуляционных течений. Как правило, обособление эпилимниона наблюдается редко и выражено оно очень слабо. В нижних частях плёса у о. Шуморовского часто устанавливается прямая стратификация с большим и равномерным падением температуры. У Мышкина колебания средней на вертикали температуры за сутки могут достигать 2° . Средние на вертикали температуры могут иметь нормальный суточный ход, но бывают случаи, когда максимум температуры поверхностных горизонтов наступает ночью, а в то же время в нижних горизонтах температура падает.

В период выхолаживания падение средних температур за сутки в Волжском и Моложском плёсах составляло при значительных разностях температур воздуха и воды около 0.7° .

В Моложском плёсе и частично в Моложской губе до Брейтова включительно при синхронных съемках не было обнаружено температурного расслоения. Как правило, эпилимнион здесь образуется только в самых поверхностных горизонтах и быстро разрушается в вечерние часы. Суточные изменения температуры более или менее равномерны на всю глубину и обычно не превышают 1° . Резко выраженное температурное расслоение на станции 10 было обнаружено только один раз в первой половине мая вскоре после окончания ледохода. Образовалось оно благодаря распространению в верхних горизонтах теплых вод из Моложского плёса. Следовательно, часть Моложской губы вдоль затопленного русла Мологи до Брейтова включительно весной находится под влиянием Моложского плёса.

Для русловой части Сбросного плёса характерны более высокие температуры воды в верхнем десятиметровом слое по сравнению с более глубокими горизонтами и отсутствие суточного хода температуры. Часто максимальные температуры в верхних горизонтах отмечаются в 20 час. и даже в 24 часа, т. е. в часы наибольшей нагрузки ГЭС. Это можно объяснить увеличением участия здесь прогретых в дневные часы вод мелководий при усилении работы ГЭС вечером.

В период интенсивного выхолаживания в Сбросном плёсе падение температуры не превышало 0.4° и было наименьшим по сравнению с другими районами водохранилища, что объясняется большой глубиной этого плёса. По приблизительным расчетам для поперечного сечения скорости течения у Волкова, составляющие примерно в среднем 4 см/сек. и максимум 12 см/сек., обеспечивают перемешивание всей или большей части водной толщи.

Кроме большого влияния стоковых течений, на температурном режиме Сбросного плёса должны сказываться и циркуляционные течения, которые могут развиваться в этой части водохранилища под влиянием ветра в условиях большой глубины плёса. На температуру верхней части этого плёса в весенний сезон оказывают влияние теплые волжские воды и холодные воды центральной части Главного плёса.

Благодаря частым сильным ветрам, малой глубине Главного плёса и наличию стоковых течений в речных плёсах резко выраженное температурное расслоение на всей акватории водохранилища наблюдается редко.

В течение поздневесенней части весеннего сезона, летнего и первой части осеннего сезонов в Главном плёсе за несколько часов при наступлении холодной и ветреной погоды прямая стратификация может смениться гомотермией и даже обратной стратификацией.

Сезонная и многолетняя динамика температуры воды в главном и волжском плёсах

Для получения приближенного представления о ходе температуры воды в Главном плёсе в беззасухные периоды 1954—1958 гг. использованы ежедневные наблюдения в 8 час. на гидрометеостанции Мыс Рожновский. Эта прибрежная станция по сравнению с другими имеет то преимущество, что она расположена на мысе, далеко вдающемся в Главный плёс водохранилища, в условиях хорошего водообмена.

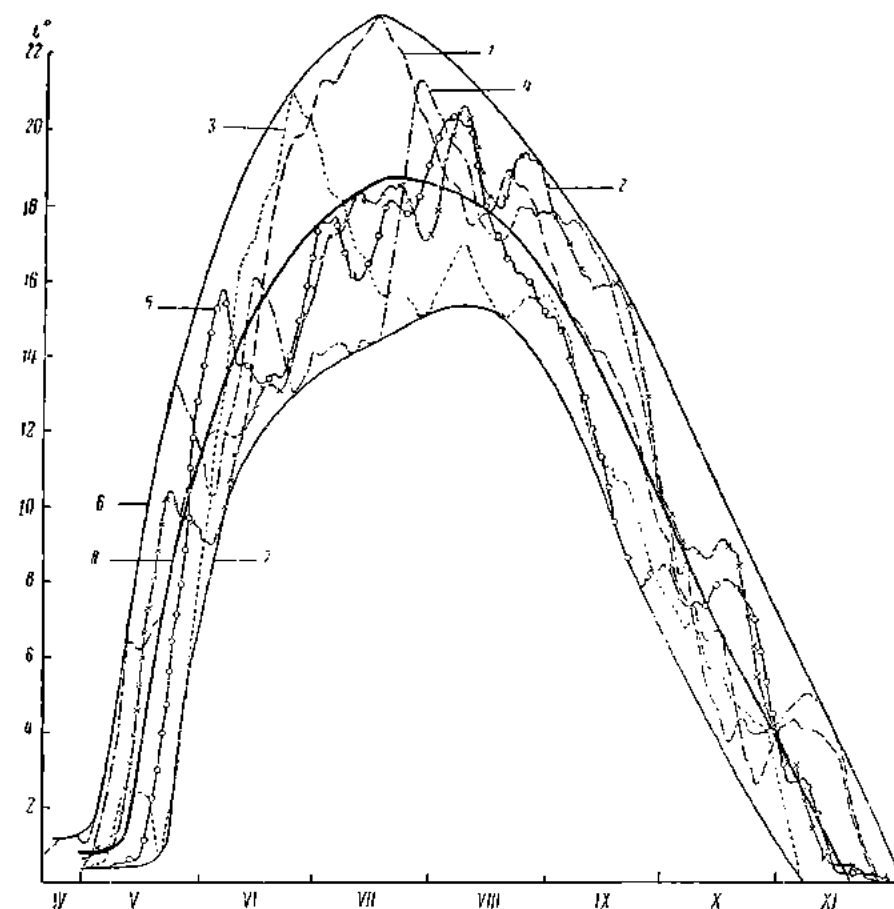


Рис. 13. Ход температуры поверхностного горизонта воды по скользящим среднесекадным данным. Гидрометеостанция Мыс Рожновский 1954—1958 гг.
1 — 1954 г.; 2 — 1955 г.; 3 — 1956 г.; 4 — 1957 г.; 5 — 1958 г.; 6, 7 — огибающие кривые; 8 — осредненная кривая.

Эти данные могут служить фоном для экспедиционных наблюдений Института биологии водохранилищ, проведенных в глубоководных частях Волжского и Главного плёсов. При анализе данных гидрометеостанций нельзя упускать из вида, что прибрежная зона у мыса Рожновского в зависимости от направления ветров находится то под сильным воздействием волжских вод, то вод центра водохранилища, существенно различающихся по температуре, особенно в период интенсивного прогревания.

Ежедневные отчеты обработаны методом скользящих десятидневок, позволяющим получить легко обозримые графики (рис. 13). Температура поверхности воды резко меняется, и поэтому ежедневные данные на графике дают настолько неструю картину, что выявить по ним характерные особенности отдельных лет нет возможности. Кроме того, среднедекадные температуры поверхности воды должны лучше отражать среднюю температуру воды по вертикали, так как на протяжении десяти дней могут быть теплые и холодные периоды, а следовательно, поверхностные слои воды будут то теплее, то холоднее нижележащих. Положения, высказанные в пользу осредненных данных, конечно, не исключают рассмотрение данных отдельных дней, что необходимо при сопоставлении с результатами экспедиционных наблюдений в открытых частях водохранилища.

Судя по рис. 13, ход температуры воды в рассматриваемые годы существенно различался. Так, в период нарастания температуры воды от 1 до 15° одинаковые температуры наступали в наиболее холодные весны на 18—21 день позже, чем в наиболее теплые. Наступление одних и тех же температур в интервале от 15 до 20° различалось по времени на 36—42 дня. Даты наступления максимальных годовых температур воды захватили промежуток в 36 дней. Во время охлаждения воды от 20 до 0° прохождение через одни и те же температуры в отдельные годы различалось на 2—3 недели. Нужно учитывать, что приведенные амплитуды вычислены по среднедекадным данным. По ежедневным наблюдениям амплитуды были бы значительно большими.

Для вычисления среднего многолетнего хода температуры воды в безледоставный период по наблюдениям на станции Мыс Рожновский имеющихся данных недостаточно. С целью получения представления о ходе температуры за безледоставный период построена кривая средних значений температуры, проведенная на равном расстоянии от окаймляющих кривых.

Кривые температуры поверхностного слоя воды у мыса Рожновского, построенные по декадным (рис. 13) и ежедневным данным (рис. 14), позволяют выявить некоторые особенности хода температуры, которые в дальнейшем помогут установить границы сезонов годового температурного цикла.

В последней декаде апреля, а в отдельные годы до середины мая температура воды держится в пределах 0—2°. В этот период происходит таяние льда в водохранилище, а в начале периода поступают холодные воды первой части паводка.

По средним данным за взятые годы, во второй декаде мая начинается интенсивный прогрев вод. Ежегодно в периоды этого прогрева повышение температуры прерывалось возвратами холодов, причем, чем позднее наступал период прогрева, тем в большинстве случаев и позднее он прерывался холодами. В этот период, как правило, температурные кривые (рис. 13) идут почти параллельно друг другу, что указывает на одинаковый приблизительно ход нагревания воды в водохранилище независимо от времени наступления периода.

Суточное нарастание температуры поверхности воды по среднедекадным данным за теплые периоды составляло 0.6—0.7°, и по осредненной кривой, учитывающей влияние возврата холодов, всего 0.4°.

Самый ранний годовой температурный максимум (21°) наступил в первых числах июля 1956 г. К 1 июля средняя за 5 лет температура воды достигает 16°. Далее начинается период наивысшего прогрева воды с очень сложным ходом температуры. Максимальная температура за пятилетний период наступала в конце июля. Устойчивый отрицательный тепловой баланс в изучаемые годы наступал в последних числах августа, когда

средняя температура воды была около 16° . Время с конца августа и до замерзания водохранилища соответствует периоду выхолаживания. Судя по ходу кривых, нет основания для разделения периода на части по моменту наступления температуры максимальной плотности воды, так как прекращение конвективного перемешивания полностью компенсируется ветровым.

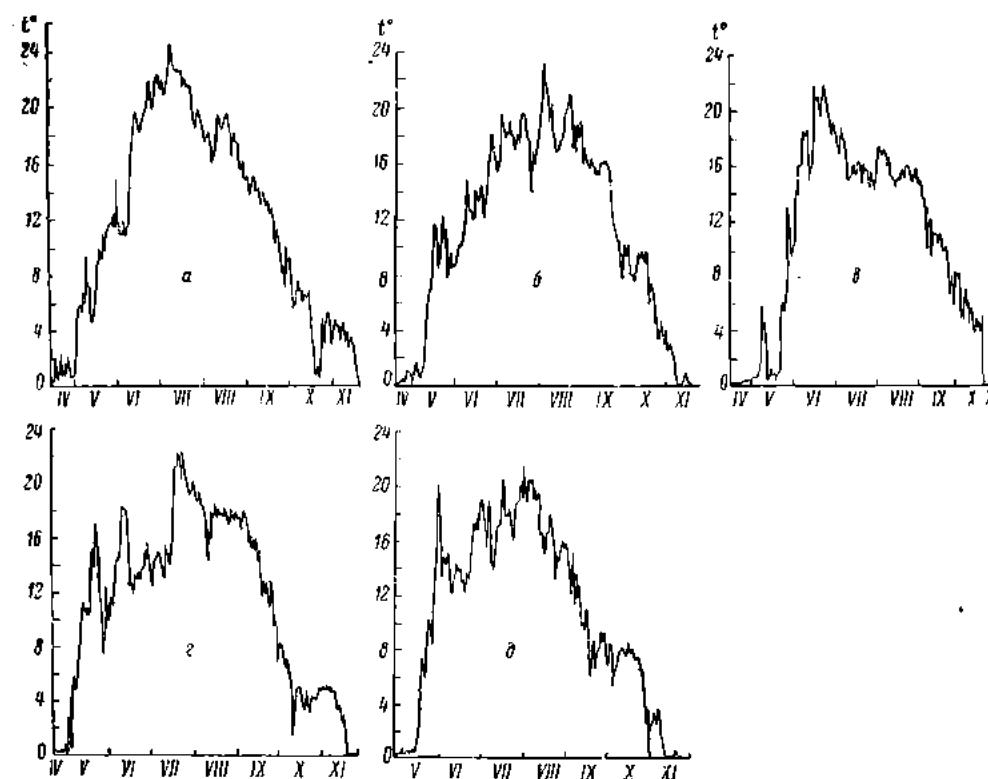


Рис. 14. Ход температуры поверхностного горизонта воды в 8 час. за безледостаные периоды. Гидрометеостанция Мыс Рокловский.

а — 1954 г.; б — 1955 г.; в — 1956 г.; г — 1957 г.; д — 1958 г.

Осенью, особенно в сентябре, падение температуры идет более или менее равномерно. Возвраты тепла наблюдались главным образом в октябре и ноябре, причем иногда они на протяжении целого месяца удерживали температуру воды на одном уровне. В среднем падение поверхностной температуры составляло за сутки 0.2° , достигая в отдельные периоды похолодания, по декадным данным, 0.5° .

Скорость изменения температуры на поверхности за отдельные короткие промежутки времени может быть значительной. Это показывают данные табл. 16.

Для выяснения репрезентативности данных гидрометеостанции Мыс Рокловский для других прибрежных частей Рыбинского водохранилища сопоставлены за изучаемые годы максимальные и минимальные месячные температуры поверхности воды этой станции с соответствующими данными станции Коприно и Мякса (рис. 15) за 1954—1958 гг.

Из сопоставления видно, что средние максимальные месячные температуры за взятые годы на станциях Коприно, Мыс Рокловский и Мякса

на протяжении всего безледоставного периода очень мало различаются друг от друга. Но среднемесячные минимальные температуры (рис. 15) существенно различались в разных частях водохранилища: на протяжении всего безледоставного периода наиболее высокие минимальные температуры имели место у Коприна, наиболее низкие у Мяксы и средние у Мыса Рожновского. Если в мае и июне разность минимальных температур на указанных станциях не превышает 2.5° , то начиная с июля до октября она равна 4° . Наибольшие месячные амплитуды температур поверхности воды наблюдаются у Мяксы и наименьшие у Коприна, причем у первой станции в июле они составляют 11° , а у второй — всего 6° .

Регулярные измерения температуры воды в безледоставный период в глубоководной части водохранилища производятся Институтом биологии водохранилищ с 1954 г. попутно со стандартными гидробиологическими съемками, которые ежегодно начинаются вскоре после освобождения водохранилища ото льда и продолжаются до его замерзания. В большинстве случаев температура измерялась только в поверхностном и в придонном горизонтах. Проведение стандартных съемок 1—3 раза в месяц не может обеспечить достаточно полную характеристику хода температуры воды и особенно выявление максимальных величин и времени их наступления. Но все же десять и более съемок в безледоставный период дают возможность выяснить, хотя бы в первом приближении, некоторые особенности температурного режима водоема. Число станций при съемках не было постоянным. Основные станции, материалы по которым используются в настоящей работе, расположены в следующих условиях (рис. 1).

Станция 1. Волянский плес. Затопленное русло Волги между Борком и Коприном. В 1 км от Коприна и в 2.3 км от Хохоткинского острова.

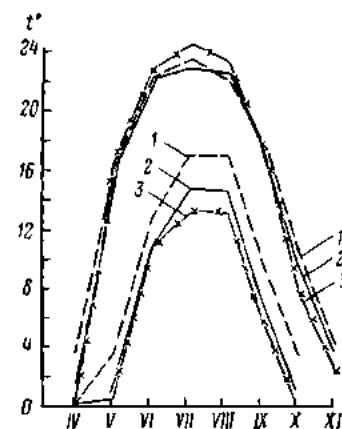


Рис. 15. Ход среднемесячных максимальных и минимальных температур поверхностного горизонта воды по станциям Коприно (1), Мыс Рожновский (2), Мякса (3) за 1954—1958 гг.

Таблица 16

Наиболее интенсивное повышение и понижение температуры поверхности воды на станции Мыс Рожновский за 1954—1958 гг.

Год	Повышение температуры				Понижение температуры			
	промежуток времени	температура, °C		среднее падение за сутки, °C	промежуток времени	температура, °C		среднее изменение за сутки, °C
		начальн.	конечн.			начальн.	конечн.	
1954	9—14 VI	11.5	19.7	1.6	15—19 X	6.9	0.7	1.6
1955	28 VII—2 VIII	16.8	23.4	1.3	16—28 XI	16.4	7.8	0.7
1956	21—27 V	1.0	13.0	2.0	27—29 X	5.0	0.2	2.4
1957	—	—	—	—	23—26 V	17.1	7.5	3.2
1958	25—29 V	8.4	20.2	3.0	29 V—1 VI	20.2	13.4	2.3
					22—28 X	7.3	0.4	1.0

Глубина при НПГ, в зависимости от места стоянки судна, от 14 до 15 м. Грунт — серый песчаный ил.

Станция 2. Воляжская губа Главного плёса. В 10 км от Лехкова, в 8 км от мыса Рожновского и в 26 км от ПОМа (пункт открытого моря). Затопленное русло Волги у бывш. г. Мологи. Глубина при НПГ от 16 до 18 м. Грунт — переходный от серого к торфянистому, серо-коричневый тонкий ил.

Станция 5. Главный плёс вблизи границы центральной части и Ухро-Согожской губы. Расстояние от Измайлова 13 км, мыса Рожновского 23 км и от ПОМа 22,5 км. Глубина при НПГ 10—12 м. Ил торфянистый.

Станция 6. Шекнинская губа, к востоку от Среднего Двора на русле или затопленной части поймы Шекены на расстоянии от Гаютина 16 км, Среднего Двора 13 км и ПОМа 22 км. Глубина при НПГ 14—16 м. Ил торфянистый.

Станция 7. Бывший Молого-Шекнинский водораздел в центральной части Главного плёса вблизи затопленного селения Наволок на расстоянии от ПОМа 10 км, от Измайлова 27 км, от мыса Рожновского 19 км и от Гридина 22 км. Глубина при НПГ от 7 до 9 м, реже 11 м. Плотная серая подзолистая почва с остатками луговой растительности.

Станция 9. На разрезе Брейтово—ПОМ в 10—12 км от первого и 14—16 от второго, приблизительно на границе центральной части и Моложской губы Главного плёса. Глубина при НПГ 8—10 м. Почва с остатками растительности.

Станция 10. В 4 км от Брейтово против устья р. Сити в затопленном русле Мологи. Глубина при НПГ 15—16 м. Ил серый.

Работы при каждой съемке велись с одного судна. В зависимости от объема работ, погоды и скорости хода судна стандартная съемка продолжалась от полутора до трех суток. Не было и постоянного маршрута, а поэтому и последовательности в посещении станций. Поэтому к температурным данным стандартных гидробиологических съемок нужно относиться с большой осторожностью.

Анализ материалов синхронных съемок показал, что в период сильного прогревания температура поверхностного слоя может отличаться от температуры придонного, в зависимости от интенсивности перемешивания, от нескольких десятых градуса до 5—6°, а в отдельных случаях и до 16°. Если разность между придонными и поверхностными температурами может достичь 5—6° в течение одного дня, а 10—15° на протяжении 3—4 суток, то выравнивание температур при перемешивании может произойти за несколько часов. Учитывая эти особенности, ниже на графиках нанесены отдельно температуры придонного и поверхностного горизонтов.

Рассмотрение хода температуры воды в безледоставный период по отдельным годам начнем с придонного слоя, что облегчит выявление особенностей прогревания водоема в отдельные годы. На рис. 16 представлен ход температуры придонного слоя за 1954—1958 гг. отдельно для каждой станции.

Первые весенние рейсы проводились в начале мая при температуре придонного слоя в Главном плёсе 4—5°, а в Воляжском плёсе 6—10°. Температура 5° в разные годы в Главном плёсе достигается в разное время в пределах двух недель в последних двух декадах мая. Разница температуры в конце мая в Главном плёсе в разные годы составляла 4—5°. В Воляжском плёсе такая же разница наблюдается раньше, около середины мая. В мае наиболее высокие придонные температуры на всех станциях, за исключением 6, отмечены в 1957 г. На некоторых станциях (7, 9) столь же высокая температура найдена и в 1954 г. На станции 6

в мае 1954 г. температура была наибольшей. Наиболее холодным был май 1956 г. Май 1955 и 1958 гг. в этом отношении занимал среднее положение.

В середине июня на всех станциях во все годы разница температуры составила всего 1—2°. Следовательно, во все годы в это время темпе-

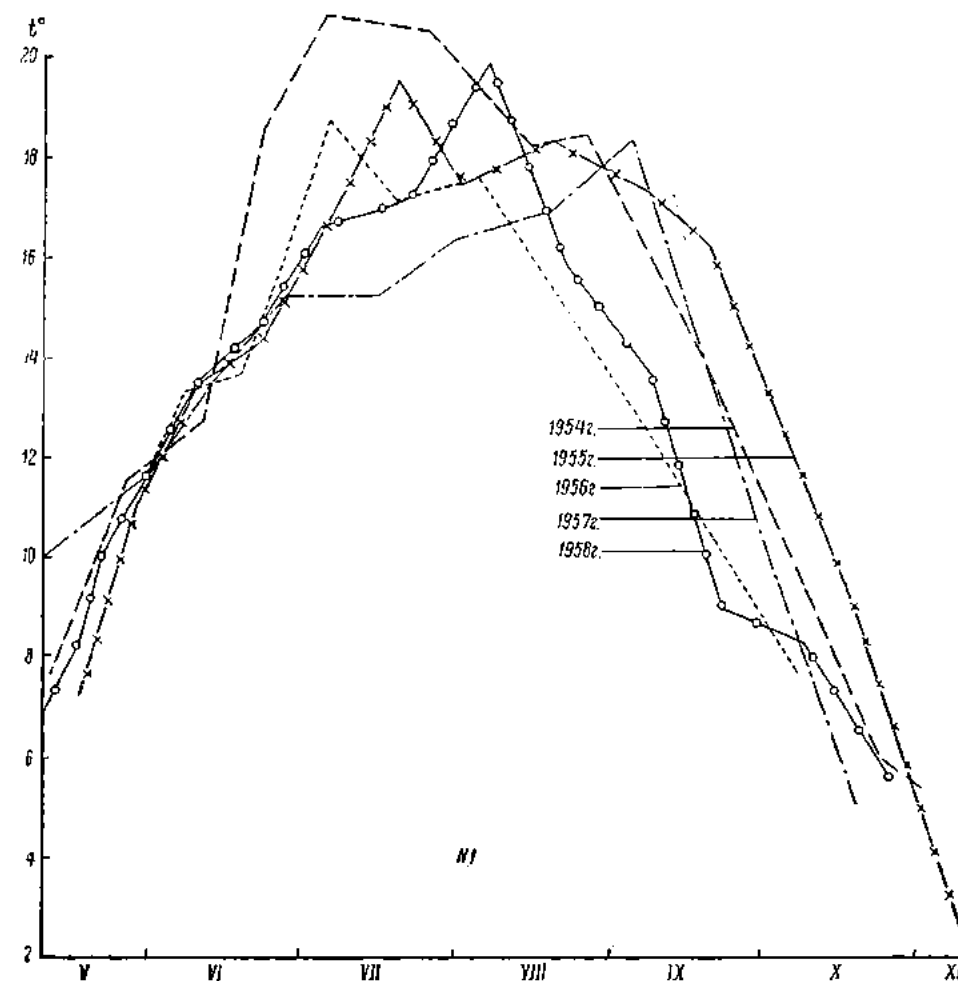


Рис. 16. Ход температур придонного горизонта воды в безледостаные периоды 1954—1958 гг. на станциях № 1, 2, 5, 6, 7, 9.

ратурные условия в придонном слое примерно одинаковы. Это объясняется тем, что в случаях ранней весны вследствие частых похолоданий прогревание водоема идет медленно, а в случаях поздней — значительно скорее.

В июле наиболее прогретым придонный слой оказался в 1954 г., а холодным в 1957 г. Данные этих лет приведены в табл. 17. В среднем по всем станциям температура в июле 1954 г. равнялась 21.1°, а июле 1957 г. — 14.1°, на 7° ниже. В июле 1955, 1956 и 1958 гг. температура имела промежуточное значение, но со следующими различиями. В течение июля 1956 г. температура падала, так как максимума она достигла на всех станциях, кроме 5, в начале июля, а в 1955 и 1958 гг. в этом месяце поднималась.

Таблица 17
Температура придонного слоя воды (°C) в июле

Годы	№№ станций						Среднее
	1	2	7	8	6	5	
1954	20.9	21.6	21.2	20.5	21.3	21.5	21.1
1957	15.3	13.5	14.2	13.7	14.3	13.7	14.1

В августе 1957 г. резко поднялась и достигла годового максимума по сравнению с другими годами температура придонного слоя в Главном

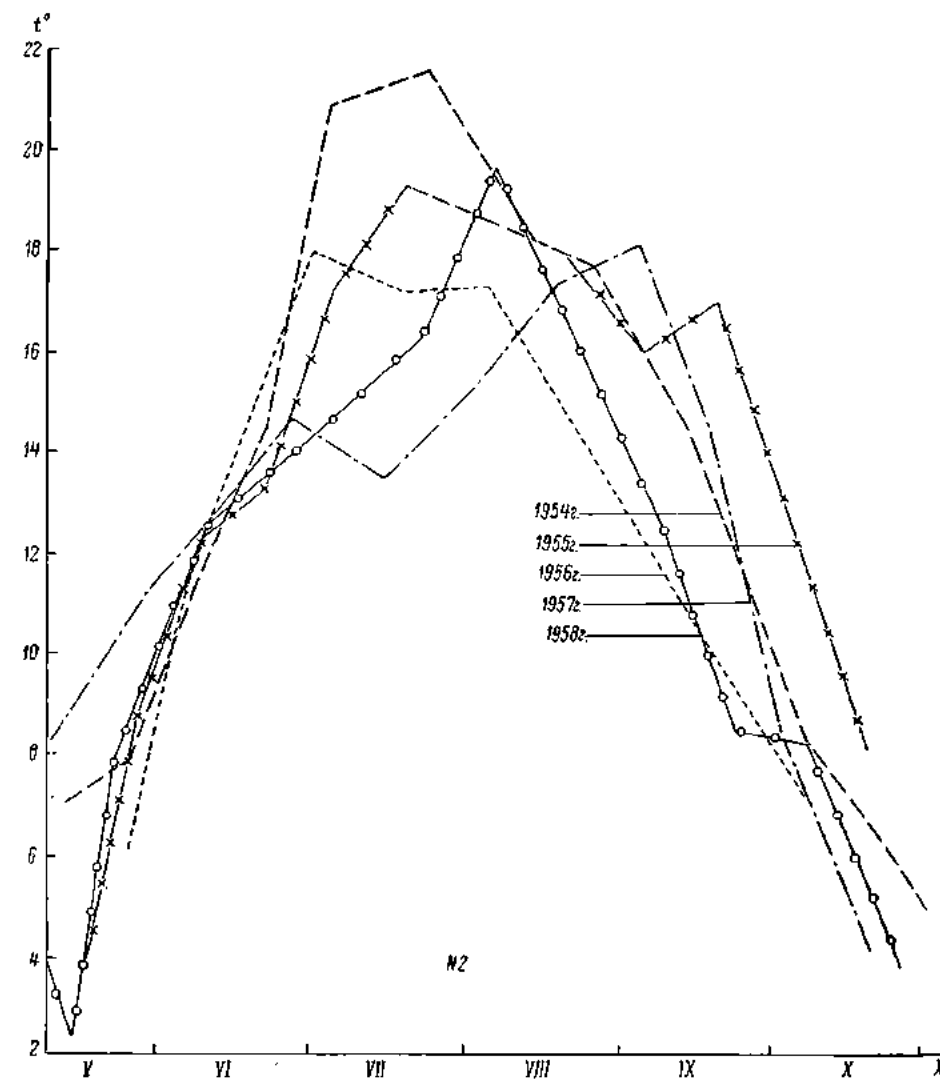


Рис. 16 (продолжение).

плёсе. В Волжском плёсе на станции 1 в 1957 г. температура продолжала оставаться низкой. На всех станциях наиболее высокой была темпера-

тура в 1954 и 1955 гг. В начале августа достигла своего максимума температура в 1958 г. В этот период она почти совпала с температурой наиболее теплых лет (1954, 1955 гг.), а затем стала быстро падать. Самым холодным был август 1956 г. Разница температуры в августе отдельных лет составляла 3—4°.

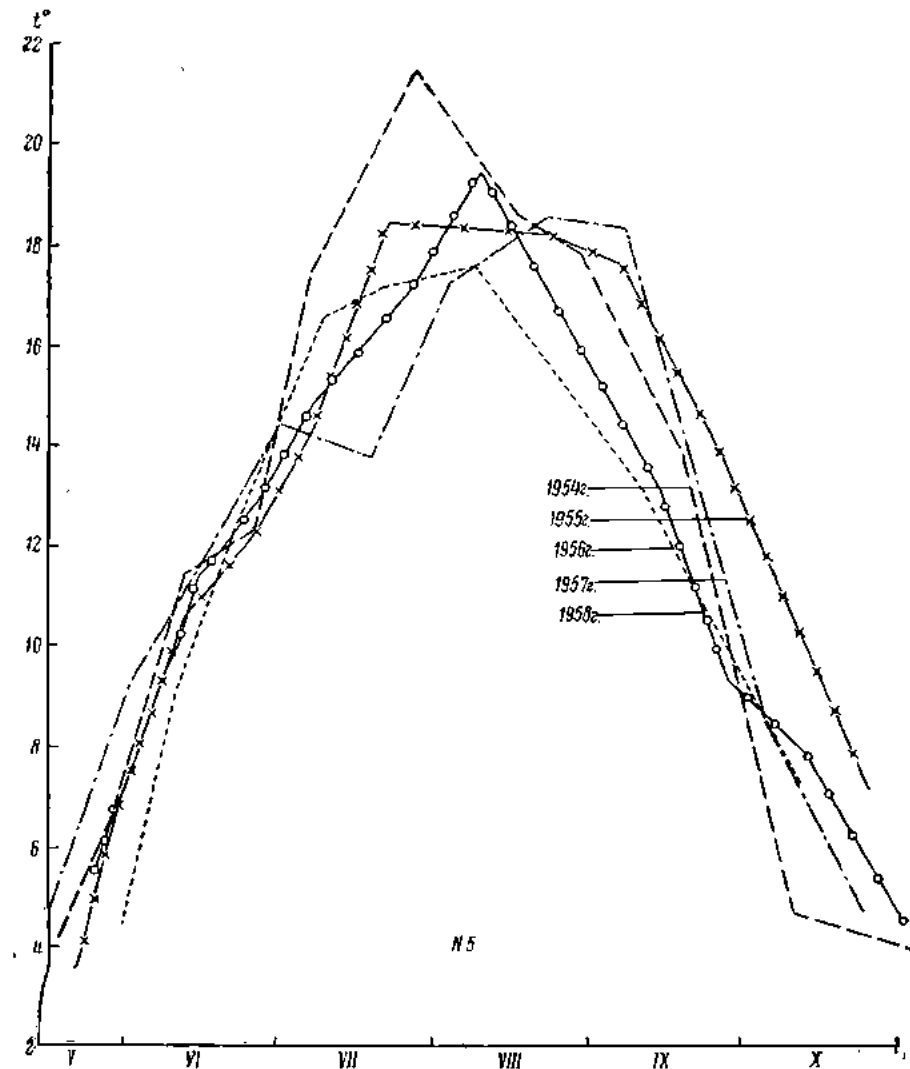


Рис. 16 (продолжение).

В сентябре только в 1957 г. температура придонного слоя продолжала подниматься в Волжском плёсе и в Волжской губе. В центре Главного плёса этого же года наблюдался второй максимум. В остальные годы на всех станциях отмечалось, за редкими исключениями, сильное падение температуры. Теплыми были воды в сентябре 1954, 1955 и 1957 гг., холодными — 1956 и 1958 гг. Разности температур теплых и холодных лет для сентября составляли 4—5°.

В октябре самые высокие температуры придонного слоя воды отмечены в 1955 г. В другие годы разности температур на большинстве станций не превышали 2°.

Из пяти рассматриваемых лет наибольший годовой максимум приливной температур наблюдался в 1954 г. (21.6°), а наименьший в 1956 г. (18°).

Температурные характеристики по месяцам в отдельные годы по данным стандартных съемок (рис. 16) и среднедекадным температурам

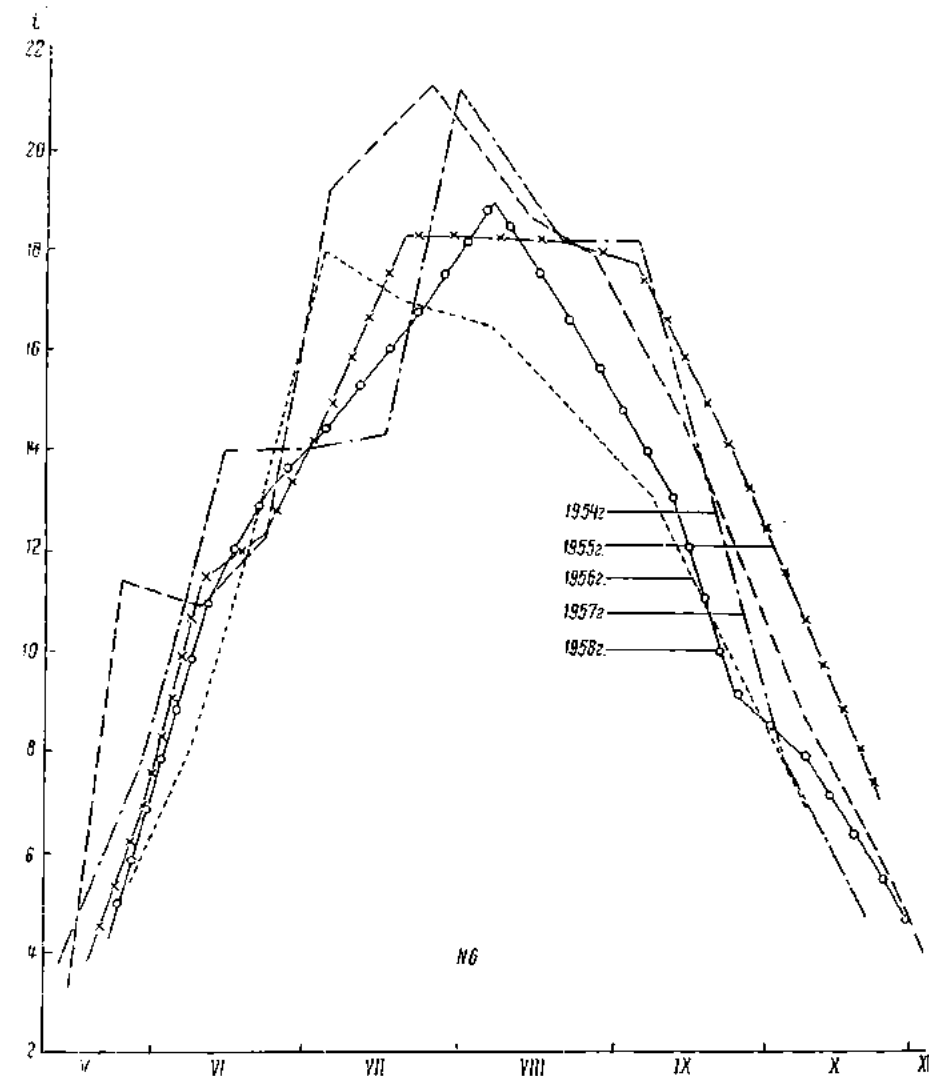


Рис. 16 (продолжение).

на гидрометеостанции Мыс Рожновский (рис. 13) в основном совпадают. Некоторое различие можно отметить только для июня. По данным стандартных съемок, в июне амплитуда температур очень мала, а у мыса Рожновского, хотя и меньше, чем в другие месяцы, по все же значительна; однако и здесь кривые температур в июне переплетаются между собой. Очень низок максимум температуры, отмеченный в 1956 г. стандартными съемками; объясняется это, во-первых, большими промежутками времени между съемками, в течение которых мог пройти максимум, и, во-вторых,

кратковременностью теплого периода этого года, вследствие чего могли успеть прогреться мелководья и не прогреться глубокие места.

• Для выявления особенностей прогрева всей толщи воды Рыбинского водохранилища по сравнению с малыми озерами приведем данные А. И. Россолимо (1930) о температуре гипolimниона последних. По ис-

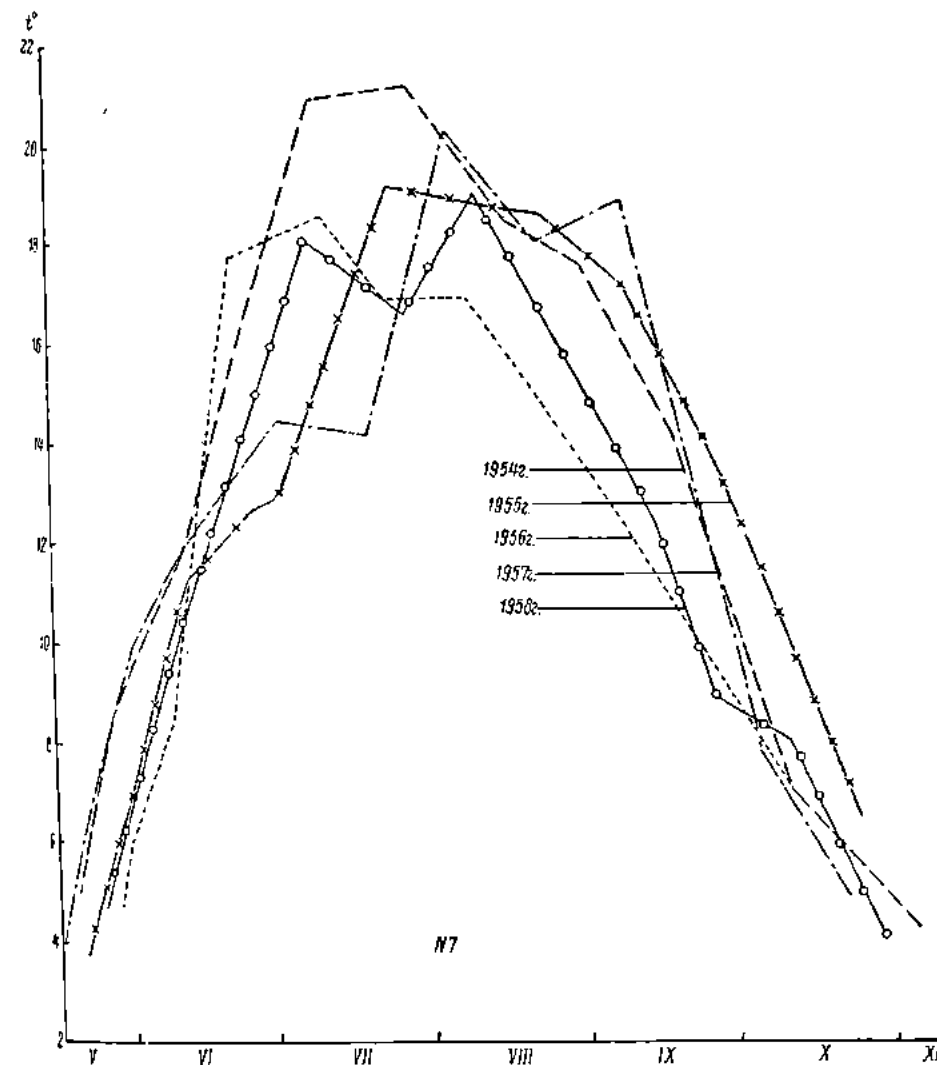


Рис. 16 (продолжение).

следованиям в Косене на Белом озере (средняя глубина 4.45 м, наибольшая 13.5 м) все лето температура гипolimниона держится около 8—10°, в Сятом (средняя глубина 3 м) и Черном (средняя глубина 2.1 м) средняя температура достигает только 14—15°. В Рыбинском водохранилище благодаря перемешиванию даже в холодные годы температура придонного слоя значительно выше, чем в Белом озере, что должно обуславливать более высокое прогревание дна, а следовательно, более высокую температуру в подледный период.

Максимальные замеренные придонные температуры наступали на всех станциях в 1954, 1955 и 1956 гг. в июле, в 1957 г. в Главном плёсе и в 1958 г. на всех станциях в августе, а в Волжском плёсе в 1957 г. даже в сентябре (табл. 18).

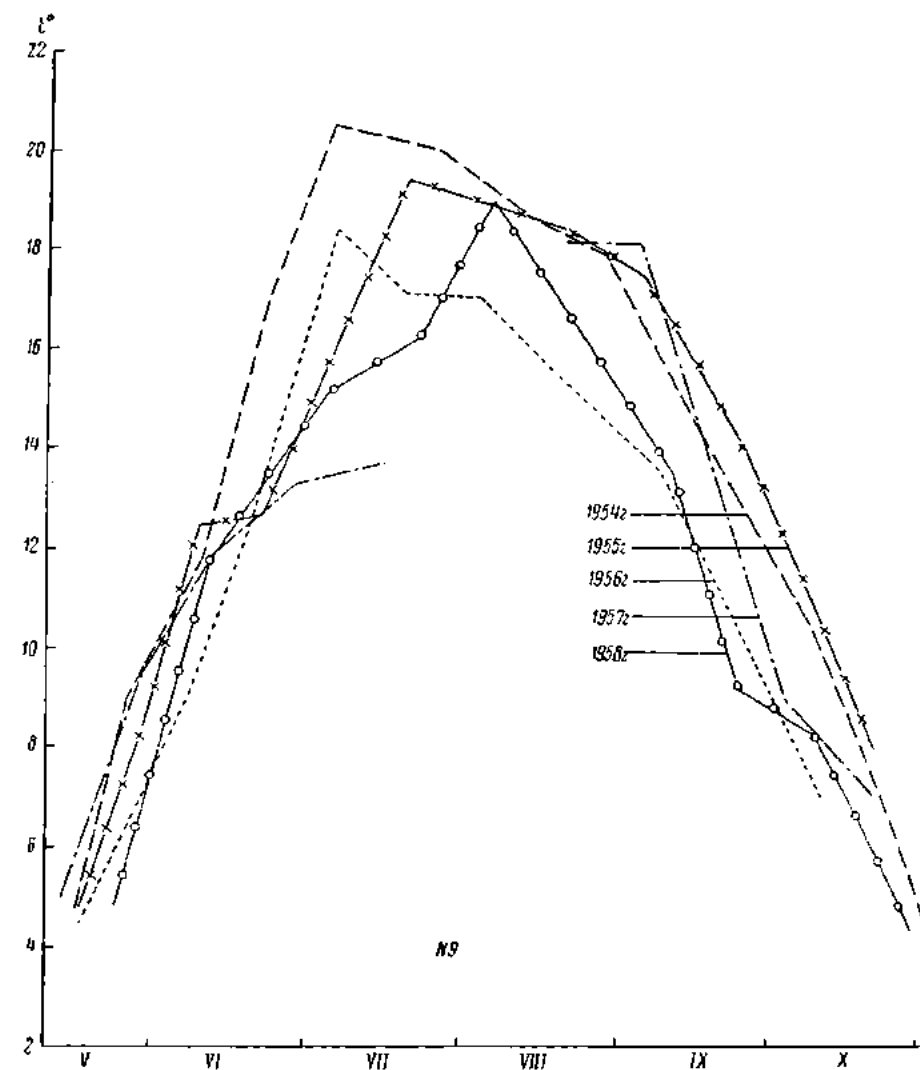
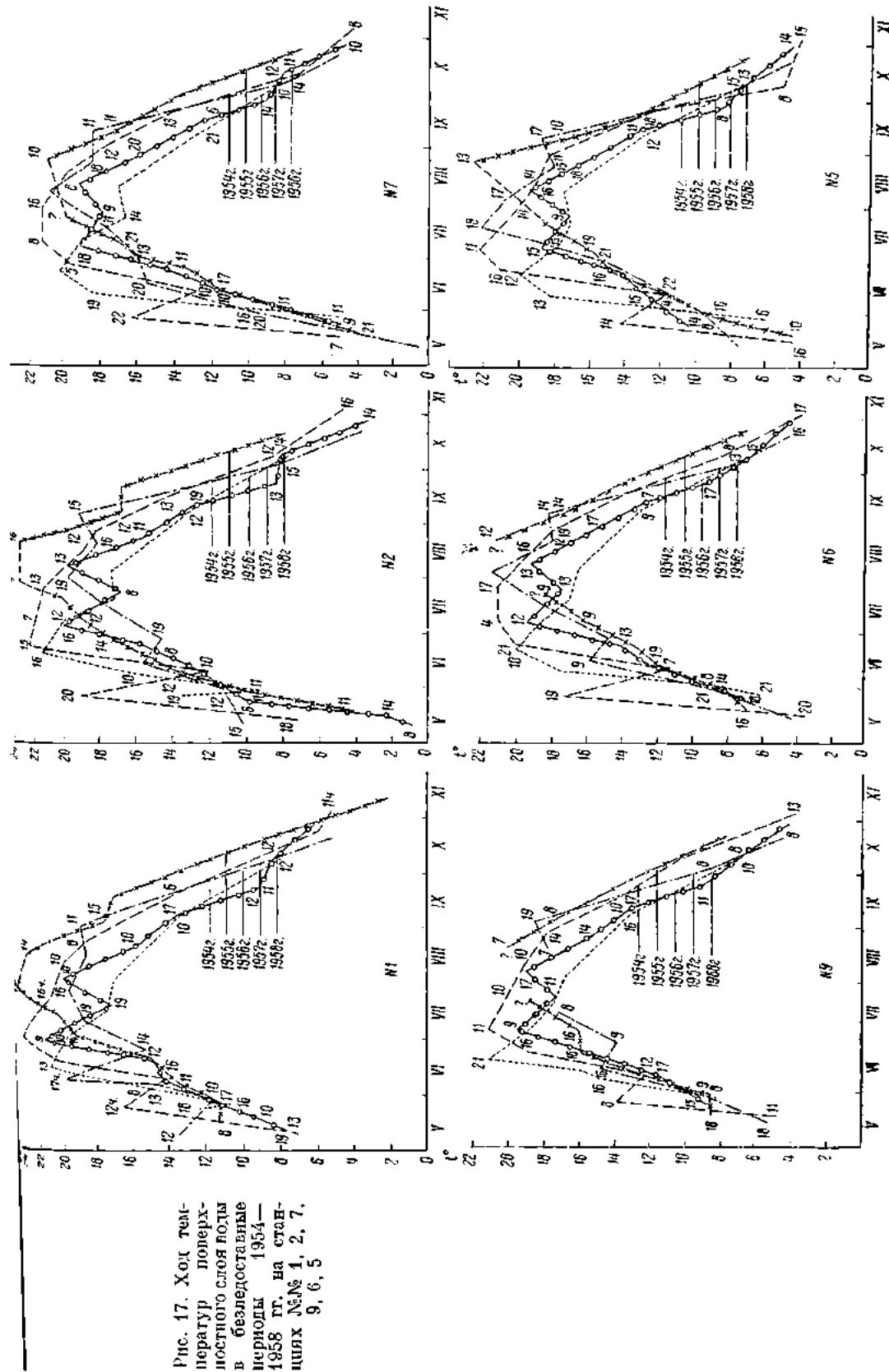


Рис. 16 (продолжение).

Как видно из приведенных материалов, ход температуры придонного слоя воды резко различается в безледоставные периоды разных лет. Это наблюдается на всех станциях, причем наибольшие разности температур в отдельные годы отмечены во вторую половину лета и осенью.

Температура поверхностного слоя воды, замеренная стандартными съемками отдельно для шести станций (1, 2, 7, 9, 6, 5) за годы 1954-1958, представлена на рис. 17.

Обзор графиков позволяет сделать следующие выводы общего характера.



Т а б л и ц а 18

Максимальные замеренные температуры воды (°C) в придонном слое
и время (месяц) их наступления в разные годы

Годы	№№ станций					
	1	2	7	9	6	5
1954	20.9 (VII)	21.6 (VII)	21.2 (VII)	20.5 (VII)	21.3 (VII)	21.5 (VII)
1955	19.6 (VII)	19.6 (VII)	19.2 (VII)	19.4 (VII)	18.3 (VII)	18.5 (VII)
1956	18.7 (VII)	18.0 (VII)	18.5 (VII)	18.5 (VII)	18.0 (VII)	16.5 (VIII)
1957	18.3 (IX)	18.1 (IX)	20.3 (VII)	—	21.2 (VIII)	18.5 (VIII)
1958	19.9 (VI)	19.7 (VII)	19.0 (VIII)	19.0 (VIII)	19.0 (VIII)	19.5 (VIII)

1. Для температуры поверхностного слоя характерны резкие изменения в период прогрева водохранилища — до середины августа.

2. В период охлаждения, начиная с середины августа, ход поверхностной температуры становится плавным.

3. Наиболее резко выраженным скачкообразным ходом температуры отличаются станции 1 и 2. В Волжском плёсе скачки температуры можно объяснить нагоном холодных вод из Главного плёса.

Прогревание поверхности в течение безледоставных периодов отличается следующими особенностями. Наиболее раннее прогревание поверхностного слоя наступило в 1954 г. в середине мая, а наиболее позднее в 1956 г. в конце мая. То же наблюдалось и на мысе Рожновском (рис. 14).

В июне наивысшая температура была в 1956 г. В то время, когда в 1956 г. температура достигала высоких значений, в другие годы вода на поверхности была на большинстве станций холоднее на 5—6°. Наиболее близкой к температуре воды в июне в 1956 г. была температура воды в 1954 г., достигавшая своего максимума в последних числах июня на одних станциях и в начале июля на других. В остальные годы поверхностные температуры были близки между собой (табл. 19). Чаще всего наиболее низкие температуры в июне отмечались в 1955 и 1958 гг.

В июле поверхность водохранилища была наиболее теплой в 1954 г. и с конца месяца в 1957 г. Но на протяжении большей части июля 1957 г. температура воды была наиболее низкой, причем разность между температурами наиболее теплых и холодных лет составляла 5—7°. Начиная с середины июля и до середины сентября наиболее холодным поверхностный слой водохранилища был в 1956 г.

В августе наиболее высокая температура была в 1955 г. В этот год и в сентябре—октябре температура поверхности водохранилища была

Т а б л и ц а 19

Максимальные замеренные температуры воды (°C) в поверхностном слое
и время (месяц) их наступления в разные годы

Годы	№№ станций					
	1	2	7	9	6	5
1954	23.9 (VII)	22.3 (VI)	21.1 (VII)	21.2 (VII)	21.1 (VII)	22.2 (VII)
1955	24.5 (VIII)	23.0 (VII)	20.8 (VIII)	(?)	21.2 (VIII)	22.6 (VIII)
1956	21.0 (VI)	21.4 (VI)	20.1 (VI)	21.2 (VI)	20.0 (VI)	19.8 (VI)
1957	20.0 (VI)	19.8 (VIII)	20.6 (VIII)	(?)	21.4 (VIII)	22.2 (VI)
1958	21.4 (VII)	20.0 (VII)	19.1 (VIII)	19.6 (VII)	19.4 (VII)	21.4 (VIII)

значительно выше по сравнению с другими годами. Колебания температур поверхности воды в отдельные годы составляли в августе 6—7°.

В сентябре и октябре температуры поверхностного слоя, как уже говорилось, изменяются плавно. В эти месяцы наиболее высокими были температуры 1955 г., несколько ниже — в 1954 г. От максимальных значений в начале сентября до минимальных в конце октября резко падает температура и в 1957 г., в 1958 г. минимальная величина была сходной с 1956 г. Разности температур в эти месяцы по отдельным годам составляют 3—6°.

Максимумы температуры поверхностного слоя в большинстве случаев на 1—3° превышают максимальные придонные температуры (табл. 18 и 19). В отдельных случаях эта разность достигает 5° (1955 г., станция 1). Но были и случаи, когда замеренная максимальная придонная температура совпадала с максимальной поверхностной или была даже на 0.1° выше ее. Это указывает, что максимум температуры поверхностного слоя прошел между съемками и в этом году не был замерен (1954 г., станции 6 и 7).

Разности максимальных значений температуры по станциям за 5 лет составили: на станции 1 — 4.5°, 2 — 3.2, 7 — 2.0, 9 — 1.6, 6 — 2.0 и 5 — 2.8°. Как видно из этих данных, только на Воляском плёсе были существенные различия в максимальных температурах. Что же касается Главного плёса, то величина максимума по годам изменяется в очень узких пределах. Однако эта особенность не может затушевывать значение большого различия в ходе температуры в течение безледоставных периодов разных лет, о чем говорилось выше.

Приведенные данные могут быть резюмированы в виде следующих режимных характеристик.

В разные годы безледоставные периоды резко различаются по температурному режиму. Особенно велики различия температуры воды в летние сезоны.

Во время быстрого подъема температуры независимо от времени его наступления скорость нагревания воды в прибрежной зоне в разные годы по среднедекадным данным примерно одинакова. Суточное нарастание температуры поверхности воды по тем же данным за теплые периоды составляло 0.6—0.7°, а с учетом возврата холодов всего 0.4°.

Осенью, особенно в сентябре, падение температуры воды имеет плавный ход. В среднем осенью падение температуры за сутки составляло 0.2°, а в отдельные периоды по декадным данным 0.5°.

На протяжении всего безледоставного периода месячные средние многолетние максимальные температуры поверхности воды в разных частях прибрежий Главного плёса примерно одинаковы, а минимальные существенно различаются. Высокими минимальные среднесесячные температуры в течение всего безледоставного периода были у Коприна, а низкими у Мяксы. Разность минимальных среднесесячных температур воды по данным этих постов до июля составляла 2.5°, а с июля — 4°.

По данным стандартных съемок глубоководных частей водохранилища наиболее теплыми воды были в 1954 и 1957 гг., а наиболее холодными в 1956 и 1958 гг. В отдельные месяцы в отношении прогремости положение может существенно изменяться, как например в 1957 г. в июле вода по сравнению с другими годами имела самую низкую температуру.

В самый теплый июль (1954 г.) средняя температура по станциям Главного плёса составляла 21.1°, а в самый холодный июль (1957 г.) — всего 14.1°.

Амплитуда месячных придонных температур в безледоставные периоды в разные годы была 3—5° и только в июне всего 1—2°.

По сравнению с малыми озерами, в которых перемешивание происходит на меньшую глубину, температура придонных слоев Рыбинского водохранилища летом выше на 5—10 и даже 15°.

Максимальные придонные температуры в большинстве лет наступают в Главном плёсе в июле и реже в августе.

Максимальные температуры в поверхностном горизонте наступают в том же месяце, как и в придонном, или на месяц раньше и они на 1—3 и реже на 5° выше придонных.

В первую половину безледостояного периода наиболее прогретой была поверхность водохранилища в 1954 г., а во вторую в 1955 г., в июне максимальная температура была в 1956 г. Наиболее низкие температуры поверхностного горизонта наблюдались в 1956 и 1958 гг., за исключением июля 1957 г., когда они были минимальными.

Месячные амплитуды поверхностных температур несколько больше, чем придонных (3—6, 5—7°), даже в июне они составляли 5—6°.

Амплитуды поверхностных температур и их величины уменьшаются по направлению от речных плёсов к центру водохранилища.

Распределение температуры воды по акватории водохранилища

Самые ранние изменения температуры открытых частей водохранилища проведены Институтом 24 апреля 1959 г. через два дня после очищения ото льда русловой части Волжского плёса в районе Коприна. Работы проводились с экспедиционного судна, оборудованного дистанционной метеорологической станцией. Измерения продолжались и в период очищения Главного плёса ото льда.

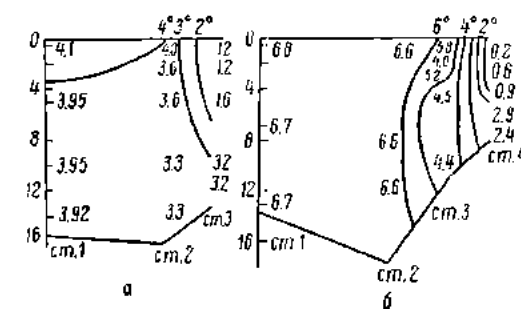


Рис. 13. Гидрометрические разрезы. Волжский плёс.

Ст. 1 — Коприно; ст. 2 — о. Шуморовский; ст. 3 — выше Дехово; ст. 4 — устье бывш. г. Молога. а — 24 апреля 1959 г.; б — 29 апреля 1958 г.

В эти дни происходило постепенное повышение среднесуточной температуры воздуха от 0.5 до 13.4°. В ночные часы температура не опускалась ниже -0.8° (25 апреля), в дневные достигала 18.9° (30 апреля).

Максимальные сбросы Угличской ГЭС прошли до начала работ — с 14 по 17 апреля. С 24 по 30 апреля среднесуточные сбросы уменьшались от 2400 до 940 м³/сек., а в первой декаде мая колебались от 460 до 640 м³/сек. Режим пусков Рыбинской ГЭС во время исследований был сравнительно постоянным — расходы изменялись в пределах 350—700 м³/сек.

24 апреля на левобережном пойменном участке Волжского плёса ледяные поля шириной до 500 м занимали все пространство от Суток до ж.-д. моста. Ниже Суток по урезу воды небольшими скоплениями стоял битый лед. На правом берегу от Коприна и выше льда не было. От о. Копринского у обоих берегов начинались полосы неподвижного льда. Ширина их увеличивалась по направлению к водохранилищу, и у о-вов Трысье и Шуморовского свободная ото льда русловая часть не превышала 500—700 м. В 1.5—2 км к северо-востоку от о. Шуморовского кромки льда правого и левого берегов соединились, образуя перемычку из битого льда. За ней находилось большое разводье. Небольшая промоина была у бывш. г. Молога. На остальной видимой части водохранилища стоял прочный лед. В этот день температура воздуха на Волжском

плёсе у Борка равнялась 4° , у о. Шуморовского 3.2° , у ледовой кромки 1.6° .

На участке между Коприным и о. Шуморовским располагалась водная масса с температурой $3.3-4^{\circ}$ и только в поверхностном горизонте несколько выше 4° (рис. 18). У кромки льда в верхней половине толщи воды температура снижалась до $1.2-1.6^{\circ}$ и оставалась без изменений в придонном горизонте. В данном случае более низкая температура в верхней половине водной толщи обусловлена охлаждением прогретых волжских вод за счет таяния льда.

27 апреля при съемке участка от Коприна до Мышкина температура воды на глубине 1.2 м почти на всем протяжении была 5.7° . На вертикали у Мышкина с глубиной она уменьшалась от 5.8 до 5.6° при скорости течения 0.3 м/сек. у поверхности и 0.2 м/сек. у дна (12 м).

29 апреля был обследован участок водохранилища от Коприна до плотины у Перебора. Полосы льда по обоим берегам начинались лишь на траверзе островов Трясье, а соединялись они против д. Дуброва. Количество битого льда по сравнению с 24 апреля увеличилось, появились многочисленные полыньи. В районе Федорицкого маяка находилось большое разводье. На видимой части водохранилища ледостав: лед белый, выдерживающий человека. Вблизи Перебора был взломанный лед с разводьями.

Температура воздуха над свободной ото льда частью плёса была $9-9.5^{\circ}$, среди льдов $5-5.5^{\circ}$, вблизи Перебора она повышалась до 11° .

Температура воды на глубине 1.2 м от Коприна до кромки льда равномерно падала от 6.8 до 6° . От кромки льда на повороте судового хода к Переборам температура понижалась от 5.5 до 2.9° . Далее в районе бывшего русла Волги вблизи Перебора температура колебалась в пределах $0.6-0.9^{\circ}$. Измерения на вертикалях у о. Копринского и у Федорицкого маяка показали гомотермию в первом случае при температуре 6.1° , и во втором — при $3.7-4^{\circ}$.

За пять дней, с 24 по 29 апреля, температура воды поднялась в глубоких частях волжского плёса с $3-4$ до 6° , у кромки льдов с 3 до 5.5° и среди льдов с 1.2 до $3-4^{\circ}$. Характерно, что в течение всего этого периода изотермы располагались почти вертикально (рис. 18, а, б).

По данным береговых постов Гидрометеослужбы освобождение ото льда разных частей Главного плёса в 1959 г. произошло в следующие сроки: у Брейтово — 29 апреля, у Б. Лук — 1 мая, у Перебора — 2 мая, у Рожнова — 4 мая и у Мяксы — 6 мая.

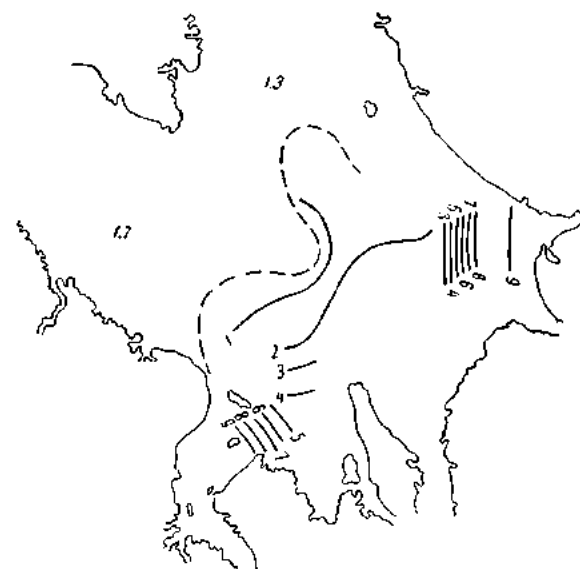


Рис. 19. Расположение кромки льда и изотерм (по средним для вертикалей температурам) в Главном плёсе 5—6 мая 1959 г.

Пунктирная линия — кромка льда; сплошная линия — изотермы; цифры — температура воды ($^{\circ}\text{C}$).

Ледовая разведка, проведенная Институтом биологии водохранилищ 5 мая, показала, что лед сохранился в районе Центрального мыса вплоть до Наволока, в центре Шекснинской губы между Средним Двором и Гаютиным и был прижат к берегу около Брейтово (рис. 19). По данным поста Брейтово лед сюда пришел 1 мая с юга и держался до 5 мая. По данным повторной съемки 7 мая лед в основном оставался в районе Центрального мыса. При обследовании Главного плёса 12 мая льда не было обнаружено. Весной 1959 г. наиболее долго лед держался в районе Центрального мыса, в Шекснинской губе и между Брейтово и Центральным мысом в Моложской губе.

В зависимости от направления, продолжительности и силы ветров в период ледохода льды могут скопляться и в других частях Главного плёса, что должно в некоторой мере влиять на распределение холодных масс в водохранилище.

Температура воды в Воляском плёсе 5 мая достигла $9-10^{\circ}$. В пределах Воляской губы температура падала от 9 до 2° (рис. 19).

В дальнейшем зоны с большими горизонтальными температурными градиентами будем называть зонами температурного перепада. Эти зоны, хорошо выраженные в начале мая (рис. 19), являются зонами смещения теплых речных вод с ранее поступившими холодными водами первой половины половодья и водами водохранилищ, охлаждаемыми в период таяния льда, а в некоторых районах еще зимой.

С таким же температурным интервалом вторая зона температурного перепада была обнаружена в Ухро-Согожской губе. Центральная часть Главного плёса была заполнена водами с температурой $0.6-2^{\circ}$. В Шекснинской губе даже среди льдов вода была теплее, чем у кромки льда в центре водохранилища. На температуре воды Шекснинской губы, вероятно, сказались зимнее нагревание, а может быть, и влияние более теплых паводковых вод Шексны. В Моложскую губу 5 мая экспедиция мешал пройти лед, кромка которого располагалась по линии Леонтьевское—Наволоки. 7 мая по линии Брейтово—Центральный мыс уже льда не было. Температура воды на станции 9 была 1.7° , следовательно, зона температурного перепада между водами водохранилища и моложскими водами еще не продвинулась в этот район. Ввиду того что измерение температуры в этой точке произведено на 2 дня позже, чем на ближайших к ней станциях, ее значение не использовано для построения изотерм (рис. 19).

В это время на большинстве станций наблюдалась гомотермия, на станции 6 среди льдов сохранилась зимняя обратная стратификация с разностью температур около 1° . Отчетливо выраженная прямая стратификация наблюдалась в Ухро-Согожской губе с разностью температур в 3.6° , в Воляском плёсе у о. Шуморовского в 5° и у Коприпа в 3° . Таким образом, в один и тот же день в водохранилище отмечены все типы температурного расслоения воды.

Столь же резко выраженная зона горизонтального температурного градиента, но при более низких значениях температуры была обнаружена съемкой весной 1958 г., когда вскрылись только Воляский плёс и частично Воляская губа Главного плёса (рис. 18, б). В это время между станциями у Коприпа и у о. Шуморовского находилась однородная по температуре водная масса ($6.6-7.1^{\circ}$), на участке между о. Шуморовским и бывш. г. Мологой, вблизи которого располагалась кромка льда, на протяжении 8 км температура воды падала до 0.2° на поверхности и 2.9° на глубине 3 м. Разность средних по вертикалям температур составляла на этом участке около 6° с градиентом почти в 1° на 1 км. Обратную температурную стратификацию воды у кромки льдов нельзя объяснить сохранением стратификации, свойственной малопроточным

участкам водохранилища, так как зимой на всем протяжении потока волжских вод до разреза мыс Рожновский—Наволоок температура воды держится около 0.1° .

Через семь дней после начала первого рейса 1959 г. была проведена IV синхронная съемка, материалы которой позволяют проследить ход прогревания водохранилища в весенний период (рис. 20).

Наиболее теплые воды ($10-11.5^{\circ}$) 12 мая 1959 г. были в Волжском плёсе, причем температура их не переходила указанных пределов на пространстве всего обследованного участка, на поперечных разрезах и на вертикалях независимо от их глубины, что указывает на однородность водной массы до о. Шуморовского. За семь дней температура воды в Волжском плёсе поднялась на 2° . Зона температурного перепада продолжала оставаться в пределах Волжской губы, только значение температуры воды изменилось с $2-9^{\circ}$ 5 мая на $6-10^{\circ}$ 12 мая. В этот день в Волжской губе резкое падение температуры наблюдалось в придонных горизонтах (до 4°) и менее резкое в поверхностных (до 8°). Образование слоя температурного скачка на глубине примерно 5 м можно объяснить растеканием теплых волжских вод по холодным водам. Влияние первых прослеживалось у бывш. г. Мологи на вертикали № 2 и в пункте, расположенном на 10 км к северу от него, — вертикали № 6 (рис. 21).

Явно под влиянием волжских вод находился и предплосовый участок в бывшем русле Волги. Здесь температура на вертикали № 24 (рис. 21) изменялась от 9.7 до 6.6° . Волжские воды проникли и в Сбросной плёс, где верхний двенадцатиметровый слой имел температуру $7-8^{\circ}$. По-видимому, волжские воды частично смешались с водами нижележащих слоев, так как температура здесь на вертикали № 25 была $6-7^{\circ}$. Эти данные позволяют предполагать, что воды р. Волги уже в середине мая поступают в предплосовый участок и Сбросной плёс.

В это время центральная часть, Шекснинская и Моложская губы были заполнены холодными водами с температурой от 3 до 4.5° (вертикали №№ 8, 10, 13, 17, 18, 20). Холодные водные массы, располагаясь на бывшем водоразделе, естественно стремились распространиться в более глубокие места и вытеснить оттуда более теплые воды притоков, поступившие сюда в период пика паводка. Этот процесс был освещен выше при рассмотрении материалов IV синхронной съемки. Здесь только отметим, что аналогичное явление, но выраженное несколько слабее, было обнаружено

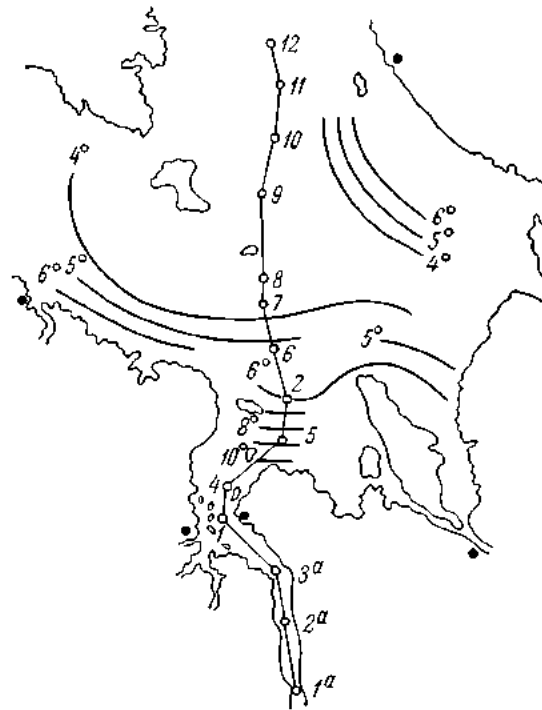


Рис. 20. Термокартограмма Главного плёса с 12—14 мая 1959 г. с положением разреза через Волжский и Главный плёсы.

Цифры при пунктах — номера станций.

между Городком и Давыном под влиянием р. Согожи (вертикаль № 19).

Термокартограмма, построенная по наблюдениям 12 мая 1959 г. (рис. 20), характеризует распределение температуры и перемещение водных масс в весенний период. Как показывают изотермы, волжские воды отжимают холодные воды водохранилища к северу и пропихивают в Сбросной плёс, придерживаясь его западной части. Воды центральной части водохранилища тоже поступают в Сбросной плёс преимущественно вдоль его восточного берега. Если Волжская губа является основной ареной трансформации волжских вод, то Сбросной плёс весной является второй зоной смешения теплых волжских и холодных вод центральной части. Распределение тех или иных вод по водохранилищу и поступле-

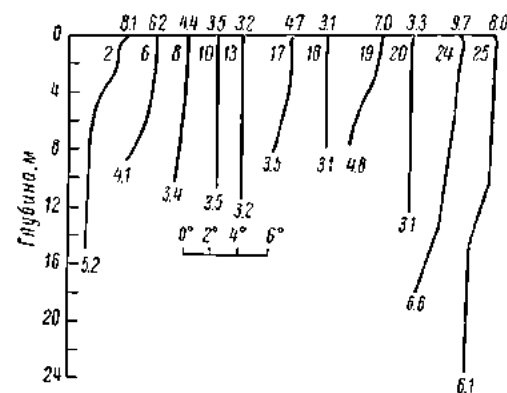


Рис. 21. Температура воды на вертикалях 12 мая 1959 г.

Цифры над и под линиями — поверхностные и придонные температуры воды; между линиями — номера станций.

масс в Волжской губе и отклонение изотерм в поверхностных слоях направо, что говорит о распространении теплых волжских вод в этом горизонте к центру водохранилища. В зоне температурного перепада на протяжении всего 15 км температура уменьшалась с 10 до 5°, оставаясь почти без изменения на просторах центральной части, где были сосредоточены холодные воды.

Поступление в водохранилище в начале паводка большого объема вод с температурой, близкой к 0°, должно вызвать понижение температуры повсеместно в мелководной зоне, уже прогретой в начале весны, и в тех частях Главного плёса, где в конце зимнего периода температура была выше 0° как за счет прогревания от дна, так и солнечной радиации, проникающей сквозь лед.

Об объемах воды с низкой температурой, заполняющих водохранилище в начале половодья, можно получить представление по материалах двух весенних периодов 1954 и 1959 гг. В 1954 г. весна была наиболее затяжной, а сток наименьшим для периода 1954—1959 гг. В момент максимального заполнения объем водохранилища составлял всего 19.5 км³. В 1959 г. наполнение происходило наиболее быстро по сравнению с другими годами того же периода и максимальный объем был доведен до 27.5 км³. По сбросным расходам Угличской ГЭС и температурным измерениям станции Коприно из Волжского плёса в Волжскую губу в 1954 г. поступило воды с температурой 0—1° — 0.71 км³ или 38% сбросов паводковых вод через Угличскую ГЭС, а вод с температурой от 0 до 2° — 1.05 км³

ние их в Сбросной плёс осложняется воздействием ветра. При сильных западных и северных ветрах в Сбросной плёс поступают холодные воды из центральной части. При южных и, возможно, восточных ветрах в Сбросной плёс преимущественно поступают волжские воды.

Воды центральной части за неделю прогрелись примерно на 3°. В прибрежных зонах температура достигала 10—12°.

Распределение температуры во всей толще воды на разрезе Волжский плёс—Волжская губа—центральная часть—Шекснинская губа 12 мая показано на рис. 22, на котором ясно видна зона стыка двух водных

или 56%. В 1959 г. соответственно 2.93 км^3 — 69% и 3.18 км^3 — 75%. Следовательно, весной 1954 г. более 50%, а весной 1959 г. более 75% от стока Волги в период наполнения Рыбинского водохранилища составляли воды с температурой ниже 2° (табл. 20).

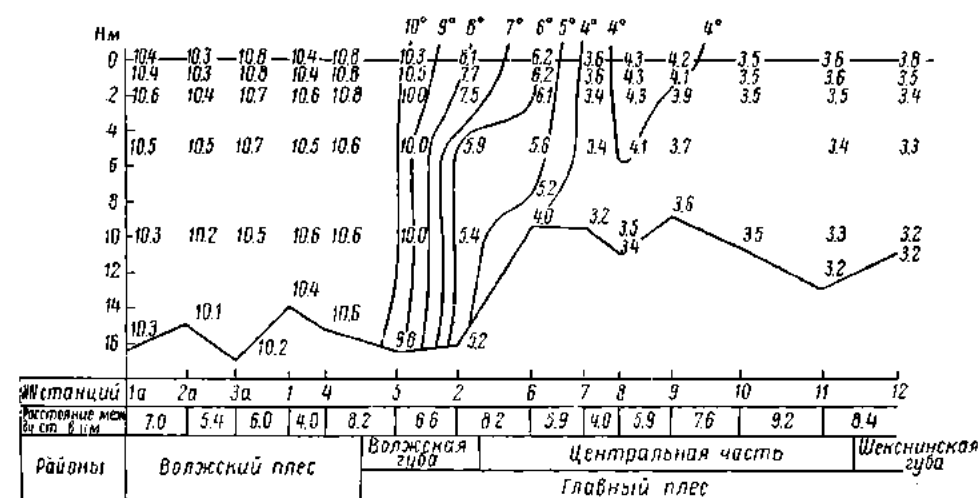


Рис. 22. Гидрометрический разрез Волжский плес (д. Городок)—Волжская губа—центральная часть—Шекснинская губа (район станции 6) 12 мая 1959 г.

Соотношение объемов вод разной температуры в паводочном стоке Мологи и Шексны примерно такое же, как и у Волги.

Распределение весной вод притоков в озерах и водохранилищах сложно и мало изучено. В настоящее время в отношении Рыбинского во-

Таблица 20

Объем паводочного стока р. Волги с разной температурой
(сток—сбросы Угличской ГЭС, температура по данным
станции Коприно)

Год	Температура воды, °С	Периоды	Сток	
			км³	%
1954	0—1	1—20 IV	0.71	38.0
	1—2	21—30 IV	0.34	18.2
	2—4	1—3 V	0.04	2.1
	4—6	4—5 V	0.17	9.1
	6—8	6—10 V	0.61	32.6
Всего			1.87	100
1959	0—1	9—20 IV	2.93	69.2
	1—2	21—22 IV	0.26	6.2
	2—4	23—26 IV	0.04	1.1
	4—6	27—28 IV	0.21	5.0
	6—8	29 IV—1 V	0.19	4.5
Всего			4.23	100

водохранилища на основании температурных данных и других гидрологических материалов можно высказать следующие предположения.

Большие скорости течения в период паводка, глубокая врезанность речных русел в чашу водохранилища и большие объемы паводков приводят к тому, что воды притоков, вливаясь мощными потоками в водохранилище, отжимают воды водохранилища к центральным районам, частично перемещиваясь с ними в зоне стыка, где создаются зоны температурных перепадов. Судя по температурным данным, паводочные воды задерживаются в губах, где и происходит отложение взвесей, приносимых ими.

Зоны температурных перепадов формируются после быстрого нарастания температуры воды в реках, начавшегося при затяжной весне 1954 г. через 10 дней, считая со дня увеличения стока. Как в затяжную весну, так и в дружную температура воды от 2 до 8° поднялась за периоды равной продолжительности (в 1954 г. за 10 дней, в 1959 за 9 дней).

Во второй половине паводка уменьшаются расходы и скорости течений, а следовательно, и перемешивание. Благодаря быстрому нарастанию температуры воды притоков происходит уменьшение плотности воды. В этих условиях воды притоков могут распространяться в поверхностных слоях водохранилища.

Температурный режим в речных частях водохранилища весной, в свою очередь, определяется метеорологическими условиями, толщиной льда, а также уровнем предпаводочной сработки и скоростью накопления воды в водохранилище. От двух последних факторов зависит степень нарушения целостности ледяного покрова, ширина закраины и скорость течения (Шуляковский, 1954).

Имея в виду, что наибольшей сложностью отличается распределение температуры по водохранилищу в весенний сезон, рассмотрим еще температурные материалы, собранные при съемке распределения донной фауны между 17 и 30 мая 1955 г. Измерение температуры воды при этой съемке произведено на 97 вертикалях (на 2—5 горизонтах в зависимости от разности температуры по глубине).

Благодаря тому что в начале и в конце упомянутой биологической съемки были проведены стандартные температурные съемки, представилась возможность выявить изменения в температуре воды, связанные с прогреванием водоема за период съемки. Несмотря на длительность этой съемки в течение ее не могло произойти большого прогревания воды, так как она захватила в основном период похолодания. Температура воздуха по многократным наблюдениям на катере в светлую часть суток изменялась следующим образом:

Числа	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Температура воздуха, °С	15.9	—	10.0	14.0	9.8	9.0	11.0	7.8	6.4	8.0	6.6	9.5	9.5

Возврат холодов оказал разное влияние на температуру воды в зависимости от ее значений (табл. 21). В краевых плёсах — Воляжском (станция 1) и Согожском (станция 4) — в начале рейса температура воды была выше 11°, к концу наблюдений температура на поверхности понизилась на 0.2—0.9°. В Моложской губе в поверхностном слое температура 8.6° не изменилась. На других станциях в Главном плёсе, где температура на поверхности при первых наблюдениях держалась в пределах 3.7—5.8°, в конце рейса оказалась выше на 2.2—5.7°.

Температура придонного слоя только на станции 4 понизилась на 0.6°, что связано с охлаждением всей водной толщи под влиянием речных

вод. На всех остальных станциях придонная температура поднялась на $2.9-5.2^{\circ}$.

В результате наступившего похолодания произошло выравнивание температуры воды; если при I съемке амплитуда средних температур на вертикалях по акватории водохранилища составляла 7.8° , то при II съемке — только 4° . Следует отметить, что в районе Рыбинского водохранилища весной возвраты холодов наблюдаются обычно и, судя по приведенным данным, должны оказывать заметное влияние на ход весеннего прогревания водоема и распределение температуры по акватории.

Эти данные показывают различие температурных условий в разных частях водохранилища в течение одного и того же периода, обнаруженное еще при проведении I синхронной съемки (Рутковский, 1958).

В рассмотренном случае диапазон изменения температуры за время съемки составил 6.3° (подъем температуры на станции 2 на 5.5° и падение ее на станции 4 на 0.8°). Таким образом, малые изменения за одни сутки как средних по вертикалям, так и поверхностных температур при циклональной погоде в сумме за длительный период дают существенные изменения температуры, причем эти изменения могут иметь даже разную направленность в разных частях водохранилища.

Полученные при съемке 17—30 мая 1955 г. материалы позволили построить схему распределения средних значений температур вертикалей по акватории всего водохранилища на 17—19 мая, исходя из следующих положений.

1. В связи с похолоданием воздуха температура воды в Волжском и Согожском (речном) плёсах за весь период наблюдений изменялась в пределах 1° (станции 1, 4). Так как температура воды в этих плёсах была близка по своим значениям к температуре воды в Моложском и Шекснинском плёсах и к температуре воздуха в эти дни, то в измерениях в указанных плёсах величины температуры воды поправки не вносились.

2. В пределах Главного плёса температура воды за время наблюдений на станциях стандартных съемок повысилась на величины, указанные в табл. 24.

Для внесения поправок в температурные данные Главного плёса были вычислены среднесуточные изменения температуры воды на станциях стандартных биологических съемок и затем нанесены на схему водохранилища. Среднесуточные изменения температуры воды на вертикалях, расположенных между станциями стандартных съемок, вычислялись с учетом расстояния между вертикалями и станциями. Величина поправок получалась как произведение величин среднесуточных изменений температуры и числа дней между 17 мая и днем измерения температуры. Полученная поправка вычиталась из значения средних температур вертикалей. По непрямым величинам последних построена схема изотерм (рис. 23).

17—19 мая 1955 г. по бывшей долине Шексны в пределах Главного и Сбросного плёсов располагались водные массы с температурой $2-3^{\circ}$ (ледоход в этом году наблюдался у мыса Рояновского 9 мая, а у Волкова 11 мая). Вся остальная центральная часть Главного плёса, за исключением мелководий, была заполнена водами с температурой $3-4^{\circ}$. На всех мелководьях во всех губах Главного плёса температура изменялась в широких пределах: в Волжской и Шекснинской губах от 4 до 10° , в Моложской губе от 4 до 13° . Температура колебалась в плёсах: Волжском от 4 до 10° , в Шекснинском от 10 до 13° и в Моложском от 12 до 14° (рис. 23).

Итак, 17—19 мая центральная часть Главного плёса была наполнена холодными водами. В губах Главного плёса происходило смещение водных масс и наблюдались зоны температурного перепада, причем градиенты

Таблица 21

Изменение температуры воды на станциях в мае 1955 г. в период возврата холода

№ станции	Дата	Время	Температура, °C			Продолжительность периода, (в днях)	Изменение температуры, °C		
			поверхностная	придонная	средняя по вертикали		поверхностной	придонной	средней
1	17	7 ч. 30 м.	11.40 ⁵	7.20	10.5	11	-0.2	+3.68	+0.5
	28	17 ч. 45 м.	11.20	10.88	11.0				
2	17	10 ч. 55 м.	4.10	3.77	3.9	11	+5.74	+5.17	+5.5
	28	19 ч. 55 м.	9.84	8.94	9.4				
10	17	16 ч. 40 м.	5.70	5.40	5.6	12	+4.0	+3.27	+3.6
	29	8 ч. 30 м.	9.70	8.67	9.2				
9	17	18 ч. 25 м.	8.60	4.81	6.8	12	-0.04	+3.57	+1.7
	29	9 ч. 45 м.	8.56	8.38	8.5				
7	18	21 ч. 00 м.	3.70	3.75	3.7	11	+3.7	+2.93	+3.3
	29	11 ч. 50 м.	7.40	6.58	7.0				
4	19	7 ч. 35 м.	11.80	11.18	11.5	11	-0.9	-0.63	-0.8
	30	7 ч. 30 м.	10.90	10.55	10.7				
5	19	10 ч. 05 м.	4.50	3.47	3.9	10	+4.48	+3.96	+4.3
	29	16 ч. 15 м.	8.98	7.43	8.2				
45	22	10 ч. 40 м.	5.80	4.50	5.2	7	+2.17	+2.24	+2.2
	29	14 ч. 20 м.	7.97	6.74	7.4				

температуры возрастали с уменьшением размеров губ: наименьший градиент наблюдался в Шекснинской губе, наибольший — в Согожской. Резко выраженная зона температурного перепада была и в Воляжской губе.

Величина температурных градиентов различно изменяется в пределах речных плёсов и губ водохранилища. В пределах Воляжского плёса температура воды не изменялась. В районе перехода плёса в Воляжскую губу в связи с резким расширением водоема образовался и очень резкий температурный перепад. Такие же явления наблюдались на границе между губами малых притоков и большими плёсами. В Моложском плёсе от Вельегонска до пристани Сиротка температура воды не изменялась. От Сиротки по направлению к центральной части Главного плёса непрерывно возрастал температурный градиент. В Шекснинской части от Череповца до Мяксы температура воды падала только на 3° и от Мяксы до линии, соединяющей Центральный мыс—Бабино, уменьшалась на 7°. Сгущение изотерм в местах расширения плёсов и губ объясняется тем, что в этих условиях уменьшаются скорости течения теплых вод и увеличивается масса холодной воды, благодаря чему сменяющиеся с ними прогретые воды речных плёсов быстрее охлаждаются.

Расположение изотерм минимальных значений температуры по наблюдениям в мае 1955 г. позволяет говорить о течении вдоль затопленного русла Шексны в сторону Рыбинской ГЭС (рис. 23).

Изотермы средних и максимальных значений температуры воды выгнуты в сторону притоков, что является следствием способа обработки данных: изотермы на карту нанесены по средним температурам для вертикалей; чем глубже вертикаль, тем ниже средняя температура воды. Поэтому естественно наиболее низкие температуры оказались в руслах.

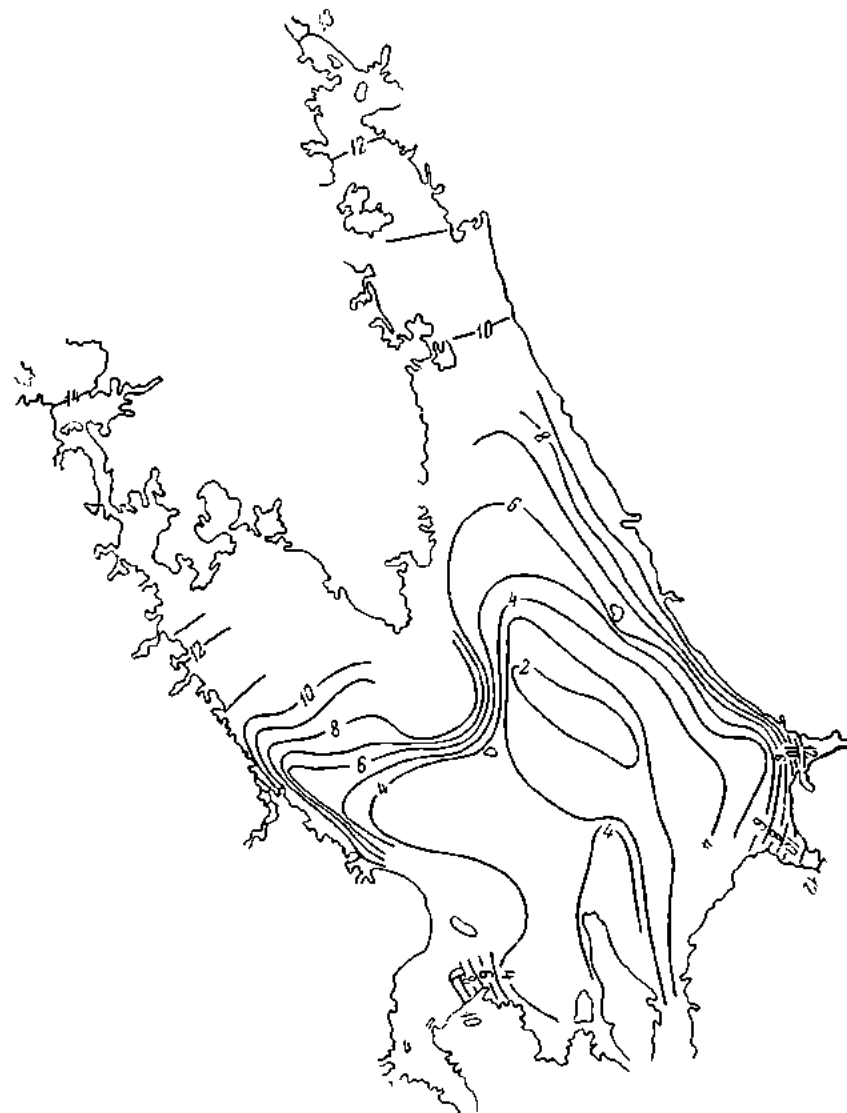


Рис. 23. Термокартограмма Рыбинского водохранилища на 17—19 мая 1955 г. по данным съемки 17—30 мая 1955 г.

рек. Они и «утянули» изотермы вверх по речным руслам, что особенно заметно в Моложской губе, в которой бывшее русло Мологи прижато к юго-западному берегу водохранилища.

Самая высокая температура воды была замерена в плёсе р. Сить и в Восьегонском расширении Моложского плёса. Высокая температура вод в Моложской губе, по-видимому, объясняется проникновением моложских вод с температурой 4° к границе центральной части Главного плёса, в то время как волжские воды с той же температурой только выпли из Волжского плёса.

По наблюдениям 12 мая 1959 г. (рис. 20) при несколько большой прогреваемости водохранилища изотерма 4° тоже указывает на существование течения в сторону Сброного плёса из центральной части, но в этом случае оно отжималось к восточному берегу более теплыми волжскими водами. Таким образом, существование водных масс с разными темпера-

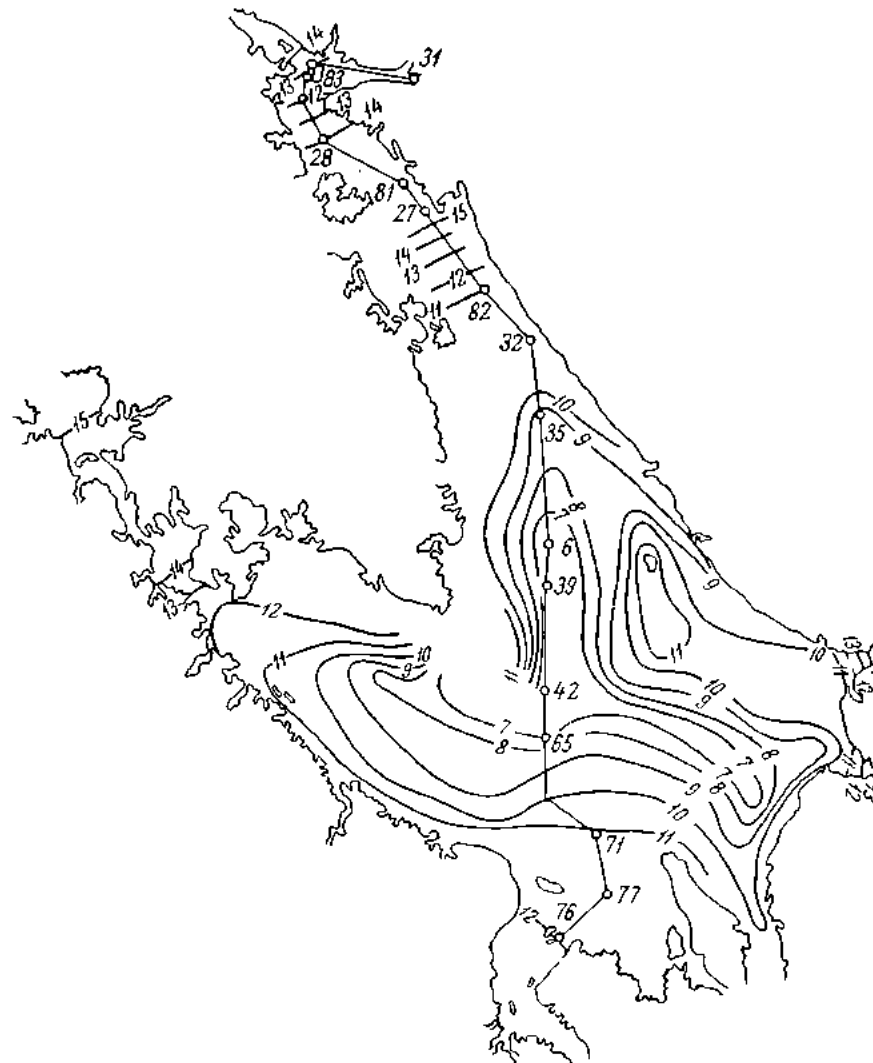


Рис. 24. Термокартограмма Рыбинского водохранилища на 27 мая 1958 г. по данным съемки 27 мая—6 июня 1958 г.

Цифры при кружках — номера станций.

турами позволяет наметить два потока: один, идущий из Волжского плёса и с севера огибающий мыс Рожновский, а другой, движущийся приблизительно с севера на юг по бывшему руслу Шексны.

О характере распределения средних на вертикалях температур по акватории водохранилища в более поздний период (27 мая 1958 г.) можно судить по карте изотерм, составленной по наблюдениям с 27 мая по 6 июня (рис. 24). За этот период была измерена температура на 81 вертикалях, более или менее равномерно распределенных по поверхности водохрани-

лища. В связи с тем что температурная съемка продолжалась 11 дней, пришлось вводить поправку на прогревание воды за этот период. Последняя сделана с учетом изменения температуры воды в Волжском плёсе за период наблюдений (температура повысилась на 2.7°), облачности и температуры воздуха. Повышение температуры воды только на 3° за 11 дней объясняется тем, что в этот период были дни с очень низкой температурой воздуха (около 9°) и значительной облачностью (табл. 22).

Внесение поправок в данные съемки по измерениям температуры воды в одном плёсе может вызвать вполне обоснованные возражения. Поэтому распределение изотерм по акватории водохранилища на 27 мая 1958 г. нужно рассматривать как схему. Бесспорным является расположение изотерм на профиле о. Шуморовский—центральной части, Шекшинская губа—Шекшинский плёс, так как температурная съемка на этом участке проведена в течение двух суток. Также не вызывают возражений температуры центральной части и в Ухро-Согожской губе, поскольку съемка этого участка проведена за 4 дня и поправки за это время составили в сумме всего 0.5° .

Наиболее холодные водные массы 27 мая 1958 г. (рис. 24) располагались в основном в шекшинской части водохранилища и только в районе Центрального мыса заходили узким языком в Моложскую губу. Такое распределение вод с разной температурой объясняется значительно большим притоком воды в моложско-вожжескую часть водохранилища, чем в шекшинскую, благодаря чему «зимние» воды из первой вытесняются во вторую. Этому процессу способствует и меньший объем моложско-вожжеской части по сравнению с шекшинской. Вывод, сделанный на основании температурных данных, полностью подтверждается результатами исследований электропроводности вод водохранилища, выполненных в июне 1959 г. (Казаровец, 1960). Оказалось, что в моложо-вожжеской части электропроводность значительно меньше, чем в шекшинской, причем граница между этими водами проходит примерно по линии Центральный

Таблица 22

Принесение температуры воды и 27 мая в зависимости от температуры воздуха и облачности по многократным наблюдениям в светлую часть суток

	Май						Июнь					
	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	
Облачность	Ясно	5	6	6	4	Ясно	2	10	7	7	9	
Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	21	19	23	16	9	17	16	14	16	15	9	
Поправка на день, $^{\circ}\text{C}$	-0.5	-0.25	-0.25	-0.25	-	-0.50	-0.50	-	-0.25	-0.25	-	
Поправка для приведения к 27 V, $^{\circ}\text{C}$	-	-0.5	-0.75	-1.0	-1.25	-1.25	-1.75	-2.25	-2.25	-2.50	-2.75	

Примечание. Поправка на 0.5° на 1 день внеслась при малой облачности и высокой температуре воздуха, 0.25° — при средней облачности ($5-7$ баллов) и не внеслась при низкой температуре воздуха (9°) и при сильной облачности.

следующем шестикиллометровом участке до станции 71 существенных изменений в распределении температуры не было. На отрезке между станциями 71—65 профиль пересек границу самых холодных вод. Здесь на глубине 5 м вода была холоднее на 6° , чем у о. Шуморовского. Резкое потепление вод наблюдалось между станциями 6 и 32, 82 и 27 и 28 и 83 в Шекснинской губе и в Шекснинском плёсе. Между указанными станциями происходило пропихивание холодных вод под теплые. В пользу этого предположения говорят данные суточных станций 12—14 мая 1959 г., согласно которым в краевых плёсах наблюдалось понижение температуры в нижних горизонтах при повышении ее в верхних.

В конце мая благодаря потоку теплых вод по поверхности по направлению к центру водохранилища и прогреванию поверхностных горизонтов за счет солнечной энергии изотермы принимают почти горизонтальное положение.

Собранные в разные годы материалы позволяют констатировать, что в мае в разных частях водохранилища существуют подлые массы с различной температурой и переходные между ними зоны с большими температурными градиентами — зоны температурных перепадов.

Эти зоны располагаются на границах Главного плёса с речными плёсами Воляжским, Моложским, Шекснинским и даже плёсами малых притоков, как например р. Согожи. Зоны с температурными перепадами вытянуты и вдоль большей части береговой.

Расположение зон с температурными перепадами и их перемещение позволяет отметить, что горизонтальный перенос тепла в период наполнения Рыбинского водохранилища имеет для температурного режима большое значение. В озерах, по утверждению В. Д. Зайкова (1955), горизонтальная конвекция тепла течениями обычно пренебрежимо мала.

Интересно, что по материалам температурных съемок 1955 и 1958 гг., охватывавших всю акваторию водохранилища, оказалось, что в мае температура воды в Моложском, Шекснинском и Ухро-Согожском плёсах выше на несколько градусов температуры воды в Воляжском плёсе. Эти материалы как бы противостоят результатам весенних стандартных съемок. Это различие объясняется тем, что стандартные съемки охватывали наблюдениями только Воляжский и Главный плёсы и не распространялись на плёсы Шекснинский и Моложский, а также более мелкие.

Для выяснения распределения температуры воды по акватории Рыбинского водохранилища наибольшие затруднения представляет июнь — период наиболее интенсивного прогрева воды в условиях частых штилей и слабых ветров. В июне при штиле быстро устанавливается температурная стратификация, причем послойное распределение температуры чрезвычайно разнообразно.

Ярким примером в этом отношении могут служить результаты температурной съемки 7—13 июня 1956 г. (рис. 26).

По наблюдениям 7 июня в Воляжском плёсе и Воляжской губе, в наиболее глубоких местах средняя температура на вертикалях была около 14° . В Главном плёсе 7 и 8 июня на станциях 9, 7, 6 и 5 температура при значительных меньших глубинах была ниже, чем в Воляжском плёсе и в Воляжской губе примерно на 2° (11.4 — 12.6°), что говорит о сохранении в Главном плёсе более холодных масс воды по сравнению с речными плёсами, особенно небольшими. Температура в Согожском (речном) плёсе была 18° , т. е. на 6° выше, чем в Главном плёсе, а в русле Мологи 10.4° .

Измерениями 7—10 июня в нижних слоях на глубоких местах Главного плёса найдены холодные воды с температурой около 7° . Верхние слои в это время прогреты выше 20° . Следовательно, перемешивание воды не происходило. 10 июня при средней для вертикалей температуре в Шекснинской губе 11.7 — 11.8° на мелководьях Моложской губы

температура была $16-21^{\circ}$, а в Моложском плёсе независимо от глубины (влияние стоковых течений) температура изменялась от 18.2° у Малиновки до 20.7° у Харламовского.

В Шекснинском плёсе (при ветре), так же как и в Моложском (при отсутствии ветра), не было ясно выраженной стратификации. В данном

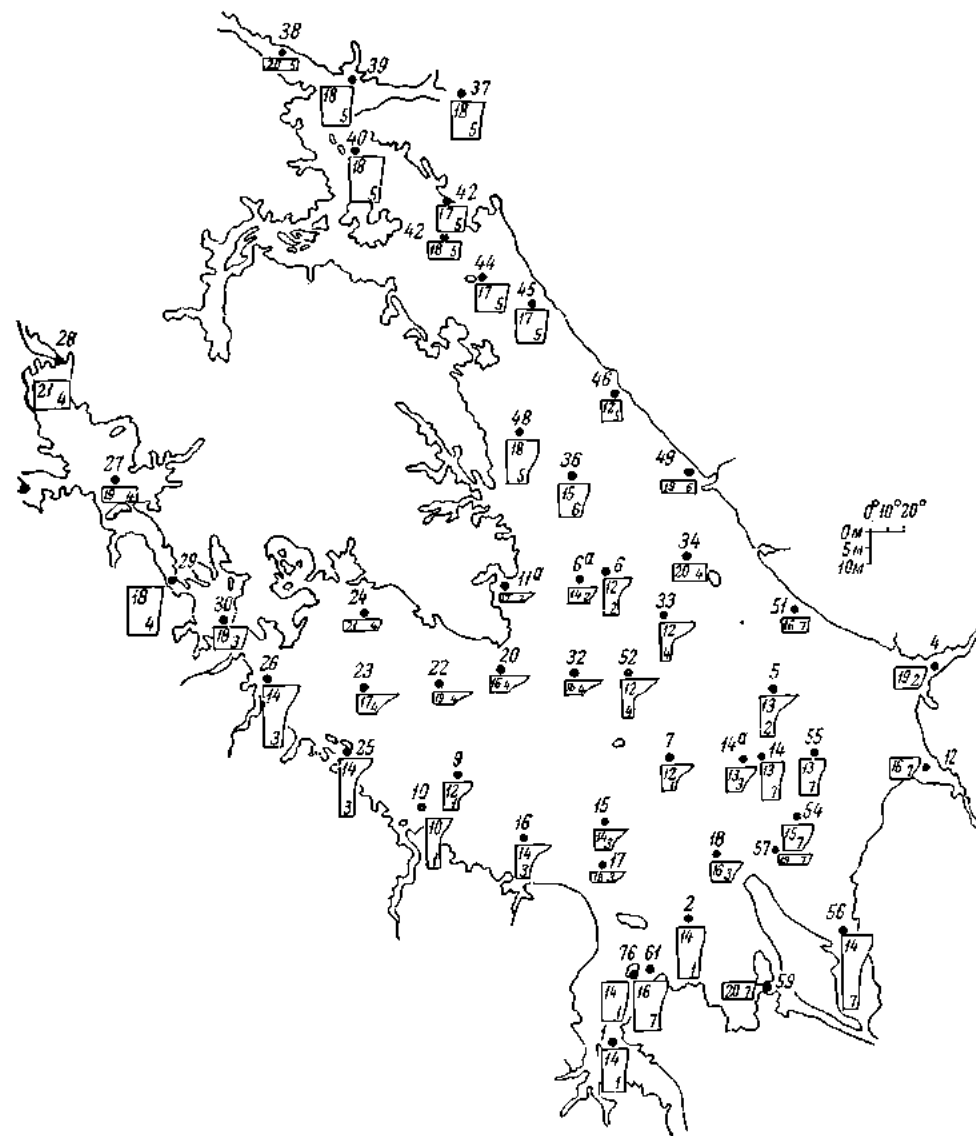


Рис. 26. Схема зон температур воды Рыбинского водохранилища 7—13 июня 1956 г.
Цифры над точками — номера станций; в верхнем левом углу — средние температуры поверхности, в нижнем — средние температуры глубины, начиная с первого.

случае гомотермии можно объяснить перемешиванием, вызванным течением, так как при съемке Моложского плёса был штиль. Температуры воды в Шекснинском плёсе была $17.1-18.2^{\circ}$ (на $1-2^{\circ}$ ниже, чем в Моложском) и только у Хвощевики — 12° .

В южной части Ухро-Согожской губы 13 июня была очень низкая температура воды — всего 13° , а у Волкова — 14° , что говорит о влиянии волжских вод, которые в районе мыса Рожновского имели температуру 15° .

Таким образом, температурная съемка в первой половине июня 1956 г. выявила следующие особенности пространственного распределения температуры.

1. Сохранение холодных вод, начиная с глубины примерно 5 м в центральной части и бывших руслах рек в пределах Главного плёса, за исключением Волжской губы.

2. Распространение наиболее холодных поверхностных вод (около 12°) в центральной части Главного плёса.

3. Разнообразие температуры в речных плёсах, наиболее холодным из которых был Волжский (14° в начале съемки и 17° в конце ее). Воды Шекснинского плёса занимали по температуре среднее положение ($17-18^{\circ}$), наиболее теплыми были воды Моложского плёса ($18-20^{\circ}$).

4. Повышение температуры на мелководье максимум до 21° .

5. Возникновение нетипичных для этого периода в Рыбинском водохранилище случаев температурной стратификации с максимальными разностями температуры у поверхности и у дна 16° .

6. Распространение потока сравнительно теплых волжских вод, обособляющихся от холодных вод водохранилища по границе, проходящей от последней излучины бывшего русла Мологи (рис. 1) к середине линии, соединяющей мыс Рожновский с Всехсвятским маяком и далее по направлению к д. Волково.

7. Сохранение зон температурных перепадов для моложских и шекснинских вод в тех же местах, где они были в мае, а для волжских вод за пределами Волжской губы.

Перечисленные выше особенности распределения температуры воды в июне по акватории водохранилища, наблюдавшиеся в 1956 г., характерны для длительного теплового периода без значительных ветров, когда вследствие разной скорости прогревания мелководий и глубоких частей водохранилища создаются большие температурные различия по поверхности и по глубинам.

Если, как было сказано, возвраты холодов весной приводят к выравниванию температуры воды в водохранилище, то жаркие и безветренные дни способствуют созданию в водохранилище зон с температурными перепадами.

Совершенно иной характер распределения температуры наблюдался после холодного пасмурного и ветреного периода 8—9 июня 1957 г. при 1 синхронной съемке. Результаты этой съемки были подробно рассмотрены выше, поэтому здесь напомним только, что разности среднесуточной температуры воды на вертикалях в центральной части Главного плёса и на границах Моложская губа—Моложский плёс, Шекснинская губа—Шекснинский плёс не превышали 1.5° и в начале наблюдений на всех станциях была почти полная гомотермия. Следовательно, уже в первой декаде июня после холодной и ветреной погоды может наступить в водохранилище выравнивание температуры по поверхности и послойно. Некоторое сходство с данными 1956 г. заключалось только в том, что наиболее холодные воды и в этом случае наблюдались в пределах Главного плёса, располагаясь в его центральной части, но разности температуры были в несколько раз меньше, чем после тихой и ясной погоды.

Температурный режим водохранилища в летний сезон охарактеризован синхронными съемками более полно, чем в весенний.

По данным синхронной съемки 28—31 июля 1958 г., по замерам на глубине 2 м различие температуры достигало максимум 2° (рис. 27). Наиболее холодные воды с температурой $19-20^{\circ}$ занимали шекснинскую

часть водохранилища вниз от Мяксы, бывшее Молого-Шекснинское междуречье и далее по линии маяк Всехсвятский—Волково. Воды с температурой $20-21^{\circ}$ распространялись на всю моложскую часть, включая и Моложский плёс, на Шекснинский плёс от Череповца до Мяксы, на большую часть Сбросного плёса и нижние участки малых плёсов. Воды наиболее

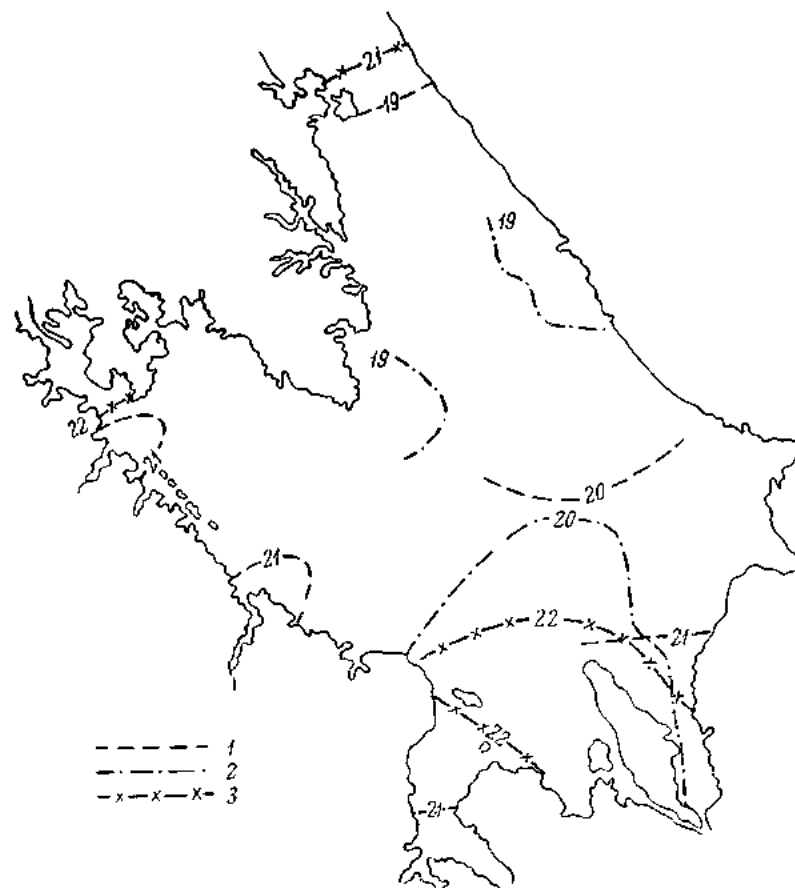


Рис. 27. Термокартограммы Рыбинского водохранилища, построенные по материалам съемок.

1 — 20—21 июля; 2 — 23 июля; 3 — 30—31 июля 1959 г.

теплее, с температурой выше 21° , занимали Воляжскую губу, Воляжский плёс, Шекснинский плёс выше Череповца и верхние участки малых плёсов. Можно сказать, что температура воды повышалась по мере удаления во все стороны от шекснинской части Главного плёса.

В 1959 г. с 10 час. 20-го по 13 час. 21 июля в период максимального прогрева перед началом синхронной съемки была проведена скоростная температурная съемка с определением температуры на поверхности и на глубине 1,5 м приблизительно через каждые 5 км и на 8 вертикалях на многих горизонтах. Всего за указанное время был пройден маршрут протяженностью около 500 км с измерением температуры в 102 пунктах. Последующие измерения показали, что различие между температурой в поверхностном слое и на глубине 2 м ничтожно. Разность температур в придонном слое независимо от глубины вертикали во всех замеренных точках составляла только 1° .

Это обстоятельство позволило использовать для выяснения распределения температуры воды по акватории водохранилища измерения в поверхностном слое. Из данных, характеризующих поверхностный слой, пришлось исключить только измерения на участке Волково—мыс Рожновский—Борок, сделанные с 10 до 13 час. 21 июля при ясном небе и высокой температуре воздуха, так как изменения температуры воды здесь были обусловлены суточным ходом. Результаты температурной съемки представлены на рис. 27.

В июле 1959 г., так же как и в июле 1958 г., изменения температуры по акватории водохранилища были очень малы — в пределах 2.4° . В целом по водохранилищу температура в июле 1959 г. была немного ниже, чем в 1958 г., это различие несущественно, так как могло быть выравнено в течение одного теплого дня.

Измерения скоростной съемки отмечают незначительное различие температуры на акватории водохранилища, которое в некоторой мере можно отнести за счет суточного хода. Действительно, наиболее высокие температуры замерены в Моложском плёсе, где наблюдения проводились в послеполуденные часы при малой облачности, и в Сбросном плёсе около 10 час. при ясном небе и штиле. Самая низкая температура была в Шекснинском плёсе в послеполуденные часы. Если внести поправку на суточный ход температуры воды, то можно допустить, что на всей акватории водохранилища вода имела температуру около 20° .

Через три суток вновь была проведена скоростная температурная съемка. Погода 22 и 23 июля была прохладнее, чем при первой скоростной съемке. В день съемки во всех частях водохранилища облачность с утра до 12—16 час. увеличивалась с 4—7 до 10 баллов. Наиболее пасмурная погода наблюдалась в Волжском плёсе. В 16 час. в районах всех суточных станций шел дождь. Минимальные температуры воздуха на всех станциях отмечены в 16 час. $15\text{--}19^{\circ}$. При пасмурной погоде в послеполуденные часы изменений температуры воды не было. Поэтому результаты съемки 23 июля могут дать не искаженное суточным ходом распределение температуры воды по части акватории, охваченной рейсом. На рис. 27 нанесены изотермы для верхнего двухметрового слоя. По сравнению с предшествующей съемкой в Волжском плёсе около Конрино появилась изотерма 21° , так как здесь температура поднялась на 0.4° . Изотерма 20° стала ограничивать значительно меньшую площадь: Волжский плёс, центральную часть Главного плёса и западную часть Сбросного плёса. Шекснинская и Моложская губы и восточная часть Главного плёса имели температуру $19\text{--}20^{\circ}$, т. е. на 1° меньше, чем при предшествующей съемке. Изотерма 19° передвинулась из района Хвощевика к югу на 30—40 км в район Бабила. Следовательно, за 3 суток произошло охлаждение вод водохранилища, кроме Волжского плёса, в указанных размерах. Эта съемка подтвердила также различия температуры в пределах Главного плёса и в период его максимального прогрева: центральная часть и Моложская губа оказались теплее Шекснинской губы.

К июлю прогревание и перемешивание водных масс ликвидируют скопление холодных вод в центре водохранилища.

В связи с тем что в последней неделе июля преобладала малооблачная, жаркая погода, была проведена 30—31 июля 1959 г. третья по счету скоростная температурная съемка. Как и следовало ожидать, расположение изотерм изменилось (рис. 27). В Волжском плёсе изотерма 21° переместилась от Конрина к югу к о. Шуморовскому. В районе трансформации волжских вод (от о. Шуморовского до широты мыса Рожновского) температура поверхностного двухметрового слоя поднялась выше 22° , а разность температур между поверхностью и дном достигла 2.3° . Вода всего Главного плёса имела температуру выше 21° . В Моложском плёсе от Мали-

новки до устья Ламы температура была выше 22° и только в Шекснинском плёсе вверх от Мяксы температура оказалась немного ниже 21° .

Таким образом, за последнюю неделю июля температура поверхностного двухметрового слоя воды в Главном плёсе поднялась примерно на 2° , а придонная в среднем на 0.5° (табл. 23).

Таблица 23
Температура придонного слоя воды ($^{\circ}\text{C}$)
по разовым наблюдениям

Станции	23 июля	30—31 июля	Повышение
1	19.7	20.5	0.8
2	19.3	20.1	0.8
7	19.2	19.5	0.3
10	19.2	18.7	-0.5
Горкая	19.3	20.2	0.9
соль			
6	18.5	18.9	0.4
У Волкова	19.6	19.7	0.1

Интересно сравнить результаты скоростных температурных съемок 20—21 и 30—31 июля, проведенных почти по одним и тем же маршрутам с измерением температуры в каждом из районов водохранилища примерно в одни и те же часы (табл. 24).

Слабое повышение температуры воды в Сбросном плёсе объясняется большой его глубиной и наиболее сильной турбулентностью. Наиболее сильное повышение тем-

пературы в Воляжской губе, по-видимому, обусловлено большими площадями мелководий. То же можно отметить в отношении Моложского плёса. Что касается остальных частей Главного плёса, то в них температура поднялась примерно одинаково на $1.0—1.8^{\circ}$.

Для периода осеннего охлаждения имеются материалы синхронной съемки, проведенной 17—19 сентября 1957 г. Поскольку съемка началась

Таблица 24

Средние температуры поверхностного двухметрового слоя воды ($^{\circ}\text{C}$)
разных частей водохранилища по данным температурных съемок
20—21 и 30—31 июля 1959 г.

Район и подрайон	Число	Часы	Число	t°	Число	Часы	Число	t°	Повышение
	дн		дн		дн		дн		t°
Воляжский плёс . . .	20	10—11	6	20.3	30	9—10	3	21.7	1.4
Моложский плёс . . .	20	16—19	11	20.4	30	18—20	13	22.4	2.0
Шекснинский плёс . .	21	2—4	10	19.3	31	3—7	12	20.7	1.4
Центральная часть . .	20	12—14	8	20.2	30	13—15	7	21.7	1.5
	20	21—23	8			22—24	7		
Воляжская губа . . .	20	11—12	3	20.0	30	10—13	7	22.6	2.6
Моложская губа . . .	20	14—16	5	20.4	30	16—18	5	21.4	1.0
	20	19—21	7			20—22	6		
Шекснинская губа . .	21	0—2	8	19.4	31	1—3	10	21.2	1.8
	21	5—7	8			7—9	10		
Ухро-Согожская губа	20	23—24	4	20.0	31	9—10	7	21.2	1.2
Сбросной плёс . . .	21	8—9	4	21.0	31	—	—	21.6	0.6
	21	9—10	4			10—11	3		

при теплой штилевой погоде, быстро сменявшейся на холодную штормовую, приходится учитывать выхолаживание водохранилища за время съемки.

Температура выше 16° наблюдалась только у Мышкина и 16° у маяка Всехсвятского. Воды центра Главного плёса и большей части Шекснинской и Моложской губ имели температуру $15.3\text{--}15.8^{\circ}$. В Моложском и Шекснинском плёсах температура была одинаковой — несколько ниже 15° .

За сутки средняя температура воды на вертикалях в Моложской губе упала на 1° , а в центре водохранилища — на 0.3° .

Наблюдения в Сбросном плёсе начались в 20 час. 19 сентября, т. е. через 8 час. после окончания суточных станций. В начале наблюдений на суточных станциях в Сбросном плёсе, если учесть выхолаживание воды с 12 час. 18-го по 20 час. 19 сентября, температура должна была быть выше, чем нанесенная на картограмму (14.8°) по крайней мере на 0.5° , т. е. была такой же, как и в центре водохранилища в это время.

Температурная съемка 17—19 сентября показала, что холодными были воды в Моложской и Шекснинской губах и теплыми в Волюжском плёсе. Воды всех остальных частей Главного плёса и Сбросного плёса в температурном отношении занимали промежуточное положение. Разность температур была незначительной — около 1° .

Поздней осенью по данным синхронной съемки 1—3 октября в период резкого похолодания (метеорологические условия описаны выше) температура во всех плёсах водохранилища распределялась 1 октября следующим образом (рис. 28).

В нижнем бьефе Угличской ГЭС и в Волюжском плёсе от Золоторучья до Коприна температура падала от 9 до 6.2° . В Волюжской губе была $6.0\text{--}6.8^{\circ}$, в центральной части $6.8\text{--}8.2^{\circ}$, в Моложской губе $6.9\text{--}8.2^{\circ}$, в Моложском плёсе от Сиротки к Харламовскому падала от 7.6 до 6.2° и у Харламовского вновь поднималась до 6.9° . Следует отметить, что в Моложском плёсе чем шире участок и меньше его средняя глубина, тем ниже температура.

В Шекснинской губе температура была $8.0\text{--}8.2^{\circ}$, а в Шекснинском плёсе от Хвощевика до выклинивания подпора падала от 7.8 до 5.6° . В Ухро-Согожской губе $7.3\text{--}7.8$ с падением к Согожскому плёсу до 6.2° и, наконец, в Сбросном плёсе — 6.7° .

В эти дни самые теплые воды были в верхнем Волюжского плёса, а самые холодные — в верхнем Шекснинского. В пределах Главного плёса наиболее теплые воды были в Шекснинской губе и в прилегающей к Моложской губе части центрального района. Отсюда по направлению к речным плёсам и в пределах последних по мере удаления от Главного плёса температура падала. Исключение составил только Волюжский плёс, в котором температура поднималась с приближением к Угличской ГЭС.

Амплитуда температур на акватории водохранилища 1—3 октября превышала 4° . Следовательно, как в жаркие дни в период прогревания, так и в холодные в период быстрого выхолаживания увеличивается температурная дифференциация водных масс водохранилища.

Предзимняя рейсовая температурная съемка на одном судне была проведена 30—31 октября 1959 г. в Волюжском плёсе и прилегающих к нему частях Главного плёса.

Перед съемкой все водохранилище два дня было полностью покрыто льдом. Во время рейса лед в основном растаял. В Волюжском плёсе 30 октября температура поверхностного слоя была 0.2° , а с глубины 0.5 м и до дна (14 м) — $0.4\text{--}0.6^{\circ}$ и только у Коприно ниже 2 м — $0.8\text{--}1.1^{\circ}$. 31 октября в юго-западной части Главного плёса температура поверхности не превышала 0.4° , а у дна — 0.9° .

Еще позднее поверхностная температура измерялась ихтиологической экспедицией в 1958 г. В Волюжском плёсе, в Волюжской губе, в центральной части, в Шекснинской губе и в Сбросном плёсе 11—15 ноября при темпе-

ратуре воздуха от 1.4 до 1° поверхностная температура колебалась в пределах $1.0-1.8^{\circ}$.

Наблюдения, проведенные в предзимний период, позволяют заключить, что замерзание водохранилища может происходить в то время, когда температура на большей части вертикали $0.4-1.8^{\circ}$.

Для выяснения особенностей хода температуры в глубоководных частях водохранилища в безледоставные периоды можно еще использовать

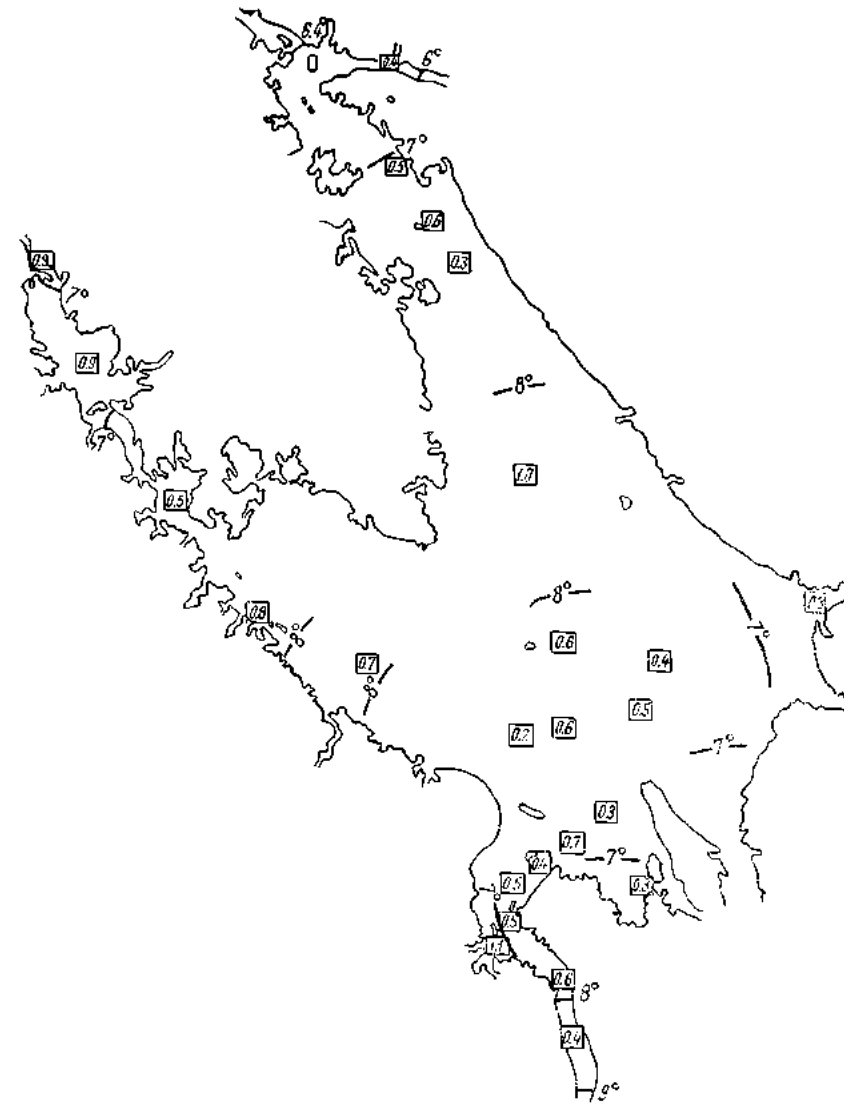


Рис. 28. Распределение температуры воды по акватории водохранилища и величии суточного снижения температуры 1 октября 1959 г.

Цифры в квадратах — среднесуточное снижение температуры.

материалы стандартных съемок, регулярно проводимых в Главном и Волжском плёсах. Учитывая большое значение вопроса о различии хода температуры в разных частях водохранилища, целесообразно шире остановиться на этих материалах, сгруппировав их по отдельным годам. Начнем рассматривать эти материалы с измерений в придонном слое

На рис. 29 хорошо выявляется различие хода придонных температур отдельных лет, причем из пяти лет нельзя найти два аналогичных года, так как у каждого из них были свои особенности, существенно отличающие его от других лет. На основании анализа приведенных графиков можно сделать следующие выводы по Волжскому и Главному плёсам.

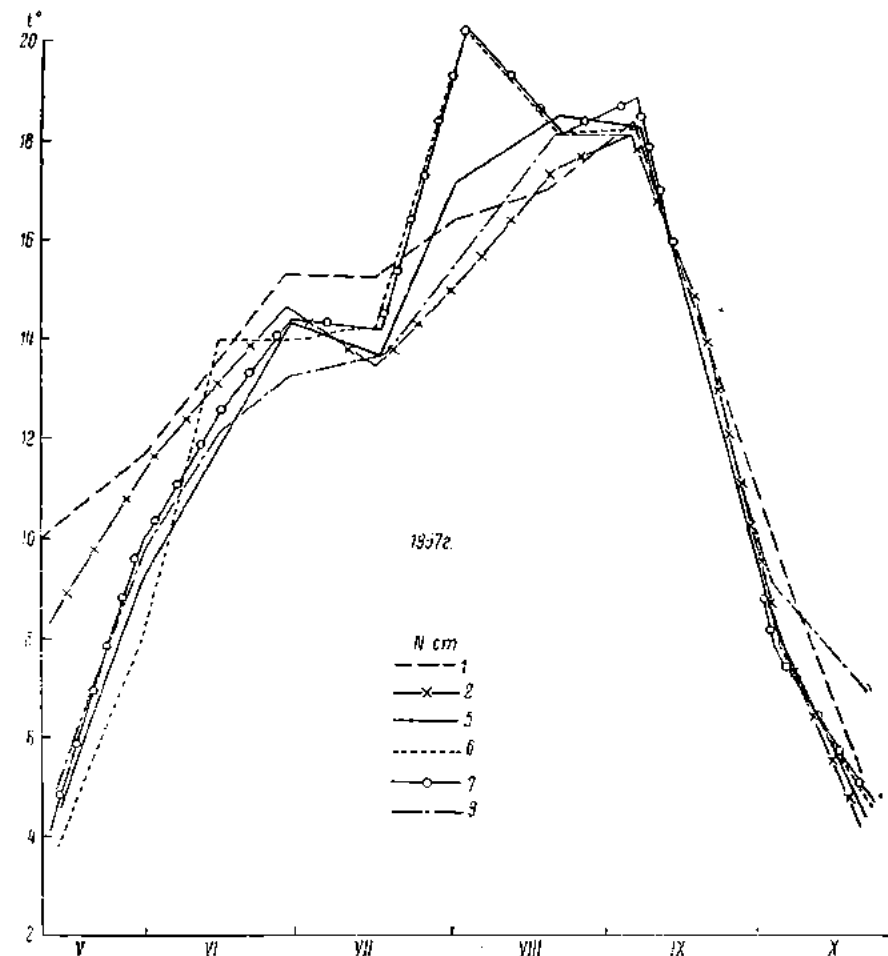


Рис. 29. Ход температур придонного слоя воды (по годам).

1. Большие разности придонных температур в разных частях водохранилища наблюдаются ежегодно на протяжении всего периода прогрева и в зависимости от его продолжительности. Эти разности могут исчезнуть к концу июня, как например в 1956 г., или сохраниться до сентября, что наблюдалось в 1957 г.

2. В период охлаждения в большинстве случаев разности температур значительно меньше, чем в период прогрева, но в отдельные годы, как в 1954 г., и в период охлаждения они могут достигать 5°.

3. Придонный слой в Волжской губе весной всегда холоднее, чем в Волжском плёсе и часто теплее, чем в других частях водохранилища (1956—1958 гг.). В 1954 и 1955 гг. температура воды в этой губе либо же отличалась, либо была ниже, чем в других частях Главного плёса. В период охлаждения воды этой губы тоже то холоднее (1956, 1958 гг.), то теплее (1955 г.), то занимают среднее положение (1954, 1957 гг.) по

сравнению с другими частями Главного плёса. Указанные соотношения температуры на стандартной станции 2 с температурой других частей Главного плёса указывают, что район станции — Волжская губа — является частью Главного плёса, а не Волжского плёса.

4. Во вторую часть весеннего сезона центральная часть Главного плёса (станция 7) бывает наиболее теплой (1956, 1957, 1958 гг.) или хо-

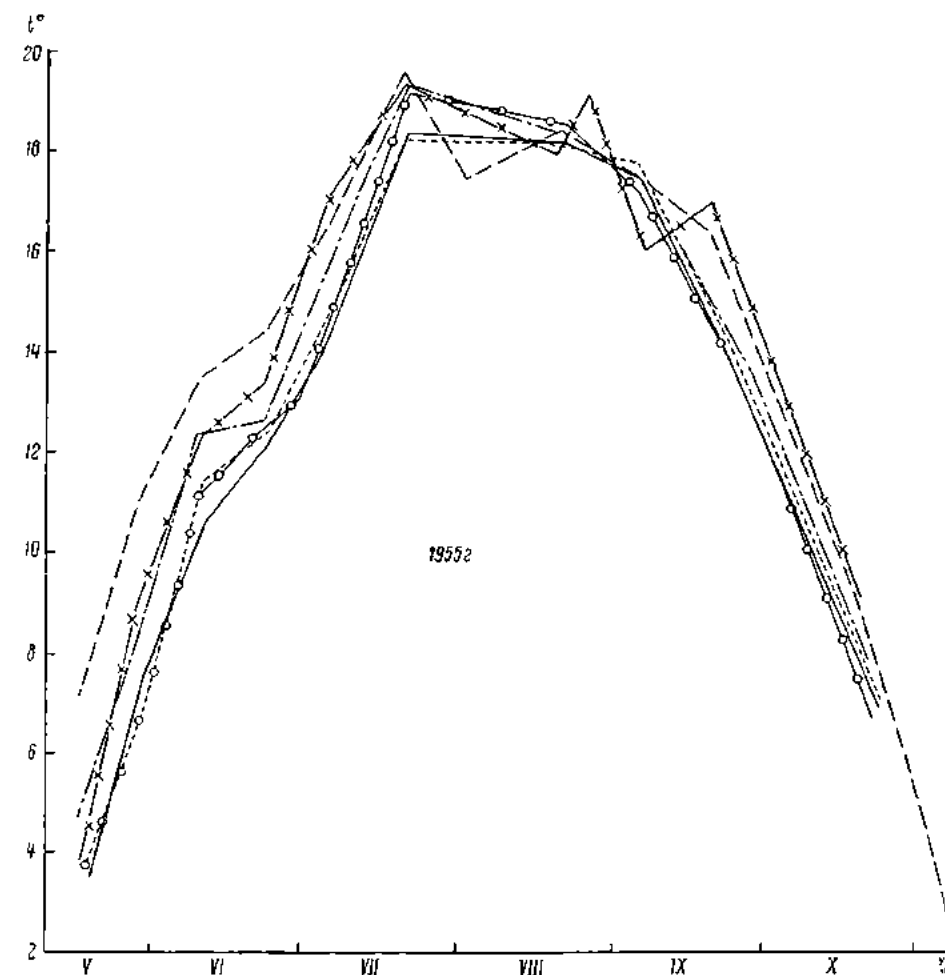


Рис. 29 (продолжение).

лоднее только Волжского плёса (1954 г.). В период охлаждения этот район водохранилища является одним из наиболее холодных, что объясняется его относительным мелководьем (при максимальном уровне глубина здесь всего около 8 м). В начале весны температура в центре водохранилища низкая и только на станциях 5 и 6 бывает такой же или еще несколько ниже.

5. Очень сложное соотношение температуры воды в районах станций 9 — Моложская губа и 6 — Шекснинская губа. В 1957 г. прогревание водохранилища шло очень медленно. В июле и августе этого года температура воды Шекснинского плёса была очень низкой. Еще более низкой была температура в Моложской губе. Вероятно, это объясняется холодной погодой к югу от водохранилища. В эти месяцы температура воды в Шекс-

нинской губе и в центре водохранилища была значительно выше, чем в Моложской губе.

В 1954 и 1955 гг. воды Моложской губы были теплее вод Шекснинской как в период прогрева, так и охлаждения. В период прогрева 1956 и 1958 гг. температура воды в обеих губах почти не различалась.

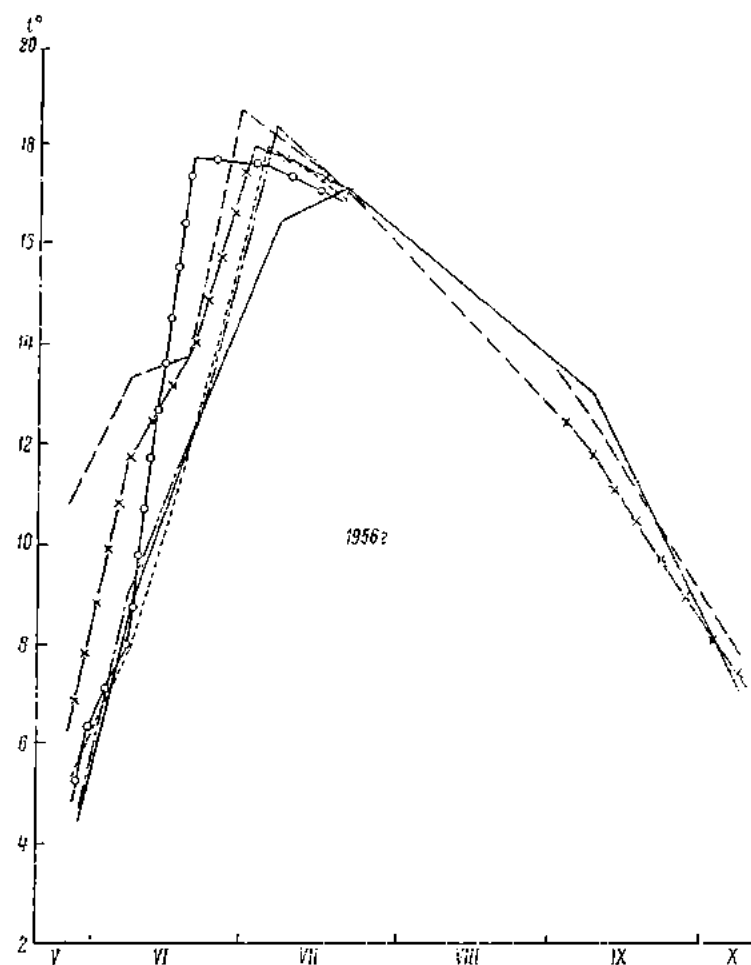


Рис. 29 (продолжение).

Температурный режим поверхностного слоя меньше варьирует по акватории водохранилища, чем режим придонного слоя (рис. 30). Если исключить отдельные пики на температурных кривых — результаты разновременности наблюдений, суточного хода температуры и исчезновение температурного расслоения вследствие ветрового перемешивания, о чем говорилось выше, — то следует отметить, что большие различия поверхностной температуры в разных частях водохранилища наблюдаются только в период, когда начинают прогреваться центральные районы, что обычно наблюдается в первой половине мая. В это время в отдельные годы разности между температурой в разных частях водохранилища достигают 8° (1955 г.) и даже 13° (1957 г.). Наиболее прогреты воды в Волжском плёсе и Волжской губе и наиболее холодные в центре водохранилища. Следовательно, данные стандартных станций подтвер-

ждают результаты рейсовых съемок, рассмотренные выше. В остальных частях Главного плёса (Моложской, Шекнинской и Ухро-Согожской губах) температура воды может быть и выше и ниже. Например, в Ухро-Согожской губе, если судить по данным станции 5, расположенной вблизи этой губы, весной 1957 и 1958 гг. поверхностный горизонт был на $2-4^{\circ}$

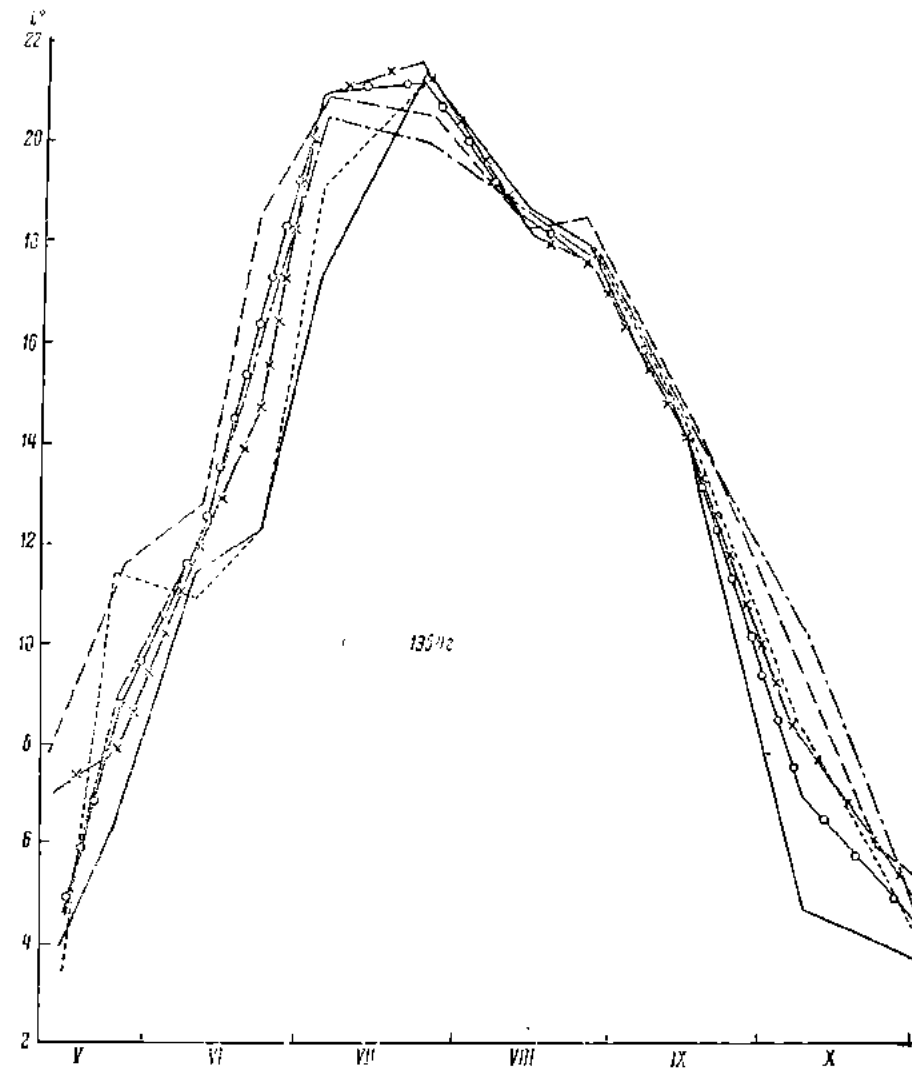


Рис. 29 (продолжение).

теплее, чем в Моложской и Шекнинской губах, и в 1956 г. холоднее на столько же. В 1954 г. во всех трех губах температура была одинаковой. Изменение соотношения температуры в этих участках весной, вероятно, обусловлено размещением талых льдов.

В течение остальной большей части безледового периода температура поверхностного слоя по всей акватории водохранилища изменялась более или менее одинаково: разности не превышали 1° и редко 2° . Исключением из этого правила наблюдалось в октябре 1954 г., когда разность температуры воды в Ухро-Согожской и Моложской губах достигла 6° .

Максимальная температура поверхностного слоя за период 1954—1960 гг. 27° была отмечена в 16 час. 17 июля 1960 г. на станции 7 при разности температур между поверхностью и дном (глубина 7 м) 8.5° .

Для определения хода теплозапаса средних температур на вертикалях за безледоставные навигационные периоды обработаны данные 1957

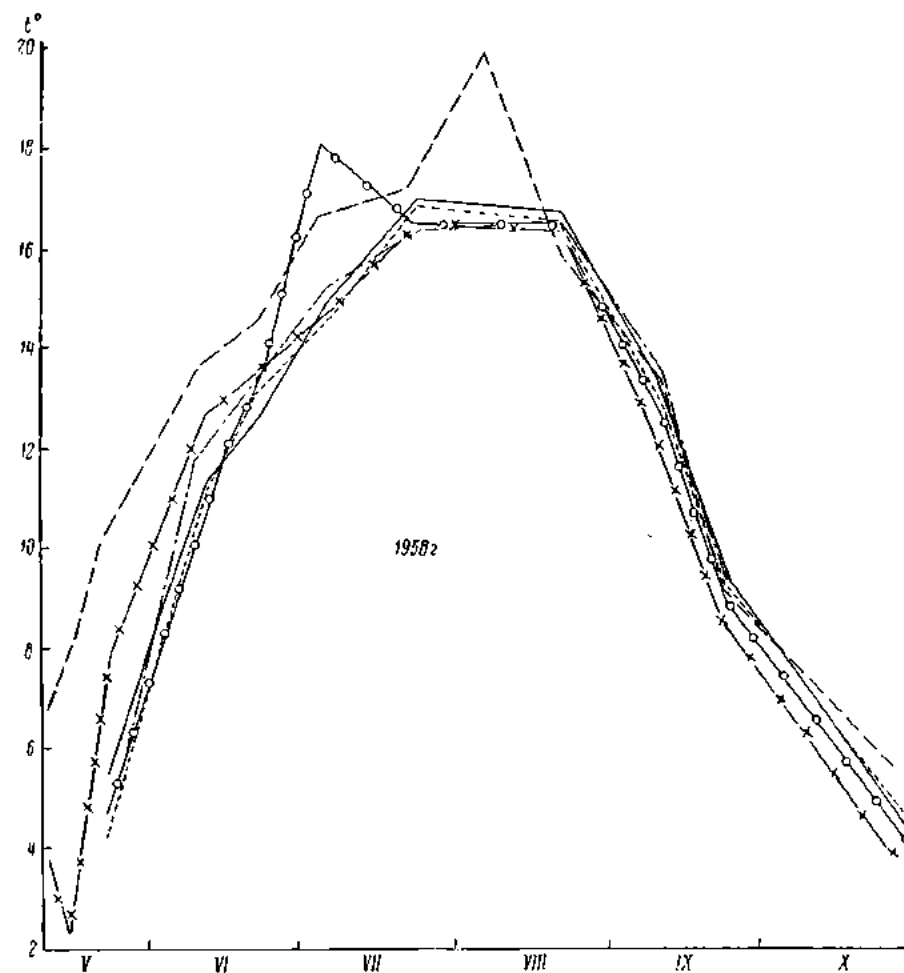


Рис. 29 (продолжение).

и 1958 гг. (рис. 31). В ходе средней температуры за 1958 г. четко вырисовывается максимум в начале июля.

По ходу средних температур в периоды прогрева и охлаждения выделяется Волжский плёс, где температура несколько выше, чем в центральной части Главного плёса. В Волжской губе температура часто бывает выше, чем в центральной части Главного плёса только в период прогрева воды. В период максимального прогрева наиболее теплые воды в 1957 г. наблюдались в районе станции 6 и в центре водохранилища.

Некоторый интерес представляет попытка определить в первом приближении продолжительность периодов, характеризующихся определенными температурными интервалами. Выбор таких интервалов неизбежно является произвольным и условным. Обычными для климатических характеристик приймаются пятиградусные интервалы. В табл. 25 при-

няты в качестве таких температур 10 и 15°. Расчеты сделаны за годы 1954—1958 для трех пунктов: Мыс Рожновский, станция 1, станция 7. Определение продолжительности периодов произведено для станций Мыс Рожновский по ежедневным наблюдениям температуры (рис. 14), а для станций

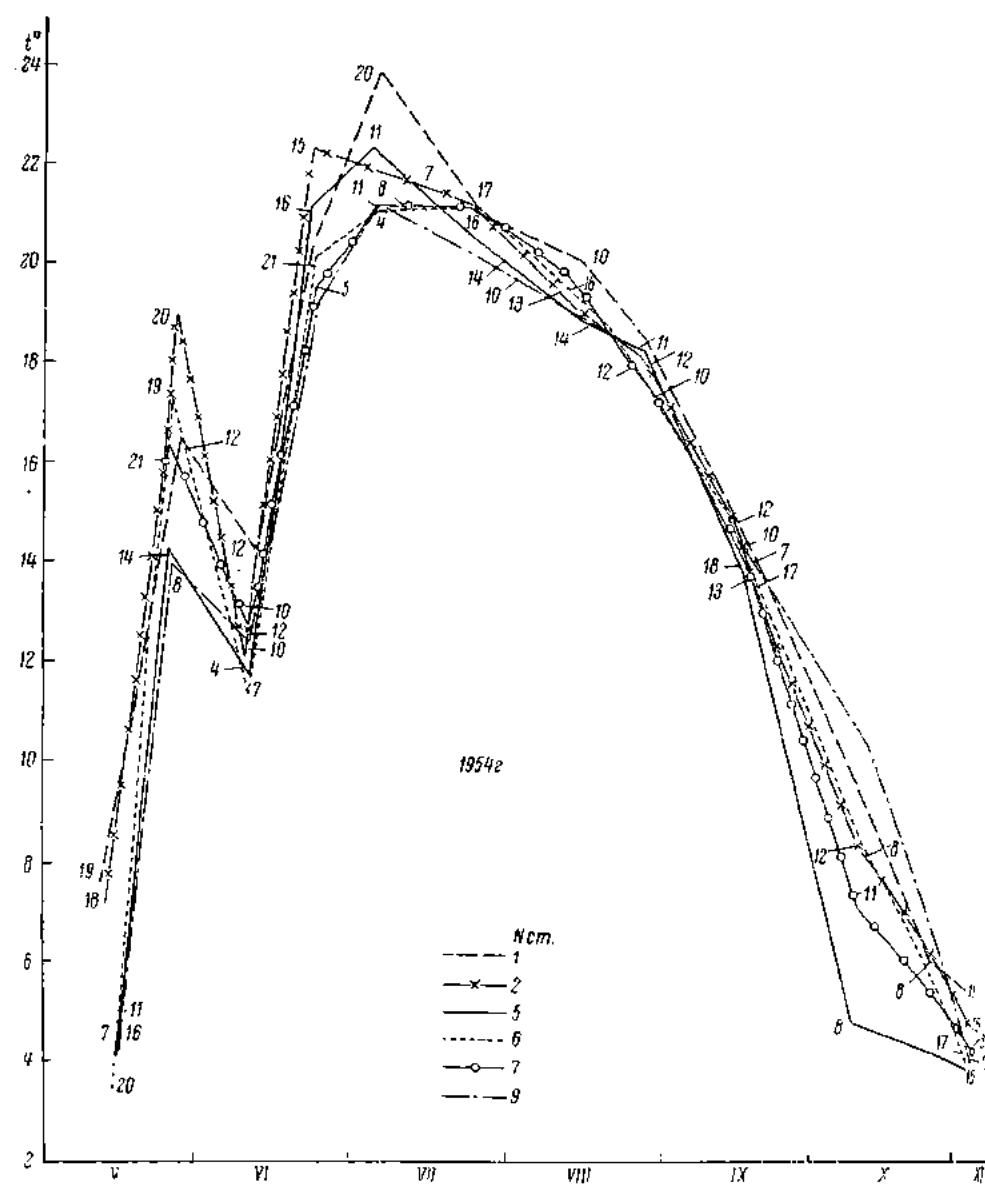


Рис. 30. Ход температур поверхностного слоя воды (по годам).

1 и 7 по материалам стандартных съемок (придонный слой воды) (рис. 29). Преимущество последних перед температурами поверхностного слоя заключается в отсутствии скачков, что позволяет более точно установить начало и конец периодов.

Колебание продолжительности периодов с температурой выше 15 и 10° на каждой станции по отдельным годам (табл. 25) составляло 2 декады—

1 месяц, что при продолжительности периодов с температурой более 15° в среднем около 2,5 месяцев представляет значительную величину.

В среднем за 5 лет на станции 1 продолжительность периода с температурой выше 15° по сравнению с центром водохранилища больше примерно всего на 4 декаду, а период с температурой выше 10° — на 24 дня.

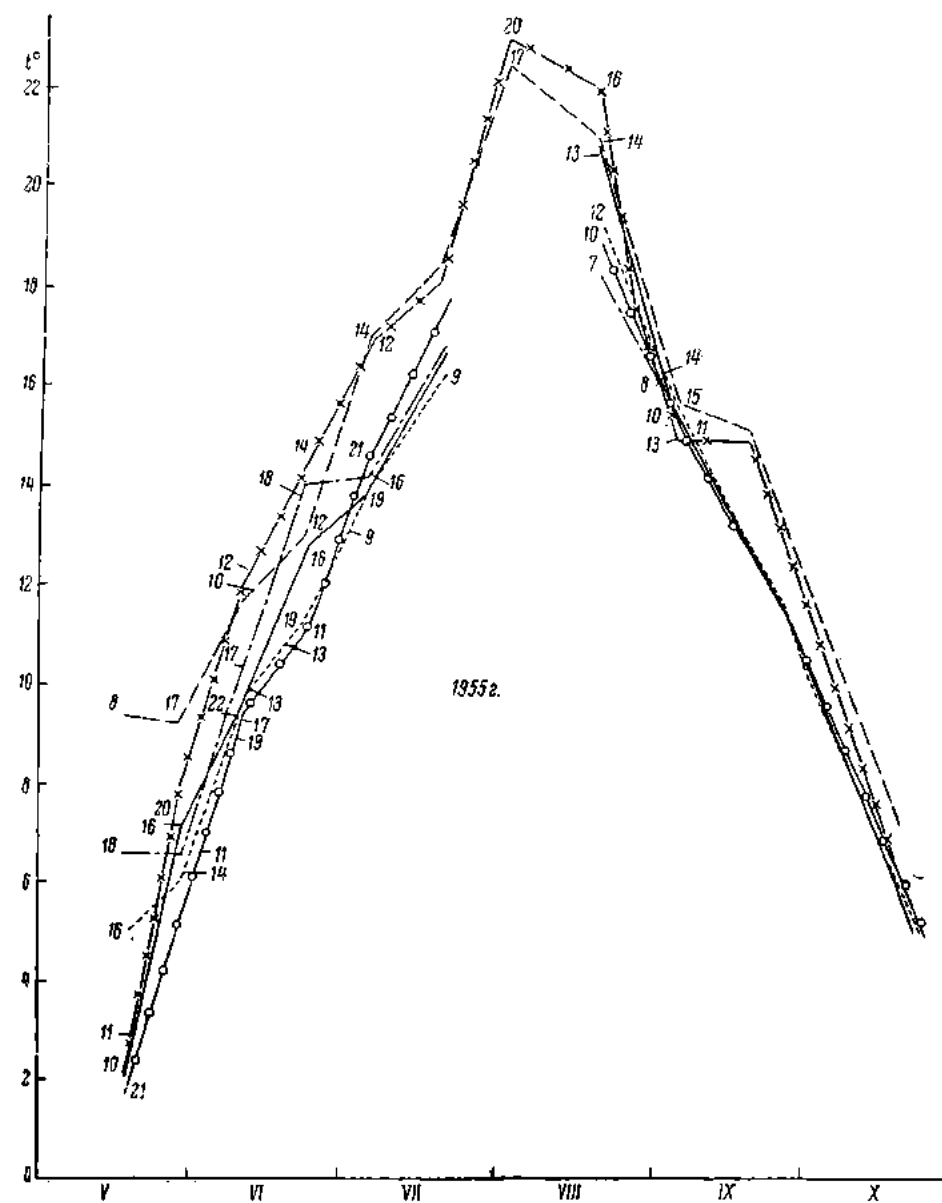


Рис. 30 (продолжение).

Годами с наименьшей продолжительностью рассматриваемых периодов были по данным гидрометеостанции Мыс Рокновский 1958, а по наблюдениям на станциях 1 и 7 — 1956 и мало отличающийся от него 1958 г., а годами с наибольшей продолжительностью тех же периодов по наблюдениям

у мыса Рожновского были 1955 и 1956, по данным стаций 1 и 7, — 1954, 1955 гг.

Для всех станций характерна малая продолжительность обоих периодов, что особенно нужно отметить в отношении центра водохранилища.

Необходимо отметить, что в 1956 г. при большей продолжительности периода с температурой более 15° в течение месяца температура не превышала 16° и поэтому среднелетняя температура была низкой.

Резюмируем сказанное о распределении температуры по акватории водохранилища в безледоставный период.

Таблица 25

Продолжительность периодов с температурой выше 15 и 10° ($^{\circ}\text{C}$) (в месяцах)

	1954 г.	1955 г.	1956 г.	1957 г.	1958 г.	Среднее
Мыс Рожновский						
Выше 15°	$2\frac{2}{3}$	3	3	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{3}$	2.7
» 10°	4	4	4	$4\frac{2}{3}$	$3\frac{2}{3}$	4.1
Стация 1						
» 15°	3	3	2	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{3}$	2.6
» 10°	$4\frac{2}{3}$	$4\frac{2}{3}$	4	5	$4\frac{1}{3}$	4.5
Стация 7						
» 15°	3	$2\frac{1}{3}$	2	2	$2\frac{1}{3}$	2.3
» 10°	4	4	$3\frac{1}{3}$	4	$3\frac{1}{3}$	3.7

Если не считать полыней, образующихся в некоторых частях водохранилища во вторую половину зимы, то нужно признать, что весной в первую очередь ото льда освобождаются речные плёсы, затем часть Главного плёса в районе Волжской губы и мыса Рожновского и, вероятно, в районе Брейтово. По ориентировочным подсчётам за 10 дней паводка волжские воды могут растопить $80-100 \text{ км}^2$ льда, т. е. полностью освободить от него полосу шириной $5-8 \text{ км}$ от о. Шумеровского до пролома Сбросного плёса.

В мае наиболее холодные водные массы располагаются в центральной части, а в пределах последней в Шекснинской половине. В этот период температура повышается по направлению к верховьям водохранилища. В мае наиболее тёплым плёсом является Моложский, а наиболее холодным — Волжский.

Весной в губах водохранилища образуются зоны с большими горизонтальными температурными градиентами — зоны температурных перепадов. В зависимости от соотношения водности притока и размеров губ, в которые впадают притоки, горизонтальные градиенты варьируют в широких размерах. Чем больше холодная водная масса, тем резче падение температуры воды в зоне температурного перепада.

Сразу после очищения водохранилища ото льда зоны температурных перепадов располагаются во всех губах и вдоль всех побережий. Холодные воды в это время наполняют центральную часть Главного плёса, причем наиболее холодные воды сосредоточены над бывшим руслом Шексны.

В это время выявляются два потока: волжский, идущий через Волжскую губу и далее севернее мыса Рожновского в Сбросный плёс, и центральный с осью по руслу Шексны тоже по направлению к Сбросному плёсу. Оба

эти потока, сливаясь в последнем плёсе, создают ещё одну зону смешения (температурного перепада).

В пределах Волжского плёса в период паводка наблюдается почти полная гомотермия. Гомотермия должна быть и в других речных плёсах. В это же время в Главном плёсе в одних районах сохраняется обратная стратифика-

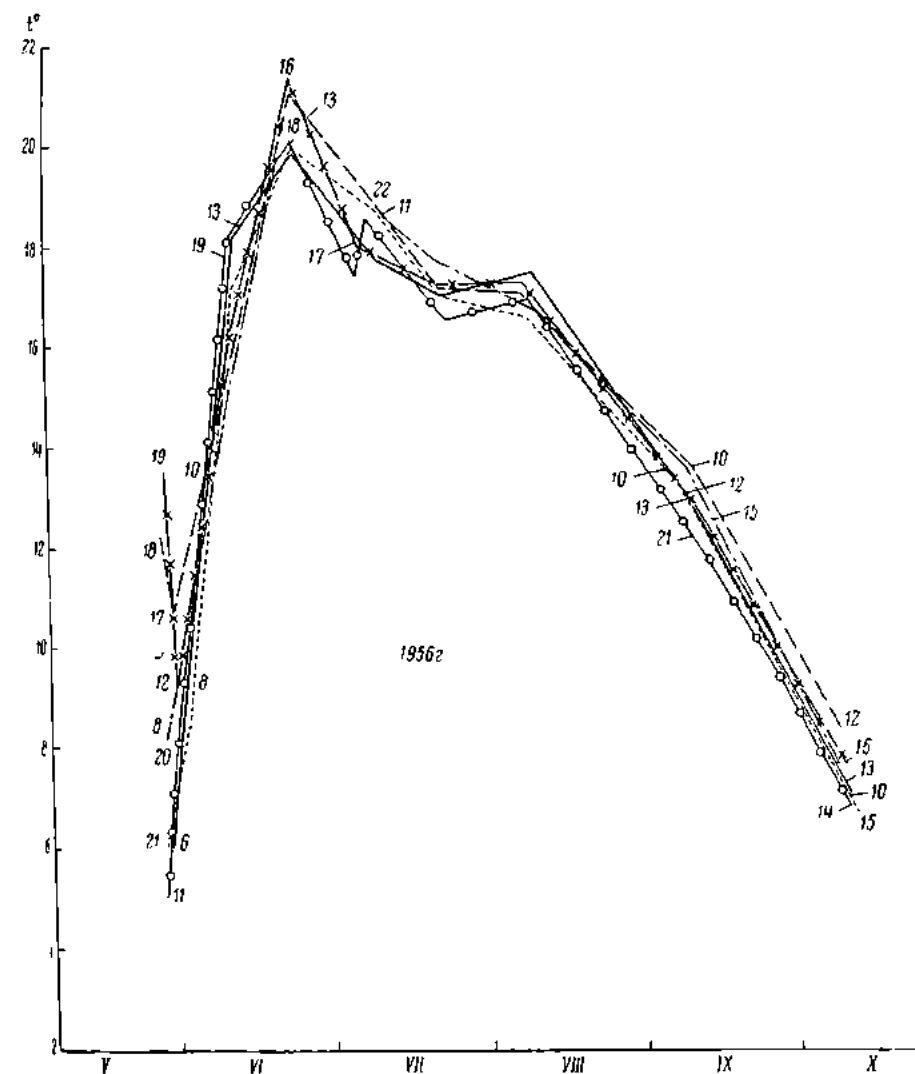


Рис. 30 (продолжение).

ция, а в других — образуется прямая, на большей части Главного плёса наблюдается гомотермия. В этот период изотермы на разрезах располагаются преимущественно вертикально, либо с незначительным уклоном.

Во вторую половину паводка изотермы постепенно изменяют вертикальное направление на горизонтальное. Возможно, что в Моложской губе, где в конце зимы воды водохранилища имеют сравнительно высокую температуру (2—4°), талые воды, поступающие с берегов и из мелких притоков, с самого начала весны растекаются по поверхности «зимних» вод водохранилища.

В начале паводка поступающие в водохранилище талые воды с температурой около 0° охлаждают уже прогретые воды прибрежных мелководий. В затяжную весну 1954 г. из Волги в водохранилище поступило вод с тем-

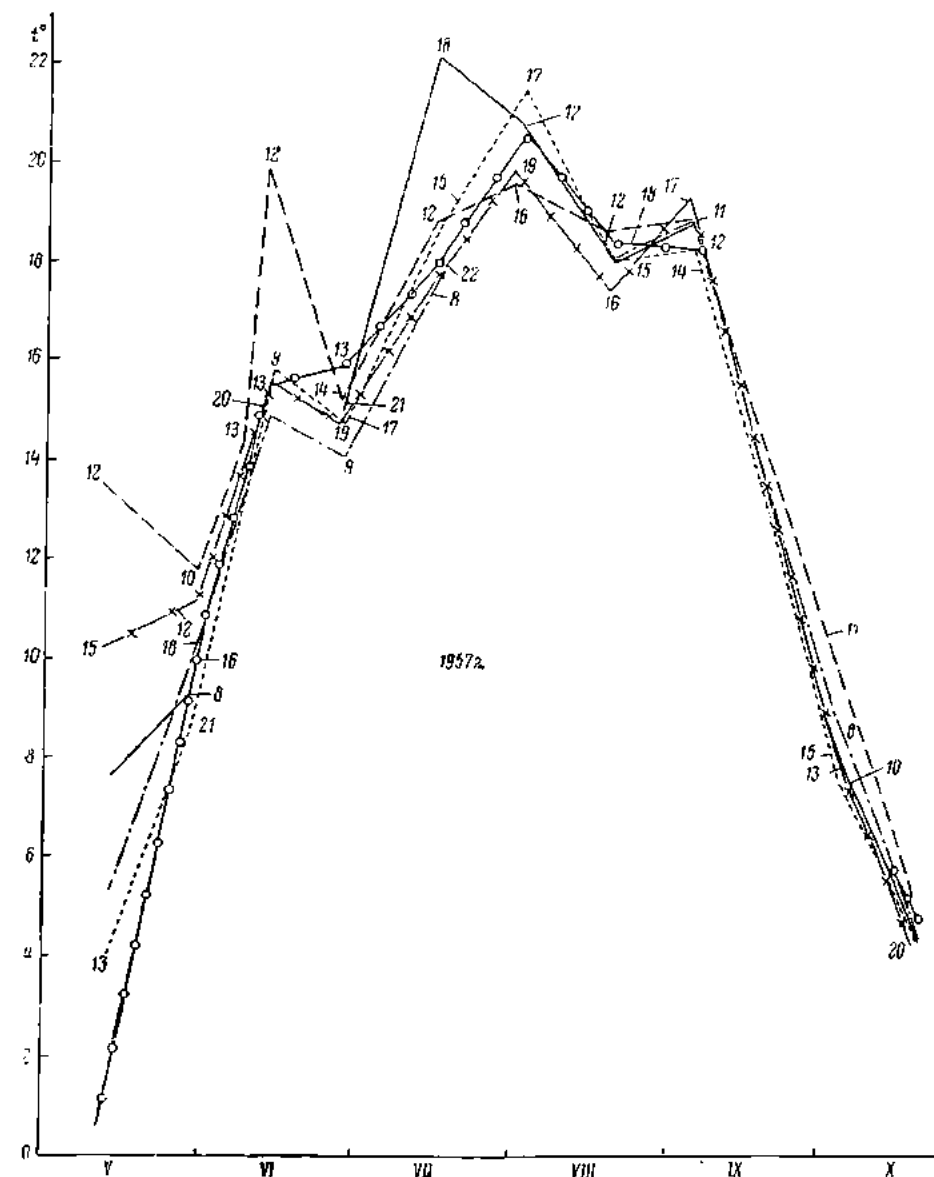


Рис. 30 (продолжение)

пературой от 0 до 1° 38%, а от 0 до 2° — 55% от общего объема паводка. В дружную весну 1959 г. соответственно 69 и 75%.

Весной на распределение температуры в водохранилище основное влияние оказывают следующие факторы: поступление сперва холодных, а затем теплых вод притоков, прогревание поверхностных слоев солнцем, что особенно сильно сказывается на мелководьях, различные условия перемешивания и течения, главным образом стоковые. Замедленное прогревание

вод наблюдается в местах скопления льдов во время весеннего ледохода.

При возврате холодов весной происходит выравнивание температуры как по поверхности, так и послойно.

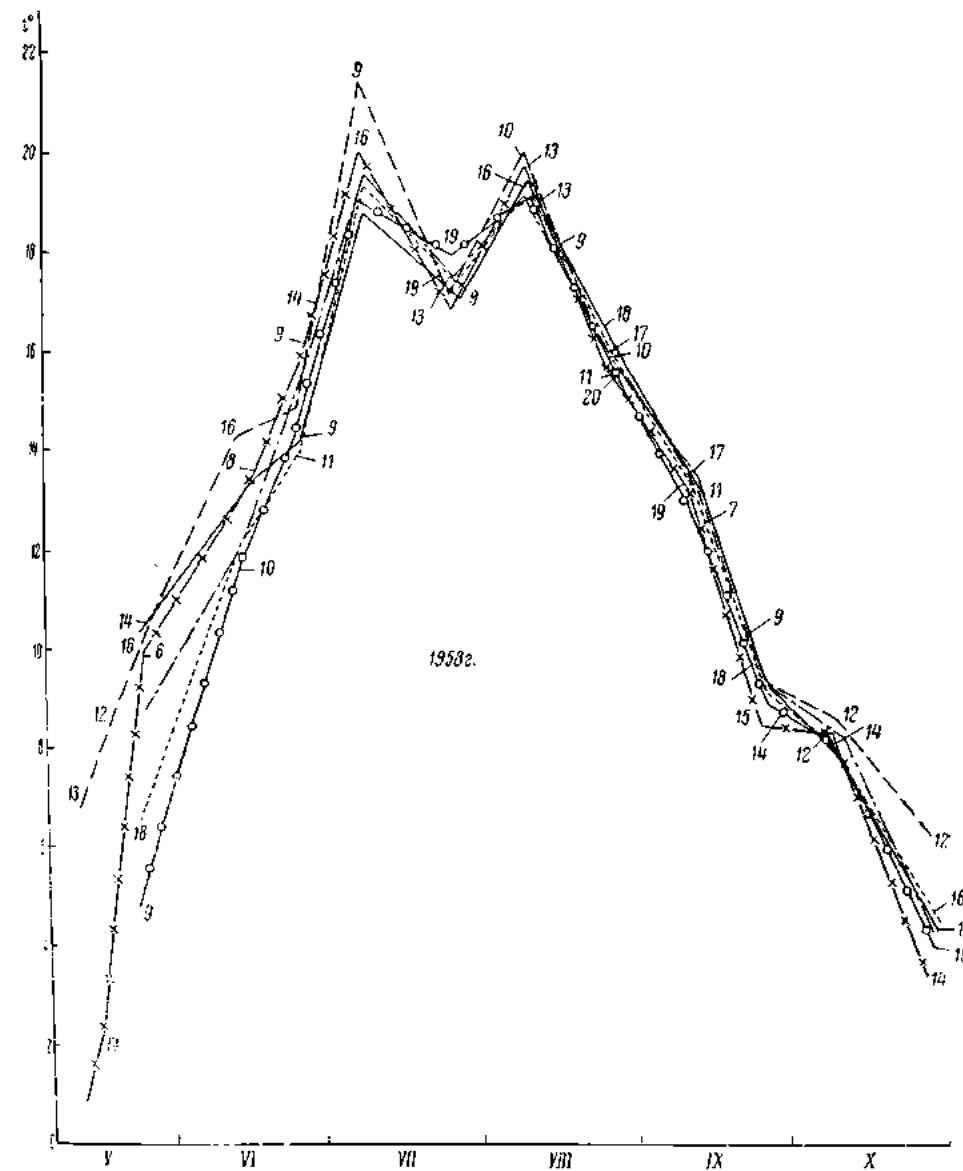


Рис. 30. (продолжение).

Холодные водные массы в нижних горизонтах Главного плёса сохраняются еще и в июне, если ранее не было сильных ветров. Поэтому в июне месяце обнаружены максимальные различия между температурой на поверхности и у дна.

В июне еще сохраняются зоны температурных перепадов как в пределах плёса (Моложской и Шекшинской), так и частично в центральной части,

на месте стыка волюских вод и вод водохранилища. В центральной части температура продолжает оставаться более низкой, чем в речных плёсах.

Температура воды обычно достигает максимума в июле и выравнивается по поверхности водохранилища и по глубине. Разность поверхностных температур обычно не превышает 2, реже 3°, а по вертикали 1°. Наиболее

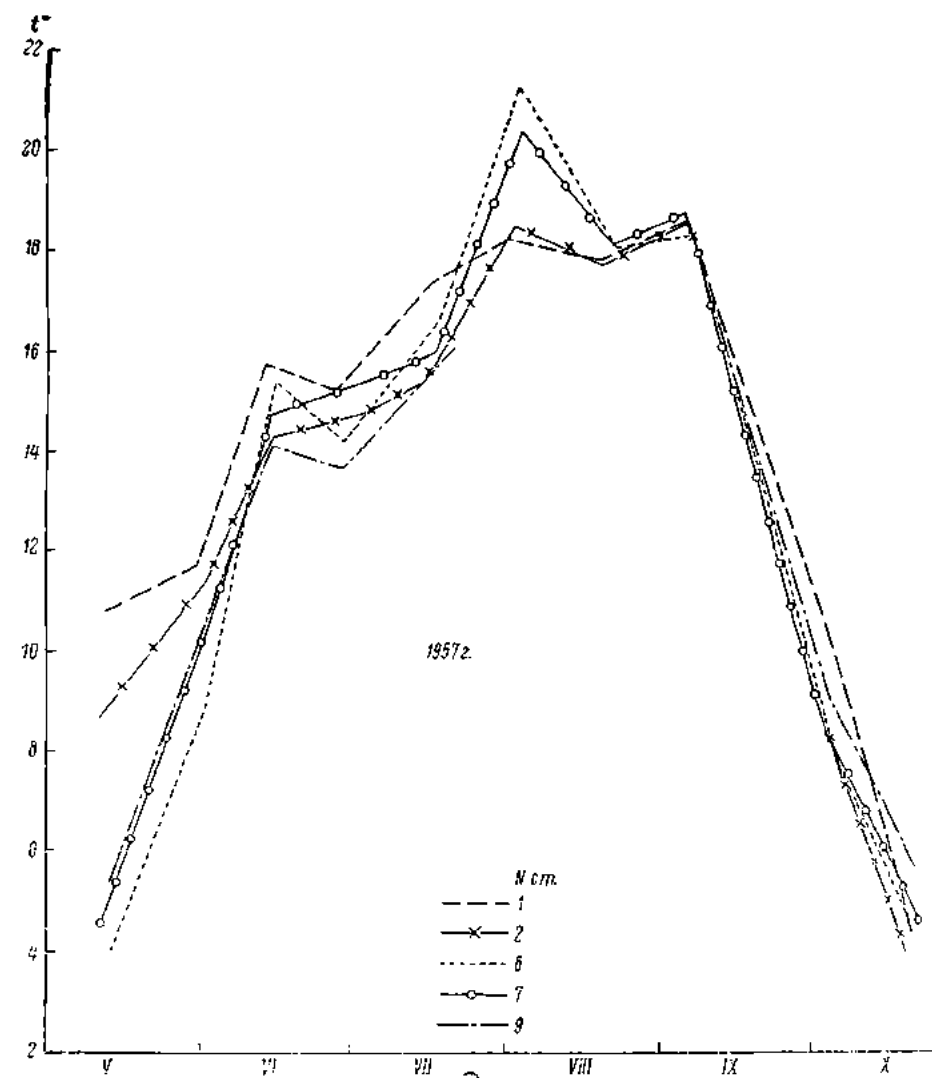


Рис. 31. Ход средних по вертикалям температур воды в разных частях водохранилища за 1957 и 1958 гг.

холодные воды расположены в Шекснинской части водохранилища в районе Мякса—Волково. Во все стороны от этого района температура воды повышается. Существенных различий по температуре между отдельными речными плёсами в июле нет. И в июле температура воды быстро реагирует на изменение погоды. Повышение температуры при слабом ветре приводит к вертикальному температурному расслоению, хотя и менее резко выраженному, чем весной.

Осенью в период выхолаживания увеличивается различие поверхностных температур. Наиболее теплые воды в это время располагаются в плё-

нем бьефе Угличской ГЭС, наиболее холодные в верхней части Шекснинского плёса.

Перед началом ледостава температура воды во всех частях водохранилища приближается к 0° , но в отдельные зимы замерзание может произойти и при температуре на большей части вертикали $0.4-1.8^{\circ}$.

Безледоставные периоды отдельных лет по ходу придонных температур в Главном плёсе резко отличны. Наблюдаются также большие различия

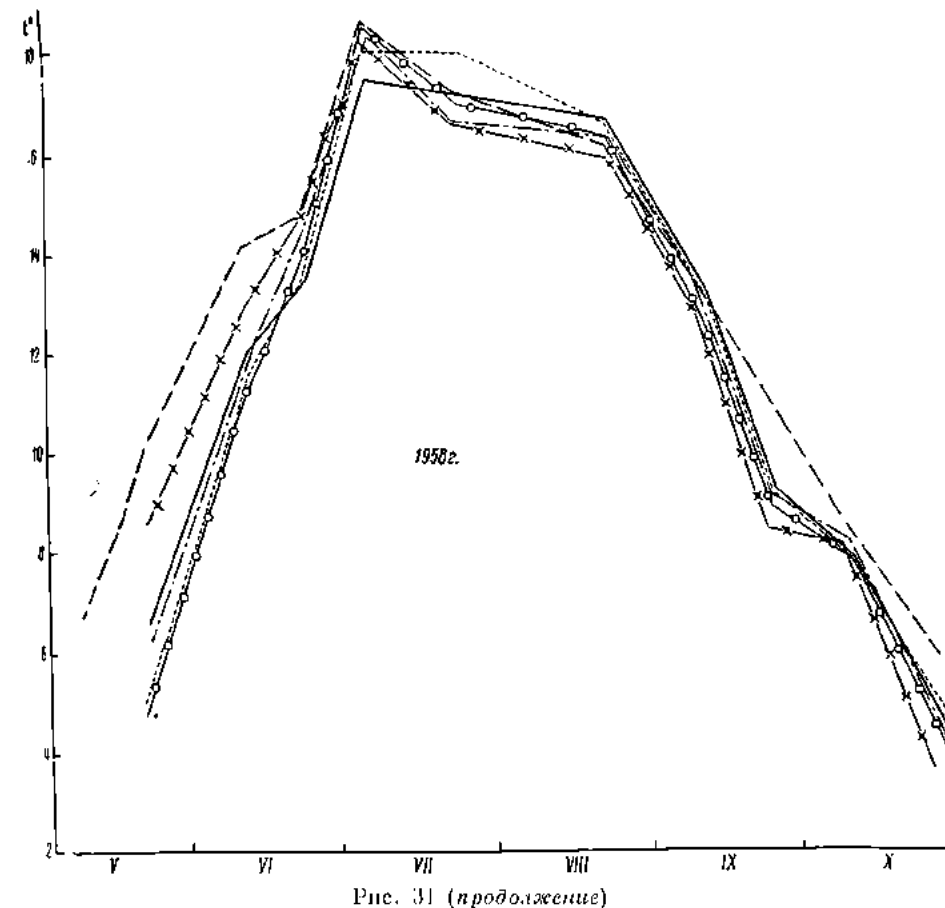


Рис. 31 (продолжение)

в температурах придонных горизонтов в разных частях водохранилища в периоды прогрева, а иногда и в периоды охлаждения.

Ход температуры в разных частях водохранилища в безледоставные периоды в поверхностном горизонте менее варьирует, если исключить отдельные пики, обусловленные асинхронностью наблюдений, чем в придонном горизонте. Это на первый взгляд странное явление объясняется тем, что поверхностный горизонт по всей акватории водохранилища более или менее равномерно прогревается солнцем. Придонные горизонты, расположенные на разных глубинах, находятся в разных термических условиях.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОДОХРАНИЛИЩА В ЛЕДОСТАВНЫЙ ПЕРИОД

Замерзает Рыбинское водохранилище в ноябре.

Основными факторами, определяющими различие температурного режима в разных частях Рыбинского водохранилища, являются проточность,

от которой зависит интенсивность перемиривания и скорость переноса тепла от дна к нижней поверхности льда, и запас тепла в грунте водохранилища. По вопросу теплообмена через лед высказываются противоречивые мнения. С. Н. Крицкий, М. Ф. Менкель и другие (1948) выдвинули положение «о независимости термике водоемов от внешних условий». Наоборот, по мнению В. А. Берга (1957), тепловой поток через снего-ледяной покров

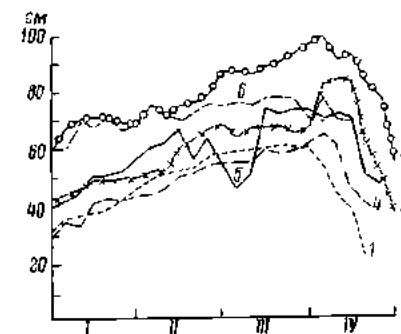


Рис. 32. Толщина льда у станции Перебор по пятидневным наблюдениям.

1 — 1954 г.; 2 — 1955 г.; 3 — 1956 г.; 4 — 1957 г.; 5 — 1958 г.; 6 — 1959 г.

из водохранилища в атмосферу определяется в основном температурой воздуха. В. Д. Киреев и другие (1958) идут еще дальше, утверждая что ход температуры воздуха отчетливо сказывается на температуре подледных слоев воды. Каждой волне холода в воздухе отвечает понижение температуры воды подо льдом. Для условий Рыбинского водохранилища приведенные ниже данные позволяют оценить значение этого фактора.

Климатические условия в годы наблюдений были различны и сказались на толщине льда (рис. 32). По наблюдениям у Перебор, в районе которого нет стоковых течений, в середине января в 1954 и 1957 гг. толщина льда была несколько меньше 40 см, а в 1956 и 1959 гг. — 70 см, в конце марта в 1954 и 1957 гг. — 60 см и в 1956 г. — около 1 м. Об изменении толщины льда водохранилища в некоторой мере можно судить по данным береговых постов Гидрометеослужбы (рис. 33) за 1959 г. В марте у Восьегоиска лед имел толщину всего 10–15 см (в нижней части Моложского плёса в конце марта появляются промоины), у Коприно в Вожеком плёсе — 55 см, у Перебор — 75 см (наибольшая). В районах Мяксы, Брейтово и мыса Рожновского — 60–70 см. Эти данные очень хорошо увязываются с проточностью различных частей водоема: чем больше проточность, тем меньше толщина ледяного покрова.

Толщина льда в открытых частях водохранилища обычно несколько больше, чем в прибрежье по данным береговых станций. Так, в марте 1956 г. на большей части Главного плёса толщина льда колебалась в пределах 90–105 см. И только у затопленного бывш. Городка на Шексене и между ним и Всехсвитским отмечена толщина в 60–71 см. Здесь, вероятно, сказалось влияние течения. В 1956 г. толщина льда на большинстве прибрежных пунктов в марте колеблется от 55 до 75 см. В 1957 г., когда, по данным станции Перебор, толщина льда была наименьшей по сравнению с другими годами (в марте 50–60 см), в Шекснинском плёсе тоже в марте она достигала 75 см, а в Главном плёсе — над руслом р. Мологи в районе бывшего впадения р. Сити — 70 см.

В нижнем бьефе Угличской ГЭС и в Вожеком плёсе по мере удаления от Угличской плотины с уменьшением скорости течения происходит нарастание толщины снега и льда. Так, 7–9 февраля 1957 г. толщина снега и льда изменялась следующим образом (в см):

из водохранилища в атмосферу определяется в основном температурой воздуха. В. Д. Киреев и другие (1958) идут еще дальше, утверждая что ход температуры воздуха отчетливо сказывается на температуре подледных слоев воды. Каждой волне холода в воздухе отвечает понижение температуры воды подо льдом. Для условий Рыбинского водохранилища приведенные ниже данные позволяют оценить значение этого фактора.

Климатические условия в годы наблюдений были различны и сказались на толщине льда (рис. 32). По наблюдениям у Перебор, в районе которого нет стоковых течений, в середине января в 1954 и 1957 гг. толщина льда была несколько меньше 40 см, а в 1956 и 1959 гг. — 70 см, в конце марта в 1954 и 1957 гг. — 60 см и в

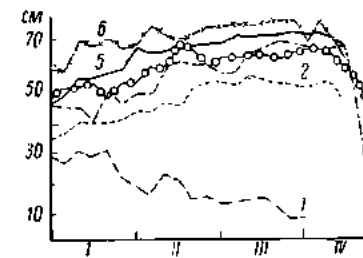


Рис. 33. Толщина льда Рыбинского водохранилища в 1959 г. по наблюдениям станций по пятидневным данным.

1 — Восьегоиск; 2 — Коприно; 3 — Мыс Рожновский; 4 — Мякса; 5 — Брейтово; 6 — Перебор.

	Снег	Лед
Золоторучье	2	5
Мышкино . . .	8	24
Городок . . .	12	32
Коприно	12	51

Уменьшение толщины снега и льда по мере приближения к Угличской ГЭС происходит под влиянием следующих факторов: чем ближе к ГЭС, тем больше скорости течения, тем больше турбулентность и лучше теплообмен между поверхностью дна и нижней поверхностью льда. В результате по мере приближения к ГЭС происходит все более интенсивное таяние льда. Обычно уже во второй части зимы на расстоянии десятков километров от ГЭС кристаллический лед отсутствует. С уменьшением толщины льда происходит его погружение в воду под влиянием тяжести лежащего на нем снега. Выступающая в таких условиях на поверхности льда вода ведет к нарастанию толщины льда за счет снега и уменьшению толщины последнего.

В настоящей работе в основном используются материалы по температуре воды за февраль, март и реже январь, апрель 1954—1959 гг. Сбор материалов до 1955 г. включительно производился только в районе, расположенном к югу от линии Брейтово—Центральный мыс—мыс Рожновский. Начиная с 1957 г. обследованием охватывалась вся акватория водохранилища. Однако части водохранилища, расположенные на большом расстоянии от Бурла до Шекснинского плёса, верхняя часть Моложского плёса и Ухромскойская губа, остались до сих пор слабо изученными.

Температурные материалы, собранные в ледоставные периоды, позволяют выявить районы водохранилища с разным температурным режимом и с разной проточностью. Недостаточность этих материалов за первые годы исследований не позволяет использовать их для составления карт изотерм. Поэтому для характеристики температурного режима разных частей водохранилища данные приведены в таблицах.

Проточность Рыбинского водохранилища в разных частях различна и зависит она от ряда факторов. Прежде всего следует отметить значение проточности за счет Волги, Мологи, Шексны. Поскольку сток Волги зимой составляет примерно две трети общей приточности водохранилища (Кренке, 1958) и превышает сток Мологи примерно в 10 раз, то наиболее мощный поток должен идти от о. Шуморовского к мысу Рожновскому. И действительно, зимняя гомотермия, характерная для проточных районов при температуре 0—0.1 и редко 0.5°, прослеживается в течение всей зимы на всем протяжении нижнего бьефа Угличской ГЭС, в Волжском плёсе, в северной части Волжской губы по линии о. Шуморовский—мыс Рожновский и далее в Сбросном плёсе (табл. 26). Часто зона гомотермии распространяется от мыса Рожновского до Наволока. По-видимому, при сработке водохранилища и обмелении его вблизи мыса Рожновского поток волжских вод не может втиснуться в затопленную долину Пупмы и частично переносится к северу в центр водохранилища и уже оттуда поворачивает на юго-восток к Сбросному плёсу.

В марте 1960 г. сотрудником лаборатории гидрологии Института биологии водохранилищ К. К. Эдельштейном были произведены термогидротом измерения скоростей течений в разных частях водохранилища. Согласно этим замерам максимальные скорости течений на вертикалях составляли в Волжской губе (станция 2) более 0.010 м/сек., в долине Пупмы — 0.005, в узких частях Шекснинского плёса и в русле Шексны у Городка — 0.005, а в центре у Наволока — всего 0.021 и еще меньше у Давыдино — 0.008 м/сек. Эти данные полностью подтверждают выводы, сделанные на

Таблица 26

Температура воды в подледный период в нижнем бьефе Углинской ГЭС, Волжском плёсе, Волжской губе, центральной части и в Сбросном плёсе

Район и подрайон	Местоположение станции	Год	Дата	Глубина, м	Температура воды, °С	
					поверхностная	придонная
Центральная часть.	В 10 км к северо-востоку от мыса Рожновского	1954	19 III	5,0	0,1	0,10
	Русло Шексны между Колобоним и мысом Рожновским	1954	25 III	9,5	0,2	0,50
	В 8 км к северо-западу от мыса Рожновского	1954	26 III	2,0	0,2	0,20
	В 10 км к северо-западу от мыса Рожновского	1954	26 III	3,0	0,2	0,20
Волжский плёс.	Русло Волги на разрезе Лехово—о. Шуморовский	1954	30 III	11,0	0,4	0,50
Волжская губа.	Вьшиц. г. Молога (700 м к юго-востоку от бывшей тюрьмы)	1955	22 I	13,3	0,02	0,09
	Бывшее русло р. Пуньмы по ам=354° от мыса Рожновского	1955	29 I	3,1	0,08	0,10
Центральная часть.	Район Павлово (8 км от предыдущей станции ам=304°)	1955	31 I	2,85	0,05	0,08
	Русло Волги около Золоторучья в 25 м от берега	1955	13 II	3,8	0,03	0,10
Нижний бьеф Углинской ГЭС.	Русло Волги около Золоторучья в 100 м от берега	1955	13 II	6,1	0,05	0,11
	Разрез по руслу Волги против нижнего конца с. Углы	1955	15 II	1,5, 2,0, 2,1, 4,0, 6,0	—	0,10
	Русло Волги у с. Еремеевцево	1955	16 II	10,5	—	0,12
	Русло Волги у Глебово	1955	18 II	11,0	—	0,10
Волжский плёс.	Правый берег Волги у Копривно	1955	20 II	5,0	—	0,01
	Русло Волги у Глебово	1955	24 III	13,0	0,02	0,08
Волжская губа.	Русло Мологи около впадения ее в Волгу	1956	11 IV	12,6	0,05	0,15
Центральная часть.	Русло Мологи в 2 км выше поворота Мологи	1956	11 IV	14,3	—	0,12
Нижний бьеф Углинской ГЭС.	Русло Волги у с. Городов	1957	7 II	14,6	0,10	0,10
	Русло Волги у Мышкино	1957	7 II	12,3	0,05	0,05
	Русло Волги у Золоторучья	1957	8 II	8,0	0,00	0,00
Волжский плёс.	Русло Волги у Копривно	1957	9 II	13,4	0,00	0,05
	Волга около о-ва Триенье	1957	14 II	2,4	0,00	0,10
Сбросной плёс.	4 км от мыса Рожновского по ам=73°	1957	15 II	2,35	0,00	0,05
	7,3 км от мыса Рожновского по ам=73°	1957	16 II	20,0	0,10	0,50
	300 м от предыдущей станции к мысу Рожновскому	1957	16 II	5,0	0,4	0,80
	Правая пойма р. Шексны у д. Волково	1957	16 II	3,0	0,1	0,20

Таблица 26 (продолжение)

Район и под- район	Местоположение станции	Год	Дата	Глубина, м	Температура воды, °С	
					поверх- ностная	при- донная
Центральная часть.	Русло Мологи в 8 км к се- веру от Федорицкого маяка	1957	12 III	16.3	0.00	0.10
	13 км от гидрометеостан- ции Мыс Рожновский по ам=335° (район Наволо- ка)	1957	12 III	6.2	0.00	0.25
	Район станции 7	1957	13 III	6.7	0.15	0.20
	Русло Мологи на разрезе Гридино—Измайлово . .	1957	28 III	16.1	0.1	0.50
	Район станции 7	1957	29 III	4.5	0.00	0.10
Волжский плёс.	Русло Волги у Копринно (станция 1)	1958	27 I	13.8	0.00	0.00
Центральная часть.	Станция 7	1958	31 I	6.2	0.00	0.92
Волжская губа.	Быши, г. Молога (стан- ция 2)	1958	1 II	12.0	0.00	0.05
Волжский плёс.	Русло Волги у Копринно (станция 1)	1958	3 II	13.6	0.00	0.00
Среднее					0.08	0.18

основании температурных наблюдений, и, следовательно, тем самым до-
казывают правильность тех и других результатов исследований.

В частях водохранилища, расположенных вне волжского течения, на-
пример, в южной части Волжской губы (Югский и Переборский заливы),
температура придонных горизонтов была значительно выше — часто
более 1° (табл. 27).

Средняя температура воды в придонном слое в пределах расположения
волжского потока за все годы наблюдений в подледный период равнялась
0.18° (табл. 28), а вне его, в южной части Волжской губы — 1.04° (табл. 29).
Наибольшая температура, замеренная сотрудниками зимой в этом районе,
была 2.45°. Заметно выше в южной части Волжской губы была и темпера-
тура поверхностного (подледного) горизонта.

При сработке уровня водохранилища и в связи с этим уменьшением
зоны подпора и резким сужением Шекснинского и Моложского плёсов
в них четко проявляются стоковые течения, поэтому и здесь температурный
режим должен отличаться от такового в расширенных частях водохрани-
лища.

Во время рейса вдоль Шекснинского плёса к Череповцу в марте—на-
чале апреля 1957 г. была обнаружена очень слабо выраженная обратная
температурная стратификация, а чаще гомотермия с температурой, близ-
кой к 0°. Следовательно, и здесь, во всяком случае во второй половине
зимы, течения достаточно сильны для выноса тепла из придонных слоев
(табл. 28).

Средние из замеренных температур в Шекснинском плёсе в поверх-
ностном и придонном горизонтах совпадают со средними величинами тем-
пературы в волжском течении, что позволяет сделать заключение о нали-
чии течения в Шекснинском плёсе.

Третий участок со слабо выраженной обратной стратификацией рас-
положен в нижней части Моложского плёса от Малиновки до Перемута.

Таблица 27

Температура воды в подледный период в южной части Волжской губы

Местоположение станции	Год	Дата	Глубина, м	Температура воды, °C	
				поверхностная	придонная
Русло Волги против Каменников . . .	1954	30 III	19.0	0.4	0.5
В 2 км к западу от северной оконечности Юршинского острова	1954	30 III	4.2	0.5	0.8
В 3 км к юго-западу от бывш. г. Молога	1954	30 III	4.5	0.6	0.7
В 4 км к юго-западу от бывш. г. Молога	1954	31 III	6.0	0.6	0.7
В 3 км к северо-востоку от Лехколо	1954	31 III	2.0	0.5	0.6
Верхний бьеф Переборской плотины	1955	22 II	16.0	0.05	1.70
Правая пойма р. Волги выше д. Лаврово	1956	10 IV	4.0	0.10	1.35
Волга между д. Лаврово и д. Каменники	1956	10 IV	15.5	—	2.45
Югский залив	1957	14 II	6.25	0.1	0.7
Переборский залив	1957	14 II	17.3	0.2	0.5
Против рабочего поселка в Переборском заливе	1957	15 II	17.0	0.3	0.8
500 м к запад-юго-западу от гидрометеостанции Мыс Розановский	1957	15 II	4.5	0.2	0.8
Переборский залив	1958	1 II	16.0	0.00	1.82
Югский залив	1958	1 II	3.5	0.00	1.12
Среднее				0.27	1.04

Здесь, по наблюдениям в 1954, 1956 и 1957 гг., температура воды придонного слоя была несколько выше, чем в волжских водах, но она все же не превышала 0.7° , составляя в среднем 0.38° (табл. 29). Следовательно, и в этой части водохранилища зимой в большинстве пунктов хорошо выражены стоковые течения.

Единичные замеры температуры воды в Сбросном плесе и в части водохранилища, примыкающей с севера к нему, неизменно показывали сла-

Таблица 28

Температура воды в Шекснинском плесе в марте—апреле 1957 г.

Местоположение станции	Дата	Глубина, м	Температура воды, °C	
			поверхностная	придонная
Русло р. Шексны у Вичелово	31 III	10.1	0.10	0.20
Русло р. Шексны у о. Каргач	31 III	9.2	0.10	0.30
В 500 м выше городской насосной станции у Череповца	1 IV	9.0	0.10	0.10
В 500 м ниже Череповца	1 IV	9.1	0.00	0.10
3 км ниже металлургического комбината	1 IV	11.2	0.05	0.10
Среднее			0.07	0.18

бое прогревание водных масс (табл. 26), что объясняется стоковым течением, вызываемым работой Рыбницкой ГЭС.

К районам с холодными водами в подледный период нужно отнести плёсы малых рек, в период зимней сработки заполненные в основном

Т а б л и ц а 29

Температура воды в Моложском плёсе зимой 1954, 1956 и 1957 гг.

Местоположение станции	Год	Дата	Глубина, м	Температура воды, °С	
				поверхностная	придонная
Русло р. Мологи против устья р. Себлы	1954	9 II	14.0	0.0	0.2
Устье р. Себлы	1954	9 II	12.0	0.0	0.2
Русло р. Мологи против устья р. Себлы	1956	31 III	10.0	—	0.70
Русло р. Мологи в 500 м ниже устья р. Намы	1956	31 III	8.0	—	0.40
Русло р. Мологи в 1 км выше с. Плоское	1956	1 IV	9.2	—	0.20
Русло р. Мологи в 100 м от длинного о. Черномой	1957	1 III	13.3	0.1	0.54
Русло р. Себлы у Сиротки в 60 м от левого берега	1957	2 III	5.2	0.16	0.46
Русло р. Мологи против устья р. Себлы	1957	2 III	2.2	0.2	0.28
Русло р. Мологи на траверзе середины д. Протинье	1957	3 III	12.8	0.17	0.46
Среднее				0.10	0.38

только в пределах бывших русел. Измерения показали, что обычно здесь температура в придонном слое редко превышает 1° (табл. 30).

Холодные воды притоков оказывают влияние на температуру воды в прилегающих к речным устьям частях водохранилища. Охлаждающее влияние притоков зависит от объема стока и, следовательно, должно увеличиваться в период оттепелей.

Анализ собранных материалов позволяет составить общую картину распределения температуры в ледоставный период по акватории водохранилища. Во всех речных плёсах температура воды примерно одинакова и близка к 0° . В Главном плёсе наблюдается большая температурная неоднородность. Здесь почти ежегодно разность температуры в придонном слое достигает 4° и даже более. в противоположность водохранилищам речного типа, в которых с приближением к плотине температура повышается (Крицкий, Мелкель и др., 1947, 1948), в Рыбницком водохранилище на протяжении всего Сбросного плёса температура воды остается близкой к 0° и здесь она ниже, чем в большей части Главного плёса.

Большее прогревание в ледоставный период вод в Моложской губе, чем в Шекснинской, вероятно, объясняется меньшей проточностью.

В 1957 г. с января по апрель исключительно температура воды определена на 40 вертикалях (считая и вертикали в нижнем бьефе Угличской ГЭС), которые были более или менее равномерно распределены по акватории водохранилища, за исключением Моложского плёса, где выше Борка Заповедного наблюдения не производились (рис. 34). В эту зиму наблюдалась исключительно низкая температура воды. Температура воды выше 1° оказалась только в придонном слое на одной вертикали в Моложской губе и на одной вертикали в прибрежном участке Шекснинской губы. На большинстве вертикалей в придонном слое температура не превышала 0.5° . Даже в Пересборском заливе с наименьшей проточностью температура

Таблица 36

Температура воды в малых плёсах

Местоположение станции	Год	Дата	Глубина, м	Температура воды, °	
				поверхностная	придонная
Правая пойма р. Сити за д. Тимошино	1954	7 II	1.5	0.0	0.1
Устье р. Сити против д. Черкасово	1954	7 II	6.5	0.2	0.2
Бывшее русло р. Сити в водохранилище недалеко от устья	1954	8 II	4.2	0.0	0.0
Река Себля в 10 км от устья (д. Новое)	1954	11 II	2.6	0.0	0.0
Русло р. Себлы выше д. Новое	1954	11 II	3.5	0.0	0.1
Река Чеснава выше пристани	1954	13 II	3.0	0.0	1.0
		30 II	2.15	0.5	0.7
Устье р. Согожк против д. Б. Луки	1954	23 III	12.25	0.1	0.2
Река Сить на разрезе Черкасово—Брейтово	1955	4 III	4.2	0.4	1.32
Река Бая у д. Чапково	1956	16 III	1.25	0.2	—
Река Чеснова в 4 км выше д. Никола Погост	1956	16 III	1.25	0.1	—
Река Сить между Брейтово и Черкасовым	1956	22 III	5.6	0.7	1.68
Река Сить у д. Тимошино	1956	22 III	3.1	0.2	0.60
Река Себля между д. Горниское и д. Новое	1956	31 III	2.0	—	0.6
Русло р. Сити при пересечении его дорогой Семеновское—Покровское	1957	1 III	1.25	—	0.0
Русло р. Сити при пересечении воздушной электростанцией Тимошино—Губино	1957	1 III	2.30	—	0.1
Русло р. Сити на линии Черкасово—Брейтово	1957	1 III	5.80	0.35	0.84
Середина русла р. Себлы у д. Горниское	1957	2 III	1.75	0.0	0.0
Русло р. Себлы у д. Приворот	1957	2 III	5.25	0.14	0.90
Русло р. Ламы на 0.8 км ниже моста	1957	2 III	4.15	0.18	0.32
Русло р. Ламы в 25 м выше моста д. Чурилково	1957	3 III	0.58	0.0	0.0
Река Чеснава в 1 км выше д. Никола Погост	1958	28 I	1.0	0.00	—
Река Сить у Тимошино в месте пересечения линией электропередач	1958	28 I	6.1	0.05	0.62
Река Сить у Покровского в месте пересечения дорогой Покровское—Семеновское	1958	29 I	0.95	0.12	—

в феврале в придонном слое была на одной вертикали 0.5° и на другой — 0.8° .

Самые низкие температуры обычно в пределах $0.0-0.1^{\circ}$ наблюдались на всем протяжении от Угличской ГЭС до центра водохранилища (район Наволока) и до Волково в Сброном плёсе. Низкая температура отмечена в плёсе у Череповца и ниже до Вичелово и на отдельных участках Шекснинской и Ухро-Согожской губ, а также в Моложской губе на бывшем русле Мологи против впадения Сити. Столь малые запасы тепла в водохранилище не наблюдались в другие годы шестилетнего периода 1954—1959 гг.

Зимой 1958 г. температура измерялась только в Волжском и Главном плёсах. Наблюдения проведены на 43 вертикалях. В эту зиму холодные воды держались в пределах потока волжских вод (рис. 35). По материалам, собранным в зиму 1957/58 г., средняя придонная температура за период январь—март оказалась равной для Моложской губы 1.93° , для Шекснин-

ской — 1.40° , для переходной зоны (разрез Горелово—Измайлово) — 1.2° и южной части (кроме участка Легково—мыс Рожновский—Переборы) — около 0° . Низкая температура в южной части целиком обусловлена ее проточностью и влиянием волжских вод. Эти данные подтверждают

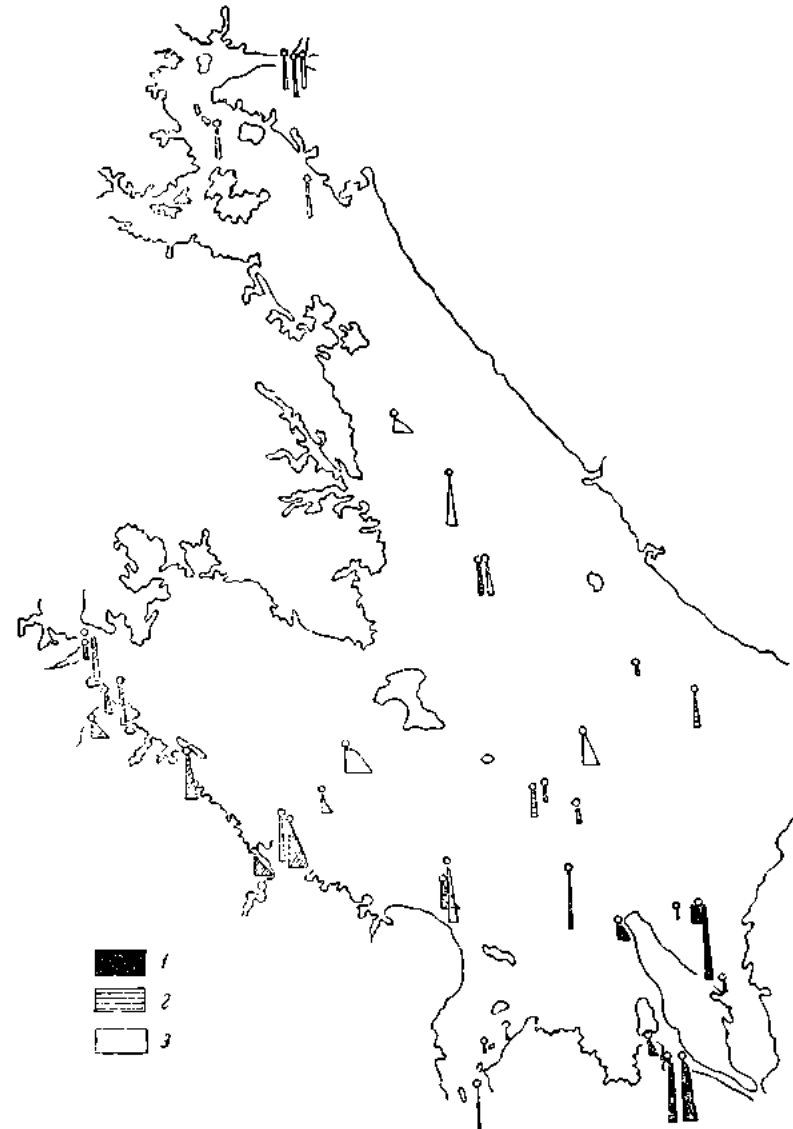


Рис. 34. Схема эиор температур воды Рыбинского водохранилища зимой 1957 г.

1 — февраль; 2 — март; 3 — апрель.

высказанное выше положение о наибольшей прогремости зимой вод в Моложской губе, затем в Шекснинской и в переходной зоне. Наиболее холодные воды находятся в районах с более интенсивным водообменом — в волжском потоке.

В разные зимы температура воды в Рыбинском водохранилище может различаться очень существенно, что хорошо видно при сравнении рис. 34 и 35.

Вопрос о факторах, определяющих зимний прогрев вод в непроточных или слабопроточных водоемах или частях их, до сих пор дискуссионен. Материалы, характеризующие зимний режим Рыбинского водохранилища, позволяют только в первом приближении выяснить его.

Начнем рассмотрение этого вопроса с оценки влияния температуры воздуха в период ледостава на прогретость воды водохранилища в зимы

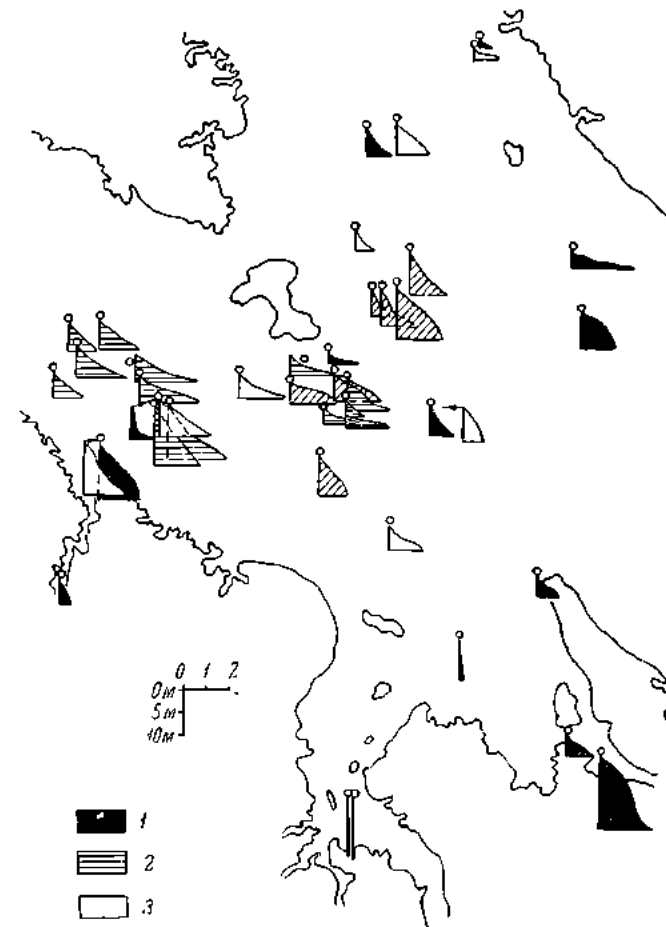


Рис. 35. Схема эиор температур воды Рыбинского водохранилища зимой 1957 г.
1 — 27 января—3 февраля; 2 — 8—15 февраля; 3 — 13—15 марта.

1956/57 г. и 1957/58 г. Первая зима характерна исключительно низкой температурой придонного слоя воды, вторая высокой (рис. 34 и 35). Судя же по температуре воздуха, следовало ожидать обратного соотношения температуры воды (табл. 31).

Суммы положительных температур воздуха за безледоставный период близки к суммам температур воды в Рыбинском водохранилище, так как в период интенсивного прогрева воздух несколько теплее воды, а в период охлаждения холоднее ее. Следовательно, по этому показателю можно судить о средней температуре водохранилища в безледоставный период и о прогретости дна.

Сбросы Рыбинской ГЭС должны отражаться на проточности водохранилища, хотя и неодинаково в разных его частях. Для выявления эи

Т а б л и ц а 31
Среднемесечная и средняя за период ледостава температура воздуха (°C) (гидрометеостанция Мыс Рожновский)

Годы	Месяцы					Средняя
	XI	XII	I	II	III	
1956/57	-6.2	-5.3	-7.1	-3.1	-9.8	-6.3
1957/58	-0.7	-5.0	-9.3	-11.3	-9.6	-7.2

факторов на температуру воды зимой сопоставим их характеристики со средними температурами воды придонного слоя в Моложской губе, наиболее полно изученной и одной из наименее проточных частей водохранилища (табл. 32).

По данным второго и третьего столбцов табл. 32 построен график связи между суммами положительных среднесуточных температур воздуха за

Т а б л и ц а 32
Температура придонного слоя воды в Моложской губе, температура воздуха в безледоставный период (гидрометеостанция Мыс Рожновский), сбросные расходы Рыбинской ГЭС и средняя глубина Рыбинского водохранилища

Год	Температура придонного слоя воды (февраль, март, Моложская губа), °C	$\Sigma + T^\circ$ воздуха предшествующего года (апрель, ноябрь, Мыс Рожновский)	Средние сбросные расходы Рыбинской ГЭС (январь, март), м³/сек.	Средняя глубина водохранилища (январь—март), м
1957	0.8	2100	1280	4.7
1959	1.4	2200	1460	4.9
1954	1.6	2300 *	1280	5.1
1956	1.8	2400	640	3.8
1958	1.9	2500	1800	4.7
1955	2.1	2600	910	4.0

* Вычислено по данным метеостанции Помехонье—Володарск.

безледоставные периоды и температурами придонного слоя воды в Моложской губе в феврале и марте (рис. 36). Точки на графике легли либо на кривую, либо в непосредственной близости к ней, что говорит о функциональной зависимости зимнего прогревания водных масс обширного мелкого непроточного водоема от летнего прогревания грунта водоема, определяемого в таких водоемах прогреваемостью водных масс в безледоставный период. Однако нужно отметить, что точность определения среднемесечных придонных температур различна, так как число вертикалей, взятых в Моложской губе в феврале и в марте для определения придонной температуры во отдельным годам, колебалось от 4 до 35. Поэтому для подтверждения и уточнения выявленной зависимости необходимо продолжать исследования. А. А. Пивоваров (1959) при разработке метода предвычисления зимнего хода средней по вертикали температуры воды в водохранилищах тоже придает большое значение придонным температурам в предшествующий летний период.

Что же касается сбросных расходов и средних глубин, то между ними и прогремостью Моложской губы связи обнаружить не удалось.

Данные 1958 г. позволяют отметить, что распределение температуры воды по вертикалям очень разнообразно в разных частях водохранилища (рис. 35).

Для районов со значительными скоростями течений характерна гомотермия или почти гомотермия (разность температуры между поверхностью и дном редко превышает 0.1°) при температуре, близкой к 0° . В Моложской губе температура на больших глубинах была во всех случаях высокой, а на малых — разной. Высокая температура наблюдалась

в Ухро-Согожской губе (у Давшино) и в Переборском заливе.

Наблюдения показали, что даже в пределах малопроточных частей водохранилища придонные температуры и температурные градиенты резко различаются. Ход температуры воды в подледный период различен в разные годы и претерпевает большие изменения по акватории водохранилища, в наиболее проточных участках всю зиму температура держится около 0° ; в застойных районах температура продолжает выпадать вплоть до начала поступления талых вод. Температурная съемка зимой 1959 г., проведенная с помощью электротермометра, полностью подтвердила выводы о характере распределения температуры по акватории водохранилища, сделанные по материалам наблюдений в зимы 1957 и 1958 гг.

Температурные материалы ледоставного периода позволили составить схематическое районирование Рыбинского водохранилища по придонным температурам (рис. 37).

В одной из своих последних работ Л. Л. Россолимо (1959) пишет, что в малых, но глубоких озерах (оз. Глубокое) «большие различия теплоудержания в разные годы в начале периода зимнего прогревания сглаживаются к концу периода» (стр. 5). В Рыбинском водохранилище наблюдается обратное явление. Ежегодно в период замерзания температура воды в водохранилище близка к 0° , а в конце зимы в непроточных частях водохранилища могут быть большие различия в температуре, что обуславливается летней гомотермией и под влиянием последней различным прогреванием донных отложений в зависимости от метеорологических условий предшествующего безледоставного периода.

СЕЗОНЫ И ПЕРИОДЫ ГОДОВОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ЦИКЛА И ТЕМПЕРАТУРНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩА

Специфика температурного режима Рыбинского водохранилища не позволяет применить к нему ни одну из предложенных схем теплооборота озер без внесения в них существенных изменений. На основании проведенных исследований для водохранилища может быть дана следующая схема деления на сезоны и их части годового температурного цикла, которую, конечно, нужно рассматривать как предварительную, тем более что это деление на сезоны в ряде случаев носит условный характер и должно быть уточнено в дальнейшем.

Для подразделения годового температурного цикла озер на отдельные периоды и фазы важнейшим показателем является время наступления

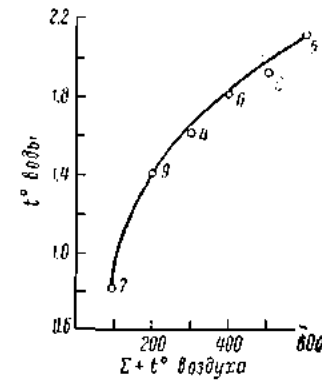


Рис. 36. Зависимость средних придонных температур воды за февраль и март в Моложском плёсе от сумм положительных среднесуточных температур воздуха за предшествующий летний период.

изменения характера распределения температуры по вертикали (гомтермия, обратная и прямая стратификация). Продолжительность периодов и число фаз для различных водоемов различны, в зависимости от климатических условий, гидрологического режима и морфологии чаши (Форель, 1912; Россолимо, 1930; Молчанов, 1930, 1946, 1957; Лешнева, 1950; Бого-

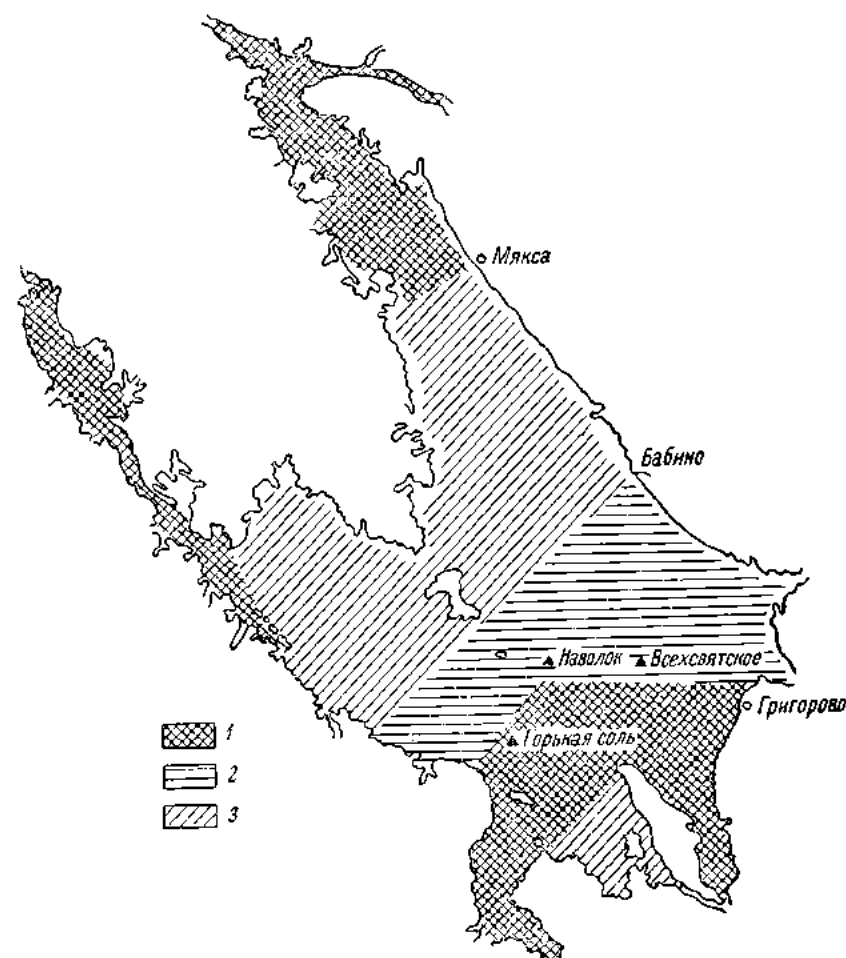


Рис. 37. Схематическое районирование Рыбинского водохранилища по температурному режиму зимой.

1 — районы с холодной водой; 2 — переходная зона; 3 — районы с прогретой водой.

словский, 1951, 1960; Зайков, 1955; Hutchinson, 1957; Францев, 1959, и др.).

В Рыбинском водохранилище период весеннего нагревания начинается в одних его районах при обратной стратификации и в других при гомтермии. Следовательно, разделение весеннего периода на фазы по вертикальному распределению температуры невозможно. Далее, ход изменения температуры воды весной значительно сложнее, чем в больших озерах; повышение температуры, начинающееся обычно еще подо льдом, прерывается, и температура воды временно падает вследствие поступления из притоков в водохранилище нескольких кубических километров талых вод с температурой, близкой к 0° .

Весной на акватории Рыбинского водохранилища можно наблюдать одновременно в разных его частях температуру воды от 0 до 10° и обратную, прямую стратификацию и гомотермию. В случае ветреной погоды может долго не устанавливаться прямая стратификация. Весной распределение температуры в водохранилище в значительной мере обусловлено поступлением большого количества теплых вод притоков. Следовательно, для Рыбинского водохранилища нельзя принять за начало периода летнего прогревания момент установления прямой стратификации.

Период осеннего охлаждения для мелководных больших озер обычно принимается с момента установления отрицательного теплового потока до установления температуры наибольшей плотности.

Для Рыбинского водохранилища указанные границы периода осеннего охлаждения тоже вызывают сомнения. Дело в том, что здесь охлаждение начинается в отдельные годы не только в июле, как в 1954 г., но и в июне, что имело место в 1956 г. Установление температуры наибольшей плотности в условиях Рыбинского водохранилища не отражается на характере распределения температуры по вертикали. В Рыбинском водохранилище благодаря большим скоростям ветра происходит полное перемешивание всей водной толщи и до ледостава обратная стратификация выражена слабо. Не менее часто, чем в предзимний период, отмечается она и в осенние месяцы при резком похолодании, слабых и средних ветрах. Кроме того, на больших по площади районах продолжается выхолаживание и после замерзания водохранилища. Поэтому нет оснований для выделения периода зимнего охлаждения. Нельзя выделять и период зимнего нагревания, так как в Рыбинском водохранилище на значительных площадях такое прогревание отсутствует: здесь для всей водной толщи характерна гомотермия или едва уловимая обратная стратификация при придонных температурах, близких к нулю, что не позволяет говорить о повсеместном нагревании вод в водохранилище зимой.

По-видимому, различие в температурном режиме озер и водохранилищ заставило А. В. Францева (1959) отказаться от применения широко распространенных лимнологических схем разделения годового температурного цикла на периоды и фазы и искать новые пути, что нельзя не признать правильным. А. В. Францев в применении к Учинскому водохранилищу пишет: «Год разделен на 4 естественных сезона: зима — подледный период, весна — паводочное наполнение водохранилища, лето — от стабилизации уровня до осенней циркуляции, осень — от начала циркуляции до ледостава» (стр. 248—249). Как легко заметить, сезоны выделены по важнейшим, но разнородным факторам — гидрологическим и гидротехническим.

Весеннее наполнение Рыбинского водохранилища талыми водами, как правило, начинается задолго до разрушения ледяного покрова в Главном плесе и часто от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ паводка проходит при сплошном или почти сплошном ледяном покрове в этом районе. Поэтому неясно, что в Рыбинском водохранилище считать за конец зимы и начало весны. Далее, паводочные воды в первую фазу паводка имеют температуру более низкую, чем температура воды в водохранилище, а во вторую значительно выше ее. В зависимости от характера весны соотношение объемов холодных и теплых паводочных вод существенно изменяется и нельзя не учитывать этого фактора. Признак стабилизации уровня неприемлем в условиях Рыбинского водохранилища для установления начала сезона, так как после наполнения водохранилища обычно сразу начинается сработка уровня. При малом паводке уровень может быть высоким и при большом низким.

Наконец, благодаря сильным и частым ветрам и полной летней гомотермии переход к осенней циркуляции можно разграничить только условно.

Все сказанное убеждает нас в том, что разделение годового температурного цикла Рыбинского водохранилища по признакам, использованным А. В. Францевым для Угличского водохранилища, проводить нельзя.

Анализ температурных материалов, приведенный в предшествующих разделах работы, позволяет наметить температурные сезоны и их границы во времени, учитывая особенности температурного режима Рыбинского водохранилища и факторы, его определяющие.

В соответствии с предложением А. В. Францева (1959) может быть принято деление годового температурного цикла или температурного года на четыре сезона.

Нагревание весной воды в водохранилище, как и в других замерзающих водоемах, начинается еще подо льдом в солнечные дни после стаивания большей части снегового покрова. Учитывая, что фаза подледного прогрева в условиях Рыбинского водохранилища совпадает с началом поступления больших объемов вод из притоков, а следовательно, и с усилением перемешивания водных масс, в настоящей работе не выделяется в конце зимнего сезона или в начале весеннего период подледного нагревания. Поэтому за начало весны следует принять начало действия другого мощного теплового фактора — поступления в водохранилище талых вод.

В первый период этого сезона под влиянием притока в водохранилище талых вод происходят следующие изменения в его температурном режиме. В проточных районах, где температура воды на вертикали в течение всей зимы близка к 0° , начинается повышение температуры, так как паводочные воды уже в первые дни после начала повышения уровня в реках имеют температуру на несколько десятых долей градуса выше нуля. В районах с теплыми водами, прогретыми зимой, на этом этапе происходит падение температуры. Следовательно, поступление в водохранилище талых вод обуславливает смену зимнего температурного режима на весенний. В прибрежной зоне, уже освободившейся ото льда, с прогретыми мелкими отшуровавшимися зимой водоемами и на мелководьях, где часто температура воды за счет солнечной радиации достигает нескольких градусов, вследствие затопления их холодными талыми водами происходит падение температуры ниже 1° .

Начало весеннего сезона (начало поступления талых вод) совпадает с началом повышения уровня в водохранилище и с появлением закраин — полос открытой воды вдоль берегов речных плёсов, образующихся от таяния льда и от повышения уровня.

Первая часть весны — ранневесенняя — продолжается до очищения ото льда Главного плёса водохранилища. К этому моменту температура воды в центральных частях водохранилища достигает 2° . Основным источником тепла, повышающим температуру воды в водохранилище, является тепло паводковых вод, температура которых к концу этого периода достигает в верховьях Волжского плёса 10° и Моложского 14° . Солнечная радиация в первую часть весеннего сезона в основном расходуется на таяние льда (Россолимо, 1930; Сперанская, 1959) и только на открытых участках — в прибрежной зоне и речных плёсах — главным образом на нагревание воды.

Таким образом, первая часть весеннего сезона — это период освобождения водохранилища ото льда и наполнение талыми водами большей части полезного объема водохранилища. Для сильно проточных районов водохранилища в этот период характерна гомотермия, для слабопроточных — смена обратной стратификации на гомотермию. Нарастание температуры воды в водохранилище в начале весны протекает медленно из-за низкой температуры речных вод в первую часть половодья, большого

расхода тепла на таяние льда и сравнительно с летом низкой температуры воздуха.

В конце первой части и в начале второй — примерно 10—15 мая — образуются температурные перепады в губах Главного плёса и больше разности температур по акватории водохранилища. В это время в водохранилище можно наблюдать прямую и обратную стратификацию и гомотермию.

Разная водность притоков и разная прогретость водохранилища в начале весны обуславливают и разный тип смешения талых вод с водами водохранилища. Мощные потоки, вливаясь в водохранилище, создают гомотермию, а медленно поступающие с низменных берегов в прогретые зимой районы водохранилища слабо минерализованные воды способствуют сперва сохранению обратной стратификации, а затем образованию прямой в зависимости от значений их температуры.

В конце весеннего сезона исчезают зоны температурных перепадов и происходит выравнивание температуры по акватории водохранилища. В результате прогрева глубинных слоев к концу сезона начинают уменьшаться вертикальные температурные градиенты, а поверхностный слой достигает в среднем 16—17°.

В начале второй части весеннего сезона принос тепла притоками сохраняет еще свое значение для водохранилища.

Весной наиболее теплые воды поступают в Главный плёс из Моложского и Шекснинского плёсов и более холодные — из Волжского.

При ясной и тихой погоде во второй части весны происходит резкое увеличение вертикальных и горизонтальных градиентов температуры вследствие того, что прогревание в глубоких местах охватывает только поверхностный слой, а на мелководьях всю массу воды. При ветреной и особенно холодной погоде благодаря ветровому перемешиванию вертикальные градиенты уменьшаются часто до сотых долей градуса. При прохождении циклонов резко уменьшается приход тепла за счет солнечной радиации (большая облачность) и происходит понижение температуры воздуха. Под влиянием этих факторов на мелководьях и губах водохранилища средняя по вертикали температура воды уменьшается, а в центральной глубокой части водохранилища повышается. В результате разности температуры по акватории водохранилища уменьшаются.

Температура 4° в речных плёсах наступает в начале весеннего сезона, а в центральной части — в середине его. В речных плёсах и в губах Главного плёса переход температуры через 4° не вносит изменений в динамику вод, так как благодаря большим скоростям течения здесь поддерживается гомотермия или близкое к ней распределение температуры. При температурах, близких к 4°, даже слабый ветер в центральной части разрушает образовавшуюся при штиле прямую стратификацию, которая поэтому в начале поздневесенней части весеннего сезона наблюдается редко. На этом основании в отличие от предлагаемых до сих пор схем при разделении годового температурного цикла на периоды момент перехода температуры через 4° нами не использован.

Летний сезон — сезон прохождения максимальных температур воды, т. е. сезон максимального прогрева. Начало сезона — время прохождения наиболее раннего годового максимума температуры воды (в 1956 г.) за изучаемый период — день летнего солнцестояния. В отдельные годы положительный тепловой баланс сменяется отрицательным то в начале сезона, то в середине или конце. При антициклональной погоде происходит повышение температуры, а при циклональной повсеместное понижение ее, что отличает этот сезон от весеннего. При длительной антициклональной погоде появляется температурное расслоение, но более слабое, чем весной, благодаря повышению к этому времени температуры глубин-

ных слоев. Разности температур на акватории водохранилища обычно находятся в пределах 2 и реже 3°. Ведущим тепловым процессом в этот сезон является теплообмен через водную поверхность. Существенных различий между температурой вод основных притоков и температурой самого водохранилища летом нет.

Конец сезона — начало устойчивого отрицательного теплового баланса. Судя по материалам изучаемых нами лет, это происходит в середине второй половины августа, когда температура воды переходит через 16°.

Осенний сезон — сезон отрицательного теплового баланса, т. е. интенсивного охлаждения. Характерна гомотермия и в отдельных случаях слабо выраженная обратная стратификация. Очень мало различие температуры по акватории водохранилища в глубоководных частях его. Резкое похолодание вызывает увеличение горизонтальных температурных градиентов за счет интенсивного выхолаживания мелководий, т. е. явление противоположное наблюдающемуся при возврате холодов весной. Осенью наиболее теплые воды в водохранилище поступают по Волжскому плёсу, а наиболее холодные — по Шекснинскому. Как и весной, переход температуры воды через 4° не имеет значения для деления годового температурного цикла на сезоны, так как вследствие постоянного перемешивания гомотермия или близкое к ней распределение температуры по вертикали наблюдается при охлаждении до нулевой температуры. Обратная стратификация отмечается на протяжении коротких периодов как при температуре ниже, так и выше 4°. Конец сезона — замерзание водохранилища. Окончательный ледостав обычно происходит при температуре, близкой к 0° на всех глубинах, но бывают и ранние ледоставы при тихой и ясной погоде, когда начиная с глубины 1.5—2 м температура воды 0.2—1°. Замерзает водохранилище в ноябре.

Зимний сезон продолжается от начала ледостава до начала наполнения водохранилища талыми водами.

С момента ледостава водная масса водохранилища в отношении температуры претерпевает существенные изменения. В проточных районах в течение всей зимы сохраняется гомотермия при температуре, близкой к 0° по всей вертикали. В малопроточных районах происходит постепенное прогревание водной массы за счет притока тепла ото дна водохранилища. По некоторым данным Института биологии водохранилищ, можно предполагать приток тепла грунтовыми водами. Однако отсутствие связи между уровнями воды в водохранилище (скоростью его сброса) и придонными температурами в подледный период указывает на малое значение выходов грунтовых вод в температурном режиме водохранилища. Возможно, что выходы грунтовых вод могут иметь ощутимое влияние на температуру воды на мелководьях прибрежной зоны и вблизи выходов источников.

В результате прогрева воды в водохранилище в одних его частях и сохранения холодных масс в других выделяются районы, однородные по температуре, и зоны со значительными горизонтальными изменениями температуры. В районах с прогревом воды ото дна развивается обратная стратификация. Таким образом, в подледный период перемешивание стоковыми течениями, с одной стороны, и теплообмен через дно, с другой, приводят к температурной дифференциации водных масс как в горизонтальном направлении, так и послойно.

Итак, температурный режим Рыбинского водохранилища обуславливается в основном: в первую часть весны температурой паводочных вод, во вторую часть весны температурой паводочных вод и солнечной радиацией, летом и осенью теплообменом через водную поверхность, зимой выносом тепла, поступающего из грунта, стоковыми течениями к нижней поверхности льда.

Рассмотренные выше материалы позволяют обосновать схему температурного районирования водохранилища, приведенную в начале работ (рис. 1).

Районирование водоема, да еще по быстро меняющемуся признаку, в данном случае температуре воды, представляет сложную задачу, тем более что и физико-географическое районирование водоемов разработано очень слабо. В настоящее время признано, что физико-географическое районирование суши «есть процесс выявления объективно существующих комплексов» (Гвоздецкий, 1960, стр. 382). Вероятно, это определение физико-географического районирования применимо и к водным объектам. Что же касается температурного районирования водоемов, то его нужно рассматривать как один из элементов физико-географического районирования. При этом районировании водоемы делятся на части в зависимости от особенностей температурного режима. Последние определяются рядом физико-географических свойств данной части водоема (морфометрией, гидрологией, геологией), влиянием смежных частей (температурой, объемами и скоростями поступающих водных масс) и воздействием человека, выражающимся в наполнении и работе водохранилища и вызываемыми при этом гидрологическими процессами. Естественно, что физико-географическое и температурное районирование водохранилища должны иметь ряд общих черт.

Температурные районы подразделены на подрайоны в том случае, если в пределах района имеются части, резко отличающиеся по температурному режиму в течение только одного или двух сезонов. Предлагаемое районирование, конечно, нужно рассматривать как первую попытку в этом отношении.

Температурное районирование Рыбинского водохранилища произведено по горизонтальным и вертикальным температурным градиентам и абсолютным значениям температуры. Температурные градиенты являются показателями перемешивания и направления перемещения водных масс при стоковых (транзитных) и дрейфовых (ветровых) течениях. Таким образом, фактически районирование произведено по двум показателям — температуре и течениям.

Поскольку в разные сезоны года температурный режим определяется разными факторами, то естественно некоторые границы, разделяющие районы, не могут быть постоянными. Это обстоятельство заставляет производить районирование по сезонам.

До описания выделенных районов необходимо уточнить их наименования.

На карте и в описании Рыбинского водохранилища, помещенных в Трудах Биологической станции «Борок» (вып. 2, 1955), оно делилось на Главный плес и отроги, причем в понятие «отроги» включались как широкие заливы, ничем не отделяемые от Главного плеса, так и расширенные участки, отделенные друг от друга узкими протоками. Позже (Труды биологической станции «Борок», вып. 3, 1958) неудачный термин «отрог» был заменен «плесом». В. И. Матвеевым затопленные части речных бассейнов выделялись как районы, которые в свою очередь подразделялись на плесы, сужения, участки, причем и в данном случае плесами называли заливы (бухты или губы), не отделенные от Главного плеса сужениями.

В географических работах плесами обычно называются глубокие участки равнинной реки, расположенные между двумя порогами.

Наиболее точное определение озерных плесов дано В. Б. Богословским и С. Д. Муравейским (1955), согласно которому плесами называются «обособленные очертания берегов и рельефов дна части озера, нередко значительно отличающиеся друг от друга и по режиму» (стр. 19).

Из этих определений следует, что лопасти или заливы озера нельзя называть плёсами. Учитывая особенности морфологии Рыбинского водохранилища, плёсами можно называть его расширенную часть со всеми лопастями, а также участки, образовавшиеся при затоплении долины притоков, отделенные от Главного плёса сужениями. К таким плёсам (речным) следует отнести Волжский, Моложский и Шекснинский плёсы. Особое положение занимает участок водохранилища, образовавшийся от затопления долины р. Шексны ниже д. Мылюшино. Для этого участка характерны хорошо выраженные стоковые (сбросные) течения, вызываемые работой ГЭС. По этому признаку он соответствует искусственно создаваемым на некоторых водохранилищах деривационным каналам. Следовательно, этому плёсу можно присвоить название деривационного (подводящего) или сбросного плёса.

В узких частях речных плёсов, где весной скорости течения значительны, например, в районе Копринно на Волжском плёсе скорости достигают 1 м/сек., наблюдается полная гомотермия и слабое изменение температуры по акватории плёса как в поперечном, так и в продольном направлениях. Иными словами, эти участки водохранилища наполнены весной однородной по температуре массой воды. Второй особенностью речных плёсов является быстрое нарастание температуры, что обуславливается большой их зависимостью от притока поверхностных вод из мелких быстро прогреваемых водотоков. Температура воды во всех речных плёсах в начале паводка ниже температуры воды малопроточных районов Главного плёса водохранилища, а в конце паводка значительно выше.

Для Волжского плёса верхней границей является плотина Угличской ГЭС, а нижней — линия, соединяющая Легково со Святым островом. За этой линией начинается Волжская губа Главного плёса (рис. 1). Волжский плёс на своем протяжении не однороден. Верхняя его часть до ж.-д. станции Волга узкая. Скоростной и температурный режим ее в значительной мере обуславливается пропусками Угличской ГЭС и температурой воды Угличского водохранилища. Поэтому следует верхний участок Волжского плёса выделить как нижний бьеф Угличской ГЭС. Ниже ж.-д. моста плёс расширяется. Скорости течения резко уменьшаются, что сказывается и на составе грунтов (Курдин, 1959).

Моложский плёс начинается в районе выклинивания подпора и кончается на линии, проходящей от западного выступа Молого-Шекснинского междуречья (вблизи Борка Заповедного) по Первомайским островам примерно до д. Залукия. Вода в этом плёсе на всем его протяжении имеет весной примерно одинаковую температуру и быстро прогревается. Моложский плёс по морфологическим и гидрологическим признакам можно разделить на 2 или 3 участка (Аличкова, 1960; Эдельштейн, 1961).

По тем же признакам границами Шекснинского плёса являются место выклинивания подпора на р. Шексне и суженный участок у д. Мяксы.

Лопасти Главного плёса, образовавшиеся при затоплении долины притоков первого и второго порядка, воды которых имеют двусторонний обмен с центральной частью плёса, следует называть заливами или губами. А. С. Барков (1958) в отношении последнего термина пишет, что старый русский термин «губа» применяется как к заливам, так и к бухтам, большей частью образуемым речными устьями при впадении рек в море. К этому определению можно добавить, что в Ладожском озере имеются Шлиссельбургская, Волховская, Свирская губы. В Онежском озере (Молчанов, 1946) многие заливы носят название губ, например, Петрозаводская губа, Горская губа, Илем-губа. В. Б. Богословский (1960) считает, что губа — это продолговатый залив, большей частью заканчивающийся устьем рек.

В Главном плёсе Рыбинского водохранилища следует выделить 4 больших губы: Моложскую, расположенную в затопленных долинах Мологи и Яны, Шекснинскую — в долине Шексны, Ухро-Согожскую в долинах Ухры и Согожи и Волжскую — в нижней части долины Волги в пределах Главного плёса. Ухро-Согожская губа не имеет продолговатой формы. По этому признаку правильно ее было бы назвать заливом, но во избежание осложнении терминологии вряд ли имеет смысл вводить новое наименование.

Все перечисленные части водохранилища нанесены на карту (рис. 1).

Границы между губами и центральной частью Главного плёса, в зависимости от особенностей гидрологического режима отдельных лет, перемещаются. Смещаются они и в течение одного сезона. Кроме того, по акватории Главного плёса изменение температуры происходит плавное, без резких скачков. Поэтому Главный плёс делится не на районы, а на подрайоны.

Наводочные воды, вливаясь в Главный плёс водохранилища из сравнительно узких плёсов, смешиваются с его водами. Уже в момент вскрытия плёсов и тем более прилегающих к ним участков озеровидной части водохранилища температура речных вод обычно на $6-8^{\circ}$ выше, чем в Главном плёсе. В зависимости от фронта смещения, обусловливаемого шириной озеровидной части в районе поступления вод из речных плёсов, зона трансформации имеет разное протяжение. Волжские воды сразу за о. Шумеровским выходят на просторы Главного плёса, и поэтому трансформация волжских вод протекает наиболее быстро и часто заканчивается в районе бывшего г. Мологи и реже распространяется до линии Центральный мыс—мыс Рожновский. Таким образом, зоной трансформации является участок от нижней границы Волжского плёса до линии, соединяющей д. Дубец, расположенную на западном берегу, с мысом Рожновским. Этот район больших горизонтальных температурных градиентов назван Волжской губой Главного плёса.

Воды из Моложского плёса вливаются в западную часть водохранилища, как по бывшему руслу Мологи, так и через проливы, расположенные в районе Первомайских островов. И здесь ежегодно наблюдалась зона больших горизонтальных температурных градиентов. Благодаря тому, что объем западной части водохранилища невелик, зона температурного перепада распространяется до Брейтово и даже до устья Чеснавы. Этот район водохранилища по аналогии с Волжской губой назван Моложской губой. От центральной части он отделяется линией, соединяющей ПОМ с юго-западным берегом в точке, расположенной к юго-востоку от Брейтово.

Постепенное расширение северной части водохранилища приводит к тому, что трансформация шекснинских вод растягивается на наибольшее расстояние по сравнению с трансформацией вод других притоков Рыбинского водохранилища. Эта часть водохранилища — Шекснинская губа — ограничивается линией, идущей от Бабица к ПОМу.

На востоке зона температурного перепада, образуемая прогретыми водами Согожи и Ухры, заставляет выделить Ухро-Согожскую губу до границы, проходящей примерно от Бабица к Милушино (рис. 1).

Наконец, на юго-востоке расположен плёс, по которому воды водохранилища сбрасываются Рыбинской ГЭС. В этой части хорошо выражены стоковые течения, определяющие особенности его температурного режима. Здесь происходит перемешивание волжских вод с водами, поступающими из центральной части, благодаря чему изотермы располагаются параллельно линии мыс Рожновский—Волково. Эта часть водохранилища по аналогии с другими частями водохранилища с хорошо выраженным течением

названа Сбросным плёсом. Границей Сбросного плёса может служить линия, проведенная между мысом Рожновским и Миллюшным.

Зона трансформации волижских вод распространяется к северу от мыса Рожновского, и по этому признаку границу Волижской губы и Сбросного плёса следует проводить не по направлению к мысу Рожновскому, а к точке, расположенной к северу от него примерно на 10 км. Но в таком случае представление о границах районов потеряло бы ясность. Поэтому с целью получения более четкого районирования представляется несколько упрощенная схема. За остальной, внутренней частью Главного плёса сохраняется наименование центральной части.

Начиная с конца мая разности температур между губами и центральной частью постепенно уменьшаются и к моменту наступления максимальной температуры они обычно не превышают 1—2°. Одинаков и ход температурного расслоения. В начале интенсивного прогревания в штильную погоду в пределах Главного плёса быстро развивается эпилимнион, который часто сохраняется на протяжении нескольких дней. По мере приближения к середине лета и повышения придонных температур, эпилимнион развивается слабее, все чаще наблюдается гомотермия. Эта однородность в распределении температуры по вертикали в центральной части и в губах водохранилища дает основание весь Главный плёс считать одним районом, а губы — его подрайонами. Что же касается речных плёсов, то они сохраняют некоторые индивидуальные черты: в период интенсивного прогревания температура в них обычно выше, а температурное расслоение выражено слабее, чем в озерной части.

Осенью в период охлаждения до ледостава, также как и летом, в пределах Главного плёса нет существенных температурных различий, поэтому нет оснований для разделения его на подрайоны. Охлаждение плёсов протекает различно: наиболее теплые воды в это время в Волижском плёсе и наиболее холодные в Шекснинском.

После ледостава температурный режим особенно в придонных слоях существенно различается в разных районах водохранилища. Отсутствие ветровых течений приводит к обособленности отдельных частей водохранилища. Зимой воды из центральной части водохранилища уже не могут поступать в губы. Скорости стоковых течений благодаря увеличению сброса ГЭС возрастают, но в некоторых районах, например в Моложской губе, остаются неуловимыми. Все это ведет к формированию разных типов температурного режима в разных районах водохранилища (рис. 36). Во всех речных плёсах в период ледостава наблюдается гомотермия, с температурами, близкими к 0°.

Главный плёс по особенностям его режима зимой следует разделить по направлению с северо-запада на юго-восток на зоны: теплую, переходную, холодную и вновь теплую. Холодная зона захватывает почти всю южную часть водохранилища (за исключением южной части Волижской губы, где температура достигает высоких значений) и соединяется с Волижским и Сбросным плёсами. Здесь температура во всей толще воды близка к 0°. Северная граница этой зоны в отдельные годы поднимается до центра водохранилища — примерно до района бывшей д. Наволок.

Зимой наиболее теплой частью является Моложская губа, несколько холоднее ее Шекснинская. По этому признаку они выделяются, как и весной, в отдельные районы.

Между наиболее теплыми и холодными зонами Главного плёса располагается переходная зона, сравнительно слабо изученная.

В районах с прогретыми водами хорошо выражена обратная температурная стратификация. В переходной зоне вертикальные температурные градиенты значительно меньше.

Во всех речных плёсах и в упомянутом выше Сбросном наблюдается гомотермия или слабо выраженная обратная стратификация с температурами ниже 1° .

Предлагаемое районирование Рыбинского водохранилища по температурному режиму в весенний период в отношении расположения границ отдельных частей во многом совпадает с общим географическим районированием водохранилища, предложенным Институтом биологии водохранилищ (Пояснение к карте Рыбинского водохранилища, 1958).

Основные различия заключаются в перенесении границы между центральной частью и Моложским плёсом (Моложской губой по новому наименованию) к центру водохранилища от Центрального мыса к ПОМу, в выделении Ухро-Согожской губы, в подразделении Волжского плёса на две части — Волжский плёс и нижний бьеф Угличской ГЭС и в объединении губ с центральной частью.

Увеличение размеров Моложской губы за счет центральной части произведено в связи с тем, что зона трансформации моложских вод весной распространяется значительно дальше границы, проведенной по районированию Института. Кроме того, граница, проходящая через, отделяет район наиболее прогретых водных масс в зимний период. При проведении границы через ПОМ акватории Моложской и Шекснинской губ весеннего и зимнего районирования совпадают.

Ухро-Согожская губа выделена потому, что эта часть Главного плёса находится под влиянием рр. Согожи и Ухры и здесь лежит зона трансформации их вод. Возможно, что более полное исследование этого района даст дополнительное основание для его выделения.

Наконец, разделение Волжского плёса на две части необходимо ввиду резкого различия в гидрологическом и, в частности, в температурном режиме верхней и нижней его частей.

Наиболее существенное различие между рассматриваемыми районированиями заключается в том, что расширенные части речных плёсов по сравнению с районированием, описанным в Трудах Биологической станции «Борок» (вып. 3, 1958), нами отнесены к Главному плёсу и названы его губами на том основании, что с июня и по ноябрь включительно ($1/2$ года) в температурном режиме центральной части и губ нет уловимых различий. Зато на протяжении почти всего года имеются существенные различия в температурном режиме речных плёсов и губ Главного плёса, что не позволяет объединить губы и соответствующие речные плёсы.

В ином положении находится Сбросной плёс. Поступившие в него воды не могут в значительном объеме возвращаться в центральную часть, так как уклон водной поверхности в сторону ГЭС обеспечивает заметное течение. Поэтому за районом, расположенным к югу от линии мыс Рожновский—Милюшино, можно сохранить название плёса.

По особенностям строения чаши водохранилища и вследствие некоторых особенностей температурного режима (различия в значениях температуры зимой и весной) Главный плёс можно разделить на две части — Волго-Моложскую и Шекснинскую по линии Центральный мыс—мыс Рожновский.

Предлагаемое нами районирование для весеннего периода в отношении северо-западной части почти полностью повторяет районирование, произведенное М. А. Фортунатовым (1959) на основании данных о цветности и прозрачности вод. Главное сходство заключается в том, что губы М. А. Фортунатов тоже считает частями Главного плёса, а не Моложскими и не Шекснинскими плёсами. В отношении юго-восточной части районирование по термическому режиму и районирование, предложенное М. А. Фортунатовым, существенно различаются. Нельзя согласиться с тем, что Сбросной плёс является частью Главного плёса, а Волжская

губа Главного плёса — нижней частью Воляжского плёса, тем более что в отношении последнего и М. А. Фортунатов указывает на большее сходство его по цветности и прозрачности воды с Главным плёсом, чем с верхним и средним участками Воляжского плёса.

Границы распределения воды с разными показателями окрашенности в подледный период, не использованные М. А. Фортунатовым для районирования, очень близки к границам районов, установленным по температурному режиму. Эти материалы взаимно подтверждают друг друга.

ЛИТЕРАТУРА

- Аничкова Н. Н. 1960. Некоторые черты гидрологического и гидрохимического режима северной части Рыбинского водохранилища, имеющие значение в жизни рыб. Тр. Дарвинск. гос. заповедн., вып. VI, Вологда.
- Алунин Д. И. 1898. Озера области истоков Волги и верховьев Западной Двины. Землеведение, кн. I—II, М.
- Бакастов С. С. 1959. Режим грунтовых вод в прибрежной зоне Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 4.
- Барков А. С. 1958. Словарь-справочник по физической географии. Учпедгиз, М.
- Берг В. А. 1957. Термический режим водохранилищ и современные методы его прогноза. Тезисы докл. III Всес. гидрол. съезда.
- Богословский Б. Б. 1951. О термическом режиме озера Глубокого в безледный период. Сб. «Вопросы географии», вып. 26.
- Богословский Б. Б. 1960. Озероведение. Изд. Моск. гос. ун-та.
- Богословский Б. Б. и С. Д. Муравейский. 1955. Очерки по озероведению. Изд. Моск. гос. ун-та.
- Браславский А. П. и З. И. Вилкулина. 1954. Нормы испарения с поверхности водохранилищ. Гидрометеопиздат, Л.
- Гвоздецкий П. А. 1960. Физико-географическое районирование Европейской части СССР и Кавказа. Изв. ВГО, т. 92, вып. 5.
- Домрачев Н. Ф. 1922. К вопросу о классификации озер Северо-Западного края. Изв. Росс. гидрол. инст., № 4.
- Домрачев Н. Ф. 1926. Гидрологический очерк озера Ильмень. Матер. по исслед. р. Волхова и его бассейна, вып. X.
- Дрягин П. А. 1957. Предварительная классификация водохранилищ СССР. Н.-техн. бюлл. Всес. н.-иссл. инст. озерн. и речн. хоз., № 5.
- Зайков Б. Д. 1955. Очерки по озероведению. Гидрометеопиздат, Л.
- Зиминова Н. А. 1959. Элементы гидрологического режима и водный баланс Иваньковского водохранилища за 1951—1956 гг. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2(5).
- Казаровец Н. М. 1960. Применение кондуктометрического метода к изучению распределения водных масс Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 7.
- Карта Рыбинского водохранилища. 1958. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.
- Киреев В. Д., Ю. Н. Кольмогорова, О. И. Крестовский, Е. Н. Попова, В. В. Сумарокова, Р. А. Шестакова. 1958. Термический режим Шуваловских озер. Тр. Ленингр. гидромет. инст., вып. 7.
- Кренке А. Н. 1958. Материалы по течениям Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.
- Крицкий С. Н., М. Ф. Менкель и К. И. Россипский. 1947. Зимний термический режим водохранилищ, рек и каналов. Госэнергоиздат, М.
- Крицкий С. Н., М. Ф. Менкель, В. В. Макулов, К. И. Россипский и А. С. Семьяколов. 1948. Зимний режим водохранилищ и каналов, наблюдения и исследования. В сб. «Проблемы регулирования речного стока», вып. 3, Изд. АН СССР, М.—Л.
- Курдин В. И. 1959. Классификация и распределение грунтов Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 1 (4).
- Курдина Т. Н. 1958. Температура воды в Рыбинском водохранилище и ее динамика. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.
- Курдина Т. Н. 1959. Элементы гидрологического режима и водный баланс Угличского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2(5).
- Лепнева С. Г. 1950. Жизнь в озерах. Жизнь пресных вод, т. III. Изд. АН СССР, М.—Л.
- Молчанов И. В. 1930. Термические типы озер и факторы, их определяющие. Тр. II Всес. гидрол. съезда.
- Молчанов И. В. 1946. Онежское озеро. Гидрометеопиздат, Л.

- Молчанов Н. В. 1957. Закономерности распределения температуры воды по вертикали в теплоактивном слое воды. Тезисы докл. III Всес. гидрол. съезда. Секция озер и водохранилищ.
- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. 1957. Вып. 7, ч. I. Гидрометеонадат, Л.
- Опичников И. Ф. 1950. Краткий очерк Рыбинского водохранилища. Тр. Бюл. ст. «Борок» АН СССР, вып. 1.
- Пиповаров А. А. 1959. Методика предвычисления зимнего хода средней по вертикали температуры воды в водохранилищах. Тр. III Всес. гидрол. съезда, т. IV.
- Пояснения к карте Рыбинского водохранилища. 1958. Тр. Бюл. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.
- Россицкий К. И. 1959. Температурный режим глубоких водоемов. Тр. III Всес. гидрол. съезда, т. II.
- Россолимо Л. Л. 1930. Термика Косинских озер. Тр. Бюл. ст. в Косино, вып. 10.
- Россолимо Л. Л. 1959. Некоторые особенности температурного режима малых озер. Тр. Моск. техн. инст. рыбн. пром. и хоз., вып. X.
- Рутковский В. И. 1958. Предварительные итоги первой гидролого-гидрохимической синхронной съемки Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 2.
- Рутковский В. И. и Т. Н. Курдина. 1959. Водный баланс Рыбинского водохранилища за период с 1947 по 1955 г. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 1(4).
- Сперанская А. А. 1959. Подледный прогрев Учинского водохранилища в весеннее время. Тр. Всес. гидробиол. общ., т. IX.
- Тачалов С. Н. 1957. Методика прогноза ледовых затруднений на Щербаковской ГЭС. Тр. Гос. гидрол. инст., вып. 66.
- Тачалов С. Н. 1959. Термический режим Рыбинского водохранилища. Сб. раб. Рыбинск. гидромет. обсерв., вып. 1. Гидрометеонадат, Л.
- Форесть Ф. 1942. Руководство по озераведению. СПб.
- Фортуатов М. А. 1959. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатели его режима. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2(5).
- Францев А. В. 1959. Очистный эффект Учинского водохранилища. Тр. VI совещ. по пробл. биол. внутр. вод АН СССР.
- Штокман В. Б. 1953. Влияние рельефа дна и поперечной неравномерности ветра на горизонтальную циркуляцию в мелком море или водохранилище. Метеор. и гидрол., № 8.
- Шуляковский Л. Г. 1954. Вскрытие и оттаивание ото льда речных зон и заливов водохранилищ в зависимости от гидродинамических условий и режима эксплуатации. Тр. Центр. инст. прогнозов, вып. 34, М. —Л.
- Эдельштейн К. К. 1961. О влиянии уровня Рыбинского водохранилища на стоковые течения Мозожского плеса. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 8.
- Hutchinson D. Evelyn. 1957. A Treatise on Limnology, vol. 1 (Geography, Physics and Chemistry). New York.

ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (1955—1959 гг.)

Горьковское водохранилище по площади и объему занимает шестое место среди водохранилищ Европейской части СССР (Близняк и Андреев, 1958). Руло Волги выше Горького было перекрыто в августе 1955 г. С 24 августа по 7 октября расходы реки пропускались через 10 пролетов плотины и 2 недостроенных агрегата ГЭС (Тараймович, 1957). В октябре

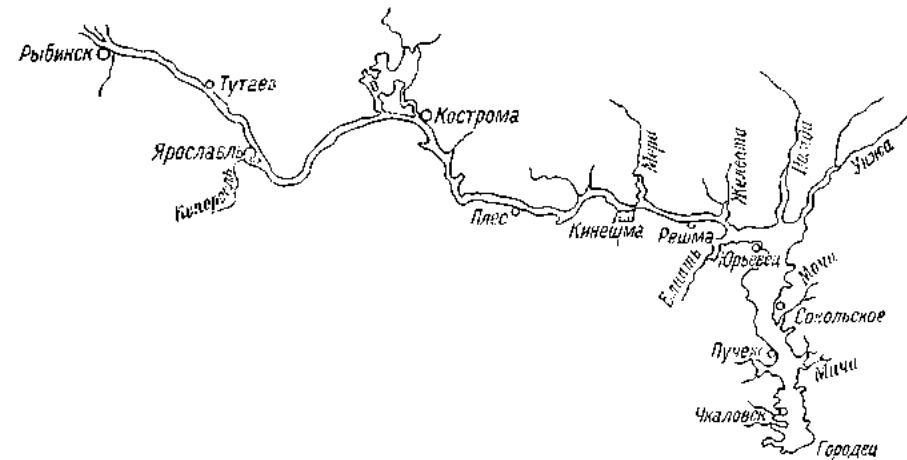


Рис. 1. Схема Горьковского водохранилища.

горизонт воды верхнего бьефа нового водохранилища повысился на 7,4 м, в результате чего были созданы условия, необходимые для работы турбин, а к концу 1955 г. выше плотины при затоплении русла Волги и в основном левобережной ее поймы образовался водоем площадью примерно 450 км² с объемом воды 1,6 км³. Наполнение водохранилища до нормального подпорного горизонта произошло в 1957 г. При этой отметке уровня площадь и объем водохранилища достигли проектных размеров (рис. 1).

С началом наполнения Горьковского водохранилища Институт биологии водохранилищ АН СССР приступил к систематическому комплексному исследованию нового водоема. Предварительно было проведено обследование участка Волги в зоне затопления, намечены и закреплены створы для гидробиологических работ и определено местоположение комплексных станций (Буторин, 1959а).

За 1955—1959 гг. было выполнено 692 гидрологических станции, в том числе ряд суточных и полусуточных; из них в 1955 г. — 12, в 1956 г. — 156, в 1957 г. — 191, в 1958 г. — 215 и в 1959 г. — 118 станций. На каждой из этих станций измерялись глубины, скорости течения, температура воды поверхности и на глубинах, прозрачность и в отдельных случаях мутность воды, а также температура воздуха, скорость и направление

ветра. Фиксировалось состояние водной поверхности и погодные условия. Полученные данные позволяют судить об основных характеристиках гидрологического режима водохранилища за этот период. Кроме материалов Института биологии водохранилищ АН СССР, в работе использованы данные Гидрометеослужбы и некоторых других организаций.

К МЕТОДИКЕ НАБЛЮДЕНИЙ

Гидрологические наблюдения в основном производились на стандартных комплексах станциях, расположенных на гидробиологических створах. Описание расположения створов и станций на них, а также программа гидрологических работ, приборы и методика наблюдений приводятся нами в предыдущих работах (Буторин, 1959а, 1959б), поэтому здесь мы даем только профили соответствующих створов, составленные Московским государственным институтом по изысканию и проектированию электростанций, так как они необходимы также для анализа гидробиологических и гидрохимических материалов (рис. 2, 3, 4).

Организация ряда специальных рейсов позволила собрать довольно большие материалы по гидрологии верхнего участка водохранилища, где отсутствуют гидробиологические створы, и значительно пополнить данные по прилегающему участку.

Географическое положение и строение долины Волги на участке водохранилища

Горьковское водохранилище расположено на территории четырех областей: Горьковской, Ивановской, Костромской и Ярославской.

От Рыбинска до впадения р. Унжи Волга течет почти в широтном направлении, поэтому протяжение водохранилища с запада на восток значительно больше, чем с севера на юг. На запад подпор распространяется дальше всего по Волге, где при ННГ (нормальный подпорный горизонт) он достигает Рыбинска, а на восток — по р. Унке, выше Макарьева.

Акватория, занятая в настоящее время водохранилищем, представляет собой затопленную Волгу и часть ее поймы. Долина Волги на участке водохранилища прорезает довольно однообразную равнину с высотами от 100 до 200 м. Поэтому коренные берега водохранилища обычно высокие и крутые.

Ниже Ярославля долина Волги обычно имеет хорошо выраженные террасы: пойменную на высоте от 3 до 5 м над меженным уровнем и две надпойменные. На отдельных участках долина сужается и не имеет отчетливо выраженных террас. Кроме Тутаева, это особенно заметно у Плёса.

Долина Волги прорезается долинами притоков. Наиболее существенные из них на участке водохранилища — Кострома, Немда и Унка. Все они неширокие и в строении своих долин имеют много общего с долиной Волги. Некоторые особенности имеет лишь р. Кострома. Ее участок от истоков до Буя характеризуется плавной извилистостью русла и высокими берегами. Приустьевой же участок ее проходит по обширной Костромской низине, занимающей около 20 км в ширину и до 80 км в длину. Центральная часть Костромской низины представляет собой пойму реки с извилистым руслом и большим количеством стариц, грив и бугров. В западной части низины много небольших озер и болот. Низина имеет три хорошо выраженные террасы.

Наиболее характерными элементами рельефа долины Немды и Унки являются группы холмов, разделенных между собой в большинстве случаев озерами и небольшими болотами. Наиболее значительные торфяные болота встречаются в верховьях долин Немды и Унки.

Ниже устья Унки долина Волги расширяется до 7 км, а в отдельных местах даже до 10 км, главным образом за счет левобережья. Основные элементы рельефа остаются прежними, но количество торфяных болот

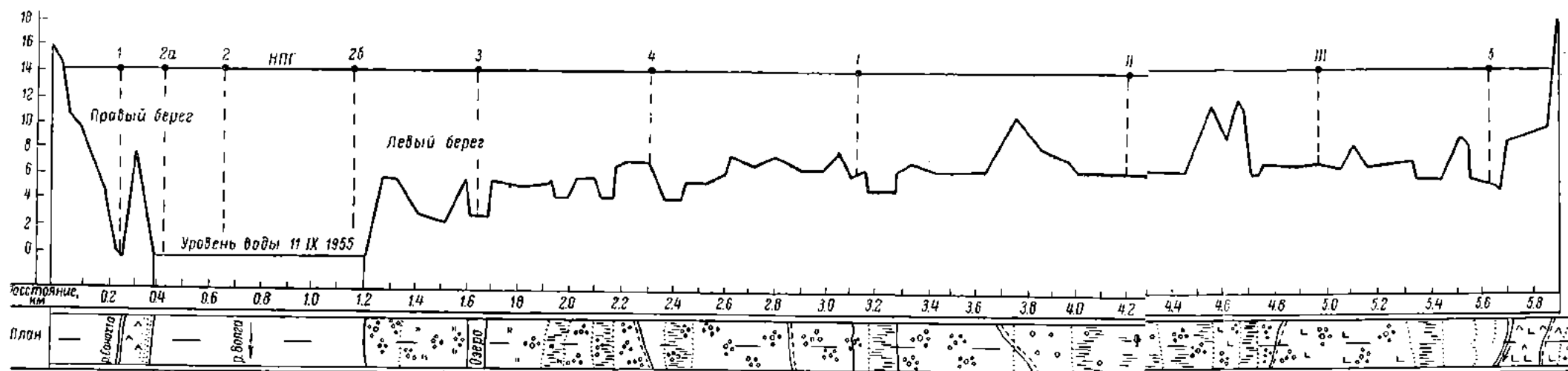


Рис. 2. Профиль чкаловского створа.
Арабские цифры — номера комплектных станций; римские цифры — номера бентосных станций.

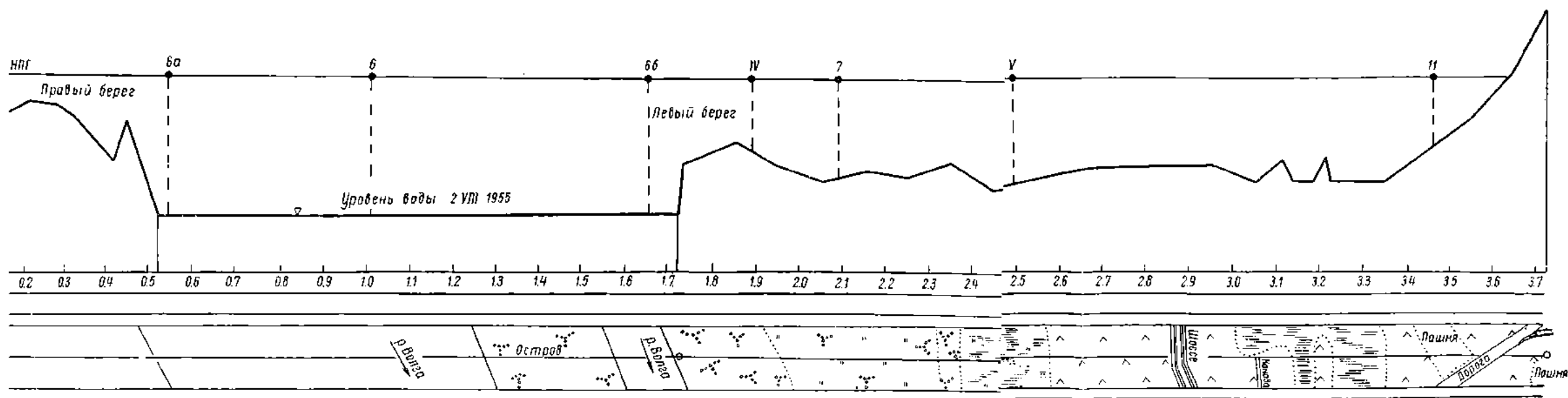


Рис. 3. Профиль путяжского створа.
Обозначения те же, что на рис. 1.

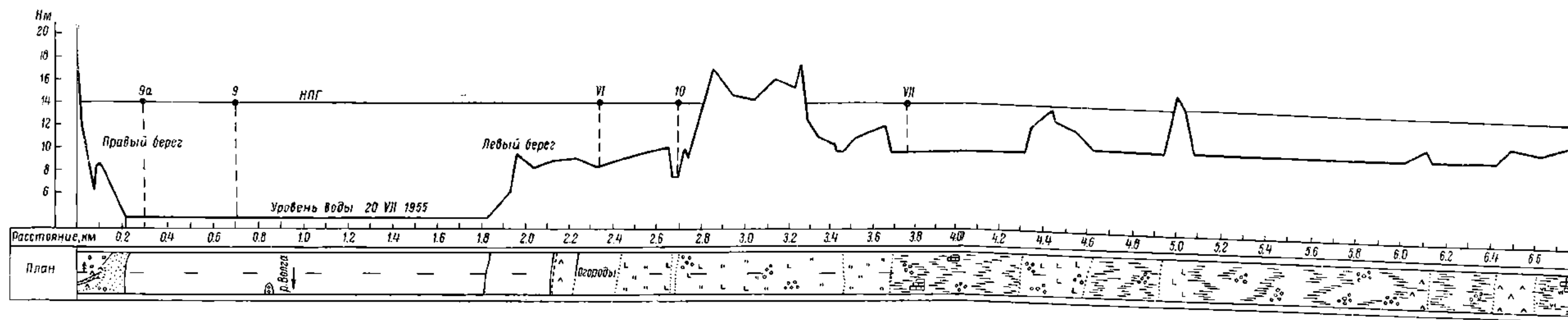


Рис. 4. Профиль юрьевецкого створа.
Обозначения те же, что на рис. 1.

заметно увеличивается. Наибольший торфяной болотный массив — «Чистые болота» — расположен южнее р. Жары.

От Юрьевца до плотины долина Волги имеет асимметричное строение. Правый берег в большей части возвышенный, а левый низменный. На правом берегу пойменная и вторая надпойменная террасы выражены слабо. Значительно яснее выражена первая надпойменная терраса. На левом берегу наибольшее развитие получила пойменная терраса, которая местами достигает ширины 5,5 км. Над уровнем Волги левобережная пойма возвышалась на 5—7 м и имела гривисто-ложбинный рельеф с большим количеством озер, стариц и заболоченных низин.

Первая надпойменная терраса на левом берегу заметно развита ниже Сокольского. Она имеет также гривисто-ложбинный рельеф, но более сглаженный, чем на пойме. Вторая надпойменная терраса является наиболее древней, поэтому она больше размыта и отличается более равнинным рельефом и меньшим количеством болот.

Долина Волги на рассматриваемом участке водохранилища прерывает породы палеозоя, мезозоя и четвертичной системы. Дочетвертичные отложения выходят на поверхность лишь по крутым обрывам берегов Волги, ее притоков и оврагов. Вся поверхность долины сложена комплексом четвертичных отложений, который включает древние ледниковые отложения, отложения древнего и средневекового аллювия и отложения озер и болот. Четвертичные отложения покрывают долину сплошным слоем мощностью от 1 до нескольких десятков метров и в большинстве случаев расположены под почвами долины, залитой водохранилищем. Большая часть ложа водохранилища покрыта глинами и суглинками.

Преобладающими почвами являются подзолистые суглинки и подзолистые сунеси, а в поймах затопленных рек расположены отдельными пятнами торфяно-болотные почвы. Подробное описание почв ложа водохранилища на участке от Юрьевца до Городца и характеристика их по створам приводится в работе А. П. Белавской и Т. А. Павловой (1964).

Краткая климатическая характеристика района водохранилища

Горьковское водохранилище расположено на равнинной территории, поэтому район водохранилища открыт для свободного проникновения воздушных масс как с севера и востока, так с юга и запада.

Для характеристики климата района водохранилища наиболее показательным элементом является температура воздуха. В табл. 1 приводятся среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха по бассейну Волги от Рыбинска до Горького, приведенные к 50-летнему периоду Бюро расчетов и справок Московского управления Гидрометеослужбы.

Из табл. 1 следует, что среднегодовая многолетняя температура воздуха по длине водохранилища колебалась от 2,4 до 3,5°. Наиболее высокие среднегодовые температуры воздуха, как и в большинстве случаев среднемесячные, наблюдались в Ярославле в северо-западной части района. На юго-восток температура была несколько ниже. Во всех пунктах, приведенных в таблице, среднемесячные температуры с ноября по март включительно имели отрицательные значения, а с апреля по октябрь — положительные.

Даты перехода температуры воздуха через 0° весной и осенью, разделяющие теплый и холодный сезоны года, даны в табл. 2. Среднесуточная температура выше нуля отмечается обычно в первой декаде апреля. Наиболее резкое повышение ее весной происходит от марта к апрелю и от апреля к маю. Максимальных значений температура воздуха достигает

Таблица 1

Многолетние среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха (°C)

Станция	Месяцы												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ярославль	-10.8	-10.2	-5.0	3.6	11.4	15.8	18.2	15.8	10.2	3.8	-2.6	-8.7	3.5
Кинешма	-12.3	-10.6	-5.3	3.4	11.4	15.7	18.5	16.0	10.0	3.4	-3.4	-9.6	3.1
Рострома	-11.6	-10.9	-5.7	3.0	11.0	15.4	17.8	15.5	9.8	3.2	-3.3	-9.9	2.9
Горький	-12.0	-11.4	-6.0	3.0	11.6	15.8	18.1	16.2	10.4	3.2	-3.8	-9.9	2.4

в июле и реже в августе. Наибольшая из максимальных температур наблюдалась в Кинешме в июле—августе 1939 г. и равнялась 37°.

Во второй половине августа по всему району температура воздуха начинает понижаться. Наиболее резкое понижение ее происходит от октября к ноябрю и от ноября к декабрю. Переход среднесуточной температуры за 0° во всех пунктах наблюдается в последней декаде октября. Таким образом, продолжительность теплого сезона составляет около 7 месяцев, а холодного — 5 месяцев.

Осеннее понижение температуры происходит с северо-востока на юго-запад. Наиболее низкие температуры воздуха наблюдаются в январе. Наибольшее значение среднего из абсолютных минимумов температур от Рыбинска до Горького равнялось -31° и относилось к Кинешме. Таким образом, годовая амплитуда, вычисленная как разность между максимальными значениями наибольшей и наименьшей температур воздуха для Кинешмы, составляет 68°. Район Кинешмы является наиболее континентальным на всем водохранилище.

В ветровом режиме преобладающими являются ветры юго-западного, западного и южного направлений, что отчетливо видно на рис. 5, где дано графическое изображение распределения направлений ветра по 8 румбам в процентах от числа наблюдений в среднем за многолетний период.

Повторяемость ветров по месяцам в течение года показана в табл. 3. Подтверждая преобладание в районе водохранилища юго-западных, западных и южных ветров, данные табл. 3 одновременно указывают на заметное увеличение летом ветров северных направлений, а зимой южных. Число штилевых дней в таблице дано в виде среднего количества за месяц.

Среднегодовая скорость ветра, по проектным материалам, колеблется в пределах от 3.1 до 4.3 м/сек. Наибольших скоростей ветры достигают в зимний период, а наименьших — летом. Максимальная скорость ветра, наблюдавшаяся в этом районе, превышала 20 м/сек.

Из литературных источников известно, что общее количество осадков за год по территории бассейна колеблется от 500 до 600 мм, причем за теплый период года выпадает более 70% годовой суммы осадков. Распределение осадков в течение года характеризу-

Т а б л и ц а 2

Даты перехода температур воздуха через 0°
и продолжительность сезонов

Станция	Даты перехода температур через 0°		Продолжительность сезонов, в днях	
	весной	осенью	теплого	холодного
Кирилловка	3 IV	29 X	206	159
Кострома	5 IV	29 X	206	159
Горький	2 IV	30 X	210	155

ется одним максимумом летом и минимумом зимой. Наибольшее количество осадков обычно выпадает в июле или в августе, а наименьшее — в феврале или в марте.

Установление устойчивого снегового покрова происходит в первой декаде ноября. Наиболее устойчив снеговой покров с декабря по март.

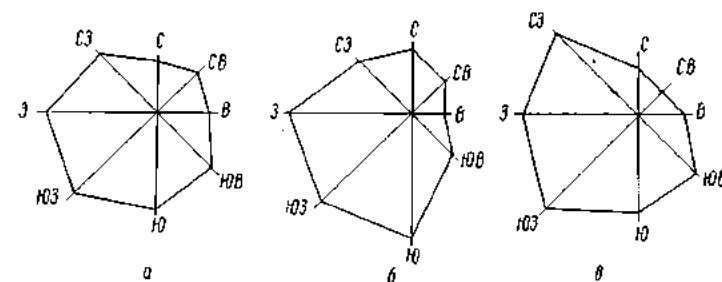


Рис. 5. Повторяемость ветров по метеостанциям.

а — Ярославль; б — Кострома; в — Горький.

Наращение толщины снегового покрова происходит медленно и плавно. Максимальной мощности он достигает к середине марта, в отдельные годы до 120—140 см (Писарев и Сергисвич, 1936). Таяние снега происходит

Т а б л и ц а 3

Средняя повторяемость ветров по 8 румбам в процентах
от числа наблюдений за многолетний период по метеостанции Горький

Месяц	Направление ветра								Среднее число штатей
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Январь	5	4	6	15	17	22	19	12	7
Февраль	4	4	7	17	18	22	16	12	6
Март	5	3	7	17	18	23	16	11	7
Апрель	7	5	9	18	16	19	14	12	8
Май	10	7	9	12	11	18	15	18	8
Июнь	11	8	8	11	11	16	15	20	9
Июль	10	9	10	11	10	15	17	18	11
Август	10	6	8	11	12	18	19	16	13
Сентябрь	7	5	6	9	14	24	20	16	9
Октябрь	6	4	4	9	16	25	21	15	6
Ноябрь	6	3	5	13	17	24	20	12	6
Декабрь	6	4	8	15	18	22	17	10	9

сравнительно быстро. К концу второй декады апреля снеговой покров обычно полностью исчезает.

По материалам климатической характеристики бассейна верхней Волги (Писарев и Сергеевич, 1936), среднегодовое значение абсолютной влажности возрастает с северо-востока на юго-запад. Максимальное значение ее наблюдается в июне, а минимальное — в январе. Относительная влажность воздуха составляет в среднем около 80% и мало меняется по территории бассейна.

Наибольшая облачность наблюдается осенью и зимой, а наименьшая — весной и летом.

Таким образом, из анализа метеорологических элементов и прежде всего температуры воздуха следует, что участок бассейна Волги в районе Горьковского водохранилища характеризуется континентальным климатом со сравнительно холодной зимой и относительно жарким летом. Особенно заметно выражена континентальность климата у Кинешмы.

Морфометрия водохранилища

Ф о р м а в о д о х р а н и л и щ а

Горьковское водохранилище на значительном протяжении представляет собой сравнительно узкий водоем. Общая протяженность его по бывшему руслу Волги составляет 434 км. Несмотря на то, что подпор воды, созданный плотиной у Городца, достиг по Волге Рыбинска и далеко распространился по ряду притоков Волги, в целом водохранилище имеет слабую извилистость береговой линии. Исключением составляет участок водохранилища от Юрьевца до плотины.

От Рыбинска до Костромы водохранилище сохраняет в основном конфигурацию речного русла до затопления. Ширина водной поверхности на этом участке, как и глубина, мало отличается от этих же характеристик реки в период весеннего половодья. Наиболее приглубым является правый берег, у которого подводный склон более крутой. В связи с этим глубины у правого берега быстро увеличиваются по направлению к руслу. Береговая линия изрезана слабо. Только в устьях речек и ручьев образовались небольшие заливы. Наиболее значительный из них возник в устье р. Которосль у Ярославля.

Особое положение в водохранилище занимает Костромское расширение. Оно представляет собой обособленный широкий мелководный плёс водохранилища, который образовался в центральной части Костромской низины по бывшей пойме р. Костромы. Площадь Костромского плёса, по данным проектных организаций, составляет 260 км². Берега его сильно изрезаны и образуют большое количество мелководных заливов.

От Костромы до устья Желватки водохранилище снова представляет полноводную реку, почти не выходящую из старых берегов Волги. Ширина этого участка по ходу воды постепенно увеличивается и в районе Кинешмы превышает 1000 м. Оба берега возвышенные и, как в вышележащем участке, изрезаны слабо. Наиболее значительное подтопление произошло лишь по пойме р. Меры, левобережному притоку Волги. При нормальном подпорном горизонте подпор по Мере распространяется несколько выше д. Городище. В результате этого в устьевом участке Меры образовался значительный залив, ширина которого в отдельных местах мало отличается от ширины водохранилища в этом районе. Несколько небольших заливчиков образовалось по руслам ручьев и оврагов. Наиболее заметные из них по левому берегу в устье ручья Хохломка и в устьях речек

Светлянка и Бобруйковка, а по правому — в устьях рек Кинешемка и Решемка.

Ширина водохранилища резко увеличивается ниже устья Желваты. Если в 2 км выше устья Желваты ширина водной поверхности превышает 1000 м, то примерно на таком же расстоянии ниже ее устья она увеличивается почти вдвое. В устье Желваты образовался большой залив, который далеко вдается в сушу по руслу этой реки и по руслу р. Надога, притоку Желваты. Поскольку Желвата течет по низменной лесистой местности левобережья Волги, залив остается сравнительно широким почти до выклинивания подпора.

Большой залив образовался и по руслу р. Елнати, правобережному притоку Волги. Влияние подпора на р. Елнать ощущается далеко от устья, по ввиду высоких берегов ширина залива велика.

Ниже впадения р. Елнати разлив расширяется еще больше, и на траверсе Ступыково ширина водохранилища достигает нескольких километров. На этом участке правый берег возвышенный, местами изрезан оврагами. Левый берег, наоборот, низменный. Вдоль левого берега расположено большое количество больших и малых островов. Наибольшие глубины встречаются ближе к правому берегу и они увеличиваются по сравнению с вытекающим участком водохранилища вдвое.

Наиболее широко водохранилище в районе впадения Немды и Уйки. Здесь ширина его от Юрьевца до восточного берега устья Уйки достигает максимальной величины. По долинам Немды и Уйки образовались глубоко вдающиеся в берега, по сравнению мелководные большие заливы.

Ширина такого залива в устье Немды составляет несколько километров, тогда как ширина самой реки не превышала 25 м. Еще больше залив по Уйке. На большом протяжении от устья он имеет ширину значительно больше, чем залив по Немде в устьевом участке.

От Юрьевца до Пучежа западный берег изрезан сравнительно слабо. Небольшие заливы встречаются в устьях подтопленных рек и ручьев: Ожгулихи, Сеготи и др. Южнее Пучежа крупный залив образовался по р. Ячменке и ее притокам. Ширина этого залива в устье Ячменки измеряется километрами.

Два небольших залива возникли между Катунками и Чкаловском и более значительный у Чкаловска по реке Сапохта. В устьевом участке этот залив настолько глубок, что используется как порт-убежище. Южнее Чкаловска наиболее существенные заливы образовались по рр. Троца и Юг.

Восточный берег водохранилища изрезан более сильно, чем западный. Наиболее значительные заливы от Юрьевца до Сокольского образовались по руслам рр. Лопше и Алешишке. Каждый из них имеет ширину свыше 100 м и вдается в сушу на несколько километров. Южнее Сокольского большой залив образовался по крупному притоку Волги Моче. Он глубоко вдается в сушу по затопленному руслу Мочи и образует обширный полуостров. Южнее его возник залив по руслу р. Лотинке. Он значительно

Таблица 4

Распределение площади водохранилища по глубинам

Глубина, м	Площадь, км²	% общей площади водохранилища	Глубина, м	Площадь, км²	% общей площади водохранилища
До 1	152	9.4	До 13	1466	91.0
» 2	290	18.0	» 14	1509	93.7
» 3	416	25.8	» 15	1529	94.9
» 4	564	35.0	» 16	1565	97.1
» 5	731	45.4	» 17	1582	98.2
» 6	880	54.6	» 18	1596	99.1
» 7	966	60.0	» 19	1603	99.6
» 8	1092	67.8	» 20	1606	99.8
» 9	1181	73.3	» 21	1608	99.8
» 10	1252	77.7	» 22	1609	99.9
» 11	1341	83.7	» 23	1611	100.0
» 12	1404	87.2			

меньше залива Мочи, но все же имеет протяженность в несколько километров. Более мелкие заливы образовались по руслам рр. Ширмакше и Миче, а также Шмиле и Яхре. Почти на всем протяжении вдоль восточного берега встречаются острова и мелководья, поросшие растительностью.

Глубины на участке водохранилища ниже устья Унжи весьма разнообразны. На севере участка они значительно меньше, чем на юге. К югу они возрастают и в русловой части водохранилища близ плотины достигают максимальных значений.

Распределение площади водохранилища по глубинам через 1 м представлено в табл. 4. Расчеты в табл. 4 произведены для площади водохранилища, принятой равной 1611 км². Как уже упоминалось, по уточненным данным, площадь водохранилища равна 1570 км², поэтому цифры в табл. 4 несколько завышены.

Площадь и объем водохранилища

Площадь водохранилища при НПГ составляет 1570 км², а полный объем 8.66 км³ (Близняк и Андреев, 1958). Водоохранилище имеет сезонное регулирование стока и ежегодно наполняется до проектной отметки. Обычно весной в конце апреля или начале мая уровень достигает НПГ и в течение лета остается близким к этой высоте. Сработка уровня на 2 м производится в зимнее время. Таким образом, в Горьковском водохранилище максимальный подпорный горизонт сохраняется довольно продолжительное время и величина сработки его невелика даже по сравнению с Угличским и Цимлянским водохранилищами. Все же при сработке уровень водоема заметно понижается, в связи с чем площадь и объем его существенно меняются. Как видно из табл. 5, при сработке уровня на 2 м площадь с 1570 км² при НПГ уменьшается до 1205 км², т. е. на 365 км² или на 23%. Несколько больше изменяется объем водоема. С 8.66 км³

Таблица 5

Площадь и объем Горьковского водохранилища
при различных уровнях воды

Горизонты	Уровень, м	Площадь, км ²	Объем, км ³
Нормальный подпорный горизонт (НПГ)	00	1570	8.66
Минимальный навигационный горизонт	-1.2	1534	8.35
Проектный горизонт сработки	-2.0	1205	5.91

при НПГ он сокращается до 5.91 км³ или уменьшается на 2.75 км³, что составляет примерно 32% от объема при НПГ.

В зависимости от конфигурации берегов и удаленности от плотины уменьшение площади и объема на различных участках водохранилища различно. Чтобы получить представление об этом, мы воспользовались материалами, полученными в Волжской гидрометеорологической обсерватории. Водоохранилище было разбито на 12 участков, для которых вычислены площади и объемы при НПГ и при проектном горизонте сработки. Данные о площадях и объемах участков приводятся в табл. 6. Наиболее крупными участками водохранилища по площади оказались участки, расположенные от Юрьевца до Решмы (369 км²) и от Пучежа до Юрьевца (335 км²). По объему же водной массы второй участок значительно превосходит первый. Он имеет среднюю глубину на 2.2 м больше первого. Третий

по размеру площади участок водохранилища (286 км²) включает костромской разлив. Несмотря на значительную площадь, этот участок мелководен. Объем водной массы в нем почти в три раза меньше участка Пучек—Юрвец.

При сработке уровня наибольшее изменение площади и объема испытывает участок Кострома—Турово. После зимней сработки площадь

Т а б л и ц а 6

Площади и объемы Горьковского водохранилища по участкам при нормальном подпорном горизонте (НПГ) и при проектном горизонте сработки (ГС)

Участок	НПГ		ГС	
	площадь, км ²	объем, км ³	площадь, км ²	объем, км ³
ГЭС—Чкаловск	129.6	1.381	122.8	1.126
Чкаловск—Пучек	174.5	1.399	158.2	1.068
Пучек—Юрвец	335.0	2.246	288.2	1.631
Юрвец—Решма	369.0	1.661	260.0	1.029
Решма—Кинешма	57.2	0.419	48.0	0.315
Кинешма—Плесь	42.3	0.262	38.4	0.182
Плесь—Кострома	86.3	0.364	70.0	0.202
Кострома—Турово	286.0	0.787	163.0	0.329
Турово—Ярославль	49.4	0.087	20.0	0.018
Ярославль—Тутаев	19.2	0.020	17.6	0.003
Тутаев—Рыбинск	22.7	0.023	21.5	0.007
Рыбинск—Рыбинская ГЭС	8.1	0.009	6.5	0.003

этого участка уменьшается на 123 км², а объем более чем в два раза. Существенно уменьшается и площадь участка между Юрвцем и Решмой. При сработке уровня на 2 м здесь обсыхает площадь, равная 109 км². Заметно меняется конфигурация берегов, особенно уменьшаются заливы по долинам затопленных рр. Угжи и Немды.

Значительно меньше меняется площадь и объем приплотинных участков и участков, расположенных в бывшей долине Волги между возвышенными берегами. Так, площадь участка от ГЭС до Чкаловска после зимней сработки уровня уменьшается лишь на 6.8 км², участка от Решмы до Кинешмы — на 9.2 км², а от Кинешмы до Плеся — всего на 3.9 км². Таким образом, сокращение площадей и объемов различных участков при сработке уровня колеблется в широких пределах.

Водный баланс водохранилища

Существенной характеристикой динамики водной массы водохранилища является водный баланс. Данные о нем мы приводим по материалам Воляжской гидрометеороbservатории за 1957 и 1958 гг., любезно предоставленным нам директором observатории Н. А. Ярославцевым.

Месичные и годовые водные балансы водохранилища за эти годы, вычисленные сотрудниками observатории, даны в табл. 7. В приходной части баланса основной составляющей является сброс воды из Рыбинского водохранилища. В 1957 г. он в годовом балансе составлял 41.59 км³, а в 1958 г. — 41.49 км³ или соответственно 64 и 60% от общего поступления воды в водохранилище. Второй по величине составляющей приходной части баланса является боковая приточность, которая в 1957 г. равнялась 22.93 км³, а в 1958 г. — 26.50 км³. Осадки, выпадающие на

Таблица 7

Составляющие водного баланса водохранилища (в км³)

Наименование компонентов	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1957 г.												
П р и х о д												
Приток воды из Рыбинского водохранилища	4.17	3.10	2.64	2.67	5.63	2.86	3.52	3.17	3.23	2.89	3.78	3.93
Боковая приточность	0.60	0.48	0.49	0.04	6.92	1.35	1.91	0.61	0.62	2.11	1.25	0.55
Осадки на зеркало водохранилища	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.18	0.09	0.07	0.10	0.09	0.03	0.07
Объем воды во вселявшем льду со снегом	0.00	—	—	0.06	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого	4.81	3.62	3.16	8.81	12.59	4.39	5.52	3.85	3.95	5.09	5.06	4.55
Р а с х о д												
Общий сток через Горьковскую ГЭС	4.66	3.87	3.08	7.86	9.12	3.95	5.68	2.99	3.37	4.63	4.43	4.57
Испарение	—	0.04	0.01	0.00	0.41	0.44	0.42	0.18	0.49	0.07	0.01	0.01
Потери воды на обсыхание льда со снегом	—	0.05	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01
Итого	4.66	3.93	3.10	7.86	9.23	4.09	5.80	3.17	3.56	4.70	4.44	4.59
Аккумуляция в чаше водохранилища	0.17	—0.34	—0.03	0.25	2.62	0.27	0.52	0.64	0.07	0.20	0.33	—0.22
Невязка водного баланса, км³	—0.02	0.03	0.09	0.70	0.74	0.03	0.24	0.04	0.32	0.39	0.29	0.18
Невязка водного баланса, %	0.4	0.8	2.9	7.9	5.9	0.7	4.1	1.0	8.1	12.5	5.7	3.9

(Tasmania 2 prodaja kusine)

Наименование компонентов	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1958 г.												
П р и х о д												
Приток воды из Рыбинского водохранилища	4.12	4.44	5.43	3.42	3.18	3.81	3.38	2.92	2.65	2.30	2.54	41.49
Боковая приточность	0.61	0.48	0.52	7.23	42.00	4.52	0.65	0.63	0.55	1.06	0.79	26.50
Осадки на зеркало водохранилища	0.08	0.07	0.02	0.06	0.12	0.11	0.07	0.12	0.09	0.09	0.03	0.94
Объем воды во велившем льду со снегом	—	—	—	0.04	0.06	—	—	—	—	—	—	0.10
Итого	4.81	4.99	5.97	10.75	15.36	5.44	4.10	3.67	3.29	3.45	3.36	69.03
Р а с х о д												
Общий сток через Горьковскую ГЭС	5.25	5.61	6.27	8.94	11.89	4.98	3.80	3.40	2.98	3.43	3.01	63.31
Испарение	0.01	0.00	0.01	—	0.01	0.10	0.19	0.20	0.13	0.07	0.01	0.73
Потери воды на обсыхание льда со снегом	0.03	0.04	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	0.11
Итого	5.29	5.65	6.31	8.94	11.90	5.08	3.99	3.60	3.11	3.50	3.02	64.15
А к к у м у л я ц и я в ч а с е в о д о х р а н и л и щ а												
Невязка водного баланса, км³	-0.67	0.73	-0.51	0.69	1.18	-0.04	0.00	0.06	0.04	-0.19	0.25	0.13
Невязка водного баланса, %	0.19	0.07	0.17	1.12	2.28	0.40	0.11	0.01	0.14	0.14	0.09	4.75
Невязка водного баланса, %	3.6	1.2	2.7	10.4	14.8	7.9	2.7	0.3	4.3	4.0	2.7	6.9

зеркало водохранилища, были велики и не превышали 1 км^3 . Еще меньшее значение в приходной части баланса составляет объем воды во всплывшем льду со снегом.

Из табл. 7 и особенно рис. 6 очевидно, что наибольшее количество воды в водохранилище поступает в весеннее половодье, которое в этом районе приходится на апрель и май, причем основная масса воды в данный период поступает за счет боковой приточности.

В расходной части баланса основную роль играет сброс воды через гидроузел. В 1957 г. он составлял 58.21 км^3 , а в 1958 г. — 63.31 км^3 .

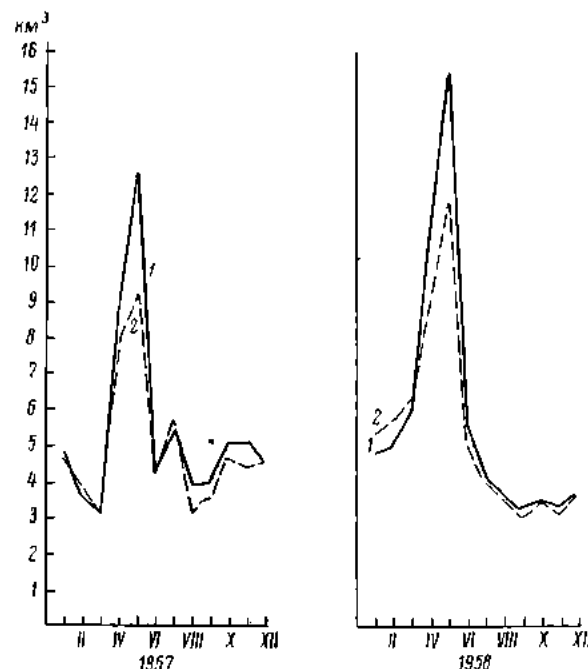


Рис. 6. Соотношение приходной и расходной частей водного баланса.

1 — приходная составляющая; 2 — расходная составляющая.

Это примерно 98% расходной части баланса. Расход воды на испарение и потери воды на обсыхание льда со снегом велики. Максимальное испарение воды в 1957 г. наблюдалось в сентябре и составляло 0.19 км^3 , а в 1958 г. в августе — 0.20 км^3 .

Данные по водному балансу, приводимые в табл. 7, следует считать приближенными. Это объясняется прежде всего тем, что одна из существенных составляющих приходной части водного баланса — боковая приточность — определена недостаточно надежно. Гидрометрическими измерениями охвачено всего 62% площади водосбора, а приток с 38% площади определен косвенным путем. Ошибка в оценке боковой приточности косвенным путем порядка 20% в весенний период, по данным Гидрологического института, может дать ошибку в вычислении баланса около 5%. Имеется также предположение, что в результате неточного определения расхода воды через ГЭС по выработке электроэнергии последний занижен на 10–12%.

Несмотря на указанные неточности, данные по водным балансам за 1957 и 1958 гг. вполне пригодны для использования их при различных исследованиях режима водохранилища и дают отчетливое представление о характере водообмена водоема и его основных составляющих.

Схема районирования водохранилища

В формировании гидрологического режима водохранилища существенную роль играет рельеф речной долины, на которой воздвигнута плотина. Рельеф долины в сочетании с отметкой подпора и амплитудой колебаний уровня верхнего бьефа и определяет собой деление водохранилища на обособленные районы, в пределах которых различно складывается водный режим, процессы динамики под и рельефа чаши водоема, а также формирование донных отложений (Вендров, 1955, 1959а, 1959б).

В крупных русловых водохранилищах, расположенных в бассейнах Волги, Камы, Дона и Днепра, после их заполнения С. Л. Вендров (1955) выделяет следующие зоны (районы): нижняя, средняя, верхняя, зона выклинивания подпора и зона малых и средних заливов. Несмотря на то, что такое районирование водохранилищ, расположенных в долинах рек, предложено этим автором в связи с изучением процессов динамики береговой полосы, которые, как он подчеркивает, в разных зонах водохранилища проходят различно, оно несомненно применимо и при изучении гидрологического режима водохранилищ. Поэтому при районировании Горьковского водохранилища мы воспользовались схемой С. Л. Вендрова с учетом продольного профиля затопленной реки. В отличие от других схем районирования подобных водохранилищ, в частности Куйбышевского, предложенных А. В. Лукиным (1958), В. М. Широковым (1959) и Н. А. Дзюбаном (1960), схема С. Л. Вендрова, помимо морфометрических особенностей района, учитывает динамику водной массы его, а также процессы взаимодействия ее при определенных синоптических условиях с дном водоема и береговой чертой.

Для выделения характерных участков Горьковского водохранилища и для построения его продольного профиля мы воспользовались сокращенным продольным профилем Волги, построенным Н. А. Богуславским (1887) (рис. 7). На этот профиль, где показаны условный горизонт воды, отнесенный к летней межени, и условный горизонт половодья, мы нанесли линию НПГ и горизонта предполоводной сработки водохранилища. Кроме того, мы перевели горизонтальный и вертикальный масштабы Богуславского из старой русской системы мер в метрическую. Полученная схема и послужила основой для выделения следующих участков водохранилища.

1. **Приплотинный участок.** Участок водохранилища, прилегающий к плотине, от плотины до устья Елнати (так называемый Юрьевский разлив). Это наиболее широкий участок водохранилища. Ширина его местами превышает 10 км. При любом положении уровня этот участок не имеет уклонов водной поверхности и водный режим его имеет много общего с таковым слабопроточных озер. Стоковые течения, за исключением вызываемых сбросом воды через гидросооружение, отсутствуют. При отсутствии ветрового перемешивания в пессиме-летний период отчетливо прослеживается вертикальное термическое расслоение водной массы. Почти на всей акватории участка сохраняются большие глубины, при отсутствии ледяного покрова не препятствующие свободному развитию волнения и ветровых течений. Вследствие этого в приплотинном участке наблюдается наиболее интенсивное разрушение береговой полосы.

2. **Переходный участок.** Участок водохранилища от устья Елнати до Костромского разлива протяженностью 170 км. Этот участок представляет собой Волгу в половодье. На нем появляются продольные уклоны водной поверхности, которые в период весеннего половодья достигают величины 0.000004 от Костромы до Кинешмы и 0.000001 от Кинешмы до Юрьевца (8 мая 1958 г.). В переходном участке по быв-

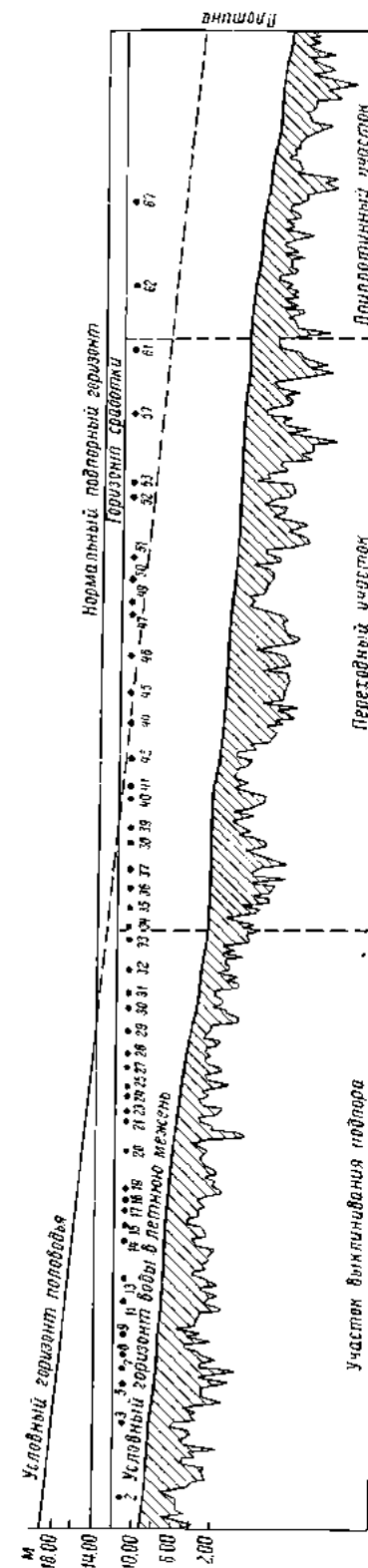


Рис. 7. Схема районирования Горьковского водохранилища.
Цифры при точках — номера станций.

шему руслу Волги отчетливо прослеживаются постоянные стоковые течения, средняя скорость которых от Костромы до Кинешмы колеблется от 0.30 до 0.20 м/сек. Ниже Кинешмы она меньше 0.20 м/сек., а с приближением к нижней границе участка скорость стокового течения уменьшается до пределов чувствительности вертушки (0.04 м/сек.). Расширение ложа реки на этом участке произошло в основном лишь за счет затопления низменного левого берега и приустьевых участков притоков. Поэтому ширина участка невелика. Такие условия мешают нормальному развитию ветрового волнения, в результате чего разрушающая роль последнего очень мала и разрушения берегов не наблюдается. Однако гонимые, как и течения, на этом участке более активно, чем в приплотинном, воздействуют на дно водохранилища, подвергая его интенсивному нивелированию. Именно в переходном участке, где наблюдается постепенное затухание скорости течения от верхней его границы к нижней, выпадает основное количество взвешенных наносов и происходит заполнение ими пониженный рельефа для водохранилища (Вендров, 1955).

3. Участок выклинивания подпора. Участок водохранилища от Костромского разлива до Рыбинской плотины. Если переходный участок представляет собой нечто промежуточное между озером и рекой, то участок выклинивания подпора не имеет никаких озерных черт. Даже при ННГ зеркало воды здесь большей частью расположено в пределах русла реки. Непроходящая полоса затопленной поймы весьма мелководна. На этом участке наблюдаются постоянные продольные уклоны водной поверхности. Так, 26 декабря 1958 г. уклон водной поверхности между Рыбинском и Тутаевым составлял 0.00004, а 2 апреля между Ярославлем и Костромой — 0.000026. При таких уклонах водной поверхности скорости течения иногда могут превышать 0.50—0.60 м/сек. Водный режим на участке выклинивания под-

пора значительно усложняется влиянием попусков воды из Рыбинского водохранилища.

Морфометрические особенности участка препятствуют возникновению ветровых волн. Разрушение береговой полосы, а также формирование подводного рельефа здесь происходит только под действием постоянных стоковых течений.

4. К о с т р о м с к о й р а з л и в. Этот участок представляет собой обособленный широкий мелководный плёс водохранилища, который образовался по бывшей пойме р. Костромы в центральной части Костромской низины. Берега разлива сильно изрезаны и образуют большое количество мелководных заливов.

Костромской разлив по водному режиму имеет некоторое сходство с прилотишной зоной. При тихой погоде в весенне-летний период отмечается термическое расслоение водной массы. Стоковые течения наблюдались только в районе соединения Костромского расширения с переходным участком водохранилища. Несмотря на значительную ширину Костромского расширения, в результате сильной изрезанности береговой черты и мелководности интенсивных ветровых волнений здесь не наблюдается.

Гидрологический режим отдельных участков водохранилища имеет существенные особенности, которые будут рассмотрены ниже.¹

В период перехода от реки к водохранилищу происходит резкое изменение условий обитания животных и растительных организмов, изменение в их видовом составе и численности, разрушение старых биоценозов и возникновение новых. Исходя из этого, изменение элементов гидрологического режима водоема в этот период нами рассмотрено более подробно, чем в предыдущих работах (Буторин, 1958а, 1959а).

У р о в е н ь

С перекрытием Волги у Городца уровень прилотишного участка стал быстро повышаться. С октября по декабрь 1955 г. он повысился у Чкаловска на 6.5 м. Подъем уровня в 1955 г. по длине водохранилища прослеживался выше Кинешмы. У Кинешмы относительно летней межени уровень поднялся на 3.4 м. Повышение уровня относительно летней межени в 1955 г. для различных пунктов по длине водохранилища отчетливо видно на рис. 8.

Достигнув в последней декаде декабря отметки по чкаловскому водомерному посту 819 см, уровень в январе—марте 1956 г. испытывал небольшие колебания, сохраняя тенденцию к повышению до последней декады марта. Со второй половины апреля начался интенсивный подъем уровня, продолжавшийся до середины мая. С 15 апреля по 13 мая уровень у Чкаловска повысился на 5.6 м и достиг максимальной отметки для 1956 г. Спад уровня происходил значительно медленнее, чем подъем, и продолжался до конца июня (рис. 9). За это время уровень понизился примерно на 1.5 м. В летние месяцы он не испытывал больших колебаний, имея общую тенденцию к повышению. К концу октября летне-осеннее повышение уровня достигло наибольшего значения и он снова приблизился к максимальной отметке 1956 г. Понизившись в первых числах ноября на 0.5 м, уровень до конца года колебался около этой отметки. Таким образом, годовая амплитуда колебаний уровня за 1956 г. по чкаловскому водомерному посту была 6.1 м, а общее превышение уровня при максимальной отметке над меженим уровнем 1955 г. составляло 13 м.

¹ Исключение составляет Костромской разлив, где для характеристики гидрологического режима в настоящее время материалов недостаточно.

Тенденция к понижению уровня сохранилась и в начале 1957 г. Незначительное повышение в середине марта сменилось в конце марта—начале апреля резким падением. Так, с 25 марта по 5 апреля уровень у Чкаловска понизился на 0.75 м, и 5 апреля наблюдался самый низкий в году уровень водохранилища. После резкого понижения в начале апреля в середине этого месяца наблюдался такой же интенсивный подъем уровня. Таким образом, изменения уровня с января по май 1957 г. были несколько иными, чем за это же время в 1956 г.

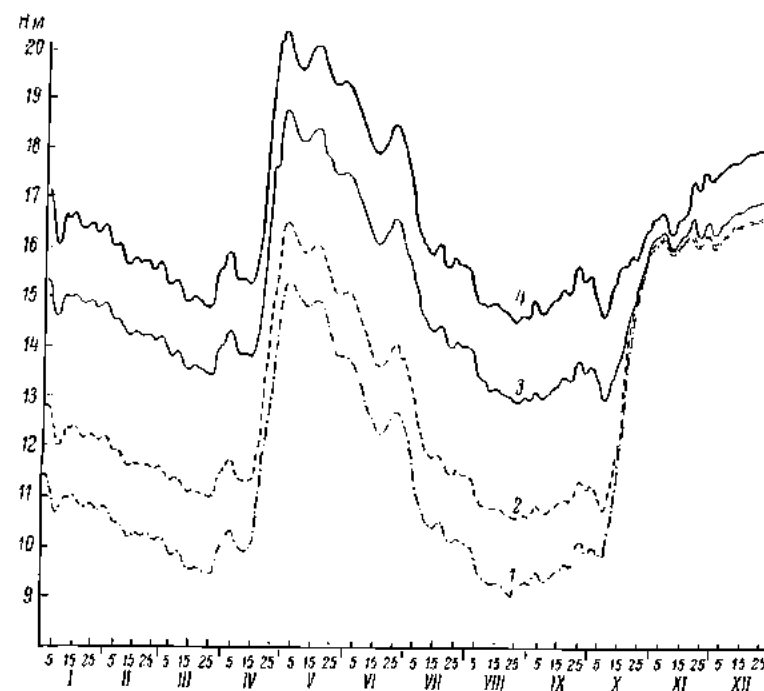


Рис. 8. Совмещенный график колебаний уровня по водомерным постам: Чкаловск (1), Пучеж (2), Юрьевец (3) и Кинешма (4), за 1955 г.

Весенний подъем в 1957 г. продолжался примерно до середины июля, когда уровень водохранилища практически достиг проектной отметки. Наиболее интенсивное повышение уровня, на 2.5 м, наблюдалось с 1 по 20 мая. Достигнув 15 июля отметки по чкаловскому водомерному посту, близкой к НПГ, уровень стал медленно понижаться и с 15 по 30 июля понизился на 0.52 м. Это понижение в конце июля сменилось в начале августа постепенным повышением, и к концу августа уровень снова был близок к проектному. За исключением отдельных повышений и понижений, не превышавших 0.2—0.3 м, он до конца года не испытывал значительных колебаний.

Наивысший уровень 1957 г. по чкаловскому водомерному посту превышал НПГ на 5 см и наблюдался 8 октября. При этой отметке уровня превышение его над месячным уровнем 1955 г. составляло 15 м, а над самым низким уровнем 1956 г. — 8.1 м. Годовая амплитуда уровня за 1957 г. составляла 3.2 м.

Кривая на рис. 9 показывает, что наиболее резкие изменения уровень водохранилища испытывал в период весеннего наполнения, а в осталь-

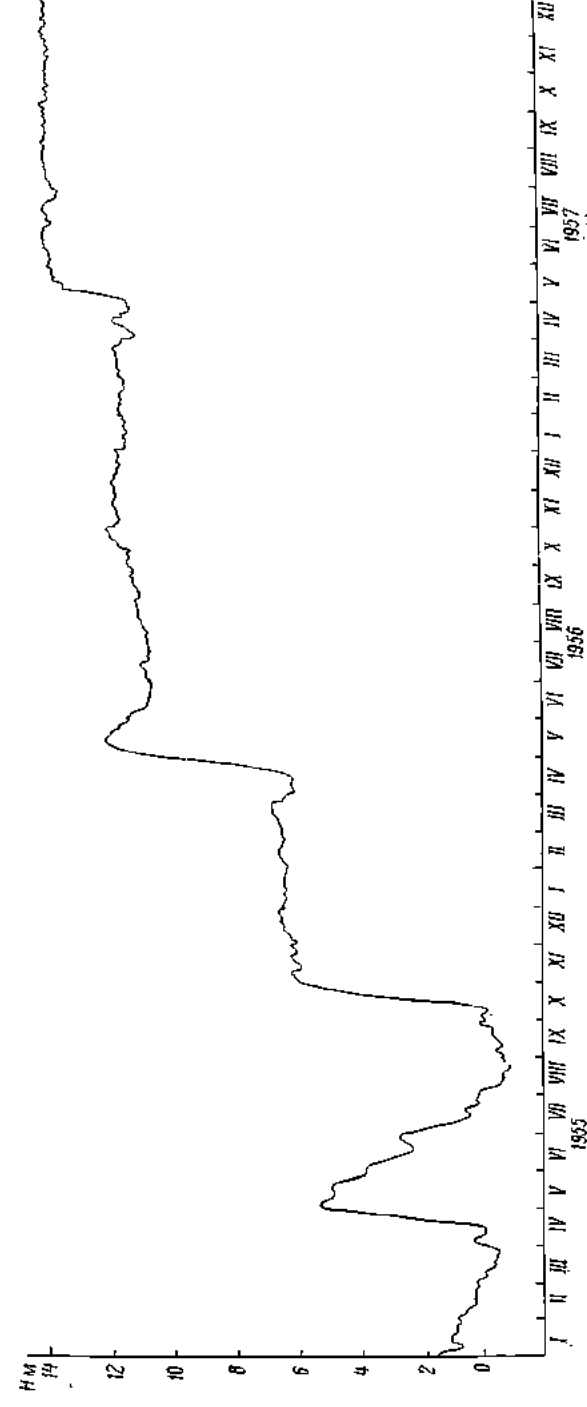


Рис. 9. Колебания уровня водохранилища в период наводнения (1955—1957 гг.) по данным Чкаловского подмерного поста.

ное время года колебания его были невелики. После наполнения водохранилища до проектной отметки уровень его стал поддерживаться в соответствии с расчетным графиком сработки. Достигнув в конце апреля или в начале мая проектной отметки, уровень с мая по полбурь держался около этой отметки, а сработка его на 2 м производилась зимой.

Анализируя кривые годового хода уровня за 1958 и 1959 гг. (рис. 10), мы видим, что они находятся в хорошем соответствии с расчетным графиком сработки водохранилища и имеют между собой много общего. В оба года сработка начиналась во второй половине декабря, к середине апреля водохранилище срабатывалось примерно на 2 м. В начале мая заканчивалось наполнение водохранилища до НПГ, и с мая по декабрь уровень его испытывал незначительные колебания около проектной отметки.

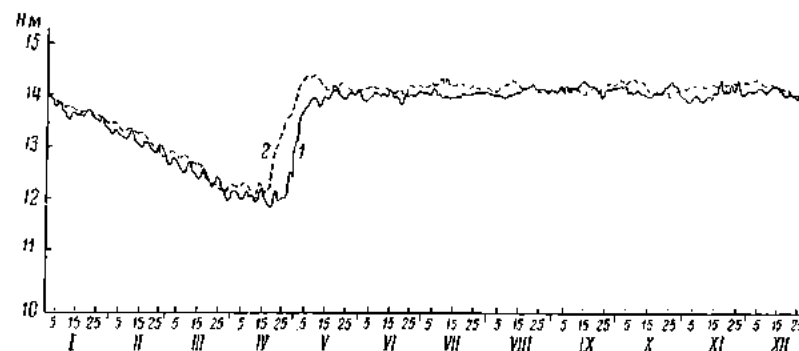


Рис. 10. Колебания уровня водохранилища по чкаловскому водомерному посту за 1958 г. (1) и 1959 г. (2).

На рис. 11 видно, что в зоне постоянного подпора колебания уровня плавные и во всех пунктах от Чкаловска до Костромы они почти одинаковы. На участке выклинивания подпора режим уровня заметно отличался от такового в районе подпора. На его изменения на этом участке большое влияние оказывал режим работы Рыбинской ГЭС. В зависимости от последнего уровень водохранилища от Рыбинска до Ярославля испытывал резкие колебания. Амплитуда суточных колебаний уровня у Рыбинска превышала иногда 1,5 м. В период интенсивной сработки Рыбинского водохранилища в зимний период уровень от Рыбинска до Ярославля значительно превышал максимальный уровень весеннего половодья. Так, максимальный уровень у Ярославля в 1959 г. наблюдался 7 февраля и равнялся 510 см, а в мае он не превышал 476 см.

С удалением от Рыбинской ГЭС вниз по течению влияние ее на колебания уровня постепенно уменьшалось, и у Костромы (рис. 11) ритмичность работы Рыбинской ГЭС проявлялась лишь в виде небольших, но отчетливо заметных колебаний уровня около отметки НПГ. Таким образом, влияние сбросных расходов Рыбинской ГЭС на уровень Горьковского водохранилища прослеживается не только на участке выклинивания подпора, но и на переходном участке водохранилища.

Аналогичные данные о суточных колебаниях уровня в нижнем бьефе Рыбинской ГЭС были получены Б. И. Фелициным (1956). По его данным, амплитуда суточных колебаний уровня в августе и сентябре 1952 г. в створе Рыбинского водомерного поста лежала в пределах 90—280 см, в большинстве случаев находясь в пределах 100—150 см, и закономерно уменьшалась вниз по течению. Суточные колебания уровня в практически

ощутимых размерах распространялись на расстояние около 120 км. Естественно, что подпор от Горьковской плотины уменьшился в известной

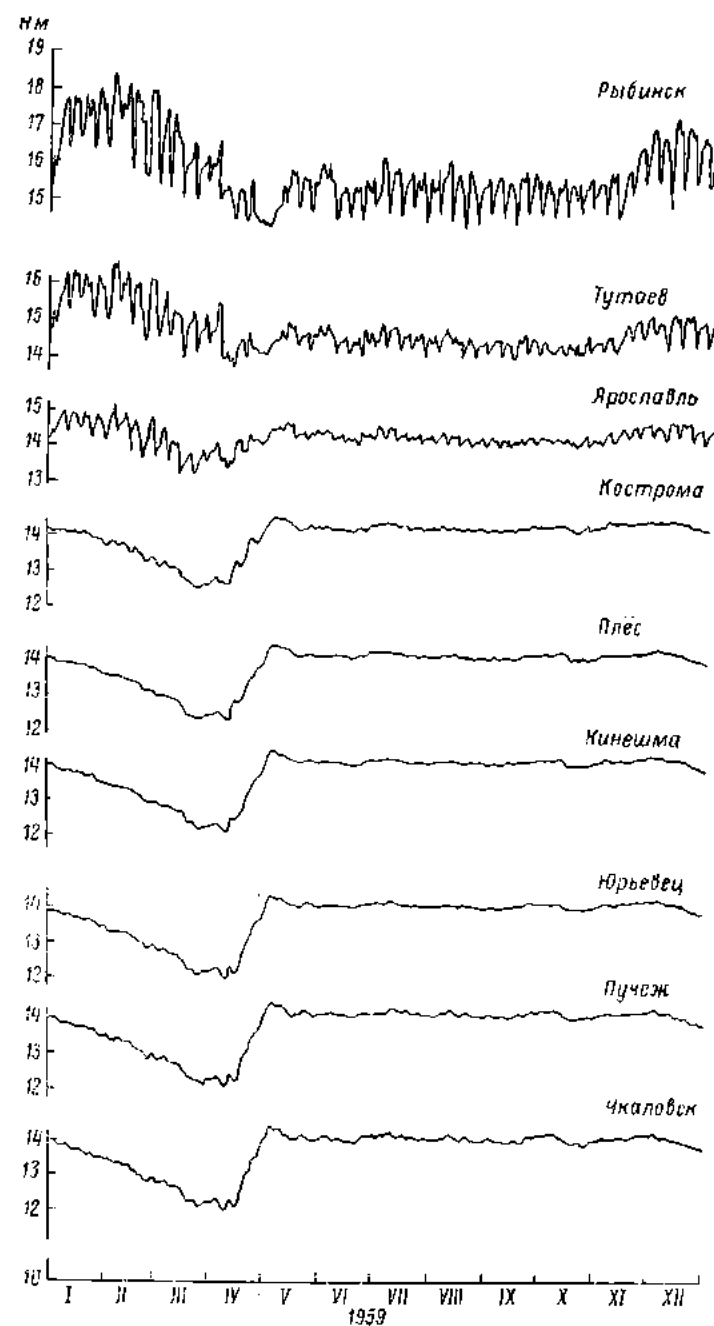


Рис. 11. Колебания уровня в различных пунктах по длине водохранилища.

степени как амплитуду суточных колебаний уровня в нижнем бьефе Рыбинской ГЭС, так и распространение их по ходу воды, но все же они прослеживаются на значительном расстоянии.

Кроме рассмотренных колебаний уровня, в приплотинном участке водохранилища в период его наполнения и сработки наблюдались продольные уклоны уровня. Так, по данным Волгоградской гидрометеорологической станции, падение уровня между Юрьевцем и Урковом в 1958 г. по среднемесячным величинам составляло 7 см, а по максимальным значениям уровня — 13 см. Помимо продольных уклонов уровня, сильные и устойчивые ветры над акваторией водохранилища могут вызывать сгонно-нагонные колебания уровня. Сгонно-нагонные явления на водохранилище наиболее остро ощущались у Юрьевца, а также на устьевых водомерных постах Дубяны и Кобылино.

Заключая анализ уровня режима водохранилища, можно отметить, что характерной особенностью его является небольшая величина сработки и продолжительное стояние на НПГ.

Течение

Течение является одним из важнейших элементов гидрологического режима водохранилища, так как оно определяет проточность водоема. Последнюю, или водообмен, различные авторы выражают по-разному. Б. Б. Богословский и С. Д. Муравейский (1955) представляют проточность отношением объема водоема к его стоку. Л. И. Дубровин, Ю. М. Матарзин и И. А. Печеркин (1959) выражают ее отношением объема стока из водоема к объему его водной массы. В. И. Рутковский и Т. Н. Курдина (1959) и Н. А. Зимнова (1959) характеризуют водообмен водохранилища коэффициентом водообмена. Последний представляет собой отношение суммарного объема сброса через гидроузлы к среднему объему водохранилища за одно и то же время. Коэффициент водообмена дает представление о том, какая часть водной массы водоема и сколько раз вся она обменивается за определенный промежуток времени. Вычисления таким образом среднемесячные коэффициенты водообмена для Горьковского водохранилища за 1956—1959 гг. приводятся в табл. 8. Данные этой

Таблица 8

Среднемесячные и годовые коэффициенты водообмена водохранилища

Год	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1956	0.90	0.73	0.36	0.44	1.14	0.54	0.49	0.47	0.45	0.46	0.45	0.52	4.9
1957	0.81	0.70	0.56	1.41	1.41	0.47	0.68	0.36	0.39	0.54	0.55	0.52	6.8
1958	0.63	0.75	0.94	1.33	1.49	0.58	0.43	0.40	0.36	0.40	0.35	0.42	7.3
1959	0.54	0.59	0.82	1.11	0.63	0.39	0.45	0.34	0.32	0.36	0.30	0.37	5.6

таблицы позволяют судить о проточности водохранилища в течение года и от года к году лишь в общих чертах. В зависимости от режима работы Горьковской ГЭС и от объема стока, который в значительной степени определяется этим режимом, коэффициенты водообмена будут отклоняться от приведенных значений, но при эксплуатации водохранилища в соответствии с проектным графиком сработки эти отклонения невелики. Исключения могут быть лишь в период весеннего наполнения водохранилища.

Как видно из таблицы, наибольшая проточность наблюдалась в апреле—мае, в период весеннего наполнения водохранилища. К этому времени в результате зимней сработки объем его значительно уменьшается и с началом половодья весенние воды обеспечивают наибольшую пр-

точность водоема. С наполнением водохранилища до ННГ проточность его резко уменьшалась и коэффициент водообмена с июля по декабрь редко превышал 0.50. Только с началом интенсивной сработки водохранилища в январе он заметно увеличивался и с января по апрель оставался выше, чем в летне-осенний период. В течение года водная масса водохранилища обновлялась примерно 6 раз (годовой коэффициент водообмена колебался от 4.9 до 7.3).

Расчетные данные о проточности водохранилища хорошо согласуются с материалами наблюдений над течением (Буторин, 1958а, 1958б, 1959а). Скорости течения от Рыбинска до плотины Горьковской ГЭС в условиях зарегулированного стока значительно отличаются от бытовых скоростей Волги.

Изменение скорости потока до зарегулирования Волги на участке Горьковского водохранилища, так же как и абсолютные значения ее по русловым станциям, приводится в работе А. Л. Бенинга (1924). Некоторые

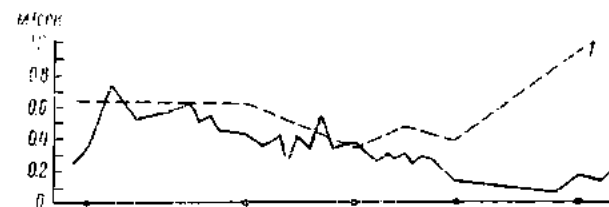


Рис. 12. Средние скорости течения по дну водохранилища в летнюю межень 1921—1922 гг. (1) и 1957 г. (2).

дополнительные данные по этому вопросу указывались нами в предыдущих работах (Буторин, 1958б, 1959а).

Для представления изменений в скорости потока по бывшему руслу Волги в связи с зарегулированием ее стока на рис. 12 дано сопоставление средних скоростей потока в летнюю межень 1921—1922 гг. по Бенингу со скоростями, наблюдавшимися в 1957 г., когда уровень Горьковского водохранилища был близок к проектной отметке.

Сопоставляя результаты наблюдений 1957 г. с данными А. Л. Бенинга, мы находим между ними существенное различие. Прежде всего отчетливо прослеживается общая тенденция уменьшения средней скорости потока по дну водохранилища. Если от Рыбинска до Тутаева скорость течения в 1957 г. незначительно отличалась от наблюдавшейся А. Л. Бенингом, то ниже Тутаева она заметно уменьшилась и у Ярославля была на 30% ниже, чем в 1921—1922 гг. В районе Костромы скорость потока снова близка к таковой бытовых условий, а ниже Костромы она уменьшалась и у Кинешмы составляла лишь 50% от бытовых условий Волги. Особенно резкое уменьшение скорости течения наблюдалось ниже Кинешмы. Это отчетливо видно как на рис. 12, так и из табл. 9, где приведены средняя скорость на вертикали, а также поверхностная и природная русловые скорости течения от Рыбинска до Горьковской ГЭС.

Из табл. 9 видно, что наиболее существенные скорости течения по бывшему руслу Волги наблюдались на участке выклинивания подпора (рис. 7, станции 3—33). По ходу воды от участка выклинивания подпора к приплотинному участку (станции 35—52) скорость потока постепенно уменьшалась и была значительно ниже, чем в вышеописанном участке. В приплотинном участке течение инструментально отмечалось в редких случаях, так как скорость его была ниже чувствительности применявшихся приборов. Лишь отдельные измерения на русловых станциях

Таблица 9

Скорости течения на участке водохранилища
от Рыбинска до Чкаловска

№№ стан- ций	Скорость течения, м/сек.			№№ стан- ций	Скорость течения, м/сек.		
	поверх- ностная	припо- дная	сред- няя		поверх- ностная	припо- дная	сред- няя
Участок выклини- вания подпора				Переходный участок			
3	0.34	0.22	0.33				
5	0.36	0.17	0.29	33	0.29	0.22	0.29
7	0.69	0.56	0.63	35	0.31	0.20	0.28
8	0.60	0.41	0.53	36	0.28	0.15	0.22
9	0.51	0.39	0.42	37	0.28	0.19	0.22
10	0.56	0.09	0.35	38	0.24	0.20	0.22
11	0.60	0.42	0.52	39	0.29	0.27	0.26
14	0.47	0.32	0.44	40	0.15	0.12	0.12
15	0.53	0.44	0.50	43	0.29	0.23	0.14
16	0.49	0.32	0.39	44	0.23	0.17	0.26
17	0.44	0.34	0.36	45	0.27	0.12	0.24
19	0.42	0.26	0.35	46	0.26	0.11	0.17
20	0.32	0.25	0.28	47	0.23	0.10	0.15
21	0.34	0.21	0.25	49	0.14	0.12	0.13
23	0.40	0.32	0.35	50	—	0.11	—
24	0.37	0.25	0.34	52	0.15	> 0.04	—
25	0.25	0.24	0.31	57	> 0.04	> 0.04	—
27	0.40	0.23	0.26				
28	0.32	0.20	0.28				
29	0.44	0.28	0.33	Приплотинный участок			
30	0.32	0.16	0.27				
31	0.34	0.28	0.31				
32	0.27	0.19	0.24	67	> 0.04	> 0.04	—

Примечание. Расположение станций показано на рис. 7.

приплотинного участка показали, что иногда на глубине от 2 до 6 м скорость течения бывает порядка 0.04—0.08 м/сек. и только в редких случаях она достигала 0.16 м/сек.

С приближением к ГЭС течение по бывшему руслу Волги заметно усиливается и в отдельные сроки наблюдений скорость его достигает значительной величины. Об этом свидетельствуют отдельные измерения скоростей течения в этом районе и особенно материалы суточных станций, выполненных в августе 1956 и 1957 гг. Результаты этих наблюдений представлены в табл. 10 и 11.

Суточная станция 3—4 августа 1956 г. была выполнена при отметке уровня по чкаловскому водомерному посту 1333—1336 см. Измерение скорости течения производилось морской вертушкой с облегченной лопастью. Наблюдения были начаты при слабом юго-восточном ветре, скорость которого была порядка 1.3—1.4 м/сек. При таком ветре на поверхности водохранилища отмечалась легкая зыбь. В ходе наблюдений ветер, сохраняя направление, постепенно усиливался и к концу наблюдений скорость его достигала 6.3 м/сек., а волнение увеличилось до 4 баллов.

Как видно из табл. 10, на всех горизонтах наблюдений было зафиксировано течение, скорость которого в течение суток колебалась в значительных пределах.

В августе 1957 г. в этом же районе была выполнена повторная суточная станция при отметке уровня по чкаловскому водомерному посту 376—382 см. Измерение скорости течения производилось той же самой

Таблица 10
Скорости течения на суточной станции 3—4 августа 1956 г.

Горизонт наблюдения, м	3 VIII				4 VIII				
	13 час.	16 час.	19 час.	22 час.	1 час.	4 час.	7 час.	10 час.	13 час.
0.5	—	—	0.05	0.04	0.02	0.05	—	—	—
2.9	0.08	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05	0.08	0.10	0.12
5.8	0.07	0.08	0.08	0.06	0.11	0.08	0.07	0.17	0.17
8.7	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	0.09	0.18	0.19	0.20
11.6	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.15	0.14	0.20

вертушкой, что и в 1956 г. Наблюдения производились при сильном порывистом ветре северо-западного направления, скорость которого в течение суток колебалась от 8.7 до 12.9 м/сек. Временами шел дождь. Волнение было порядка 4—5 баллов.

Данные этой станции подтвердили результаты наблюдений 1956 г. Так же как и в 1956 г., течение прослеживалось по всей глубине потока, за исключением поверхностного трехметрового слоя, где оно искажалось волнением. Величина скорости потока в течение суток на различных горизонтах дана в табл. 11.

Таблица 11
Скорости течения на суточной станции 9—10 августа 1957 г.

Горизонт наблюдения, м	9 VIII				10 VIII								
	18 час.	20 час.	22 час.	24 час.	2 час.	4 час.	6 час.	8 час.	10 час.	12 час.	14 час.	16 час.	18 час.
3.0	0.20	0.18	0.19	0.18	0.20	0.18	0.19	0.22	0.22	0.24	0.23	0.25	0.20
5.0	0.15	0.19	0.23	0.19	0.20	0.18	0.20	0.18	0.19	0.26	0.16	0.16	0.19
10.0	0.13	0.25	0.26	0.14	0.20	0.14	0.18	0.15	0.20	0.26	0.25	0.16	0.22
15.0	0.33	0.20	0.30	0.16	0.23	0.23	0.13	0.20	0.19	0.22	0.20	0.16	0.16
18.0	0.10	0.18	0.37	0.18	0.16	0.25	0.18	0.14	0.20	0.21	0.19	0.16	0.20

Такое увеличение скорости потока с приближением к ГЭС и ее изменение в течение суток обуславливается режимом работы гидростанции и, в зависимости от него, может колебаться в широких пределах.

Вертикальное распределение скорости потока на бывшем русле Волги по участкам водохранилища представлено в табл. 12, а для наглядности на эпюрах скоростей рис. 13. Из табл. 12 видно, что, кроме приплотинного участка водохранилища, для большинства станций максимальная скорость потока наблюдалась в подповерхностном слое на глубине 0.5—2.0 м. Кроме приплотинного участка водохранилища, вертикальное распределение скорости течения на станциях по бывшему руслу Волги мало отличается от условий реки.

Характер распределения скоростей течения по поперечному сечению водохранилища на участке выклинивания подпора и ниже виден из табл. 13. Ее цифры показывают, что наибольшие скорости на поверхности и у дна наблюдались на русловых станциях и на станциях вогнутого приглубого правого берега. К левому берегу скорость течения постепенно уменьшалась. Следовательно, в период наполнения водохранилища сохранились основные закономерности распределения скоростей реки: наименьшие скорости наблюдались у дна и у берегов, а наибольшие — в бывшем русле Волги, ближе к поверхности.

Вертикальное распределение скоростей течения (в м/сек.)

Глубина, м	ММ стан								
	2	3	5	7	8	9	11	13	14
Поверхность	31 VII 0.26	31 VII 0.28	31 VII 0.30	31 VII 0.76	31 VII 0.67	31 VII 0.52	31 VII 0.59	31 VII 0.64	31 VII 0.52
0.5	0.26	0.34	0.36	0.69	0.60	0.51	0.56	0.60	0.47
2.0	0.28	0.35	0.35	0.70	0.70	0.49	0.47	0.61	0.44
4.0	0.24	0.34	0.31	0.64	0.59	0.47	0.47	0.60	0.46
6.0	—	—	0.24	0.54	0.45	0.36	0.42	0.51	0.42
8.0	—	—	—	—	—	—	0.09	—	—
10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Дно	0.10	0.22	0.17	0.56	0.41	0.39	—	0.42	0.32

Глубина, м	ММ стан								
	34	35	36	37	38	39	41	43	44
Поверхность	3 VIII 0.33	3 VIII 0.32	3 VIII 0.22	3 VIII 0.27	4 VIII 0.24	4 VIII 0.29	4 VIII 0.29	4 VIII 0.28	4 VIII 0.28
0.5	0.36	0.31	0.28	0.28	0.24	0.29	0.26	0.29	0.23
2.0	0.30	0.34	0.24	0.27	0.24	0.26	0.27	0.27	0.32
4.0	0.27	0.28	0.26	0.27	0.25	0.28	0.28	0.28	0.21
6.0	0.26	0.26	0.23	0.23	0.22	0.26	0.25	0.24	0.25
8.0	0.25	0.24	0.21	0.23	0.20	0.29	0.22	0.20	0.25
10.0	—	—	—	0.24	—	0.27	0.15	0.24	0.23
Дно	0.22	0.20	0.15	—	0.20	—	—	0.14	0.17

Примечание. Здесь и в табл. 13, 15, 16 знак плюс (+) — скорость течения ниже чувствительности вертушки.

Таблица 13

Скорости течения (в м/сек.) по поперечному сечению подохранилища на участке выклинивания подпора (июль—август 1957 г.)

Дата	Местоположение разреза по номерам русловой станции	Правая пойма		Руло		Левая пойма	
		поверхностная	придонная	поверхностная	придонная	поверхностная	придонная
31 VII	5	(80 м от правого берега)				(150 м от левого берега)	
		0.36	0.28	0.36	0.17	0.36	0.26
31 VII	11	(75 м от правого берега)				(80 м от левого берега)	
		0.56	0.36	0.56	0.09	0.22	0.15
2 VIII	25	(150 м от правого берега)				(150 м от левого берега)	
		0.37	0.25	0.25	0.24	0.24	0.11
4 VIII	41	(30 м от правого берега)		(400 м от правого берега)		(300 м от левого берега)	
		0.15	0.12	0.26	0.15	+	+
4 VIII	47	(300 м от правого берега)				(250 м от левого берега)	
		0.23	0.10	—	—	0.23	0.11

Т а б л и ц а 12

по длине водохранилища (июль—август 1957 г.)

15	17	19	20	21	23	25	27	28	29	30	32
31 VII	1 VIII	1 VIII	1 VIII	1 VIII	2 VIII	2 VIII	2 VIII	2 VIII	2 VIII	2 VIII	2 VIII
0.55	0.49	0.39	0.35	0.26	0.42	0.34	0.33	0.34	0.31	0.33	0.22
0.53	0.42	0.42	0.32	0.34	0.40	0.25	0.40	0.32	0.44	0.32	0.27
0.51	0.39	0.42	0.34	0.31	0.39	0.30	0.27	0.32	0.36	0.29	0.28
0.49	0.39	0.38	0.32	0.30	0.40	0.25	0.34	0.27	0.36	0.29	0.23
0.44	0.35	0.27	0.25	0.21	0.34	—	0.30	0.22	0.27	0.29	0.24
—	0.32	—	—	—	0.31	—	0.23	—	—	0.25	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.44	0.32	0.26	—	—	—	0.24	—	0.20	0.28	0.16	0.19

Т а б л и ц а 12 (продолжение)

45	46	47	49	50	51	52	53	57	61	62	67
4 VIII	4 VIII	4 VIII	5 VIII	5 VIII	5 VIII	5 VIII	5 VIII	5 VIII	6 VIII	6 VIII	7 VIII
0.42	0.22	0.20	0.13	0.15	+	0.19	+	+	—	—	—
0.27	0.26	0.23	0.14	0.13	+	0.15	0.13	—	—	—	—
0.29	0.21	0.20	0.13	0.14	0.10	+	0.14	0.08	+	—	0.04
0.27	0.19	0.16	0.14	0.12	0.10	0.10	0.08	0.06	+	—	0.05
0.21	0.15	0.14	0.13	0.12	+	—	+	0.04	—	0.05	0.06
0.21	0.16	0.14	0.13	0.11	—	—	—	—	—	0.03	0.04
0.18	0.11	0.11	0.12	0.11	—	—	—	—	—	—	0.04
0.12	—	0.10	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—

Т а б л и ц а 14

Распределение скоростей течения на поверхности по длине водохранилища
в 1957 и 1958 гг.

№№ станций	1957 г.			1958 г.		
	дата	скорость, м/сек.	уровень по в/п Чкаловск (отклонение от НПГ)	дата	скорость, м/сек.	уровень по в/п Чкаловск (отклонение от НПГ)
5	31 VII	0.36	—0.48	27 V	0.71	—0.03
11	31 VII	0.56	—0.48	27 V	0.68	—0.03
15	31 VII	0.53	—0.48	27 V	0.78	—0.03
19	31 VII	—	—	28 V	0.69	—0.09
20	1 VIII	0.32	—0.46	28 V	0.62	—0.09
23	2 VIII	0.40	—0.44	28 V	0.68	—0.09
24	2 VIII	0.37	—0.44	28 V	0.45	—0.09
27	2 VIII	0.40	—0.44	28 V	0.50	—0.09
34	2 VIII	0.29	—0.44	29 V	0.51	—0.06
36	3 VIII	0.28	—0.42	29 V	0.34	—0.06
43	4 VIII	0.29	—0.39	29 V	0.34	—0.06
47	4 VIII	0.23	—0.39	29 V	0.33	—0.06
62	6 VIII	0.04	—0.36	31 V	0.18	+0.03
67	7 VIII	0.04	—0.30	1 VI	0.16	—0.10

Подобное же распределение скоростей течения в водохранилище сохранилось и в последующие годы. Скорости течения сохранили тенденцию к возрастанию в направлении к зоне выклинивания подпора. Они возрастали в период весеннего наполнения водохранилища и заметно уменьшались в летне-осенний период. Это отчетливо видно из

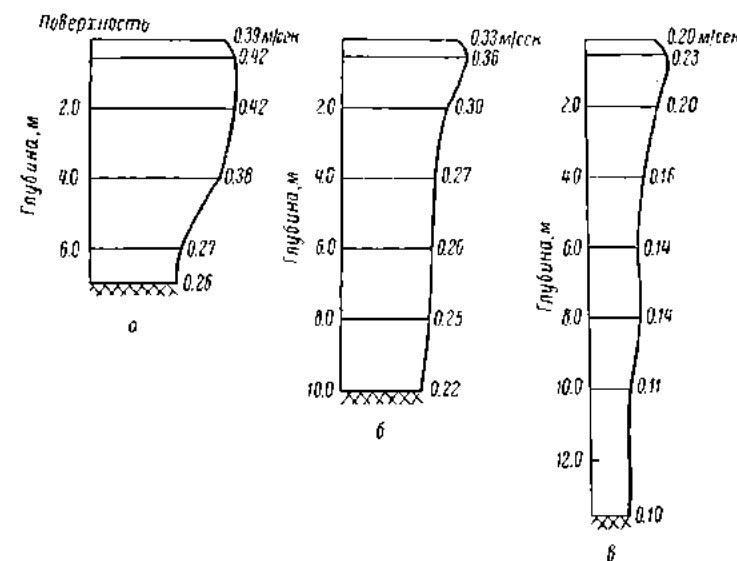


Рис. 13. Эпюры скоростей течения у Ярославля (а), у Костромы (б) и у Кинешмы (в) в 1957 г.

сопоставления скоростей течения на поверхности по бывшему руслу Волги, измеренных в поле—августе 1957 г. и в мае—июне 1958 г. (табл. 14).

Из табл. 14 видно, что при почти одинаковом уровне при сохранении общей тенденции к возрастанию в направлении к зоне выклинивания подпора скорости течения даже в конце мая, когда заканчивалось наполнение водохранилища, значительно превышали летние. Вообще на протяжении года скорости стоковых течений в зоне подпора колеблются в больших пределах в зависимости от режима работы Горьковской ГЭС, а на участке выклинивания подпора также и от режима работы Рыбинской ГЭС. На-

Таблица 15

Распределение скоростей течения (в м/сек) по сезонам на русловой станции прилегающего участка в 1958 г.

Глубина, м	Дата					
	14 II	5 IV	1 VI	29 VIII	8 X	30 X
Поверхность	0.11	0.18	0.16	0.05	+	+
3.0	0.13	0.22	0.21	0.05	0.07	0.06
6.0	0.17	0.27	0.16	—	—	+
9.0—10.0	0.17	0.30	0.15	+	0.09	+
13.0	0.14	—	—	—	—	—
15.0—16.0	—	0.26	0.13	—	—	—
18.0	—	0.23	—	—	—	—

большие скорости соответствуют наибольшей проточности и относятся к концу апреля—началу мая. Наименьшие скорости отмечались в период наименьшей проточности — с июня по декабрь. Для примера в табл. 15 приводятся результаты измерения скоростей течения на одной из русловых станций приплотинного участка, полученные в 1958 г.

На распределение скоростей течения в зоне подпора существенное влияние оказывает площадь поперечного сечения водоема. В этой зоне сравнительно узкие участки чередуются со значительными расширениями, площадь водного сечения которых иногда значительно превышает таковую узких участков. Естественно, что при прочих одинаковых условиях скорости стоковых течений в местах с наибольшими площадями водного сечения будут меньшими, чем на более узких участках. Это наглядно обнаруживается при сопоставлении скоростей течения на двух русловых станциях приплотинного участка (табл. 16). Ввиду того что протяженность первого створа при НПГ составляет 6900, а второго — 3700 м, скорости течения на станции первого створа значительно меньше, чем на станции второго, несмотря на то, что первый створ расположен ближе к зоне выклинивания подпора.

Т а б л и ц а 16

Распределение скоростей течения (в м/сек.) в зависимости от ширины водохранилища по створу в 1958 г.

Глубина, м	I створ 30 X	II створ 30 Y	I створ 1 IX	II створ 30 YII	I створ 6 X	II створ 7 X
Поверхность	+	0.18	0.07	0.12	+	+
3.0	0.10	0.19	0.05	0.15	0.05	0.05
6.0	+	0.17	0.03	0.06	0.04	0.06
9.0	—	0.15	+	—	—	—
12.0	0.11	0.15	—	—	—	—

Кроме стоковых, в отдельных случаях морской вертушкой в приплотинном участке отмечались ветровые течения. Они особенно заметны в районе Юрьевца и Чкаловска, где слабо выражены стоковые течения. Так, 15 сентября 1956 г. при восточном ветре 5.3 м/сек. на русловой станции юрьевецкого створа на глубине 0.5 м наблюдалось течение северо-западного направления. Скорость его равнялась 0.09 м/сек. На глубине 4 м течение имело юго-восточное направление и скорость 0.11 м/сек. (Измерение течения производилось при стоянке судна на одном якорю). Случаи ветровых течений в этом районе отмечались довольно часто, но подробно они не изучались.

Таким образом, в зависимости от высоты уровня, величины уклона водной поверхности и места наблюдений, а на участке выклинивания подпора и от величины расхода Рыбинской ГЭС скорости течения испытывали значительные колебания. Для режима скоростей в условиях подпора характерно возрастание их по длине водохранилища к зоне выклинивания подпора, а также возрастание во время весеннего наполнения водоема и уменьшение во время летне-осенней межени. Скорости течения в приплотинном участке зависят от режима работы ГЭС. В распределении скоростей течения по поперечному сечению потока и по вертикали сохранились основные закономерности речного потока.

Прозрачность и мутность воды

С изменением режима течений Волги на участке водохранилища значительно изменилась прозрачность воды и ее мутность. По прозрачности воды А. Л. Бенинг (1924) подразделял Волгу от Калинин до Саратова на четыре различных района, причем на участке Горьковского водохранилища соприкасались два таких района: один от устья Мологи до впадения Уньки с прозрачностью воды 70—80 см, второй от Уньки и ниже с прозрачностью 50—55 см. Следовательно, в бытовых условиях прозрачность воды Волги на участке водохранилища летом колебалась от 80 см в районе Рыбинска до 50 см ниже Юрьевца. Прозрачность воды в волоках и затонах, связанных с Волгой, была такой же, как и в самой Волге (табл. 17).

Таблица 17

Прозрачность воды Волги и ее притоков в бытовых условиях
(по Бенингу, 1922)

	Волга						Притоки Волги		
	выше Рыбинска	у с. Сампего	у д. Овсении	выше Костромы	у с. Розининского	выше Пучежа	р. Которосль	р. Кострома	р. Унька
Глубина, м	3.0	7.0	4.5	5.5	3—4	6—8	4.5	6.5	3.5
Прозрач- ность, см	82	72	70	87	73	53	78	40	32*

* В дождевой паводок.

С наполнением водохранилища прозрачность воды на отдельных участках Волги от Рыбинска до Городца сильно изменилась по сравнению с бытовыми условиями реки. Уже в первый год наполнения прозрачность от Юрьевца до плотины увеличилась по сравнению с рекой в 2—3 раза (Буторин, 1959а). Данные по прозрачности воды в этом участке рассмотрены нами в предыдущей работе (Буторин, 1959б), поэтому здесь мы остановимся только на распределении прозрачности в летний период по длине водохранилища.

Наблюдения, произведенные по бывшему руслу Волги от Рыбинска до Чкаловска в июле—августе 1957 г., дали результаты, представленные в табл. 18. Эти же данные приведены в виде кривой на рис. 14. За это время прозрачность воды водохранилища колебалась от 85 см у Костромы до 145 см у Чкаловска. В отдельных случаях на пойменных станциях она достигала 200 см.

По прозрачности воды в летний период можно выделить на водохранилище три участка. Первый — от Рыбинска до Костромы — характеризовался наиболее резкими колебаниями прозрачности: от 85 до 125 см, причем, если от Рыбинска до Ярославля она постепенно возрастала, то от Ярославля до Костромы систематически уменьшалась и у Костромы наблюдался ее минимум. Наиболее крупным притоком Волги от Рыбинска до Костромы является р. Которосль. Сток ее в летнее время невелик и не может оказать существенного влияния на уменьшение прозрачности, поэтому вполне вероятно, что уменьшение прозрачности ниже Ярославля

объясняется поступлением большого количества сточных вод от промышленных предприятий.

От Костромы до устья Елнаты прозрачность колебалась от 100 до 135 см, причем отчетливо прослеживалось постепенное ее увеличение по течению. На этом участке увеличение прозрачности обусловлено замедленным течением и выпадением взвешенных частиц, сильно понижающих прозрачность. Зависимость прозрачности от скорости течения хорошо видна на рис. 15. Наибольшая прозрачность наблюдалась от Юрьевца до плотины, где она

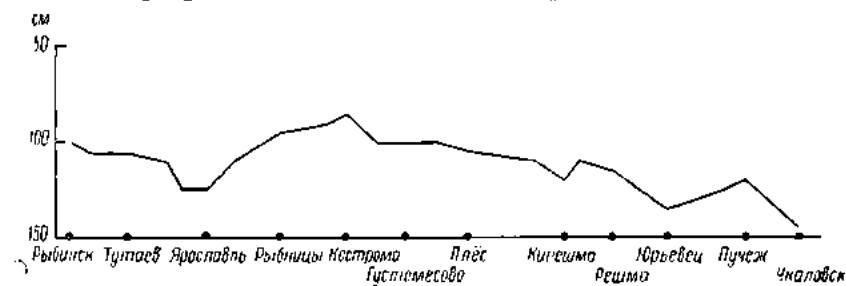


Рис. 14. Прозрачность воды водохранилища летом 1957 г.

колебалась от 120 до 145 см. Таким образом, уже в годы наполнения водохранилища, несмотря на затопление обширных пойменных участков с болотами и заросшими озерами, отдающими в воды водохранилища большое количество органического вещества, которое снижало ее прозрачность, последняя в зоне подпора резко увеличилась по сравнению с прозрачностью реки.

После наполнения водохранилища прозрачность не претерпела существенных изменений. Так же как в годы наполнения, она варьировала и в те-



Рис. 15. Изменение прозрачности и скоростей течения по длине водохранилища (данные русловых станций).

1 — прозрачность; 2 — средняя скорость.

чение года. Наибольшая прозрачность наблюдалась на участке Юрьевец—плотина, где она в течение года колебалась от 90 до 180 см, но чаще всего от 100 до 150 см. На участке выклинивания подпора прозрачность была меньше. От Рыбинска до Юрьевца она редко превышала 100 см и колебалась обычно от 60 до 90 см. В течение года изменения прозрачности мало отличались от рассмотренных нами для периода наполнения (Буторня, 1959б). В отдельные годы, в зависимости от общих климатических условий, имелось лишь время максимальной прозрачности воды. Так, в 1956 г. она наблюдалась в августе, а в 1959 г. — в июле. Как правило, наибольшая прозрачность отмечалась в открытой части водохранилища, а по мере приближения к берегам, мелководьям и устьям рек и ручьев она падала.

Существенное изменение прозрачности воды водохранилища по сравнению с рекой сопровождалось заметным изменением ее мутности. Коли-

Прозрачность, температура воздуха и воды (в °C)

	Рыбинск	Горелая Гряда	Песочное	Остров Вогоня- лецкий	Савинское	Нижне р. Урды
Прозрачность, см . . .	31 VII 4 ч. 20 м. 100	31 VII 5 ч. 30 м. 110	31 VII 7 ч. 20 м. 105	31 VII 8 ч. 50 м. 110	31 VII 9 ч. 35 м. 115	31 VII 10 ч. 30 м. 110
Температура воз- духа	13.0	13.6	—	20.2	20.2	20.2
Температура воды { 0.1	17.50	17.50	17.40	17.70	17.50	17.2*
0.5	17.80	17.50	17.40	17.60	17.50	17.2*
4.0	—	—	17.35	17.53	17.55	17.13
5.0	—	—	—	—	—	—
Дно	17.59	17.58	17.44	17.52	17.50	17.13

	Полынь	Минино	Турово	Рыбинцы	Красный Профин- терн	На траверзе р. Кемь
Прозрачность, см . . .	2 VIII 5 ч. 35 м. —	2 VIII 7 ч. 20 м. 105	2 VIII 8 ч. 35 м. 100	2 VIII 9 ч. 25 м. 95	2 VIII 10 ч. 10 м. 95	2 VIII 11 час. 95
Температура воз- духа	15.8	16.8	19.0	20.2	20.2	20.8
Температура воды { 0.1	17.90	17.60	17.70	17.80	18.00	18.50
0.5	17.90	17.80	17.70	17.80	18.00	18.20
4.0	—	17.82	—	17.84	17.85	18.08
5.0	17.90	—	17.72	—	—	—
Дно	17.96	17.85	17.74	17.84	17.80	18.03

	На траверзе р. Березовская	Семигорье	Наволоки	Кинешма	Луговое
Прозрачность, см . . .	4 VIII 11 час. 100	4 VIII 12 ч. 10 м. 108	4 VIII 13 ч. 15 м. 110	4 VIII 14 ч. 55 м. 120	5 VIII 5 ч. 20 м. 100
Температура воз- духа	17.6	18.3	18.6	21.0	13.4
Температура воды { 0.1	19.50	20.10	19.80	20.50	19.80
0.5	19.50	20.00	19.80	20.50	20.00
4.0	—	—	—	—	—
5.0	19.54	19.98	19.76	20.46	19.96
Дно	19.52	19.62	19.64	20.09	19.89

чество взвешенных веществ в реке зависит от уровня воды и скорости течения, от характера грунтов водосбора бассейна и даже от температуры воды и ее химического состава, так как при более высокой температуре выпадение извесей увеличивается, а соли ускоряют оседание коллоидов (Бенинг, 1924).

Из опубликованных материалов известно, что наибольшая мутность воды Волги наблюдалась в половодье и в паводки, а наименьшая — зимой. Так, в 1940 г. средняя мутность воды Волги, по данным гидрологического

Таблица 18

по длине водохранилища (июль—август 1957 г.)

Тупое	Константиново	Якимцево	Норское	Толча	Ярославль	Липовая Гора	Остров Тунаисский
31 VII 16 ч. 50 м. 105	31 VII 13 ч. 45 м. 100	31 VII 14 ч. 55 м. 110	31 VII 15 ч. 35 м. 110	1 VIII 14 час. 125	1 VIII 18 ч. 25 м. 125	1 VIII 19 ч. 30 м. 115	1 VIII 20 ч. 30 м. 110
22.4	23.8	23.0	20.3	22.8	22.2	19.7	17.5
17.20	17.40	17.20	17.30	—	18.00	17.90	17.90
17.20	17.30	17.20	17.20	—	17.90	17.90	17.80
17.16	17.44	17.20	—	17.79	18.00	17.94	17.95
—	—	—	—	—	—	—	—
17.19	17.49	17.21	17.30	17.91	18.00	17.96	18.00

Таблица 18 (продолжение)

Бухари	Кострома	На траверзе р. Кубинь	Черно- неньс	Густоме- сло	Нижне р. Шача	Подоль- ское	Павл
2 VIII 19 ч. 15 м. 90	3 VIII 17 ч. 45 м. 85	3 VIII 18 ч. 55 м. 100	3 VIII 19 ч. 55 м. 100	4 VIII 4 ч. 50 м. 100	4 VIII 6 ч. 05 м. 95	4 VIII 7 ч. 40 м. 100	4 VIII 9 ч. 45 м. 105
26.2	22.0	20.2	18.8	12.8	14.2	16.4	18.2
19.20	18.70	19.10	19.00	19.00	19.20	19.40	19.60
19.20	18.70	19.10	19.00	19.00	19.20	19.40	19.60
18.68	—	19.05	—	18.98	—	—	—
—	18.65	—	19.08	—	19.32	19.42	19.55
18.66	18.64	19.02	19.05	19.00	19.29	19.38	19.55

Таблица 18 (продолжение)

Вороже- цкое	Решма	На травер- зе устья р. Желвата	На травер- зе устья р. Епань	Юрьевец	Соколь- ское	Пучок	Чкаловск
3 VIII 19 ч. 30 м. 110	5 VIII — 115	5 VIII 9 ч. 30 м. 110	5 VIII 11 час. 130	5 VIII 20 ч. 15 м. 135	6 VIII 10 ч. 10 м. 125	6 VIII 13 ч. 05 м. 120	7 VIII 8 ч. 15 м. 145
16.6	15.7	16.8	18.4	16.4	19.8	22.4	16.0
20.20	20.80	21.20	21.90	21.60	21.90	21.80	20.60
20.20	20.70	21.20	21.80	21.60	21.70	21.60	20.70
—	—	—	—	—	—	—	—
20.16	20.82	21.12	21.58	21.60	20.88	20.73	20.69
20.20	20.80	21.02	21.23	19.83	18.90	17.74	17.45

ежегодника, у Кинешмы повышалась с 3 г/м³ 30 декабря до 50.8 г/м³ 3 мая. Подобная картина в годовом распределении мутности сохранилась у Кинешмы и после создания Рыбинского водохранилища. Наименьшая средняя мутность у Кинешмы в 1954 г. наблюдалась 22 января и равнялась 5.1 г/м³, а наибольшая — 49.1 г/м³ 22 апреля.

В период наполнения водохранилища мутность воды на отдельных его участках заметно изменилась против бытовой. В зоне выклинивания подпора на некоторых станциях летом 1956 г. она достигала 13.1 г/м³

у поверхности и 22.9 г/м^3 у дна, а в большинстве случаев не превышала 10 г/м^3 . Особенно заметное уменьшение мутности наблюдалось ниже Костромы, так как именно на этом участке с уменьшением скорости течения взвешенные частицы наиболее интенсивно оседали на дно и откладывались на пойме. Уже в районе Кинешмы мутность как в поверхностном, так и в придонном слое составляла 2.4 г/м^3 . На всем участке водохранилища от Рыбинска до Юрьевца прослеживалось относительно равномерное распределение мутности по вертикали с небольшим увеличением ее ко дну.

С выходом к Юрьевцу картина несколько менялась. От Юрьевца до Чкаловска часто наблюдались случаи, когда мутность поверхностного слоя превышала придонную. Мутность в этом участке несколько ниже, чем в предыдущем. Так, 9 июля 1956 г. у Юрьевца она равнялась в поверхностном слое 1.8 г/м^3 , а в придонном — 1.4 г/м^3 . У Пучежа мутность колебалась от 1.2 до 2.7 г/м^3 в поверхностном слое и от 1.6 до 3.3 г/м^3 в придонном. В районе Чкаловска она была выше, чем у Пучежа и Юрьевца, но не превышала 5 г/м^3 . Некоторое повышение мутности у Чкаловска в летний период обусловлено, вероятно, интенсивным разрушением береговой полосы. Западный берег водохранилища у Чкаловска высокий, глинисто-песчаный. Он быстро разрушается. В прибрежной зоне у этого берега в районе Чкаловска особенно при сильном волнении всегда наблюдались полосы сильно взмученной воды от светло-желтоватого до темно-коричневого цвета. Ширина этих полос иногда достигала нескольких десятков метров. На увеличение мутности за счет разрушения береговой полосы указывает и соотношение минеральной и органической частей осадка отфильтрованных проб. Для прибрежных станций западного берега и для большинства станций открытой части водохранилища у Чкаловска минеральная составляющая осадка особенно в придонном слое была преобладающей. Минеральные частицы в пробах от Катупок до Чкаловска как в поверхностном слое, так и у дна составляли от 56 до 83% (Буторин, 1959б).

Температура воды

Существенно отличается от бытового волжского и температурный режим водохранилища. До создания плотины у Города весь участок Волги от Рыбинска до плотины очищался ото льда 23—25 апреля. Температура воды Волги в районе Чкаловска обычно имела следующий годовой ход. После вскрытия реки температура воды сначала медленно, а затем интенсивно повышалась и примерно через месяц после вскрытия достигала $15—16^\circ$. Максимум температуры наблюдался обычно в июле и достигал $26—27^\circ$. Достигнув максимума, температура воды начинала падать и к концу октября понижалась до $3—4^\circ$. Температура $3—4^\circ$ удерживалась до осеннего ледохода, а затем при ледоходе и ледоставе снижалась до 0° на поверхности, сохраняя небольшие положительные значения, близкие к 0° , в придонных слоях. В зимний период она обычно не превышала $0.01—0.02^\circ$.

Вскрытие приплотинного участка водохранилища в 1956 г. наблюдалось в 20-х числах апреля, а ледоход начался 28 апреля. В 1957 г. начало ледохода у Чкаловска было отмечено 26 апреля. Следовательно, уже вскрытие приплотинного участка водохранилища запаздывало по сравнению с рекой. После очищения подпора ото льда температура воды быстро повышалась и к 20-м числам мая в 1956 г. вода от Юрьевца до плотины была прогрета на всю глубину до $11—12^\circ$ в открытой части водохранилища и до $14—15^\circ$ на прибрежных участках. В 1957 г. в это же время температура достигала $14—16^\circ$ в открытой части и $16—18^\circ$ в прибрежье. Прогрев отдельных участков водохранилища шел неравномерно. Так, в районе Ры-

блика температура воды на поверхности была 17 мая 1956 г. 1.1—1.4°, а 20 мая у Пучежа она равнялась 11.2°.

Из табл. 18 видно, что температура воды на поверхности колебалась от Рыбинска до Чкаловска между 17.2 и 21.8°, а у дна — между 17.2 и 21.2°, причем прослеживалось постепенное повышение температуры по направлению к Горьковской ГЭС. О том, что такое повышение температуры воды на поверхности между Рыбинском и Чкаловском с 31 июля по 7 августа 1957 г. не является результатом прогрева поверхностных вод, свидетельствуют данные наблюдений по чкаловскому водомерному посту. За этот промежуток времени среднесуточная температура изменялась следующим образом:

31 VII	21.0°	4 VIII	21.0°
1 VIII	21.6	5 VIII	20.7
2 VIII	21.3	6 VIII	21.2
3 VIII	21.5	7 VIII	20.9

Таким образом, с 31 июля по 7 августа температура воды на поверхности у Чкаловска понизилась на 0.1°. Летом 1957 г. (31 июля—6 августа) температура на поверхности поднялась от 17.8° у Рыбинска до 21.6° у Пучежа, или на 3.8°. Весной эта разница была значительно больше. Так, с 17 по 20 мая 1956 г. между Рыбинском и Пучежом она составляла 9.8°.

На мелководных и прибрежных участках водохранилища температура воды весной и летом обычно несколько выше, чем по бывшему руслу Волги.

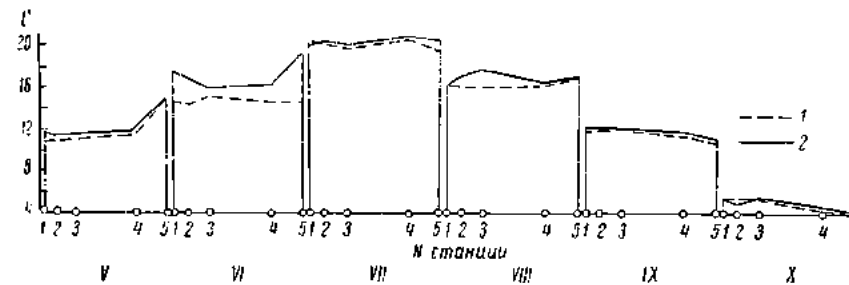


Рис. 16. Сезонный прогрев вод водохранилища на примере чкаловского створа.

1 — придонная температура; 2 — поверхностная температура.

Изменение ее по поперечному сечению водоема, отражающее сезонный прогрев вод водоема, видно из рис. 16. Описание местоположения станций, указанных на рис. 16, дано в предыдущей работе (Буторин, 1959а), а профиль створа представлен на рис. 2. Из рис. 16 видно, что весной и летом прибрежье прогревалось быстрее, чем открытая часть водохранилища, а осенью, наоборот, быстрее выхолаживалось.

Как указывал А. Л. Венниг (1924), измерения с помощью опрокидывающихся термометров, произведенные в Волге в разное время года, не позволяют говорить о существующей здесь между поверхностью и придонными слоями разнице в температуре воды. Речные струи смешивают всю толщу воды, так что и годовые колебания температуры распределяются по реке равномерно» (стр. 91). Наблюдения 1957 г. подтверждают это положение для некоторых участков водохранилища. Данные табл. 18 показывают, что от Рыбинска до устья Елнати, где сохранился в какой-то степени скоростной режим реки, разница между температурой воды на поверхности и у дна, как правило, была меньше 0.1°. Только в отдельных случаях она достигала нескольких десятых градуса. От устья Елнати

разница между температурой воды на поверхности и у дна возрастала и колебалась от 0.57 ниже устья Елнати до 4.06° у Пучежа. В отдельных случаях она может быть еще большей. В июне 1956 г. на некоторых стан-

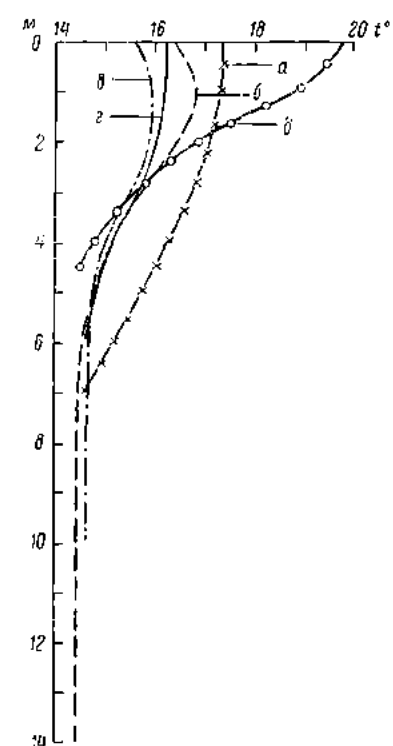


Рис. 17. Вертикальное распределение температуры на станциях (а—д) чкаловского створа (июнь 1956 г.).

циях вертикальные изменения температуры достигли 4—5°. Наиболее существенная разница между температурой на поверхности и у дна наблюдалась в июне (рис. 16), а максимальный прогрев воды, как и в реке, падал на июль. Это видно и на рис. 17, где представлены кривые вертикального распределения температур на чкаловском створе. Кривые рис. 17 показывают, что уже в первый год наполнения водохранилища в его приплотинном участке в отличие от реки наблюдалось температурное расслоение водной массы. Первая половина июня характеризовалась отчетливо выраженной прямой стратификацией температуры как у побережья, так и в открытых частях водоема.

С увеличением прогрева вод в июне и июле стратификация становилась неустойчивой, градиенты температуры резко уменьшались и к августу температура по всей глубине выравнивалась, наступала гомотермия. Распределение температуры воды на различных горизонтах у Пучежа и изменение ее за лето 1959 г. показано в табл. 19.

Кривые среднесуточной температуры воды по чкаловскому водомерному посту за безледный период 1956—1957 гг. (рис. 18) показывают, что весенний прогрев водохранилища в 1957 г. проходил более интенсивно, чем в 1956 г. Продолжительное похолодание во второй половине июня и

Таблица 19

Вертикальное распределение температуры воды у Пучежа летом 1959 г.

Глубина, м	Температура воды, С°				
	10 V	9 VI	10 VII	10 VIII	11 IX
Поверхность	9.5	16.4	21.4	22.0	12.7
2.0	10.4	16.2	21.0	—	—
5.0	8.9	15.6	20.9	—	—
10.0	—	12.1	21.5	22.1	12.8
14.0	8.3	11.7	21.0	22.0	—
18.0	—	—	19.8	—	—
19.0	—	—	—	22.0	12.7
20.0	—	11.4	—	—	—

них почти совпадал по срокам с максимумом 1956 г., но был меньше его, а второй был заметно сдвинут по времени. Также особенностью температурных условий 1957 г. являются более устойчивые положительные температуры поздней осенью: температура воды понизилась 4° на 10 дней позднее, чем в 1956 г.



Рис. 18.-Кривые температуры в безледный период по чкаловскому водомерному посту в 1956 г. (1) и 1957 г. (2).

Подобные изменения температуры воды наблюдались на всем участке водохранилища от плотины до Юрьевца. Доказательством того, что температурные данные района Чкаловска характеризуют весь этот участок, служат кривые среднедекадных температур по водомерным постам Чкаловск, Пучеж и Юрьевец, представленные на рис. 19. Большое сходство этих кривых подтверждает соответствие температурных изменений в этих пунктах. Различия в среднедекадных температурах в них, как правило, меньше 1° .

Температурные условия широкой части водохранилища после его заполнения в безледный период можно приблизительно представить по ходу температур на чкаловском водомерном посту. На рис. 20 видно, что прогрев и температура воды в прибрежной части водохранилища в 1958 и 1959 гг. были довольно сходны. Лишь весеннее повышение температуры в 1959 г. началось несколько раньше, чем в 1958. Аналогично шло и выхолаживание водохранилища. Следовательно, существенных различий между температурными условиями в эти годы и в период заполнения не наблюдалось. Распределение температур по длине водохранилища и по вертикали в приплотинном участке сохранило особенности предшествующих лет.

Вообще следует отметить, что ход температуры в водохранилище на поверхности, свободной ото льда, в основном соответствовал изменению температуры воздуха, но при меньшей амплитуде колебаний (рис. 21). Весной температура воды была всегда ниже температуры воздуха, а начиная со второй половины июня, как правило, выше ее, следовательно, для

Таблица 20

Средние температуры воды и воздуха в безледный период

	1957 г.	1958 г.
Температура воды, $^{\circ}\text{C}$	15.07	13.85
Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	14.61	12.28

Горьковского водохранилища сохранилось положение, которое отмечалось рядом авторов для рек умеренного пояса: температура воды в безледный период в среднем выше температуры воздуха.

В табл. 20 приведены средние из среднесуточных температур воды и воздуха, вычисленные с мая по октябрь. Температура воды бралась

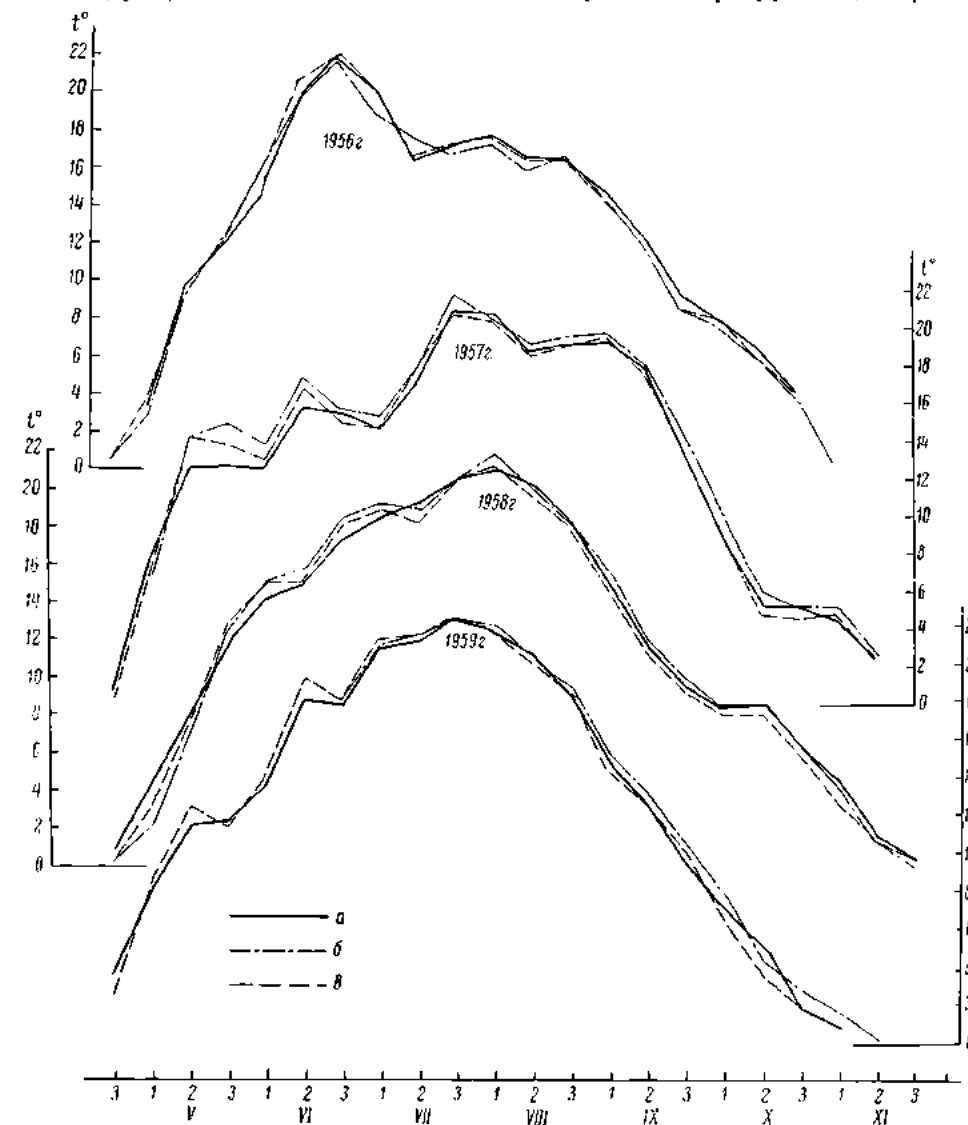


Рис. 19. Кривые среднedeкадных температур по водомерным постам Чкаловск (1), Пучеж (2), Юрьевец (3) в 1956—1959 гг.

по чкаловскому водомерному посту, а температура воздуха — по метеостанции Городца, так как наблюдения ее за 1958 г. в Чкаловске отсутствуют. Подобное соотношение между температурой воды и воздуха наблюдалось от Рыбинска до Чкаловска в июле—августе 1957 г. Из 39 наблюдений температура воды на поверхности была в 21 случае теплее воздуха и в 18 холоднее его. Средняя температура на поверхности из всех наблюдений равнялась 18.97° , а воздуха — 18.58° , т. е. вода была теплее воздуха на 0.39° .

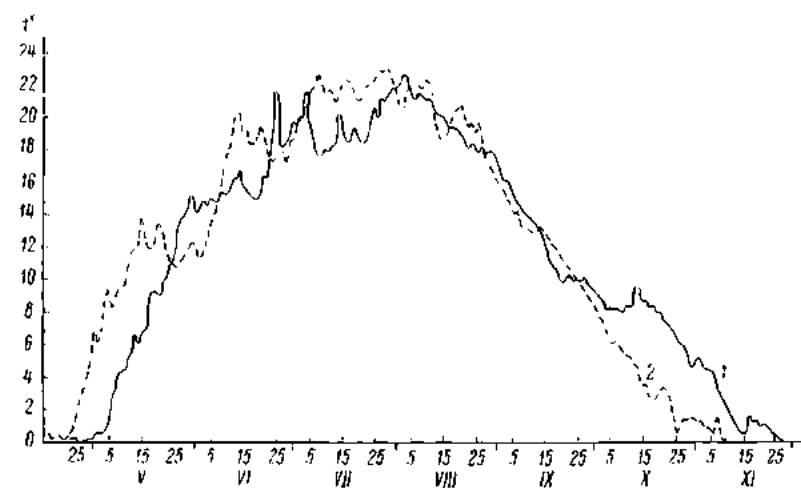


Рис. 20. Кривые температуры в безледный период по чкаловскому водомерному посту в 1958 г. (1) и в 1959 г. (2).

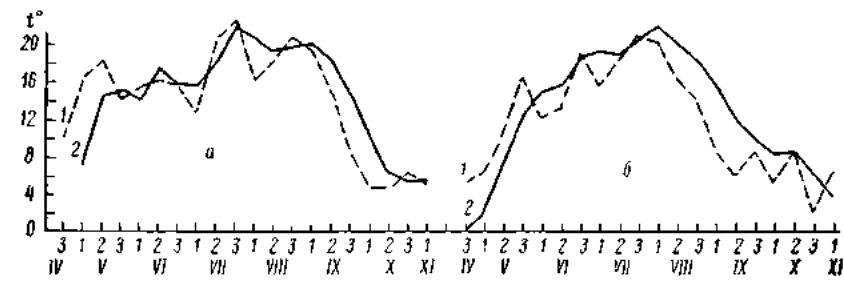


Рис. 21. Кривые температуры воды и воздуха за безледный период 1957 г. (а) и 1958 г. (б).

1 — температура воды; 2 — температура воздуха.

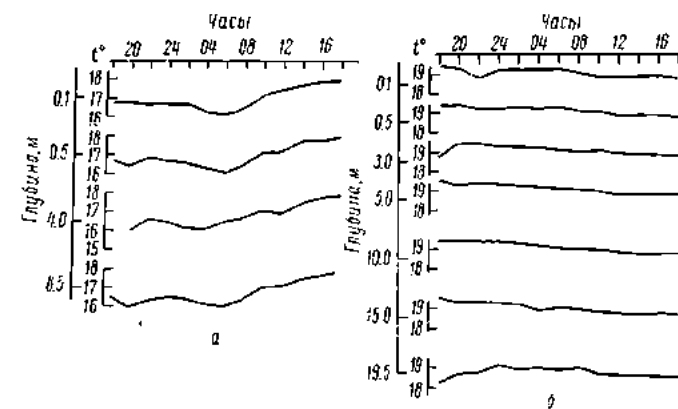


Рис. 22. Суточные колебания температуры воды.
а — нижний бьеф Рыбинской ГЭС; б — верхний бьеф Горьковской ГЭС.

Суточные колебания температуры наиболее резки в поверхностном слое. Амплитуда этих колебаний в 1956 г. равнялась в приплотинном участке на поверхности 0.9° в конце мая и 2.1° в начале августа, а у дна — 0.7° в мае и 0.2° в августе. Подобные же изменения температуры воды были отмечены и в 1957 г. На рис. 22 представлены суточные кривые температуры воды на различных горизонтах в нижнем бьефе Рыбинской и верхнем бьефе Горьковской ГЭС. Мы видим, что суточные колебания температуры на обеих этих станциях невелики, причем на первой из них они оказались большими, чем на второй: соответственно от 1.7 до 1.8° и от 0.59 до 0.88° .

Таким образом, особенности температурного режима водохранилища сравнительно с температурным режимом реки определялись своеобразным распределением скоростей течения, замедленным водообменом и возрастанием глубины, а также ветровым перемешиванием вод, особенно на мелководных участках водохранилища.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение материалов по гидрологии Горьковского водохранилища приводит к выводу, что процесс формирования его гидрологического режима в основном закончился в первые два года после наполнения. Это не относится к формированию грунтов и береговой полосы, которые протекают более длительное время. Но в режиме уровня, стоковых течений, температуры, прозрачности и мутности воды при эксплуатации водохранилища в соответствии с существующим графиком сработки вряд ли будут наблюдаться большие отличия от данных, приведенных в настоящей работе. Колебание их будет определяться общими климатическими условиями в районе водохранилища.

Характерной особенностью Горьковского водохранилища в сравнении с другими водохранилищами подобного типа является относительное постоянство его уровня в период открытой воды, а также сравнительно небольшая сработка его в зимний период и наличие большого зеркала затопленных рек, озер, стариц, составляющих 24.4% от общей площади водохранилища.

ЛИТЕРАТУРА

- Белавская А. П. и Т. А. Павлова. 1961. Растительность и почвы дельты Горьковского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4(7).
 Бенниг А. Л. 1924. К изучению придонной жизни Волги. Волжская биологическая станция, Саратов.
 Ближний Е. В. и В. Г. Андреев. 1958. Исследования озер и водохранилищ в СССР. Тр. III Всес. гидрол. съезда, т. I.
 Богословский В. В. и С. Д. Муравейский. 1955. Очерки по озераведению. Изд. МГУ.
 Богуславский П. А. 1887. Волга как путь сообщения. Сб. Инст. инженер. путей сообщения, вып. IX.
 Буторин И. В. 1958а. Изменение проточности в зоне подпора Горьковской ГЭС. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 1.
 Буторин И. В. 1958б. О скоростях течения Волги от Рыбинска до (Волгограда). Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 2.
 Буторин И. В. 1959а. Изменение элементов гидрологического режима Волги на участке Горьковского водохранилища в первый год его наполнения. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4(4).
 Буторин И. В. 1959б. О прозрачности и мутности воды Горьковского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2(5).
 Вендров С. Л. 1955. О динамике береговой зоны Цимлянского водохранилища. Изв. АН СССР, сер. геогр., № 5.
 Вендров С. Л. 1959а. Исследования руслового режима крупных водохранилищ, произведенные гидроэлектростанцией в 1952—1957 гг. Тр. III Всес. гидрол. съезда, т. IV.

- В е н д р о в С. Л. 1959б. Проблемы руслового режима больших водохранилищ на равнинных реках. Автореф. дисс. Изд. МГУ.
- Д з ю б а н П. А. 1960. О районировании Куйбышевского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 8—9.
- Д у б р о в и л л И. П., Ю. М. М а т а р а н и н И. А. П е ч е р х и н. 1959. Намское водохранилище. Кн. пзд., Пермь.
- З и м и н о в а П. А. 1959. Элементы гидрологического режима и водный баланс Иваньковского водохранилища за 1951—1956 гг. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2(5).
- Л у к и н А. В. 1958. Первые годы существования Куйбышевского водохранилища и условия формирования в нем стада промысловых рыб. Тр. Татарск. отд. Гос. н.-иссл. инст. озерн. и речн. рыбн. хоз., вып. 8.
- М а т е р и а л ы по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР 1936. Вып. XXXV. Изд. ОНТИ, М.—Л.
- Н а с а р е в С. А. и Н. П. С е р г и е в и ч. 1936. Режим стока Волги и ее главнейших притоков. Главгидроэлектрострой, М.—Л.
- Р у т к о в с к и й В. И. и Т. Н. К у р д и н а. 1959. Водный баланс Рыбинского водохранилища за период с 1947 по 1955 гг. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 1(4).
- Т а р а й м о в и ч П. И. 1957. Первый год эксплуатации водосливной плотины Горьковской ГЭС. Гидротехн. строительство, № 9.
- Ш и р о к о в В. М. 1959. Вопросы заносимости устьев малых рек Куйбышевского водохранилища. Тр. Казанск. фил. АН СССР, сер. энергетики и водн. хоз., вып. 4.
- Ф о л и ц и н Б. И. 1956. Режим уровня при суточном регулировании в нижнем бьефе Щербаковской ГЭС. Метеор. и гидрол., № 1.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ПЕРИОД ЗАПОЛНЕНИЯ

С перекрытием Волги у Жигулей плотинной 31 октября 1955 г. началась заповневание нового водохранилища волжской системы, одного из крупнейших в мире. Весной 1956 г. уровень у плотинной гидроузла поднялся на 20 м, а летом подпор воды распространился до Вязовых на Волге и до Чистополя на Каме. В паводок 1957 г. заповневание водохранилища закончилось и 8 июня 1957 г. (Маковский, 1958) уровень достиг проектной отметки. Плотина Куйбышевского гидроузла подняла уровень Волги над естественным меженим горизонтом на высоту около 28 м. С заповневанием водохранилища существенно изменился гидрологический режим Волги и ее притоков как в зоне затопления и распространения подпора, так и в нижнем бьефе Волжской ГЭС им. В. И. Ленина.

В период заповневания Куйбышевского водохранилища (1955—1957 гг.) экспедициями Института биологии водохранилищ АН СССР выполнено свыше 500 комплексных станций, из них некоторое количество суточных. Полученные данные позволяют судить об изменениях основных характеристик гидрологического режима водохранилища за этот период.

МЕТОДИКА

При гидрологических исследованиях измерялись глубины, скорости течения, температура и прозрачность воды. Одновременно производились наблюдения над температурой воздуха, скоростью и направлением ветра, атмосферным давлением и состоянием погоды (форма и количество облаков, наличие осадков).

Наблюдения в навигационный период производились с экспедиционных судов и выполнялись обычными гидрологическими приборами. Глубина замерялась лотом, скорость течения гидрометрической вертешкой типа ВК-3, а в расширенной части водохранилища иногда морской модернизированной вертешкой с облегченными лопастями. Температура поверхностного слоя измерялась водным термометром в металлической оправе, а на глубинах — опрокидывающимися термометрами. Измерение прозрачности производилось белым диском. При выборе горизонтов наблюдений мы в основном руководствовались Наставлением Гидрометеослужбы (вып. 7, ч. 1, 1957 г.), но в отдельных случаях, учитывая специальные запросы отдельных участников комплексных рейсов, допускали отклонения от горизонтов, рекомендуемых Наставлением.

Краткая гидрологическая характеристика Волги на участке Куйбышевского водохранилища

Поскольку гидрологический режим водохранилища, особенно в годы его заповневания, в значительной степени определяется гидрологическим режимом реки, за счет которой происходит его заповневание, то целесообразно на основании опубликованных материалов и данных проектных организаций дать гидрологическую характеристику реки на участке водохранилища.

Основной задачей первоначальных исследований Волги являлась потребность изучения ее судоходных условий. Поэтому к наиболее ранним

гидрологическим наблюдениям относятся промеры глубин и наблюдения над колебаниями уровня.

Систематические наблюдения над колебаниями уровня Волги и Камы на участке Куйбышевского водохранилища были начаты во второй половине прошлого столетия. Несмотря на открытие стационарных водомерных постов, до 20-х годов текущего столетия гидрологические исследования Волги производились лишь с учетом запросов водного транспорта. Только в связи с проблемой использования водной энергии Волги в 30—40-х годах наряду с расширением водомерной сети были организованы и гидрометрические наблюдения по учету расходов воды. Особенно широко производились специальные работы по изучению отдельных элементов гидрологического режима на некоторых участках Волги рядом учреждений при проектировании Куйбышевского гидроузла. Таким образом, гидрологический режим Волги к моменту сооружения Волжской ГЭС был изучен сравнительно хорошо.

Для характеристики уровня режима Волги и Камы в пределах Куйбышевского водохранилища использовались многолетние материалы наблюдений водомерных постов: Горький, Чебоксары, Верхний Услон, Камское Устье, Тетюши, Ульяновск и Моршань на Волге, Соколы Горы, Чистополь и Ланшево на Каме. В большинстве случаев наблюдения над уровнем на этих постах производились в течение всего года.

На рассматриваемом участке Волги весенний подъем уровней начинался в среднем в первой декаде апреля, а в Каме — на 3—4 дня позднее, обычно еще подо льдом. Наиболее ранние сроки начала подъема уровней на Волге относятся к 18 марта, а на Каме от устья до Соколых Гор 21 марта. Продолжительность весеннего подъема уровней возрастала вниз по Волге и равнялась в среднем у Чебоксар 33 дням, а у Куйбышева — 46.

Высота подъема весенних уровней Волги над меженными снижалась вниз по течению реки. Наибольшая амплитуда уровня в 1926 г. у Камского Устья равнялась 14,4 м, а у Куйбышева — 12,8 м.

После спада весеннего половодья на Волге и Каме наступал период летне-осенней межени, который продолжался до осеннего ледохода. Для этого периода был характерен медленный спад уровней, который иногда нарушался летними и осенними дождевыми паводками. Наибольшие уровни дождевых паводков никогда не превышали уровней весеннего половодья. Как показали вычисления Гидропроекта, Рыбинское водохранилище уменьшило максимальные уровни дождевых паводков в районе Куйбышевской плотины на 30—40 см. В летне-осеннюю межень наблюдались и наименьшие при открытом русле уровни воды. Наиболее низкие уровни устанавливались обычно в августе и сентябре. С началом работы Рыбинской ГЭС произошло повышение минимальных меженных уровней примерно на 50 см.

В период, предшествующий замерзанию, на Волге и Каме в пределах водохранилища наблюдался интенсивный спад уровней. Наименьшие уровни этого периода, они же и наименьшие в году, приходились обычно на конец осеннего ледохода или на первые дни ледостава и удерживались 2—3 дня. После достижения уровнем наименьшего значения наблюдался незначительный подъем его, который заканчивался при установившемся ледостое.

В период ледостава во второй половине зимы уровень постепенно понижался до начала весеннего половодья, но обычно уровни зимней межени были несколько выше, чем в летне-осеннюю межень. За счет сработки Рыбинского водохранилища они повышались на 40—50 см.

На рис. 1 представлены совмещенные графики колебаний уровня по водомерным постам: Камское Устье, Тетюши, Сентлей и Новодевичье за 1936 г. Изменения уровня Камы в течение года даны на рис. 2.

Годовые колебания уровней на притоках Волги и Камы в районе Куйбышевского водохранилища несколько отличаются от таковых Волги и Камы. Весеннее половодье на небольших речках — Цивиль, Большая

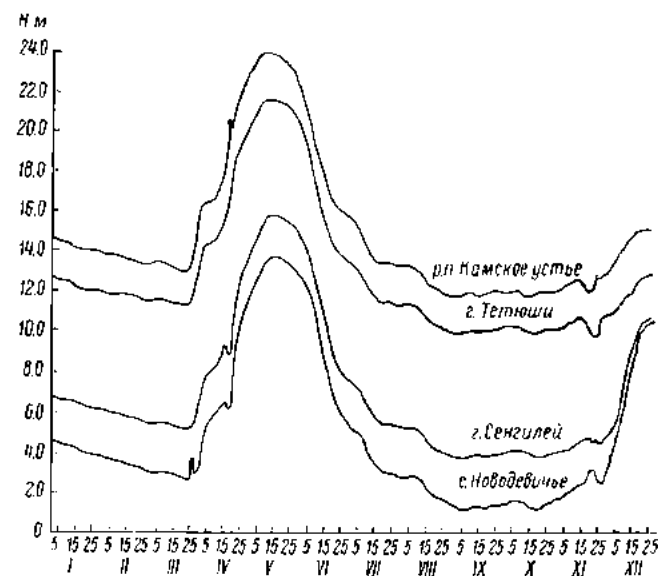


Рис. 1. Совмещенные графики колебания уровней воды Волги за 1936 г.

и Малая Кокшага, Казанка и другие, — в верховьях более крупных рек — Свияга и Большой Черемшан — иногда проходили несколькими пиками. При этом подъем уровня на притоках начинался обычно еще подо льдом и интенсивное повышение его наблюдалось примерно на 5—10 дней раньше, чем на Волге и Каме.

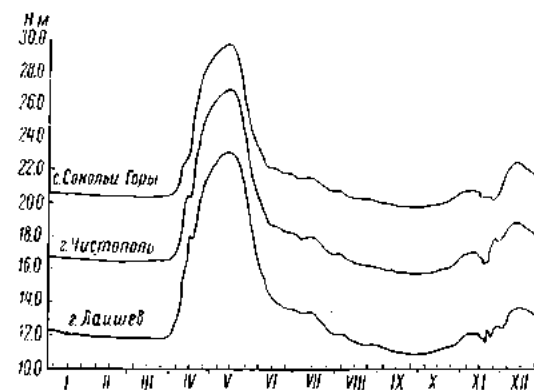


Рис. 2. Совмещенные графики колебаний уровней воды Камы за 1936 г.

уровней являлось их постепенное повышение в течение зимы, что связано, вероятно, с постепенным увеличением толщины ледяного покрова.

С годовым ходом уровня тесно связан режим расходов воды. Изменение расходов воды на Волге и Каме в течение года в общем следовало годовому ходу уровней (рис. 3).

Летне-осенняя межень на притоках характеризовалась медленным спадом уровней в начале ее и устойчивыми минимальными уровнями в середине и конце. В этот период часто наблюдались дождевые паводки, но величина их пиков была всегда меньше, чем половодий, и на большинстве притоков они бывали чаще летом и реже осенью.

Зимний период на притоках начинался обычно в ноябре или в первой половине декабря. Характерной особенностью зимних месячных

Значительные колебания уровня и расходов воды Волги и Камы в течение года, различная величина уклона и ширина русла реки на отдельных участках в межень и половодье сильно влияли на скорость течения реки. Средние скорости в межень и период на участке Волги от Горького до устья Камы колебались от 0.32 до 0.93 м/сек. С повышением уровня и увеличением расходов скорости возрастали и заполненному межени руслу соответствовали скорости около 0.90 м/сек, а наиболее высоким уровням в период весеннего половодья — около 1.16 м/сек.

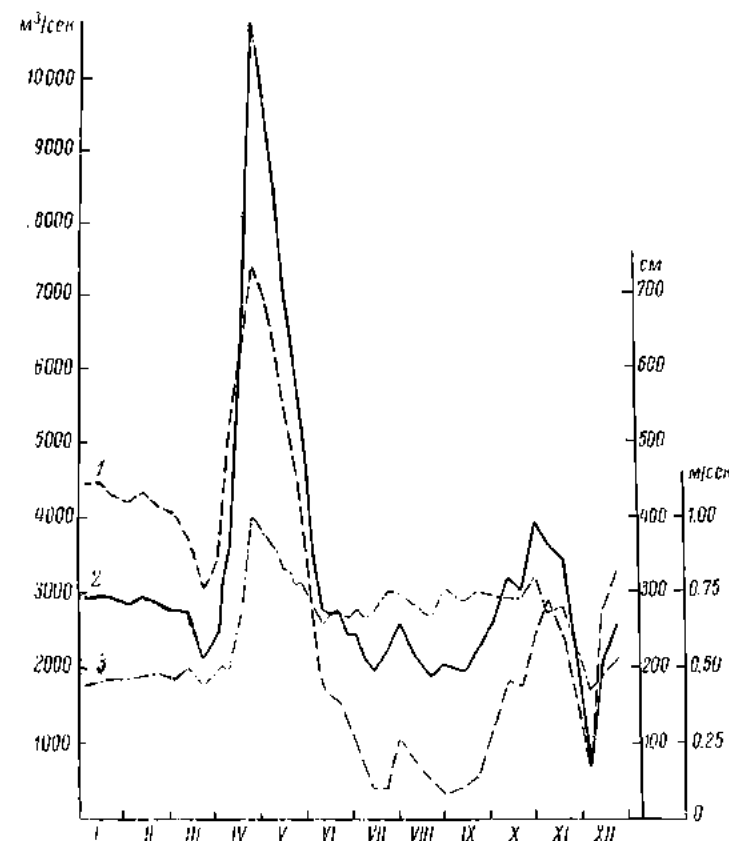


Рис. 3. График колебания уровня (1), расходов воды (2) и средней скорости (3) Волги у с. Вязовые за 1954 г.

По А. Л. Бенингу, летняя меженная скорость в районе Городца равнялась 0.85 м/сек. и, постепенно уменьшаясь по ходу воды, у Балахны не превышала 0.75 м/сек. На участке Балахна—Горький наблюдалось заметное увеличение скорости потока, и у Горького она достигала 0.92 м/сек. От Горького до Васильсурска скорость течения постепенно уменьшалась, но, достигнув у Васильсурска величины 0.72 м/сек., вновь возрастала и уже у Чебоксар превышала 1 м/сек. До Верхнего Усолона скорость течения не испытывала больших изменений и оставалась выше 1 м/сек., а от Верхнего Усолона до Тетюшей заметно уменьшалась и равнялась 0.70 м/сек. Выше от Тетюшей она снова увеличивалась и в районе Ульяновска достигала наибольшей величины для рассматриваемого участка — 1.08 м/сек. Таким образом, скорость течения Волги от Городца до Комсомольска до зарегулирования в летнюю межень колебалась от

0.70 до 1.08 м/сек. Однако из литературных источников (Шеустров, 1945) известно, что даже средняя скорость на отдельных участках Волги в межень равнялась 2.13 м/сек., а максимальная в половодье достигала 3.50 м/сек. и выше. Наблюдаемое распределение скоростей по длине реки обусловлено прежде всего величиной уклона водной поверхности на отдельных участках и зависит от величины расходов воды.

Изменчивость скоростного режима в течение года хорошо видна на рис. 3, где, по данным Гидрометеослужбы, приводятся средние скорости течения Волги у с. Вязовые за 1954 г. Из рис. 3 видно, что средняя скорость потока в течение года изменялась в широких пределах. В зимнюю межень 1954 г. у с. Вязовые она равнялась 0.30—0.40 м/сек., а в весенний паводок достигала 1.25—1.28 м/сек.

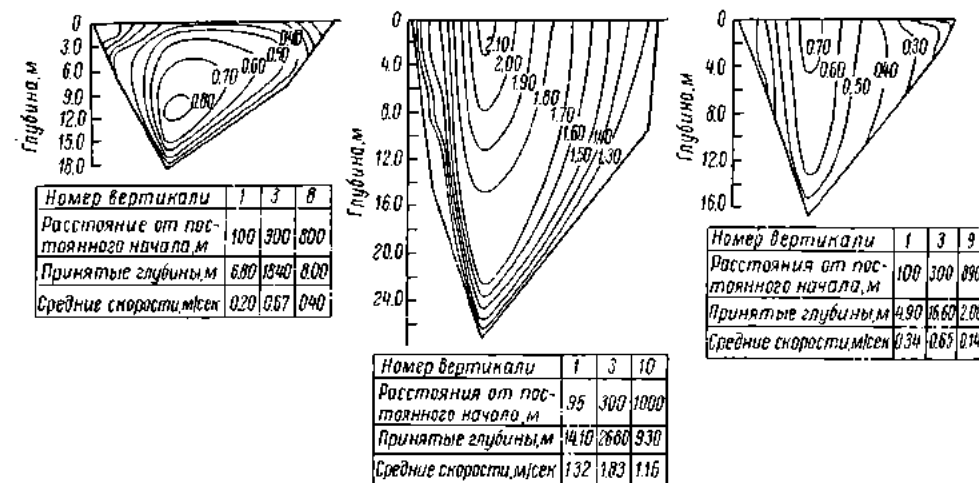


Рис. 4. Распределение скоростей течения Волги по поперечному сечению реки у с. Тетюши в 1954 г.

Незначительно изменяясь в зимний период, скорость течения резко возрастала с весенним подъемом уровня и увеличением расходов воды и во время пика весеннего половодья имела максимальные значения. В период летне-осенней межени наблюдалось постепенное уменьшение скорости течения, нарушаемое в отдельные годы дождевыми паводками. Несколько увеличиваясь во время дождевых паводков, скорость, как и уровень, никогда не достигала величины скоростей весеннего половодья. Полная зависимость скоростного режима от расходов воды и колебаний уровня отчетливо видна на рис. 3. Даже незначительные колебания уровня быстро сказываются на изменении расхода воды и, следовательно, на средней скорости потока. Некоторое влияние на скоростной режим Волги на участке Куйбышевского водохранилища оказало сооружение Рыбинской ГЭС, заметно уменьшившее скорости половодья и отчасти дождевых паводков и несколько повысившее межени.

Характерные скорости течения Волги у Тетюшей и Камы у Чистополя на пойменных и русловой вертикалях, по данным Приволжского УГМС за 1955 г., приведены в табл. 1, а распределение скоростей по поперечному сечению реки при различных внутригодовых фазах жизни ее представлено на рис. 4. Из табл. 1 и рис. 4 видно, что наибольшие скорости Волги и Камы в навигационный период наблюдались на русле в поверхностном слое, а при наличии ледяного покрова — в глубине потока, обычно на 0.6 м глубины.

Таблица 1

Характерные скорости течения Волги (Тетюши) и Камы (Чистополь) при различных состояниях рек на 1955 г. (в м.сек.)
(по данным Приволжского УГМС)

Дата	Состояние реки	Глубина, м	Горизонты					Среднее по вертикали	Глубина, м	Горизонты					Среднее по вертикали	Глубина, м	Горизонты					Среднее по вертикали		
			поверх-ность	0.2Н	0.6Н	0.8Н	дно			поверх-ность	0.2Н	0.6Н	0.8Н	дно			поверх-ность	0.2Н	0.6Н	0.8Н	дно			
Волга (Тетюши)																								
1 IV	Зимний жель		Правая пойма (100 м от правого берега)					6.7 0.0 0.0 0.33 0.34 0.29 0.20	18.4 0.35 0.67 0.81 0.78 0.36 0.67	Русло (300 м от правого берега)					8.0 0.27 0.39 0.48 0.42 0.31 0.40	Левая пойма (800 м от правого берега)					8.0 0.27 0.39 0.48 0.42 0.31 0.40			
			Правая пойма (95 м от правого берега)							Русло (300 м от правого берега)						Левая пойма (1000 м от правого берега)								
1 VI	Половодье		Правая пойма (100 м от правого берега)					14.1 1.51 1.52 1.38 1.19 0.62 1.32	26.8 2.15 2.07 1.75 1.71 1.24 1.83	Русло (300 м от правого берега)					9.3 1.31 1.27 1.23 0.96 0.90 1.16	Левая пойма (890 м от правого берега)					9.3 1.31 1.27 1.23 0.96 0.90 1.16			
			Правая пойма (100 м от правого берега)							Русло (300 м от правого берега)						Левая пойма (890 м от правого берега)								
18 VIII	Летний жель		4.9 0.37 0.38 0.33 0.31 0.25 0.34	16.6 0.77 0.71 0.65 0.60 0.46 0.65																				
Кама (Чистополь)																								
27 XII	Зимний жель		Правая пойма (120 м от правого берега)					6.0 0.60 0.69 0.68 0.54 0.49 0.63	5.30 0.64 0.71 0.63 0.58 0.46 0.62	Русло (180 м от правого берега)					1.87 0.36 0.37 0.36 -- 0.36	Левая пойма (600 м от правого берега)					1.87 0.36 0.37 0.36 -- 0.36			
			Правая пойма (126 м от правого берега)							Русло (194 м от правого берега)						Левая пойма (591 м от правого берега)								
28 VI	Летний жель		Правая пойма (100 м от правого берега)					8.0 1.00 1.05 0.89 0.78 0.61 0.90	9.1 1.11 1.11 0.96 0.86 0.59 0.96	Русло (183 м от правого берега)					3.4 0.29 0.36 0.36 0.25 0.29 0.32	Левая пойма (558 м от правого берега)					3.4 0.29 0.36 0.36 0.25 0.29 0.32			
			Правая пойма (115 м от правого берега)							Русло (183 м от правого берега)						Левая пойма (558 м от правого берега)								
18 VIII	Летний жель		5.50 0.78 0.79 0.68 0.65 0.53 0.70	6.80 0.73 0.71 0.68 0.55 0.42 0.64																				

Не останавливаясь более подробно на рассмотрении скоростного режима Волги и Камы на участке водохранилища, еще раз отметим, что скорости течения обеих рек в бытовых условиях достигали значительных

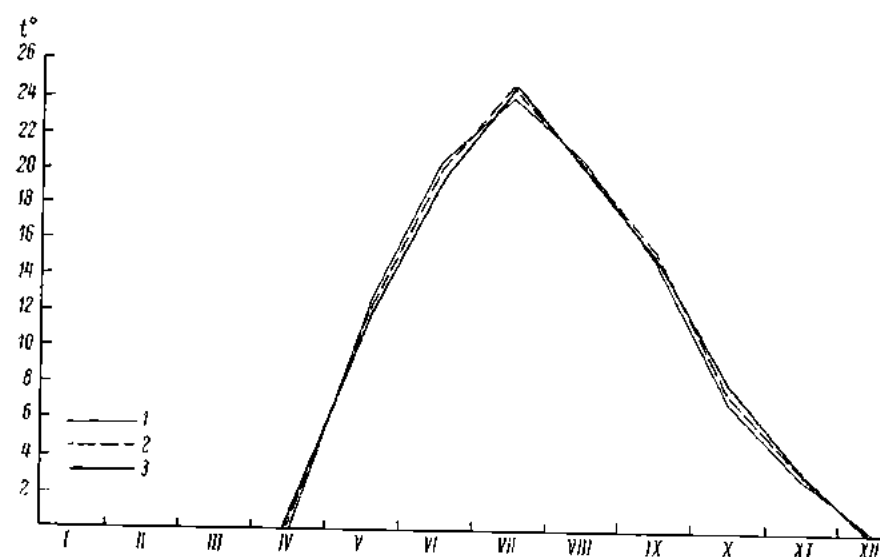


Рис. 5. Среднемесячная температура воды Волги по водомерным постам Горький (1), Тетюши (2), Новодевичье (3) за 1954 г.

размеров и наблюдались по всему поперечному сечению реки как в половодье, так и в межень. Порядок величин скорости для отдельных участков и периодов года рассмотрен выше.

Таблица 2

Многолетние среднемесячные температуры воды Волги, °C

Наименование пункта	Годы наблюдений	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Балахна	1936—1944, 1947—1954	0.8	13.7	17.9	20.6	18.8	12.3	5.6	0.1
Сормово	1936—1944, 1953—1954	0.1	10.0	17.9	21.7	19.9	12.0	5.1	0.5
Горький	1936—1944, 1947—1954	0.5	12.3	18.0	21.6	20.2	14.0	6.2	0.8
Работки	1936—1942, 1947—1954	0.8	10.5	18.5	21.3	19.8	13.0	5.6	0.4
Васильсурск	1936—1944, 1947—1954	0.6	11.1	18.4	21.2	19.8	13.1	5.2	0.5
Юрино	1938—1944, 1947—1954	0.4	11.0	18.4	20.9	19.5	13.6	5.8	0.1
Козьмодемьянск	1936—1944, 1947—1954	0.6	11.6	17.4	21.0	18.8	13.9	6.1	0.4
Чебоксары	1936—1944, 1947—1954	0.7	10.4	17.3	21.3	19.8	13.6	6.3	0.5
Водотеево	1938—1941, 1943, 1947—1954	0.3	9.0	15.0	18.3	17.1	12.8	5.2	0.2
Криуши	1936—1941, 1943—1944, 1947—1954	0.6	11.6	18.6	21.6	20.0	14.1	6.2	0.4
Вязовые	1936—1944, 1947—1954	0.6	11.4	18.3	21.3	19.7	13.7	5.9	0.3
Верхний Устол	1936—1944, 1947—1954	0.4	9.5	16.0	17.3	19.8	13.9	6.0	0.3
Красновидово	1936—1944, 1947—1954	0.3	11.0	17.2	21.3	19.1	13.8	6.1	0.5
Камское Устье	1936—1944, 1947—1954	0.6	11.3	17.5	21.3	17.6	14.2	6.3	0.5
Тетюши	1947—1954	—	11.8	19.6	21.5	20.0	15.4	8.6	0.4
Домановка	1947—1954	—	11.8	18.8	21.0	19.5	13.9	6.4	0.4
Ульяновск	1947—1954	0.5	11.8	16.5	21.1	19.8	14.1	6.6	0.3
Крупнический затон	1947—1954	0.5	11.1	19.0	21.2	19.8	14.1	6.4	0.4
Сенгилей	1947—1954	—	11.2	18.6	21.5	20.0	14.3	6.7	0.4
Новодевичье	1947—1954	—	11.0	16.4	18.8	19.8	14.2	6.7	0.4

Температурный режим рассматриваемого участка Волги можно описать только по данным температурных измерений на водомерных постах, которые дают лишь приближенное представление о температуре воды отдельных участков исследуемого района. В табл. 2 приводятся многолетние среднемесячные температуры воды для некоторых водомерных постов Волги по ее длине, вычисленные по данным гидрологических ежегодников за 1936—1954 гг.

Данные этой таблицы относятся к периоду отсутствия ледяного покрова и показывают, что многолетние среднемесячные температуры воды для различных пунктов Волги от Балахны до с. Новодевичьего изменялось незначительно. Наиболее заметны эти различия были весной, в период интенсивного прогрева, когда разность многолетней среднемесячной температуры воды в мае достигала между Балахной и Водосеевым 4.7° .

Для иллюстрации изменения температуры воды за безледный период по длине реки на рис. 5 даны кривые среднемесячных температур для водомерных постов Горький, Тетюши и Новодевичье за 1954 г. Из кривых видно, что температурный максимум для данных пунктов приходится на июль. Изменения температуры воды от месяца к месяцу также сходны между собой и достигают наибольшей величины от апреля к маю и от мая к июню в период прогрева воды и от сентября к октябрю в период их охлаждения. Кривые температуры воды для Тетюшей и Новодевичьего в период охлаждения имеют более плавный ход, чем при нагревании. Это говорит о том, что прогрев воды здесь идет интенсивнее, чем их выхолаживание. Особенности весеннего и осеннего изменений температуры воды отчетливо видны и на рис. 6, где представлены кривые среднемесячной температуры воды и воздуха для Тетюшей за 1947—1950 гг. Сравнение кривых температуры воды и воздуха показало, что после вскрытия Волги среднемесячные температуры воды ниже таковых воздуха, в конце мая—начале июня они выравниваются, а в остальную часть года вода остается теплее воздуха.

Анализ данных водомерных постов за отдельные годы показал, что наивысшие температуры воды падают обычно на июль, реже на август. Наивысшая среднемесячная температура воды за период с 1936 по 1954 г. равнялась 25° и наблюдалась у Сенгилей в июле 1954 г., а наибольшая из срочных наблюдений была 28.3° у с. Вязовые 2 августа 1938 г.

Краткая климатическая характеристика района водохранилища

Большая часть водохранилища располагается в зоне лесостепного климата, характерной чертой которого является континентальность.

Среднегодовая температура воздуха за многолетний период (1881—1935), по данным Гидропроекта, колебалась от 2.7° на севере района (Чебоксары) до 3.8° на юге (Куйбышев). Наибольшая среднемесячная температура воздуха наблюдалась обычно в июле и колебалась от 18.5 до 20.6° , а наименьшая — в январе и изменялась от -13.9 до -12.9° . Абсолютный минимум температуры воздуха достигал -49° (Чистополь),

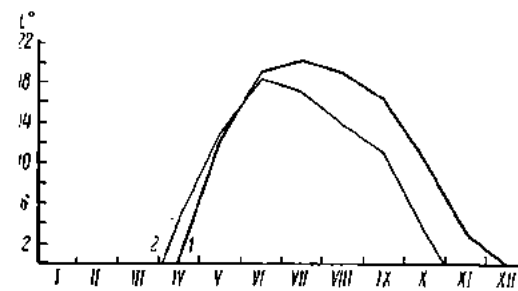


Рис. 6. Среднемесячная температура воды (1) и воздуха (2) для открытого русла по водомерному посту Тетюши за 1947—1950 гг.

Таблица 3
Среднемесечная и среднегодовая температура воздуха (1881—1935 гг.), °С

Местоустанция	Среднемесечная температура												Средне-годовая температура ¹²⁾
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Чебоксары	—13,0	—12,0	—6,8	3,0	11,0	16,3	18,5	16,4	10,4	3,4	—4,0	—10,8	2,7
Чистополь	—13,9	—13,1	—6,8	3,6	12,6	17,6	19,4	17,3	11,3	3,6	—4,4	—11,2	3,0
Отрада	—13,7	—13,6	—7,6	3,2	12,8	17,2	19,6	17,4	11,1	3,5	—4,2	—11,3	2,9
Ульяновск	—12,9	—12,4	—6,4	4,0	13,0	17,5	19,9	17,7	11,4	3,8	—3,9	—10,4	3,4
Куйбышев (обсерватория)	—13,4	—13,0	—6,8	4,2	13,9	18,6	20,6	18,8	12,3	4,5	—3,9	—10,6	3,8

Таблица 4
Среднемесечные и среднегодовые скорости ветра, (м/сек.)

Местоустанция	Годы наблюдений	Среднемесечные скорости												Средне-годовые скорости
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Казань	1900—1908, 1930—1935	4.0	4.2	3.9	3.7	3.7	3.0	2.6	3.8	3.2	3.5	3.8	3.6	
Ограда	1916—1935	5.0	4.9	5.0	4.6	4.9	4.1	3.5	3.5	4.3	4.8	4.9	4.5	
Сенгилей	1897—1899, 1928, 1930—1935	3.2	3.2	3.8	3.8	3.8	3.8	2.7	2.9	3.1	3.4	3.7	3.5	
Куйбышев (обсерватория)	1936—1946	4.8	5.1	5.2	5.0	4.5	4.0	3.4	3.5	4.1	4.6	4.6	4.5	

Таблица 5
Характерные даты установления и схода снежного покрова

Местоустанция	Число дней со снежной покровом	Дата появления снежного покрова			Дата образования устойчивого снежного покрова			Дата разрушения устойчивого снежного покрова			Дата схода снежного покрова		
		средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя
Чебоксары	152	28 X	5 X	27 XI	23 XI	30 X	15 XII	14 IV	22 III	30 IV	17 IV	22 III	10 V
Ульяновск	149	30 X	2 X	30 XI	20 XI	22 X	20 XII	9 IV	24 III	26 IV	14 IV	26 III	8 V
Чистополь	136	31 X	5 X	4 XII	28 XI	29 X	24 XII	2 IV	23 III	20 IV	7 IV	23 III	20 IV

а максимум — 38° (Казань, Сенгилей). Многолетние среднемесячные температуры воздуха для различных пунктов приведены в табл. 3.

Продолжительность периода со среднемесячной температурой воздуха ниже 0° составляет более 5 месяцев. По многолетним данным, морозы весной кончаются в первой декаде мая, а осенью наблюдались в последней декаде сентября, но отдельные заморозки отмечались во все месяцы теплого сезона, за исключением июля. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0° происходит по всему району в первой декаде апреля, и теплый сезон длится около 7 месяцев.

В районе водохранилища, по данным большинства метеостанций, преобладают ветры юго-западного и южного направлений. Величины среднемесячных скоростей ветра (в м/сек.), по наблюдениям метеостанций, расположенных по длине водохранилища, приводятся в табл. 4. Приведенные в этой таблице скорости ветра относятся к континентальным станциям, но учитывая определенные Гидрологическим институтом переходные коэффициенты, можно по этим данным иметь представление и о скоростях ветра над акваторией водохранилища.

Атмосферные осадки в пределах рассматриваемого района убывают с северо-запада на юго-восток. Так, годовая сумма осадков в Чебоксарах составляет 472, а в Куйбышеве — 345 мм. Больше половины годовой суммы осадков выпадает за теплый период года. Максимум их, по данным большинства метеостанций, наблюдался обычно в июне и июле, хотя наименьшее число дней с осадками приходится на теплые месяцы года.

Устойчивый снежный покров устанавливался обычно во второй половине ноября. Среднее число дней со снежным покровом колеблется от 152 на северо-западе (Чебоксары) до 136 на юге (Ставрополь) (табл. 5).

Абсолютная влажность воздуха по длине водохранилища изменяется мало. Годовой ход ее следует ходу температуры воздуха, с максимумом в июле и минимумом в январе. Среднегодовая величина абсолютной влажности колеблется около 7 мб.

Общая характеристика водохранилища

Куйбышевский гидроузел расположен на Самарской дуге. Площадь подсобора Волги в створе плотин составляет 1 200 000 км². Куйбышевская плотина при отметке уровня нормального подпорного горизонта (НПГ) создает значительный подпор, распространяющийся в половодье почти до Чебоксар, а в межень примерно на 110 км выше Чебоксар, до Васильсурска. По Каме подпор распространяется до устья Вятки в половодье и до г. Мензелинска в межень. Таким образом, водохранилище в половодье имеет длину свыше 500 км, а в межень — до 650 км.

Площадь зеркала водохранилища при НПГ равняется 5580 км², а полный объем его — 52,3 км³. По данным Куйбышевской гидрометеорологической станции (Никитин, 1958) площадь водохранилища составляет 6448 км², а объем — 58 км³.¹ Полезная емкость водохранилища равна 34,6 км³, тогда как полезная емкость всех верхневолжских водохранилищ (Иваньковского, Углинского, Рыбинского и Горьковского), вместе взятых, составляет лишь 16 км³ (Близняк и Андреев, 1958).

На рис. 7 дана схема Куйбышевского водохранилища и расположение основных разрезов, на которых производились комплексные наблюдения. Из рис. 7 видно, что в целом водохранилище вследствие извилистости береговой линии и частого чередования сужений и расширений по кон-

¹ Площадь и объем водохранилища до постройки Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС.

фигурации представляет собой довольно сложный водоем, вытянутый в длину с преобладающей шириной около 10 км. Максимальная ширина его, по данным Куйбышевской гидрометеобсерватории, достигает 48 км, а максимальная глубина — 41 м.



Рис. 7. Схема Куйбышевского водохранилища.

Уровень

С перекрытием Волги уровень приплотинного участка водохранилища стал быстро повышаться. За ноябрь и декабрь 1955 г. у с. Новодевичье он повысился на 7,7 м. Подъем уровня по длине водохранилища в первые месяцы его заполнения представлен в табл. 6, составленной по материалам Ульяновской гидростанции.

Таблица 6

Уровень воды Куйбышевского водохранилища
(в см над нулем графика водомерных постов)

	1 XI	1 XII	1 I	1 II
Тетюши	46	101	—	—
Ульяновск	90	152	580	518
Сенгилей	113	174	756	720
Новодевичье	144	226	977	949
Нбловский овраг	—	476	1202	1175

С момента перекрытия Волги подъем уровня продолжался до 6 января 1956 г., когда он достиг: у г. Ульяновска 600 см, у Сенгилея 787, у Новодевичьего 1003 и у с. Яблоневый овраг 1224 см над нулем графика соответствующих подомерных постов. Таким образом, к первым числам января 1956 г. уровень воды поднялся над меженным уровнем 1955 г. у Ульяновска на 5, а у Новодевичьего на 8 м. Выклинивание подпора в этот период происходило между Ульяновском и Тетюшами.

Изменение уровня водохранилища за годы его заполнения представлено кривой (рис. 8), на которой дан график годового хода уровня по водомерному посту Новодевичье за 1955, 1956 и 1957 гг. Уровень в зимние месяцы 1956 г. испытывал небольшие изменения. Несмотря на отдельные повышения, он до последней декады марта постепенно понижался. В последней декаде марта наблюдалось заметное повышение уровня, которое в первых числах апреля пе-

решло в интенсивный подъем, продолжавшийся до конца мая. В конце мая подъем уровня заметно замедлился и в летние месяцы он не испытывал значительных колебаний. Несколько понижаясь в сентябре и ноябре, уровень до конца года сохранял общую тенденцию к повышению.

Максимальная отметка уровня в 1956 г. по водомерному посту Новодевичье была ниже ННГ на 7 м и наблюдалась в конце октября—начале ноября. Этой отметке уровня соответствовала площадь зеркала 3100 км², а объем водохранилища — 22,5 км³. Выклинивание подпора происходило на Волге между Казанью и Вязовым, на Каме между с. Рыбная Слобода и Чистополем, а на Большом Черемшане несколько ниже г. Мелекесс. Общее превышение уровня при максимальной отметке над меженным уровнем 1955 г. составляло 18,6 м.

Годовая амплитуда колебаний уровня за 1955 г. равнялась 12,4 м, а за 1956 г. — 10,5 м.

В первых числах января 1957 г. уровень водохранилища занимал положение, соответствующее максимальной отметке октября 1956 г. Сохраняя эту отметку в январе и первой половине февраля, уровень к концу февраля начал постепенно понижаться. Это понижение продолжалось до 6 апреля, когда наблюдался наиболее низкий уровень 1957 г.

Зимнее понижение уровня к концу первой декады апреля сменилось резким подъемом при весеннем наполнении водохранилища. Только с 6 по 30 апреля уровень повысился почти на 5 м. Весенний подъем продолжался до конца июня, когда среднесуточные уровни по рассматриваемому водомерному посту достигали проектной отметки. Таким образом, достигнув в конце июня 1957 г. проектной отметки, уровень в это время превышал меженный уровень 1955 г. на 26,18 м. Выклинивание подпора при этом уровне происходило на Волге несколько выше Чебоксар, а на Каме — в районе устья Вятки.

В июле и августе уровень испытывал очень незначительные колебания около отметки ННГ и только в сентябре он начал медленно понижаться.

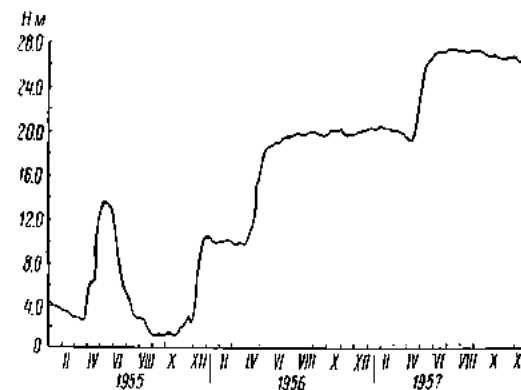


Рис. 8. График колебания уровня водохранилища по водомерному посту Новодевичье за 1955—1957 гг.

С июля по 31 декабря уровень упал на 1.8 м. Годовая амплитуда его в 1957 г. составляла 8.28 м.

Из кривой уровня на рис. 8 видно, что с наполнением водохранилища годовая амплитуда уровня постепенно уменьшалась и, кроме того, на начало интенсивного подъема его в период весеннего наполнения несколько запаздывало по сравнению с бытовым состоянием.

Из приведенных материалов видно, что уровень водохранилища в период его заполнения испытывал значительные колебания. В связи с этими колебаниями существенно изменялись площадь зеркала водохранилища и его объем. Значительные изменения площади и объема водохранилища от года к году и от сезона к сезону в первые годы существования его оказывали существенное влияние на развитие биологических процессов в водоеме, так как затопление или осушка прибрежных площадей суши изменяла условия обитания водных организмов и растений.

Скоростной режим

С поднятием уровня водохранилища до IIIГ существенные изменения произошли в скоростном режиме Волги, особенно в зоне распространения подпора. Хотя непосредственных данных по измерению скоростей течения в зоне подпора в первую зиму после перекрытия Волги в Жигулях у нас нет, но по аналогии с Горьковским водохранилищем (Буторин, 1958а, 1959) можно предполагать, что в приплотинном участке верхнего бьефа Волжской ГЭС на расстоянии 40—50 км от плотины средняя скорость потока в бывшем русле Волги уменьшилась по сравнению с бытовыми условиями реки на 60—70%.

В период весеннего заполнения водохранилища в 1956 г. течение отчетливо прослеживалось по длине всего водохранилища и скорость его даже в районе Березовки на отдельных горизонтах достигала 0.38 м/сек. В это время на березовском створе течение наблюдалось и на пойменных станциях, причем скорость его в поверхностном слое была порядка 0.20 м/сек. С приближением к зоне выклинивания подпора скорости течения быстро возрастали. Уже у Ундор скорость течения на бывшем русле Волги превышала 0.50 м/сек., а у Камского Устья она была выше 1 м/сек. В этом районе высокие скорости течения наблюдались и на пойменных станциях. Выше Казани весной 1956 г. сохранился скоростной режим Волги, существовавший до сооружения Волжской ГЭС.

В первый год весенне-летнего заполнения водохранилища повышение уровня его при максимальной отметке над меженным уровнем 1955 г. составляло около 18 м и выклинивание подпора на Волге проходило между Казанью и Вязовымц, а на Каме — между Рыбной Слободой и Чистополем. С повышением уровня и расширением зоны подпора на значительном протяжении Волги вверх от плотины ГЭС отмечалось резкое уменьшение скоростей течения. Особенно существенные изменения в скоростном режиме произошли на участке от плотины ГЭС до Казани. На этом участке скорости течения от плотины до Ундор даже по бывшему руслу Волги обычно были ниже 0.10 м/сек., а на пойменных станциях они практически отсутствовали. Выше Ундор, до Казани, в известной степени сохранился режим течений реки, и средняя скорость потока у Ундор на бывшем русле Волги достигала 0.33 м/сек., а на пойменных станциях — 0.16 м/сек. Такого же порядка наблюдалась средняя скорость в бывшем русле Камы у с. Алексеевского. Заметно уменьшилась скорость течения выше Казани. От Казани до Чебоксар средняя скорость потока в бывшем русле Волги была ниже 0.50 м/сек. и лишь в районе Чебоксар и Козьмодемьянска она оставалась достаточно высокой и в отдельных случаях достигала 0.90 м/сек. Такого порядка скорости тече-

ния на участке распространения подпора сохранялись в течение всего летне-осеннего периода 1956 г. Таким образом, уже в первый год заполнения водохранилища скоростной режим Волги в зоне подпора претерпел существенные изменения, особенно на участке водохранилища от плотины до Ундор.

Заполнение водохранилища продолжалось и весной 1957 г. В этот период скорости течения на участке водохранилища от плотины до Ундор были настолько малы, что вертушкой не улавливались. Лишь в непосредственной близости от плотины в некоторых случаях, вероятно, при работе турбин ГЭС и одновременном попуске воды через водосливные сооружения наблюдалось заметное течение, скорость которого в районе Березовки иногда достигала 0.30 м/сек. на поверхности и 0.15 м/сек. у дна.

Выше Ундор хотя и прослеживалось отчетливо выраженное течение, но скорость его по сравнению с весной 1956 г. уменьшилась почти в два раза, а у Тетюшей более чем в два раза.

В июне 1957 г. заполнение водохранилища до проектной отметки закончилось и уровень его над естественным меженим горизонтом Волги был поднят примерно на 28 м. Выклинивание подпора при этом уровне происходило около Чебоксар на Волге и в районе устья Вятки на Каме. Значительный подъем уровня и распространение подпора вверх от плотины вызвало уменьшение проточности на новых участках водохранилища. В летне-осенний период течение от плотины до Камского Устья отмечалось вертушкой в редких случаях и скорость его от Березовки до Тетюшей даже на бывшем русле Волги была ниже 0.10 м/сек. Скорости течения на пойменных станциях и в придонном слое на этом участке водохранилища инструментально вообще не улавливались. Некоторые признаки речного потока летом 1957 г. наблюдались лишь выше Камского Устья, где скорость течения на бывшем русле в поверхностном слое колебалась от 0.24 до 0.29 м/сек. и, уменьшаясь до 0.14—0.17 м/сек., отчетливо прослеживалась до дна. От Камского устья до Казани течение отмечалось и на пойменных станциях, хотя скорости его не превышали 0.15 м/сек.

Более близок к речным условиям по скоростному режиму был участок водохранилища от Казани до Чебоксар, где скорость течения в поверхностном слое воды по бывшему руслу Волги колебалась от 0.23 до 0.38 м/сек., а у дна — от 0.14 до 0.31 м/сек. Хотя средние скорости течения на этом участке водохранилища были значительно ниже, чем в реке, но здесь сохранились общие закономерности распределения скоростей в речном потоке: наименьшие скорости наблюдались у дна и берегов, а наибольшие — в бывшем русле Волги ближе к поверхности.

Следовательно, по мере приближения к зоне выклинивания подпора скорости течения постепенно увеличивались и только выше выклинивания подпора они соответствовали скоростям течения реки в бытовых условиях. Летом 1957 г. это наблюдалось в районе Васильсурска, когда средняя скорость на русловой вертикали превышала 0.80 м/сек. и течение захватывало все сечение реки.

Таким образом, в годы заполнения Куйбышевского водохранилища скоростной режим Волги и Камы в пределах водохранилища претерпел существенные изменения. Наглядное представление об изменении средних скоростей течения по бывшему руслу Волги на участке водохранилища дает рис. 9, на котором сопоставлены средние русловые скорости по длине водохранилища после его заполнения до НПГ со средними скоростями Волги в бытовых условиях.

На общем фоне постепенного уменьшения скорости потока по ходу его к плотине некоторое исключение представляет участок водохранилища вблизи ГЭС. В непосредственной близости от ГЭС, вероятно, под

влиянием водозабора агрегатами ГЭС течение прослеживалось более отчетливо, чем на вышележащих участках водохранилища. Так, во время взятия суточной станции в верхнем бьефе Волжской ГЭС, примерно в 2 км



Рис. 9. Изменение русловых скоростей Волги в бытовых условиях (по Бенингу) (1) и в условиях водохранилища (2) в августе 1957 г.

от плотины, на бывшем русле Волги скорость течения в отдельные сроки наблюдений на некоторых горизонтах достигала 0.14 м/сек. Наиболее заметные скорости течения наблюдались на глубине от 25 до 30 м. Подобная картина увеличения скорости потока вблизи ГЭС неоднократно отмечалась нами и в верхнем бьефе Горьковского водохранилища, что до некоторой степени подтверждает обоснованность этих предположений.

Существенные изменения произошли и в распределении скоростей по поперечному сечению водохранилища. В зоне распространения подпора течение на пойменных станциях инструментально наблюдалось в редких случаях, особенно от плотины до Камского устья. Поэтому состав-

Таблица 7

Характерные скорости течения на различных участках Куйбышевского водохранилища, (м/сек.)

Дата	Местоположение разреза	Правая пойма		Русло		Левая пойма	
		поверхностная	придонная	поверхностная	придонная	поверхностная	придонная
15 VIII	Выше выклинивания подпора	(30 м от правого берега)		(250 м от правого берега)		(150 м от левого берега)	
		0.45 0.31		0.62 0.54		0.40 0.32	
16 VIII	В районе выклинивания подпора	(40 м от правого берега)		(300 м от левого берега)		(30 м от левого берега)	
		0.42 0.27		0.28 0.20		0.26 0.20	
16 VIII	На участке от Чебоксар до Казани	(100 м от правого берега)		(300 м от правого берега)		(100 м от левого берега)	
		0.12 —		0.24 0.20		0.27 0.16	
19 VIII	На участке от Казани до Камского Устья	(30 м от правого берега)		(400 м от правого берега)		(1200 м от правого берега)	
		0.10 —		0.12 0.10		0.04 —	
19 VIII	В районе Сокольных Гор	(100 м от правого берега)		(600 м от правого берега)		(50 м от левого берега)	
		0.19 0.14		0.19 0.12		0.09 0.08	
20 VIII	У Камского Устья	(100 м от правого берега)		(12 м от правого берега)		(400 м от левого берега)	
		0.14 0.11		0.18 0.08		— —	

Примечание. Расстояние станций от берега определялось визуально.

вить представление о распределении скоростей потока по поперечному сечению водоема на этом участке не представляется возможным. Выше Камского устья течение прослеживалось и на пойменных станциях. Некоторое представление о распределении скоростей течения по поперечному сечению дает табл. 7. Из табл. 7 видно, что максимальные скорости течения на поверхности и у дна, как правило, наблюдались на русловых станциях, при этом скорости на поверхности заметно превышали придонные. К берегам скорость течения постепенно уменьшалась, но на правобережной пойме она была обычно значительно выше, чем на левобережной.

Таким образом, скоростной режим в современных условиях на участке Куйбышевского водохранилища резко отличается от скоростного режима Волги. Наиболее значительное изменение скоростей течения произошло в зоне постоянного подпора. Принимая во внимание, что материалы наблюдений 1957 г. характеризуют скоростной режим на участке водохранилища при уровне, близком к НПГ, и учитывая относительное постоянство уровня водохранилища в летне-осенний период, а также регулирующее влияние Волжской ГЭС, в результате которого на большей части зоны подпора летние и осенние дождевые паводки не должны оказывать существенного влияния на изменения уровня и скоростного режима, можно предполагать, что подобный скоростной режим в навигационный период сохранится и в последующие годы.

Температурный режим

К моменту перекрытия Волги (31 октября 1955 г.) температура воды, по данным водомерного поста Новодевичье, равнялась 7° . Вследствие интенсивного перемешивания водной массы в приплотинном участке в первые дни наполнения водохранилища она быстро выхолаживалась, и к 10 ноября ее температура понизилась до 1° , а к 18 ноября достигла нулевых значений и начался ледостав. Зимой 1955/56 г. температура воды в приплотинном участке была 0.1° и только на ставропольском створе в затопленном оз. Широком 14 марта отмечена температура у нижней кромки льда 0.2° и у дна — 0.8° .

Вскрытие приплотинного участка водохранилища в 1956 г. началось в 20-х числах апреля при температуре воды $0.4-0.8^{\circ}$ (Курдина, 1958). К концу апреля температура повысилась до $4.4-4.8^{\circ}$, а в первой половине мая — до $10-11^{\circ}$. С повышением температуры воздуха во второй половине мая прогрев вод водохранилища, особенно прибрежных участков и мелководий, усилился, и к концу мая в прибрежье расширенной части водохранилища температура воды достигала $14-15^{\circ}$. Однако, как показали наблюдения с судна, прогрев отдельных участков водохранилища шел неравномерно.

Вода верхнего бьефа Горьковской ГЭС к 20 мая имела температуру $11-12^{\circ}$ (Буторин, 1959). Поступая в нижний бьеф, она сохраняла эту температуру по всей толще до устья Оки. Температура воды Оки в это время была заметно выше волжской и 21 мая у автозавода при глубине станции 9 м равнялась как у поверхности, так и у дна 15.2° . Окская вода, поступающая в Волгу и продолжающая свое течение вдоль ее правого берега, на значительном расстоянии сохраняла свою более высокую против волжской температуру. Так, 22 мая несколько выше затона Старчиха температура воды на поверхности равнялась у левого берега 11.9° , а у правого — 15° . Вниз по течению происходило постепенное перемешивание окской воды с волжской, и уже у Козьмодемьянска температура воды была 14.2° , а у Чебоксар — 14.1° . На свияжском створе 23 мая в русле Волги температура воды равнялась на поверхности 13.9° , а в русле

Свияги — 14.2° . Изменения температуры воды на свияжском створе в поверхностном слое в 20-х числах мая были невелики и колебались от 13.7° в Бабьей Воложке до 14.2° в русле Свияги. На русловой станции Свияги наблюдалась слабая стратификация температуры. При глубине станции 10 м разность между поверхностной и придонной температурами составляла 0.5° .

К устью Камы наблюдалось некоторое понижение поверхностной температуры. У затона Грязнуха, а также выше Камского Устья она равнялась 13.8° . Понижение температуры воды на этом участке обуславливалось не только понижением температуры воздуха, но и влиянием вод Камы, более холодных, чем волжские. Так, 26 мая на алексеевском створе температура воды на поверхности колебалась от 13.1° в русле затопленной речки Алхатовка до 13.4° в русле Камы и лишь на прибрежной станции разреза она была 13.8° . Более холодная камская вода охлаждала волжскую воду, которая от Камского Устья до Ундор не превышала 13.7° . Заметное повышение температуры воды наблюдалось уже в районе Черемшанского расширения. На русловой станции Волги у Черемшанского залива температура воды на поверхности равнялась 14° и, незначительно изменяясь по вертикали, на глубине 24 м понижалась до 13.8° . Более высокая температура отмечалась на других станциях этого района. В русле р. Черемшана у с. Николо-Черемшан температура воды на поверхности равнялась 17.6° , у выхода из Черемшанского залива — 17.9° , а на мелководье левобережной поймы Черемшана достигала 22° . На этих станциях отчетливо прослеживалась температурная стратификация. Разность температур на поверхности и у дна в русле Черемшана равнялась 1.4° , а у выхода из Черемшанского залива — 3.4° .

От Черемшанского расширения до березовского створа температура воды менялась незначительно и даже на прибрежных станциях не превышала в конце мая 16° . Только в устье Усы была отмечена температура 18° . На березовском створе температура на поверхности изменялась от 14.5° на русловых станциях до 16° на прибрежных. Изменение температуры с глубиной было наиболее заметно на прибрежных станциях, но и на них разность температуры между дном и поверхностью не превышала 1.8° .

Таким образом, к концу мая как в зоне подпора, так и выше ее температура воды по всей глубине была порядка $13-14^{\circ}$ и лишь в непосредственной близости от плотины $15-16^{\circ}$. Несколько выше указанной наблюдались температура воды в заливах затопленных рек.

В июне продолжался интенсивный прогрев водохранилища. Температура воды на поверхности изменялась по березовскому створу 3-4 июня от 15.3° на левобережной пойме, в зоне затопленного дуга, до 16.5° в зоне неска. На правобережной пойме в зоне вырубленного леса температура была 15.6° , а в бывшем русле Волги — 15.8° .

К концу июня температура поверхности воды приплотинного участка была выше 20° и по березовскому створу она изменялась от 22.1 до 25.3° . Наиболее низкая температура (21.1°) наблюдалась на русловой станции створа. С уменьшением глубин по левобережной пойме температура постепенно повышалась и прибрежная зона левого берега до глубины 0.5 м имела температуру 25.3° . Вертикальное расслоение водной массы по температуре в это время выражено более отчетливо. Максимальная разность температуры по вертикали 3.4° отмечалась на русловой станции створа. Об усилении стратификации в приплотинном участке к концу июня свидетельствуют и изменения температуры в заливе устья Усы. При глубине станции 16.2 м разность поверхностной и придонной температуры составляла 6.9° .

Стратификация температуры в конце июня прослеживалась по водохранилищу до устья Камы, а в заливах и прибрежных участках значительно выше. Так, 25 июня на свняжском створе разность температур поверхностного и придонного слоев при глубине 6 м составляла 2.8° , а в затоне Старчиха, ниже Горького, 1.5° . Поскольку весеннее наполнение водохранилища в 1956 г. практически продолжалось до конца июня, когда вода обладала температурой $17-18^{\circ}$ и даже выше, то при такой высокой температуре гипolimниона отчетливо выраженного слоя скачка не обнаруживалось и указать точно границу между эпилимнионом и гипolimнионом было затруднительно.

В июле с прогревом водной массы на глубинах температурная стратификация становится неустойчивой, вертикальные градиенты температуры резко уменьшались и к концу июля на большей части водохранилища наступила гомотермия; только в приплотинном участке остались незначительные признаки стратификации, хотя температура гипolimниона повысилась до $19-20^{\circ}$. Максимальная разность температур на поверхности и у дна на русловой станции березовского створа равнялась 1.2° . Поверхностная температура по створу изменялась незначительно: от 19.7° на затопленном выгоне левобережной поймы до 20.9° на пойменной вырубке леса, а придонная — от 19.2° на месте русла притеррасной речки до 20.4° на пойменной вырубке леса.

В первой половине августа температурный режим приплотинного участка мало отличался от июля. Температура воды на поверхности изменялась 4 августа на удоровском разрезе от 19.2 до 20.5° . Максимальная разность температур по вертикали при глубине 17 м равнялась 0.6° . Температура поверхности воды на затопленной пойме Усы 9 августа была заметно выше, чем на удоровском разрезе, и колебалась от 21° на левой пойме Усы до 21.8° на правой. Здесь более заметно расхождение водной массы по вертикали. При глубине 14 м разность поверхностной и придонной температур на левой пойме Усы составляла 1.4° .

Во второй половине августа наблюдалось заметное охлаждение водохранилища. На березовском створе температура воды на поверхности 26—27 августа колебалась от 18.8 до 19.8° и лишь в русле притеррасной речки была 21° .

Из табл. 8 видно, что, несмотря на общее понижение температуры воды в приплотинном участке водохранилища, имела место отчетливо выраженная температурная стратификация. Подобная картина наблюдалась и на черемшанском разрезе. На бывшем русле р. Черемшана 28 августа температура воды на поверхности была 18.8° , а у дна — 17.4° . В этот же день на русле Волги против устья Черемшана она равнялась,

Таблица 8
Температура поверхностного и придонного слоев воды
на березовском створе 27 августа 1956 г.

Местоположение станции	Глубина, м	Температура, $^{\circ}\text{C}$	
		поверх- ностный	придонный
Русло Усы	18.5	18.8	18.2
Русло Волги	25.0	18.8	18.0
Песчаная отмель	15.5	19.4	17.8
Заросли ивняка	11.8	19.6	17.6
Разнотравный луг	7.5	19.8	18.0
Напня	4.0	19.4	—
Выгон	4.5	19.4	—

соответственно, 18.4 и 17.4°. К ундоровскому разрезу температура выравнивалась и по всей глубине была почти одинакова. На всем протяжении от ундоровского разреза до Свияги она на поверхности редко превышала 18° и лишь на прибрежных мелководных и более или менее застойных участках достигала 20°.

Наиболее низкая температура воды в конце августа наблюдалась выше выклинивания подпора. Уже 3 сентября в нижнем бьефе Горьковской ГЭС температура воды на поверхности была 12°, а у дна — 15.4°. По мере удаления от Горьковской ГЭС температура воды постепенно повышалась и у Козьмодемьянска 1 сентября была еще 18.6°. В сентябре продолжалось выхолаживание водохранилища и к концу сентября температура воды у Городца на поверхности равнялась 8.6°, а у дна — 8.8°. Такого порядка температуры с отдельными повышениями до 10° наблюдались в первой половине октября по всему водохранилищу, причем вертикальные градиенты температуры в это время практически отсутствовали, и к 10 октября вся водная масса имела температуру ниже 10°.

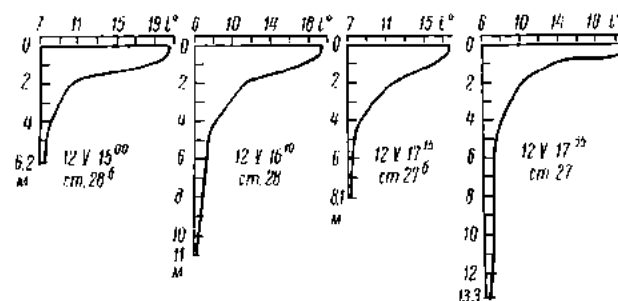


Рис. 10. Кривые вертикального распределения температуры воды на черемшанском разрезе в мае 1957 г.

Интенсивное ветровое перемешивание вод водохранилища в осенние месяцы при сравнительно низких температурах воздуха способствовало их быстрому выхолаживанию, и, по данным водомерного поста Новодевичье, к концу октября температура воды приплотинного участка понизилась до 4°. Особенно резкое понижение температуры воды наблюдалось в первой декаде ноября, к концу которой она достигла нулевых значений, и в приплотинном участке начался ледостав.

Образование промолы и полыней весной 1957 г. началось в районе Новодевичьего во второй половине апреля. Как и за предыдущий год, характеристику температуры воды водохранилища с момента вскрытия до половины мая можно дать лишь по результатам измерений на водомерных постах. По данным водомерного поста Новодевичье, среднесуточная температура воды 20 апреля была 0.5°, а к концу апреля — уже 2.2°. После очищения водохранилища ото льда прогрев поверхностного слоя воды, особенно прибрежных участков, шел довольно быстро. С 3 по 14 мая среднесуточная температура ежедневно повышалась на 0.8—1.0°, и к 16 мая прибрежье приплотинного участка имело температуру 14°.

Температурную характеристику открытой части водохранилища в середине мая можно составить по данным наблюдений на березовском, черемшанском и ундоровском разрезах. На березовском створе 11 мая температура воды на поверхности колебалась от 8.6 до 10.7°. Уже в это время в приплотинном участке наблюдалась хотя и слабая, но отчетливо выраженная стратификация. Разность температур на поверхности и у дна колебалась от 0.4 до 2.9°, а абсолютные значения придонных температур изменялись от 7.4 до 8.6°. Наиболее заметно выраженная

стратификация отмечалась в районе впадения Усы и особенно на черемшанском разрезе. У Переволок в русле Усы 11 мая при глубине 13.8 м температура воды на поверхности равнялась 8.4° и у дна 6.2° , а 12 мая в русле Усы на станции с глубиной 23.8 м разность температуры на поверхности и у дна была еще больше и составляла 6.4° . Отчетливо выраженная температурная стратификация наблюдалась на ряде станций черемшанского разреза (рис. 10).

На кривых рис. 10 резко разграничены слой скачка (металимнион) и верхний слой водной массы (эпилимнион) и нижний слой ее (гиполимнион). При этих условиях металимнион находился на глубине около 1 м, и, следовательно, эпилимнион занимал слой менее 1 м. С приближением к руслу Волги вертикальные градиенты температуры постепенно уменьшались и слой скачка становился настолько слабым, что его было трудно обнаружить. Это объясняется прежде всего тем, что на бывшем русле Волги в это время наблюдались значительные скорости течения. Даже на русловой станции березовского створа средняя скорость по вертикали 11 мая равнялась 0.23 м/сек. Наличие таких скоростей на отдельных участках водохранилища нарушало вертикальную стратификацию температуры, а следовательно, и расслоение водной массы.

Слабая стратификация температуры в середине мая отмечалась и на ундоровском разрезе, где также были значительные скорости течения. В районе Ундор температура воды на поверхности 13—14 мая колебалась от 13.8° до 14.6° , а на прибрежных станциях была даже и выше. На левобережной станции ундоровского разреза 14 мая при глубине 4.2 м она равнялась 19.7° , а при глубине станции 1 м — 22.2° . Разности температур поверхностного и придонного слоев на русловых станциях разреза не превышала 0.5° .

Все эти данные подтверждают предположение ряда авторов (Жадин, 1940), что к концу весеннего наполнения водохранилища будет наблюдаться период температурного расслоения его водной массы и в глубоких частях водохранилища даже при наличии небольшого поверхностного течения будет существовать вертикальная термическая стратификация водной массы, напоминающая озерную.

Хотя весенний прогрев водохранилища в 1957 г. имел много общего с прогревом предшествующего года, проходил он более интенсивно. Уже 21 мая температура воды в нижнем бьефе Горьковской ГЭС была 14.9° , а у Сормова — 15.5° . Как и в 1956 г., температура воды Оки значительно превышала волжскую и одновременно с этим на траверсе автозавода равнялась 19.1° . Существенная разница в температуре окской и волжской вод отмечалась и у затона Старчиха, где 20 мая температура воды на поверхности у левого берега была 16.7° , а у правого — 18.3° . Вниз по течению Волги от Козьмодемьянска до Камского Устья температура воды на поверхности изменялась от 17° до 16.5° , очень незначительно меняясь с глубиной.

В устье Камы и на алексеевском створе отмечалась более низкая температура воды по сравнению с вышележащим участком водохранилища, но и на этих разрезах она на поверхности колебалась от 15.4° до 16.1° . Наиболее высокие температуры воды, как и в мае 1956 г., наблюдались в районе Черемшанского расширения, но и здесь абсолютные значения их были заметно выше, чем в 1956 г. К концу мая вся водная масса водохранилища была прогрета до $15—16^{\circ}$. Таким образом, прогрев водохранилища в 1957 г. шел более интенсивно, чем в 1956 г. Об этом же свидетельствует и отчетливо выраженная на отдельных участках стратификация водной массы.

Более интенсивный прогрев вод приплотинного участка водохранилища весной 1957 г. отчетливо прослеживается и на соответствующей

кривой рис. 11, на котором представлены изменения среднесуточной температуры за 1955—1957 гг. по данным водомерного поста Новодевичье. Температура воды в 1957 г., исключая период с 15 июня по 15 июля, значительно превышает температуру 1956 г., хотя общий ход температуры воды летом 1957 г. имеет много общего с предшествующим. Как и в 1956 г., кривая температуры имела два отчетливо выраженных максимума, сдвинутых по сравнению с 1956 г. на более позднее время. Так, максимальная среднесуточная температура воды 24° в 1956 г. наблюдалась 23—24 июня, а в 1957 г. она была отмечена 24—25 июля и достигала 24.6° . Второй максимум температуры 22° летом 1956 г. наблюдался 3—4 августа, а в 1957 г. 23.6° был отмечен 27 августа.

В открытой части водохранилища летний температурный режим 1957 г. характеризовался следующими данными. Ниже плотины Горьковской ГЭС на протяжении 200 км температура воды на поверхности колебалась от 17.7 до 18.2° . Такого же порядка на этом участке были

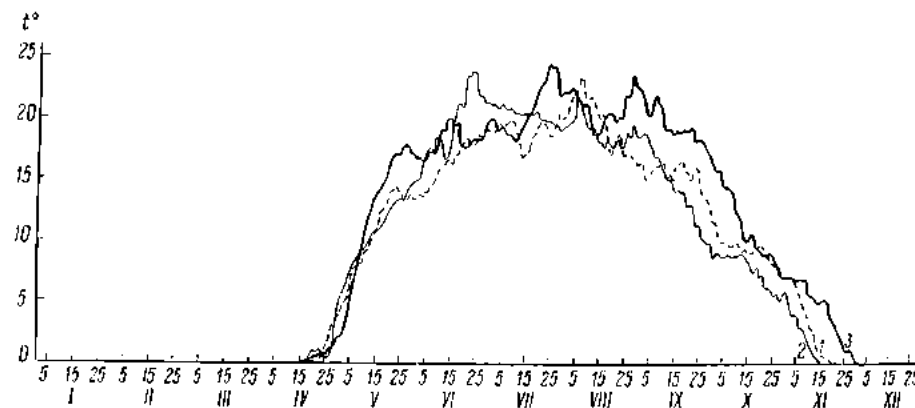


Рис. 11. Кривые годового изменения температуры воды по водомерному посту Новодевичье за 1955 г. (1), 1956 г. (2) и 1957 г. (3)

и придонные температуры. Распределение температур по профилю было такое же, как и в реке. Вниз по течению происходило постепенное повышение температуры, и в районе Нижнего Услона температура на поверхности достигала уже 19.5° . Одновременно с температурой поверхностного слоя повышалась и температура придонного слоя. Здесь уже сказывался подпор от плотины Волжской ГЭС, а разнообразие залитых углублений способствовало в отдельных случаях увеличению разницы между температурой поверхностного и придонного слоев. На некоторых станциях этого участка она достигала 1.5° . Примерно такое же соотношение этих температур при общем повышении их до 20.6° на поверхности и 19.8° у дна наблюдалось и на участке Нижний Услон—Тетюши.

В приплотинном участке Куйбышевского водохранилища на отдельных станциях температура на поверхности достигала 24.4° , и то время как в придонном слое оставалась не выше 20.8° . В результате этого на некоторых станциях разность между температурой поверхностного и придонного слоев равнялась 5.8° . Таким образом, даже в летний период в последней декаде августа в верхней приплотинной части водохранилища наблюдалась отчетливо выраженная температурная стратификация.

Температура воды притоков Волги на участке водохранилища в летний период, как правило, была ниже, чем в водохранилище, и практически не менялась с глубиной. Только в реках Которосле и Свияге разность температуры поверхностного и придонного слоев была соответ-

венно 2,6 и 1,8°. Наиболее низкая температура воды в августе отмечалась в Оке 16,9° и в Суре — 17,8°.

Суточные колебания температуры в летний период повелики. Как показали наблюдения суточной станции, выполненные 7 августа 1956 г. в бывшем русле Волги на березовском створе, амплитуда колебаний температуры на поверхности равнялась 1,3°, у дна — 1,4°, а 25 августа 1957 г. примерно в 6 км от плотины она была на поверхности 2,2°, а у дна — 0,3°.

Осенний ход температуры имел много общего с таковым в 1956 г., но в результате большего теплозапаса водной массы, накопленного за весенне-летний период, выхолаживание водохранилища проходило значительно медленнее и температура воды достигла нулевых значений на 15 суток позднее, чем в 1956 г.

Таким образом, резкое уменьшение скоростей течения в зоне распространения подпора и слабая проточность придонного слоя воды, а также значительные прибрежные площади почти стоячей воды обусловили весьма своеобразный термический режим водохранилища в годы его заполнения. Анализ температур воды водохранилища показал, что распределение температур в весенне-летний период по площади водоема и по глубинам существенно отличалось от того, что наблюдалось в Волге. Только в тех местах, где сохранился скоростной режим, сходный с прежним волжским, температура воды в соответствующие времена года близка к температуре волжской воды до сооружения Волжской ГЭС, а в зоне распространения подпора даже при наличии небольшого течения в поверхностных слоях отчетливо наблюдалось вертикальное термическое расслоение водной массы.

Прозрачность

Распределение прозрачности по акватории водохранилища и в разные сезоны в период его заполнения было неодинаково. Наименьшая прозрачность наблюдалась весной, когда водохранилище заполнялось паводочными водами, насыщенными взвесями.

В мае 1956 г. прозрачность воды по белому диску колебалась от 50 до 115 см. Только в отдельных случаях она заметно превышала указанный верхний предел. Такое исключение составляют различного рода заливы и бухточки в изгибах береговой линии, где отсутствует какое-либо течение. В таких местах прозрачность даже во время весеннего паводка вследствие выпадения взвешенных частиц достигает значительной величины. Например, 29 мая у с. Николо-Черемшана она равнялась 150 см. В июне прозрачность заметно увеличилась и к концу первой декады на отдельных станциях березовского створа была 160—180 см, но наиболее часто в июне наблюдалась прозрачность 70—80 см. Новое увеличение прозрачности произошло в июле. Оставаясь в пределах 70—80 см выше выклинивания подпора, она на всех станциях приплотинного участка превышала 100 см, а иногда достигала 200 см. Максимальная прозрачность 250 см наблюдалась в августе на черемшанском разрезе. В сентябре отмечалось постепенное уменьшение ее и к концу месяца она колебалась около 100 см. Примерно такую же она оставалась и в октябре. Зимой, по наблюдениям 1956 г., прозрачность значительно выше весенней и осенней. В середине марта в приплотинном участке она была 150—160 см, а, по данным И. В. Баранова (1958), местами достигала 220 см.

Наблюдения ранней весной 1957 г. на ундоровском разрезе показали, что в период весеннего наполнения прозрачность может уменьшаться до 20 см, что и было отмечено 3—4 мая. На этом же разрезе к 20 мая она увеличилась до 90 см. В дальнейшем ее изменения были сходны с наблюдавшимися в 1956 г. Таким образом, наименьшая прозрачность

воды наблюдается весной. Летом прозрачность постепенно увеличивается и достигает к августу максимальных значений. К этому времени весеннее наполнение водохранилища заканчивается и происходит частичное осветление паводочных вод в зоне подпора главным образом за счет выпадения взвешенных частиц при замедленном движении потока. Резкие колебания прозрачности в этот период могут зависеть лишь от интенсивности цветения воды особенно на прибрежных мелководных участках. С началом осенней штормовой погоды прозрачность заметно уменьшается, а зимой, после ледостава, она выравнивается и в течение зимы изменяется незначительно.

По зеркалу водоема наибольшая прозрачность наблюдается в его открытой части, а по мере приближения к берегам она уменьшается. Увеличение прозрачности при удалении от берегов в зоне подпора наблюдалось повсеместно. По данным Куйбышевской гидрометеорологической станции,

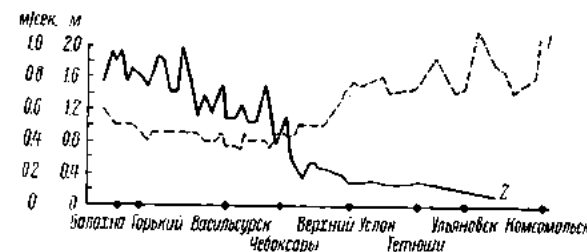


Рис. 12. Прозрачность (I) и средняя скорость течения (Z) на русловых станциях в условиях водохранилища.

оно в открытой части водоема достигает примерно 10% от прозрачности у берега.

Различна прозрачность воды и по длине водохранилища. Продольный разрез по оси водохранилища (бывшее русло Волги) показал, что от Горьковской до Волжской ГЭС прозрачность воды колеблется в широких пределах (рис. 12). От Горьковской ГЭС до Чебоксарона колебалась

между 75 и 90 см. У Чебоксар прозрачность была 100 см, а с замедлением течения ниже Чебоксар она возрастала в направлении к Куйбышевской плотине от 130 до 220 см. В один из сроков наблюдений на суточной станции в верхнем бьефе плотины была отмечена прозрачность 270 см.

Таким образом, в период заполнения водохранилища прозрачность воды на отдельных участках имела существенные отличия от наблюдавшейся в бытовых условиях Волги. Наиболее резкие изменения ее произошли в зоне распространения подпора.

В заключение представляет интерес сопоставить наши результаты с данными гидрологической части прогноза В. И. Жадина (1940), составленного для Куйбышевского водохранилища в 1939 г. По этому прогнозу средние скорости летом на месте прежнего русла Волги у Чебоксар должны быть около 0,29 м/сек., а у Матюшина, в 17 км ниже Казани, — около 0,11 м/сек. На затопленных поймах этого участка предсказывались скорости порядка 0,03—0,05 м/сек. Ниже Матюшина средние скорости в русле предполагались 0,04—0,08 м/сек., а на пойме — 0,02—0,04 м/сек. Как показали наблюдения, в августе 1957 г. средняя скорость у Чебоксар на русловой станции была 0,30 м/сек., а у д. Ташевки, расположенной по соседству с Матюшиным, — 0,15 м/сек. Пойменные скорости были значительно выше прогнозируемых: у Чебоксар, в 40 м от правого берега, — 0,30 м/сек., а в 30 м от левого — 0,25 м/сек. Подобная картина наблюдалась и у с. Красновидова в 37 км ниже Матюшина, где на правой пойме средняя скорость была 0,14 м/сек., а на левой — 0,05 м/сек. Только начиная от Ундор наблюдаемые скорости как в русле, так и на пойме соответствовали прогнозируемым. Весеннее распределение скоростей было близко к прогнозу.

Соответствует наблюдаемому и прогноз температурного режима. Как и предполагалось, замедленный водообмен в зоне подпора и обширные площади почти стоячей воды в прибрежье обусловили своеобразный термический режим, напоминающий озерный, уже в годы заполнения водохранилища. То же можно сказать об изменениях прозрачности воды по длине водохранилища и в течение года.

Таким образом, прогноз режима скорости течения, температуры и прозрачности воды, составленный В. И. Жадиным, в основных чертах оправдался.

ЛИТЕРАТУРА

- Б а р а п о в И. В. 1958. Термический и гидрохимический режим Волги и Куйбышевского водохранилища в 1955—1957 гг. Тр. Татарск. отд. Гос. н.-иссл. инст. озерн. и речн. рыбн. хоз., вып. 8.
- Б л и з н я к Е. В. и В. Г. А н д р е я н о в. 1958. Исследования озер и водохранилищ в СССР. Тр. III Всес. гидрол. съезда, т. I.
- Б у т о р и ц Н. В. 1958а. Изменение скоростного режима Волги в зоне подпора Горьковской ГЭС. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 1.
- Б у т о р и ц Н. В. 1958б. О скоростях течения Волги от Рыбинска до [Волгограда]. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 2.
- Б у т о р и ц Н. В. 1959. Изменение элементов гидрологического режима Волги на участке Горьковского водохранилища в первый год его наполнения. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 1 (4).
- Б у т о р и ц Н. В. 1960. О проточности зоны подпора Куйбышевского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 8—9.
- Ж а д и н В. И. 1940. Жизнь в Куйбышевском водохранилище. Природа, № 6.
- К у р д и ц а Т. Н. 1958. Температура воды в Куйбышевском водохранилище весной 1956 и 1957 гг. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 2.
- М а к о в с к и й Б. А. 1958. Моря, созданные человеком. Географиз, М.
- Н е у с т р о е в С. С. 1945. Гидрология Волги и ее притоков. Нововоляе. Путеводитель по Волге, Оке, Каме, Вятке и Белой. Изд. Волжск. гос. пароходства и транспорта НКПС, М.
- Н и к о л и ц П. И. 1958. Гидрометеорологический режим Куйбышевского водохранилища. Речной транспорт, № 4.

УРОВЕНЬ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО КОЛЕБАНИЯ (1948—1960 гг.)

Введение в эксплуатацию гидротехнических сооружений ГЭС коренным образом меняет гидрологический режим реки. Из всех элементов гидрологического режима реки в зоне подпора наиболее существенно изменяется режим уровней воды. Последний в любом водохранилище определяется характером использования зарегулированного речного стока. По степени использования речного стока регулирование водохранилищ бывает суточное, сезонное, годовичное и многолетнее.

Рыбинское водохранилище, по Л. С. Кускову (1957), является типичным водохранилищем с полным годовичным регулированием стока. Для эксплуатации водохранилищ такого типа, имеющих большую емкость, характерно, что при низкой зимней сработке и маловодном половодье они наполняются весной лишь частично и их уровень к концу весеннего наполнения может быть значительно ниже нормального подпорного горизонта (НПГ). Поэтому важнейшей задачей при эксплуатации таких водохранилищ является выбор отметки предвесенней сработки и режима работы гидроэлектростанций в период половодья (Кусков, 1957). При решении этих вопросов большое значение имеют прогнозы весеннего половодья, составляемые эксплуатационными управлениями гидроэлектростанций и Гидрометеослужбой. Большое значение имеют также и прогнозы объема меженивого стока и притока воды во время летне-осенних дождевых паводков. Однако методика прогнозов, особенно меженивого стока и летне-осенних дождевых паводков, не разработана еще настолько, чтобы их данными можно было пользоваться с достаточной точностью. Это существенно затрудняет эксплуатацию водохранилищ указанного типа и не позволяет поддерживать в них более или менее определенный уровеньный режим. Таким образом, Рыбинское водохранилище коренным образом отличается от других водохранилищ волжской системы, в большинстве которых осуществляется сезонное регулирование стока и колебания уровня относительно постоянны.

Поскольку высотой уровня водоема определяются его водные ресурсы, изучение колебаний уровня в своеобразных условиях Рыбинского водохранилища имеет большое практическое значение. От высоты стояния уровня в течение года зависит работа Рыбинской ГЭС, водного транспорта, лесосплавных организаций. Положение уровня водохранилища определяет величину зоны временного затопления и влияет на граничащие с ней сельскохозяйственные угодья, улучшая или ухудшая хозяйственное использование их колхозами прибрежных районов. Колебания уровня и связанные с ними течения в значительной степени определяют черты гидрологического режима водохранилища. Они являются важным фактором разрушения его берегов и могут в значительных пределах изменять очертания побережья. В настоящее время общепризнано, что уровеньный режим определяет рыбные запасы водохранилища и их воспроизводство (Ильина и Поддубный, 1960). Выявление закономер-

постей изменения уровня водохранилища, характера его сезонных и многолетних колебаний позволит более рационально использовать водные ресурсы водоема с учетом запросов различных отраслей народного хозяйства.

Учитывая все это, мы решили продолжить исследование колебаний уровня Рыбинского водохранилища, начатое Ф. И. Белых (1959), и в настоящей статье рассмотреть общий характер колебаний уровня водохранилища с момента его заполнения до НПГ с тем, чтобы впоследствии попытаться выявить оптимальный режим этого водоема, наиболее удовлетворяющий как запросам энергетики и водного транспорта, так и сельского хозяйства.

ОБЗОР ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА

Наблюдения над уровнем воды Рыбинского водохранилища производятся с первых дней его заполнения как на ряде водомерных постов, существовавших до создания водохранилища, так и на открытых вновь при его заполнении. Водомерные посты довольно равномерно распре-

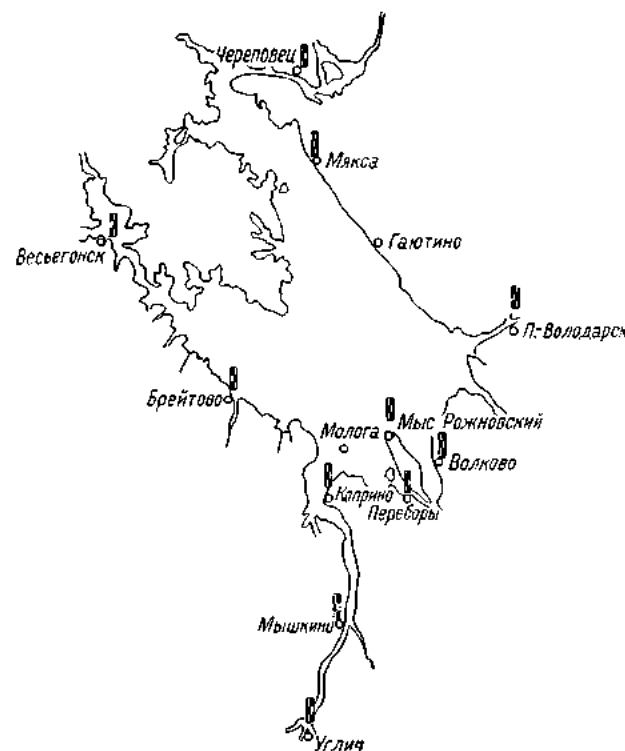


Рис. 1. Размещение водомерных постов на Рыбинском водохранилище.

лены по периметру водохранилища (рис. 1). Большинство их расположено в заливах, так как открытые участки берегов водохранилища, как правило, отмели и урез воды у них в течение года сильно колеблется.

Для характеристики колебаний уровня мы использовали материалы наблюдений водомерных постов Углич, Мышкино, Копринь, Переборы, Череповец, Мяска, Весьегонск, Пошехонье-Володарск, Брейтово, Вол-

ково и мыс Рожкинский. Краткая характеристика этих водомерных постов приводится в работе Ф. И. Белых (1959). Наблюдения над уровнем были на всех постах двухсрочные (8 и 20 час.), а во время весенних паводков — трехсрочные (8, 14 и 20 час.). Часть постов имеет самописцы уровня (Коприно, Брейтово, Мякса, Переборы), но все установки самописцов, за исключением Перебор, работают только при отсутствии ледяного покрова. На пунктах Углич, Коприно, Переборы, Мякса, Велье-гонск, Пошехонье-Володарск и Брейтово наблюдения ведутся уже почти двадцать лет.

Основные факторы колебания уровня водохранилища

Колебания уровня водохранилища происходят под влиянием целого ряда факторов, но основными из них являются приток и сток воды из водохранилища. При определении среднего многолетнего водного баланса водохранилища В. И. Рутковский и Т. Н. Курдина (1959) установили средний многолетний приток в 33.30 км³, а средний многолетний сброс — в 31.30 км³. В течение года такое количество воды поступает в водохранилище и сбрасывается из него неравномерно. Распределение притока и сброса воды (в км³) по сезонам (Рутковский и Курдина, 1959) в среднем за период 1947—1954 гг. происходило следующим образом:

	Весна (IV—V)	Лето (VI—VIII)	Осень (IX—XI)	Зима (XII—III)
Приток	15.0	5.6	7.2	5.4
Сброс	3.9	6.8	8.4	12.2

В отдельные годы приток и сброс воды из водохранилища могут существенно отличаться от приведенных средних значений. Большое несоответствие в поступлении воды в водохранилище и сбросе ее в отдельные сезоны, особенно весной и зимой, приводит к резким и значительным колебаниям уровня. Амплитуда колебания среднего уровня водохранилища с момента его наполнения до НПГ в отдельные годы превышала 5 м.

Следующим существенным фактором колебаний уровня водохранилища при отсутствии ледяного покрова является ветер.

Подробно вопрос о ветровых децивелизациях уровня Рыбинского водохранилища освещен Ф. И. Белых. Исследуя сгонно-нагонные колебания уровня на различных участках водохранилища, он пришел к выводу, что наибольшие по величине и продолжительности нагоны наблюдались на южном и юго-восточном побережье водохранилища (верхний бьеф Рыбинской ГЭС, Переборы, Коприно, Пошехонье-Володарск), а также на северо-западе у Велье-гонска. Величина нагона, как правило, не превышала 20 см. Нагоны с подъемом уровня до 40—70 см отмечались лишь в единичных случаях. Наиболее частые сгоны наблюдались на северо-восточном побережье водоема (Мякса). По величине сгоны были заметно меньше, чем нагоны. Максимальная величина сгона у Мяксы равнялась 44 см.

Ветровые колебания уровня водохранилища принципиально отличаются от колебаний, обусловленных поступлением и сбросом воды, и происходят за счет перемещения водной массы из одной части водоема в другую. Абсолютная величина сгонно-нагонных колебаний уровня и их роль в уровне-ном режиме водохранилища значительно меньше, чем колебаний уровня в результате изменения запасов воды в водосме.

При исследовании сгонно-нагонных колебаний уровня рядом авторов было обнаружено совпадение основных колебаний уровня ветрового происхождения с изменениями его в зависимости от атмосферного давления, в результате которого формируется тот или иной ветровой ре-

жим. Как указывает Ф. И. Белых (1959), разность барометрического давления между наиболее удаленными друг от друга участками водохранилища (Углич—Череповец) в исключительных случаях достигает 5 мб, а обычно по площади водохранилища она не превышает 1—2 и реже 3 мб. Следовательно, максимальная разность уровней у противоположных берегов водохранилища, обусловленная разностью барометрического давления, не превышает 5 см и по сравнению даже с ветровыми колебаниями чрезвычайно мала.

В таком замкнутом водоеме, как Рыбинское водохранилище, колебания уровня могут происходить также от изменения количества осадков и испарения. В результате выпадения того или иного количества осадков и в зависимости от испарения меняется количество воды в водохранилище и, следовательно, меняется положение уровня.

По данным В. И. Рутковского и Т. Н. Курдиной, атмосферные осадки только на поверхность водохранилища в среднем за 1947—1955 гг. составляли 2.4 км³ и по сезонам распределялись следующим образом: весной (IV—V) их выпадало 0.3, летом (VI—VIII) — 0.9, осенью (IX—XI) — 0.6 и зимой (XII—II) — 0.3 км³. Если принять площадь водохранилища равной 4550 км², такое количество осадков при равномерном их распределении по площади водоема повысило бы уровень на 50 см.

При подсчете потерь воды на испарение эти же авторы в среднем за 1947—1955 гг. приводят цифру 2.15 км³. Таким образом, получается, что за одно и то же время потери воды на испарение превышали поступление ее за счет осадков на 0.07 км³. По данным Ф. И. Белых, максимальная величина слоя суточного испарения с водной поверхности водохранилища может достигать 0.4 см. Следовательно, влияние осадков, выпадающих на зеркало водоема, и испарения на изменения уровня водохранилища по сравнению с факторами, рассмотренными выше, очень мало.

Еще меньшее влияние, чем осадки и испарение, на колебания уровня оказывают величина фильтрации из водохранилища, гидравлический уклон, образующийся при неравномерном распределении притока и стока воды по отношению к периметру водохранилища, оседания льда на берегах в зимний период и его таяние весной, отложение наносов и развитие водной растительности. Все эти факторы вызывают колебания уровня, измеряемые миллиметрами, и не влияют практически на средний уровень водохранилища.

Таким образом, анализ факторов колебания уровня Рыбинского водохранилища показывает, что главным из них является изменение наносов воды в результате притока и сброса.

О средних уровнях водохранилища

Так как уровень водохранилища не остается постоянным во времени, то наиболее важными и практически удобными для всевозможных расчетов являются средние уровни. Средний уровень дает общее представление об уровне режима определенного участка водохранилища или всего водохранилища за тот или иной промежуток времени. В практике разного рода расчетов обычно пользуются средними суточными, месячными, годовыми значениями уровня и средним уровнем водохранилища.

Основой для вычисления различных средних уровней водохранилища является среднесуточный уровень. Теоретически его следует вычислять по площади кривой стояния уровня. Практически он вычисляется как среднее из ежечасных наблюдений над колебаниями уровня, а там, где отсутствуют самописцы уровня, как среднее из срочных наблюдений по водомерной рейке. В материалах Гидрометслужбы, которые служат осно-

вой настоящего исследования, среднесуточное значение уровня независимо от числа сроков наблюдений для каждого водомерного поста определено как арифметическое среднее из всех наблюдений на данном посту в течение суток. Как правило, среднесуточный уровень на водомерных постах водохранилища вычислен из двухсуточных наблюдений.

Среднемесечный уровень для отдельных водомерных постов водохранилища представляет собой среднее арифметическое из среднесуточных уровней, а среднегодовой уровень определяется путем осреднения среднемесечных.

Средний уровень водохранилища рассчитывается различными способами. Два из них нашли особенно широкое применение в оперативной практике эксплуатации водохранилища: способ расчета среднего уровня, применяемый в Рыбинской гидрометеобсерватории, предложенный Ф. И. Белых, и способ расчета среднего уровня, применяемый гидротехнической службой Мосэнерго. Оба эти способа довольно подробно изложены Ф. И. Белых (1959), поэтому на них мы останавливаться не будем. Отметим только, что, как указывает этот автор, при ледоставе, а также в штилевые и со слабыми ветрами дни летне-осеннего периода оба способа определения среднего уровня водохранилища дают достаточно хорошие, в большинстве случаев идентичные результаты.

При расчете водного баланса Рыбинского водохранилища В. И. Рутковский и Т. Н. Курдина определяли средний уровень водохранилища как среднее арифметическое из уровней пяти водомерных постов расширенной части водохранилища: Переборы, Копринно, Брейтово, Мякса и Волково. Сравнение среднемесечных уровней, полученных таким путем, с результатами вычислений по способу Рыбинской гидрометеобсерватории за произвольно выбранные пять лет (1951—1955) показало, что, как правило, разница между средними уровнями не превышала 2—3 см и в исключительных случаях достигала 5 см. Но, как указывает Ф. И. Белых (1959), практически при существующих методах расчета среднего уровня водохранилища ошибка в 1 см, можно сказать, неизбежна и часто доходит до 4—6 см, а в ряде случаев и больше. Следовательно, перечисленные методы вычисления среднего уровня водохранилища по точности более или менее равнозначны. В то же время следует помнить, что ошибка определения среднего уровня водохранилища в 1 см при площади его 4550 км² в объемном отношении составляет $45,5 \cdot 10^6$ м³. Следовательно, расчеты элементов водного баланса, приводимые нами, следует считать приближенными.

Уровень водохранилища после его заполнения (1948—1960 гг.)

Перекрытие русла Шексны было произведено в октябре 1940 г., однако датой наполнения водохранилища считают 13 апреля 1941 г. В период с 1941 по 1946 г. при эксплуатации водохранилища были допущены существенные отклонения от диспетчерских правил регулирования, и в связи с этим проектная отметка ННГ была достигнута лишь к лету 1947 г. Следовательно, весь период существования водохранилища с 1941 г. по лето 1947 г. является периодом его заполнения. Краткая характеристика уровня водохранилища за 1941—1947 гг. представлена в работе Ф. И. Белых, поэтому этот период нами не рассматривается, а анализируются колебания уровня водохранилища за время его эксплуатации с момента заполнения до ННГ.

В результате того, что использование запасов воды Рыбинского водохранилища определяется его хозяйственным назначением, уровеньный режим в нем существенно отличается от озер, расположенных в той же кли-

матической зоне. В Рыбинском водохранилище сток воды, а следовательно, и колебания уровня зависят прежде всего от выработки необходимого количества электроэнергии и в летнее время, кроме того, от заданных согласно диспетчерскому графику навигационныхпусков. Существенное значение для регулирования уровня режима водохранилища, в частности его зимней сработки, имеет и прогноз объема весеннего половодья.

Материалы уровневых наблюдений позволяют годовой цикл уровня водохранилища разделить на три характерных периода: весенний (наполнение), летне-осенний (меженный) и зимний (сработки). Такое деление годового цикла уровня было предложено еще Ф. И. Белях.

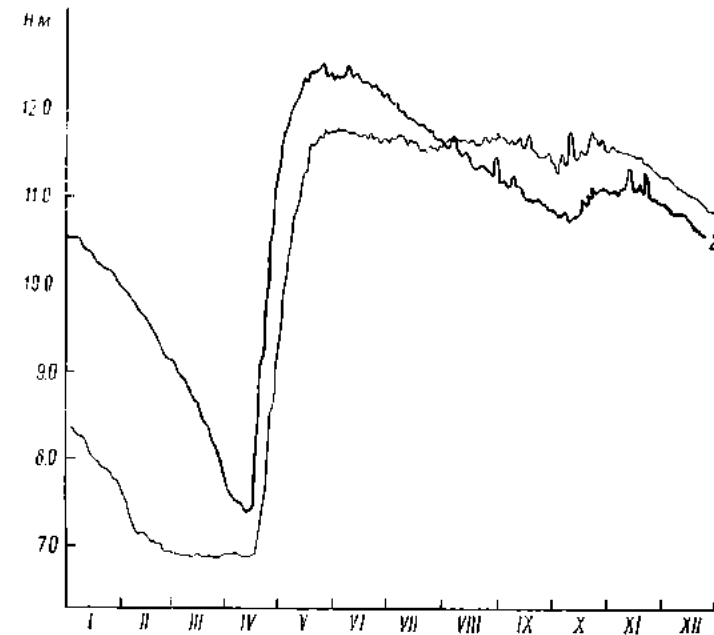


Рис. 2. Годовой ход уровня у Коприно за 1956 г. (1) и 1958 г. (2).

По данным за период с 1948 по 1960 г. наиболее раннее начало весеннего наполнения водохранилища наблюдалось 30 марта (1951 и 1954 гг.), а наиболее позднее — 18 апреля (1955 г.). В первые дни весеннего наполнения повышение уровня водохранилища составляет 1—3 см в сутки, но затем оно быстро увеличивается и в отдельных случаях достигает 20—30 см за сутки, а по данным Ф. И. Белях, даже до 70 см. Наиболее интенсивное наполнение водохранилища, как правило, наблюдалось в последней декаде апреля. Для наглядности на рис. 2 приводятся две кривые годового хода уровня по водомерному посту Коприно. Эти кривые не дают точного представления о величине повышения среднего уровня водохранилища в период весеннего наполнения, но характер наполнения водоема они отражают вполне достоверно. Из рис. 2 видно, что весеннее повышение уровня у Коприно за эти годы наблюдалось в середине апреля и наиболее интенсивно шло в последней декаде апреля. В начале мая интенсивность наполнения заметно уменьшалась и повышение уровня, как и в начале наполнения водохранилища, составляло несколько сантиметров за сутки. Обычно к концу мая наполнение водохранилища заканчивалось и уровень его достигал максимальных значений. Поскольку установить дату конца весеннего

наполнения довольно затруднительно, то, как и Ф. И. Белых, мы принимаем условно за эту дату 1 июня, так как к этому времени обычно сток талых вод в водохранилище заканчивается. Продолжительность весеннего наполнения водохранилища при этих условиях колебалась от 43 (1955 г.) до 63 (1951 г.) суток.

Из табл. 1 видно, что за исследуемые годы изменялась не только продолжительность весеннего наполнения водохранилища, но и резко колебалась величина его наполнения. Общее повышение уровня водохранилища за период весеннего наполнения изменялось от 1.7 м в 1954 г. до 5.3 м в 1955 г.

Таблица 1

Уровень водохранилища в период весеннего наполнения

Год	Начало наполнения		Конец наполнения		Длительность весеннего наполнения, сутки	Изменение уровня за период, м	Средний подъем уровня, см, сутки
	дата	средний уровень, м (отклонение от НПГ)	дата	средний уровень, м (отклонение от НПГ)			
1948	4 IV	-3.60	1 VI	-0.35	57	3.25	5.7
1949	6 IV	-2.26	1 VI	+0.07	55	2.33	4.2
1950	6 IV	-3.46	1 VI	-0.47	56	2.99	5.3
1951	30 III	-3.08	1 VI	+0.21	63	3.29	5.2
1952	16 IV	-5.18	1 VI	-1.95	46	3.23	7.0
1953	3 IV	-3.06	1 VI	+0.17	58	3.23	5.6
1954	30 III	-3.04	1 VI	-1.33	61	1.61	2.6
1955	18 IV	-4.73	1 VI	+0.42	43	5.15	12.0
1956	17 IV	-5.01	1 VI	-0.39	44	4.62	10.3
1957	11 IV	-3.04	1 VI	+0.06	50	3.10	6.0
1958	17 IV	-4.56	1 VI	+0.32	44	4.88	11.1
1959	10 IV	-3.56 *	1 VI	+0.42 *	51	3.96	7.8
1960	13 IV	-4.48 *	1 VI	-1.25 *	48	3.23	6.7

* Средний уровень вычислен как среднее арифметическое из уровней подомерных постов Коприно, Брейтово, Мякса и Переборы.

Весеннее повышение уровня водохранилища или увеличение его запаса воды зависит прежде всего от зимней сработки, но еще больше от объема половодья или от водности бассейна водохранилища в данном году. Так, несмотря на то, что в зиму 1956 г. водохранилище было сработано на 5.01 м, а в зиму 1950 г. — на 3.46 м ниже НПГ, т. е. на 155 см меньше, чем в 1956 г., в результате более значительного половодья уровень водохранилища на 1 июня 1956 г. был на 8 см выше, чем в 1950 г.

Еще более заметна роль объема половодья в режиме уровня водохранилища при сопоставлении данных за 1958 и 1960 гг. В 1958 г. зимняя сработка была на 8 см больше, чем в 1960 г., но в результате большого половодья к концу периода весеннего наполнения его уровень на 32 см превышал НПГ, тогда как в 1960 г. к этому времени он на 125 см был ниже НПГ.

Особенно низкий уровень наполнения водохранилища наблюдался при большей зимней сработке и сравнительно небольшом объеме половодья. Так, в 1952 г. при зимней сработке уровня на 5.18 м ниже НПГ и при малом объеме половодья к концу периода весеннего наполнения уровень не достигал НПГ на 1.95 м. Это был наиболее низкий уровень весеннего наполнения за весь период с 1948 по 1960 г.

Из 13 рассматриваемых лет только в 7 случаях (1949, 1951, 1953, 1955, 1957, 1958, 1959 гг.) водохранилище было наполнено до проектной отметки или несколько выше ее. В 6 случаях (1948, 1950, 1952, 1954, 1956, 1960 гг.)

уровень к концу весеннего наполнения не достигал НПГ, причем в трех случаях (1948, 1950, 1956 гг.) был ниже проектной отметки наполнения на 33—47 см, а в 1952, 1954 и 1960 гг. соответственно на 195, 133 и 125 см.

Таким образом, наполнение водохранилища в весенний период зависит не только от величины зимней сработки, но главным образом от объема половодья.

В летне-осенний период уровень водохранилища не испытывает таких изменений, как в период весеннего наполнения. В это время он сравнительно устойчив и колебания его редко превышают 5 см в сутки. Положение уровня в основном определяется притоком воды и величиной навигационных попусков. Если в течение этого периода объем притока близок к объему навигационных попусков, то уровень водохранилища в летне-осенний период колеблется около отметки, которой он достиг к концу периода весеннего наполнения. Такие колебания уровня наблюдались в 1950, 1953 и 1956 гг. Амплитуда их в эти годы в летне-осенний период колебалась от 0.47 в 1953 г. до 0.85 м в 1950 г.

Несмотря на сравнительно устойчивое положение уровня в летне-осенний период и небольшую амплитуду его колебаний, даже в эти годы уровень водохранилища имел общую тенденцию к понижению от начала периода к его концу. Общее понижение уровня за рассматриваемый период составляло в 1950 г. — 0.59, в 1953 г. — 0.40 и в 1956 г. — 0.24 м.

В годы, средние по водности и маловодные, в летне-осенний период происходит более значительное понижение уровня водохранилища, так как приток воды не восполняет потерь за счет навигационных попусков, работы ГЭС и испарения. К таким годам относятся большинство лет рассматриваемого периода (1948, 1949, 1951, 1954, 1955, 1957, 1958, 1959, 1960 гг.). В эти годы общее понижение уровня в летне-осенний период составляло в среднем 1.42 м. В отдельные годы эта величина колебалась от 0.74 до 2.67 м. При таком режиме уровня в летне-осенний период более значительна и амплитуда колебания его: она изменялась от 1.23 в 1948 г. до 2.72 м в 1955 г. Наибольшее понижение уровня водохранилища в рассматриваемый период наблюдалось в 1955 г. и достигало 2.67 м.

В летне-осенний период водность бассейна Рыбинского водохранилища в результате интенсивных дождей может значительно увеличиваться. В связи с этим поступление воды в водохранилище может заметно превышать расход ее и тогда понижение уровня прекращается и начинается его постепенное повышение, которое может достигать значительных размеров. Таков был ход уровня в летне-осенний период 1952 г. Отметка весеннего наполнения была в тот год самой низкой за весь период с 1948 по 1950 г. и на 1.95 м не достигала НПГ. К концу же периода она повысилась на 1.30 м.

Несмотря на значительное повышение уровня в конце летне-осеннего периода, самый низкий уровень водохранилища в этот период наблюдался в 1952 г. (табл. 2), что было обусловлено прежде всего малым весенним наполнением, которое в свою очередь предопределялось очень большой сработкой водохранилища в зимний период. Низкий уровень водохранилища в летне-осенний период наблюдался также в 1954 и 1960 гг. Даже максимальный уровень этого периода в указанные годы был на 1.29 м ниже НПГ.

В зимний период приток воды с бассейна резко уменьшается, а сбросы воды через агрегаты ГЭС с увеличением потребности в электроэнергии сильно возрастают, поэтому уровень систематически понижается и происходит сработка водохранилища. За начало зимнего периода на водохранилище мы принимаем дату полного ледостава. Обычно эта дата для отдельных участков водохранилища различна. Наиболее ранний ледостав наблюдается в северной его части (Мякса), а наиболее поздний — на юге

Таблица 2

Уровень водохранилища в период летне-осенней межени

Год	Начало периода		Конец периода		Длительность периода, суток	Изменение уровня за период, м	Амплитуда уровня за период, м
	дата	средний уровень, м (отклонение от НПГ)	дата	средний уровень, м (отклонение от НПГ)			
1948	1 VI	-0.35	24 XI	-1.53	177	-1.18	1.23
1949	1 VI	+0.07	23 XI	-1.27	176	-1.34	1.32
1950	1 VI	-0.47	25 XI	-1.06	178	-0.59	0.85
1951	1 VI	+0.21	10 XI	-1.50	163	-1.71	1.79
1952	1 VI	-1.95	16 XI	-0.65	169	+1.30	1.90
1953	1 VI	+0.17	21 XI	-0.23	174	-0.40	0.47
1954	1 VI	-0.33	24 XI	-2.37	177	-1.04	1.48
1955	1 VI	+0.42	20 XI	-2.25	173	-2.67	2.72
1956	1 VI	-0.39	8 XI	-0.63	161	-0.24	0.50
1957	1 VI	+0.06	25 XI	-0.68	178	-0.74	1.31
1958	1 VI	+0.32	20 XI	-1.05 *	173	-1.37	1.71
1959	1 VI	-0.42 *	20 XI	-1.29 *	173	-1.71	1.75
1960	1 VI	-1.25 *	20 XI	-2.28 *	173	-1.03	1.16

* Средний уровень вычислен как среднее арифметическое из уровней водомерных постов Коприно, Брейтово, Мяска и Переборы.

(Переборы). Как правило, ледостав в Переборском заливе характеризует конец ледостава на всем водосме, а поэтому его наступление в этом участке принимается нами за дату начала зимнего периода.

Исходя из этой даты, мы считаем, что зимний период на водохранилище по данным 1948—1960 гг. начинался для большинства лет в последней декаде ноября (табл. 3). Продолжительность его в среднем составляет 138 суток и колебалась от 123 до 168 суток.

Начало зимнего периода является одновременно и началом интенсивной сработки водохранилища. Величина зимней сработки в 1948—1960 гг. колебалась от 0.90 до 3.80 м, а в среднем составляла 2.49 м. Наибольшая сработка водохранилища в зимний период наблюдалась в 1952 г. и равнялась 4.40 м. В эту зиму уровень водохранилища был сработан на 5.20 м ниже НПГ. Наименьшая сработка уровня была в 1948—1949 гг. - 0.90 м.

Несмотря на то, что с 1948 по 1960 г. было несколько маловодных лет (1952, 1954, 1960 гг.) и ряд лет, в которые уровень к концу наполнения не достигал проектной отметки (1948, 1950, 1956 гг.), зимняя сработка водохранилища в эти годы не доводила его уровень до проектного минимума и минимальный уровень водохранилища в зимние периоды был ниже НПГ от 5.04 до 2.28 м.

Таким образом, в годовом цикле уровня водохранилища отчетливо прослеживаются три характерных периода его режима, особенности которых рассмотрены выше. Но в зависимости от водности года и от внутри-годового распределения притока, а также от режима работы гидросооружений характер колебаний уровня в одни и те же периоды может сильно изменяться по годам. В основном эти изменения уровня обуславливаются наполнением водохранилища в весенний период и особенностями его сработки. При более подробном анализе кривых уровня различных лет за исследуемый период можно выделить четыре основных типа колебаний уровня.

Первый тип. Уровень водохранилища к концу весеннего наполнения достигает или несколько превышает отметку НПГ. Наполнение

Таблица 3

Уровень водохранилища в период зимней сработки

Год	Начало периода		Конец периода		Длительность периода, сутки	Изменение уровня за период, м	Среднее понижение уровня, см/сутки
	дата	средний уровень, м (отклонение от НПУ)	дата	средний уровень, м (отклонение от НПУ)			
1948	25 XI	-1.54	3 IV	-3.62	129	-2.08	1.6
1949	24 XI	-1.28	5 IV	-2.28	131	-1.00	0.8
1950	26 XI	-1.07	5 IV	-3.49	129	-2.42	1.9
1951	11 XI	-1.54	29 III	-3.09	137	-1.55	1.1
1952	17 XI	-0.64	15 IV	-5.04	149	-4.40	2.9
1953	22 XI	-0.26	2 IV	-3.07	130	-2.81	2.2
1954	25 XI	-2.40	29 III	-3.07	123	-0.67	0.5
1955	21 XI	-2.25	17 IV	-4.75	146	-2.50	1.7
1956	9 XI	-0.62	16 IV	-5.02	168	-4.40	2.6
1957	26 XI	-0.64	10 IV	-3.09	134	-2.45	1.8
1958	21 XI	-1.08	16 IV	-4.60	145	-3.52	2.4
1959	21 XI	-1.32 *	9 IV	-3.60 *	138	-2.28	1.6
1960	21 XI	-2.28 *	12 IV	-4.52 *	142	-2.24	1.6

* Средний уровень вычислен как среднее арифметическое из уровней водомерных постов Коприно, Брейтово, Мякса и Иереборы.

водохранилища заканчивается в конце мая, и после непродолжительного стояния около максимальной отметки наполнения его уровень начинает понижаться. Это понижение продолжается до начала последующего ве-

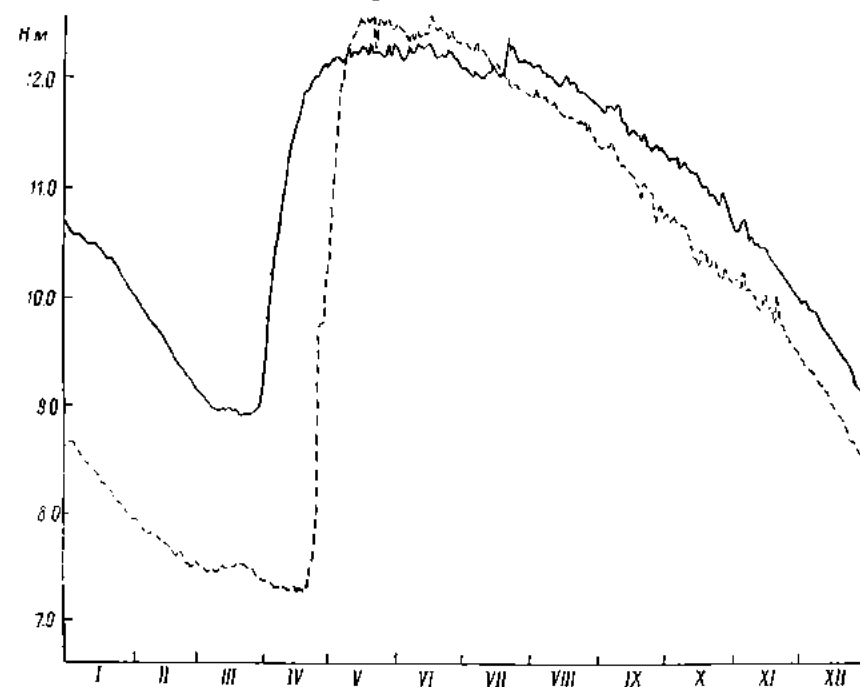


Рис. 3. Годовой ход уровня у Коприна за 1951 г. (1) и 1955 г. (2).

сеннего наполнения. В такие годы в летне-осенний период приток воды в водохранилище меньше, чем расход ее на плавигационные сбросы и испарение. Такой ход уровня наблюдался в 1949, 1951, 1955, 1957, 1958 и 1959 гг.

В некоторые годы, например 1951 и 1955 гг. (рис. 3), уровень водохранилища понижался довольно интенсивно, в другие более медленно (рис. 4).

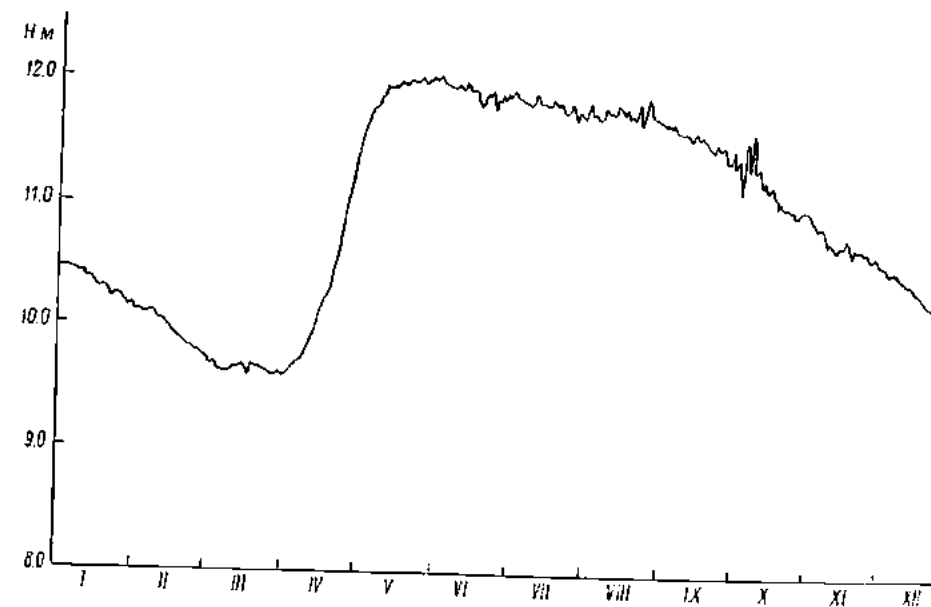


Рис. 4. Годовой ход уровня у Копрына за 1949 г.

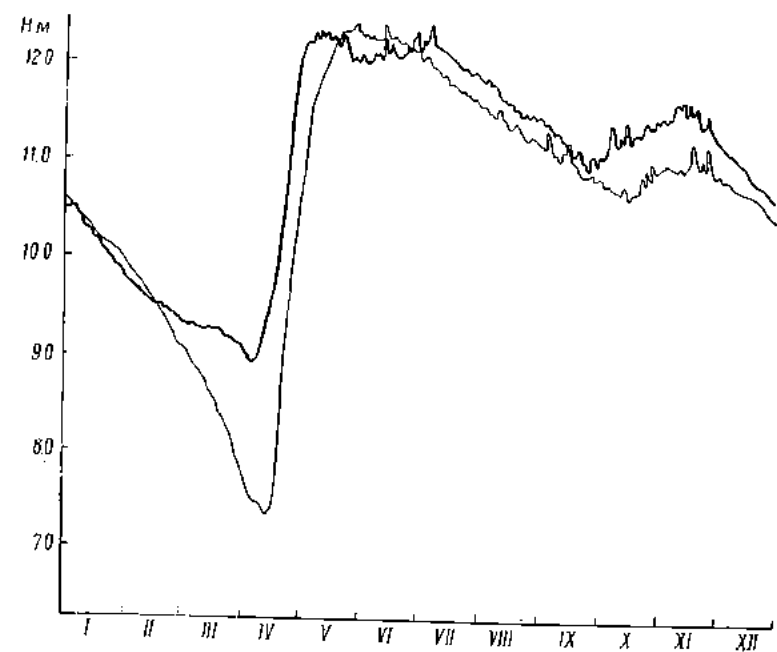


Рис. 5. Годовой ход уровня у Копрына за 1957 г. (1) и 1958 г. (2).

В отдельные годы общее понижение уровня в конце летне-осеннего периода сменялось повышением за счет увеличения приточности в период осенних дождевых паводков (рис. 5).

Второй тип. Уровень водохранилища к концу периода весеннего наполнения, как и при первом типе, достигает или несколько пре-

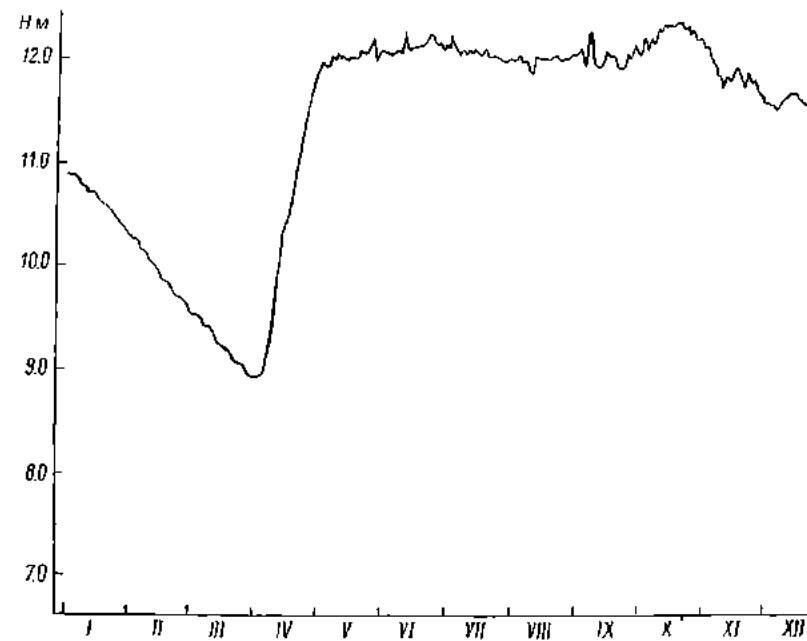


Рис. 6. Годовой ход уровня у Коприна за 1953 г.

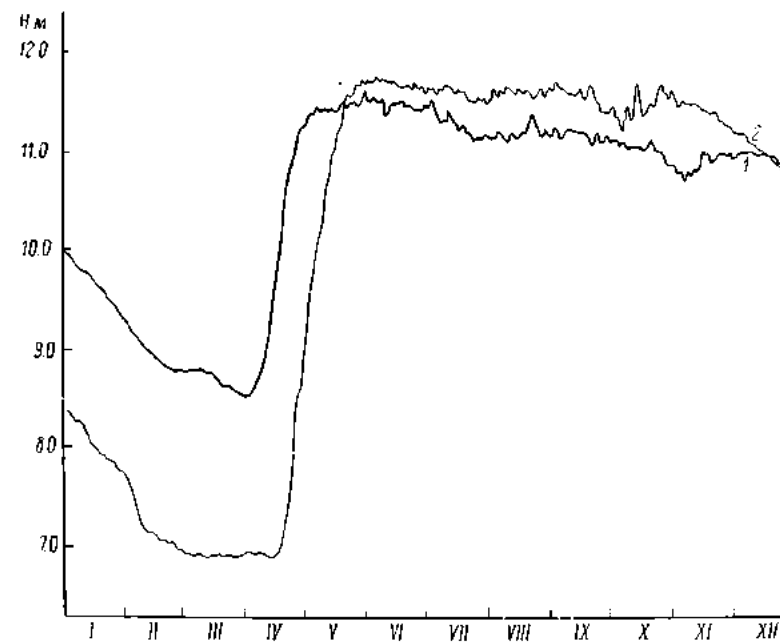


Рис. 7. Годовой ход уровня у Коприна за 1950 г. (1) и 1956 г. (2).

вышает отметку ННГ. Но в отличие от первого типа он в течение всего летне-осеннего периода поддерживается около максимальной отметки весеннего наполнения. В такие годы приток воды в водохранилище

в летне-осенний период обычно равняется расходу ее на навигационные попуски и испарение или даже несколько превышает его. Понижение уровня при таком типе колебаний начинается с началом зимней сработки водохранилища. Такого типа ход уровня наблюдался, например, в 1953 г. (рис. 6).

Третий тип. Уровень водохранилища к концу весеннего наполнения не достигает отметки НПГ и в течение летне-осеннего периода находится значительно ниже ее. Достигнув максимальной отметки наполнения

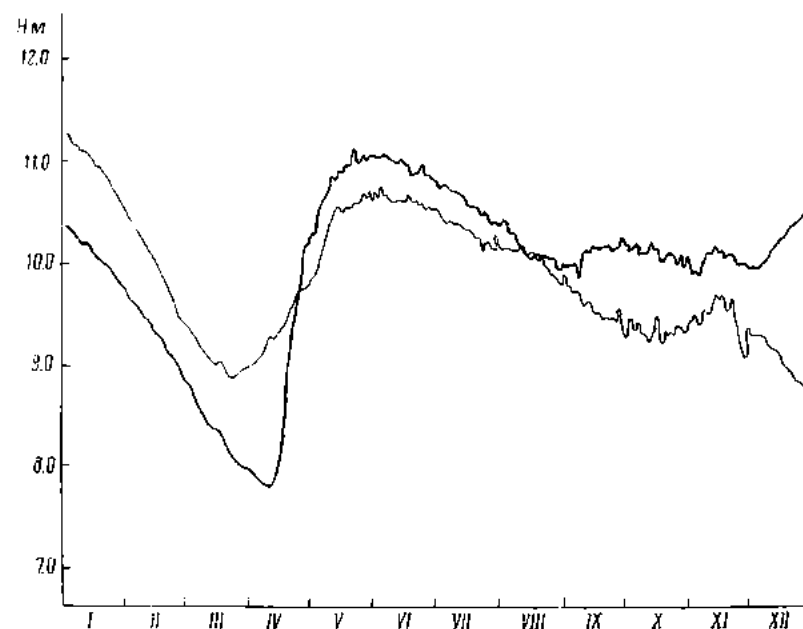


Рис. 8. Годовой ход уровня у Коприна за 1954 г. (1) и 1960 г. (2).

к началу лета, после непродолжительного стояния около нее уровень начинает постепенно понижаться, так как объем притока воды не восполняет ее расход. С началом зимней сработки водохранилища понижение уровня резко усиливается. Такой тип уровня режима наблюдался в 1948, 1950 и 1956 гг. (рис. 7).

Четвертый тип. Уровень водохранилища к концу весеннего наполнения не достигает отметки НПГ и в течение летне-осеннего периода находится ниже ее, но в результате интенсивных дождевых паводков к концу летне-осеннего периода приток воды в водохранилище значительно превышает расход ее и наблюдается второй подъем уровня, который в отдельные годы может достигать отметок, значительно превышающих отметку конца весеннего наполнения. Такой тип колебаний уровня наблюдался в 1952, 1954 и 1960 гг. (рис. 8).

Все рассмотренные типы колебаний уровня вполне укладываются в группы расчетных уровней для Рыбинского водохранилища, описанные Ф. И. Белых (1959), и подтверждают обоснованность его расчетов.

Сезонные колебания уровня

Впервые сезонные колебания уровня Рыбинского водохранилища описал Ф. И. Белых по материалам 1941—1947 гг. Но в эти годы условия эксплуатации водохранилища не были нормальными и уровень его был

значительно ниже НПГ. Учитывая это, мы решили рассмотреть сезонные колебания уровня в период нормальной эксплуатации водохранилища, обратив особое внимание на величину их амплитуд.

Особенности годового хода уровня водохранилища определяются метеорологическими условиями данного года и характером его сработки.

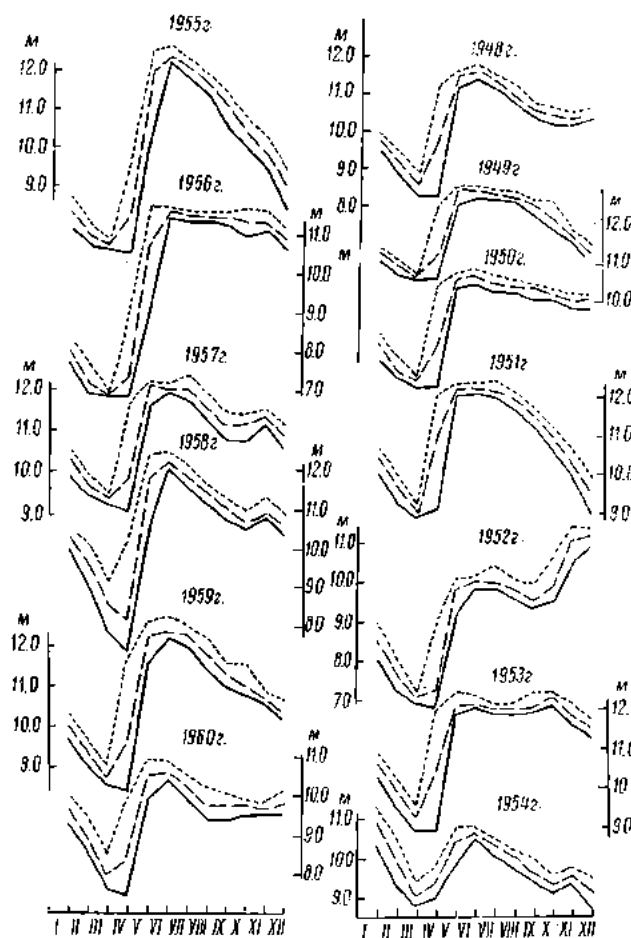


Рис. 9. Годовой ход уровня (1948—1960 гг.).

Это хорошо видно на рис. 9, где представлены кривые годового хода уровня за 1948—1960 гг. Кривые рис. 9 показывают, что ход уровня сильно изменяется по годам, причем меняется не только амплитуда, но и характер его колебания, хотя основные изменения при сезонных колебаниях уровня касаются амплитуды, а не фазы колебания. Для представления о величине сезонных колебаний уровня в различных пунктах водохранилища в табл. 4 представлены абсолютные годовые амплитуды его колебаний, вычисленные по максимальному и минимальному уровням года. Мы видим, что амплитуды сезонных колебаний уровня в отдельные годы достигают больших размеров, но существенного различия в абсолютной величине амплитуд между отдельными пунктами не наблюдается. Если не учитывать данные водомерного поста Углич, расположенного в нижнем бьефе Угличской ГЭС, то различие в амплитудах

Т а б л и ц а 4

Годовые амплитуды колебаний уровня Рыбинского водохранилища (в см)

Пункт наблюдений	1948 г.	1949 г.	1950 г.	1951 г.	1952 г.	1953 г.	1954 г.	1955 г.	1956 г.	1957 г.	1958 г.	1959 г.	1960 г.
Углич	563	284	372	513	537	402	278	813	638	442	—	570	489
Мышкино	343	257	336	392	489	384	267	548	515	361	534	454	367
Череповец	—	—	—	—	—	353	263	360	482	354	—	—	—
Маяка	337	253	308	349	460	356	260	558	475	347	490	427	335
Пешехолье-Воло- дарск	355	253	312	357	461	370	260	551	492	353	—	—	—
Мыс Рокловский	—	—	—	—	466	352	259	542	499	349	507	507	325
Волково	338	248	324	356	381	361	256	544	499	300	—	—	—
Коприно	348	248	315	352	470	353	259	539	490	352	510	441	347
Весьегонск	335	251	305	340	465	350	253	549	489	351	500	407	332
Брейтово	330	247	307	340	465	362	262	524	483	351	500	418	332
Переборы	352	253	316	345	467	353	258	545	488	404	500	430	344

Т а б л и ц а 5

Годовой ход уровня в Рыбинском водохранилище (в м, отклонения от НПГ)

Пункт наблюдений	Годы наблюдений	Месяцы												Годовая амплитуда
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Углич	1948—1957	—2.14	—2.76	—3.25	—2.09	—0.46	—0.40	—0.58	—0.83	—1.06	—1.25	—1.30	—1.54	2.85
Мышкино	1959—1960	—2.16	—2.84	—3.37	—2.52	—0.46	—0.32	—0.51	—0.78	—1.05	—1.21	—1.29	—1.55	3.05
Брейтово	1948—1960	—2.23	—2.97	—3.54	—2.91	—0.55	—0.35	—0.54	—0.81	—1.18	—1.28	—1.33	—1.65	3.19
Переборы	1948—1960	—2.22	—2.96	—3.51	—2.90	—0.39	—0.27	—0.37	—0.65	—0.93	—1.11	—1.18	—1.48	3.24
Пешехолье-Воло- дарск	1948—1957	—2.26	—2.92	—3.70	—2.80	—0.54	—0.33	—0.51	—0.75	—1.00	—1.17	—1.26	—1.62	3.37
Волково	1948—1957	—2.28	—3.00	—3.46	—2.84	—0.51	—0.32	—0.51	—0.75	—1.03	—1.19	—1.29	—1.65	3.14
Маяка	1948—1959	—2.21	—2.80	—3.51	—2.89	—0.55	—0.33	—0.52	—0.79	—1.06	—1.23	—1.29	—1.58	3.18
Коприно	1948—1960	—2.23	—2.95	—3.44	—2.87	—0.55	—0.36	—0.55	—0.82	—1.10	—1.27	—1.35	—1.66	3.08
Весьегонск	1948—1960	—2.23	—2.96	—3.51	—2.77	—0.45	—0.35	—0.55	—0.82	—1.12	—1.36	—1.33	—1.60	3.16

годового хода уровня между отдельными пунктами водохранилища в большинстве случаев колебалось от 10 до 52 см и лишь в 1952 и 1959 гг. оно увеличивалось соответственно до 108 и 100 см.

Максимальные амплитуды колебаний годового хода уровня наблюдались, как правило, на водомерных постах Углич и Мышкино. Так, за 1955 г. амплитуда изменений уровня по посту Углич составляла 8.13 м и превышала амплитуду других пунктов более чем на 2 м. Такое значительное увеличение амплитуд колебаний уровня на водомерных постах Углич и Мышкино по сравнению с другими пунктами водохранилища обусловлено тем, что эти пункты и особенно Углич в какое-то время выходят из зоны подпора Рыбинского водохранилища, и колебания уровня там в этот период определяются исключительно режимом работы Углической ГЭС. По ходу воды к центру водохранилища годовые амплитуды постепенно уменьшаются и в расширенной части водохранилища они значительно меньше, чем в нижнем бьефе Углической ГЭС.

Существенные различия в амплитудах колебаний годового хода уровня для ряда пунктов водохранилища наблюдаются и по годам. Так, в Угличе годовые различия этой величины достигали более 5 м. Характер и величина изменения амплитуды колебаний годового хода уровня в различных пунктах водохранилища за период наблюдений представлены на рис. 10, из которого видно, что как по акватории водохранилища, так и во времени годовая амплитуда колебания уровня была наименьшей в расширенной части водохранилища, а наибольшей — в нижнем бьефе Углической ГЭС и на водомерных постах, расположенных в устьях притоков.

Для того чтобы исключить влияние специфических особенностей отдельных лет на годовой ход уровня и выявить общие закономерности его сезонных изменений, мы предприняли попытку использовать осредненные уровни. При осреднении среднемесячных уровней за достаточный ряд лет частные отклонения уровня сглаживаются и годовая периодичность его хода становится более очевидной.

В табл. 5 приведены среднемесячные уровни и средняя амплитуда колебаний его годового хода для различных пунктов водохранилища за 1948—1960 гг., а на рис. 11 эти данные представлены графически. Кривые годового хода уровня для всех пунктов водохранилища показывают, что его колебания значительны. Даже полученная осреднением среднемесячных уровней годовая амплитуда колебалась от 2.85 до 3.37 м. Все кривые рис. 11 подобны между собой по фазе и незначительно отличаются по амплитуде. С начала календарного года уровень водохранилища понижается до марта, а затем быстро повышается и, достигнув в июне максимального значения, начинает снова понижаться. Для всех рассмотренных пунктов минимальный уровень приходится на март, а максимальный — на июль. Наиболее резкое понижение уровня водохранилища имеет место

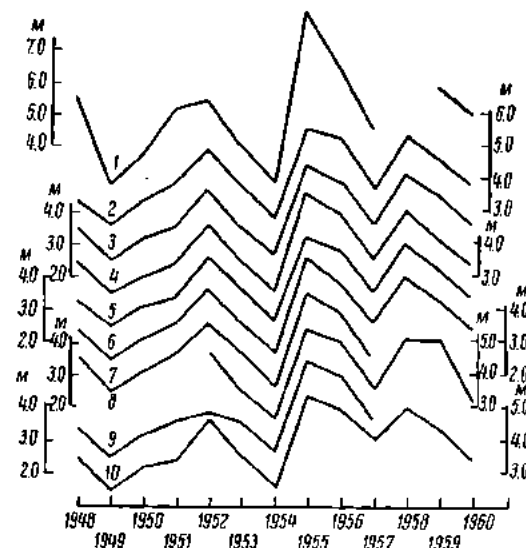


Рис. 10. Изменение амплитуды колебаний годового хода уровня в различных пунктах (1—10) водохранилища.

от января к февралю, когда в среднем уровень повышается на 73 см, а наиболее резкое повышение его происходит от апреля к маю, когда подъем уровня достигает в среднем 232 см.

Амплитуда годового колебания уровня, достигая по абсолютной величине больших значений (табл. 5), от пункта к пункту изменяется незначительно — от 2.85 до 3.37 м.

Следует, однако, заметить, что отклонение действительных сезонных изменений уровня от осредненных для некоторых пунктов в отдельные годы могут быть весьма существенными. Это хорошо видно при сопоставлении кривых рис. 12, где представлены фактические изменения уровня в Коприно с осредненной кривой для этого же пункта на рис. 11. Можно видеть, что колебания уровня в Коприно отличаются в отдельные годы от средней многолетней не только по величине амплитуды, но и по фазе колебания.

Но несмотря на особенности изменений уровня в отдельные годы, совершенно очевидно, что во всех пунктах Рыбинского водохранилища наблюдаются значительные годовые колебания уровня, подобные по фазе и мало отличающиеся по амплитуде. Годовые колебания уровня в одном из пунктов открытой части водохранилища характерны для всего водоема и дают полное представление

Рис. 11. Годовой ход уровня в различных пунктах водохранилища за 1948—1960 гг. (по определенным данным).

о характере сезонных изменений уровня в течение года для водохранилища в целом. Все это говорит о том, что причины, вызывающие годовые колебания уровня водохранилища, являются общими для всего водоема.

Таким образом, анализ материалов наблюдений над колебаниями уровня Рыбинского водохранилища показал, что его средний уровень в течение года испытывает вполне определенные изменения, вызываемые метеорологическими и гидрологическими условиями бассейна водохранилища. Главной причиной годовых изменений уровня водохранилища является сезонное колебание величины речного стока и искусственное его регулирование. Последнее обуславливает коренное отличие годового хода уровня водохранилища от такового естественных озер данной климатической зоны.

На рис. 13 по материалам Гидрометеослужбы представлены кривые годового хода уровня в озерах Белом, Селигере и Глубоком. При сопоставлении их с кривыми рис. 11 видно большое различие между ними. В озерах наблюдается не только меньшая, чем в водохранилище, амплитуда колебаний годового хода уровня, но и совершенно иной их характер. Если максимальный уровень в озере Белом приходится на июнь, а в Селигере и Глубоком — на май, т. е. в сроки, близкие к наблюдаемым на водохранилище, то минимальный уровень

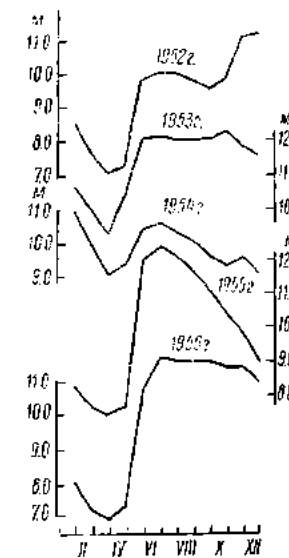


Рис. 12. Годовой ход уровня у Коприно за 1952—1956 гг.

в Белом озере приходится на январь, а в Глубоком — на февраль и только в Селигере совпадает с минимумом уровня в водохранилище и наблюдается в марте. Амплитуда колебаний годового хода уровня в этих озерах в несколько раз меньше, чем в водохранилище, и за период 1948—1957 г. в среднем составила в Белом озере 1 м, в Селигере — 0.58 м, а в Глубоком — 0.28 м.

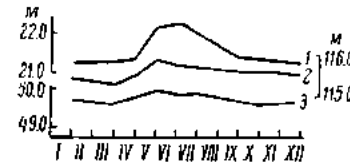


Рис. 13. Годовой ход уровня в озерах Белом (1), Селигере (2) и Глубоком (3) за 1948—1957 гг.

Многолетние колебания уровня

Для выяснения общих особенностей многолетних изменений уровня нами использованы среднегодовые значения его в различных пунктах водохранилища. В табл. 6 приводятся изменения среднегодовых уровней по годам. На рис. 14 даны кривые многолетнего хода среднегодового уровня в различных пунктах водохранилища. Из табл. 6 и рис. 14 видно, что изменения среднегодового уровня в этих пунктах значительно меньше, чем изменения среднемесячных в течение года. Это объясняется прежде всего тем, что воздействие различных метеорологических факторов на уровень водохранилища и хозяйственное использование его запасов воды в пределах года выравнивается. Если средняя многолетняя амплитуда колебаний сезонного хода уровня в некоторых пунктах водохранилища достигала 3.37 м, а в отдельные годы она превышала 5 м, то многолетняя амплитуда колебаний среднегодовых уровней в тех же пунктах равнялась 1.84 м. Многолетняя амплитуда в данном случае вычислялась как полусумма наибольшей положительной и отрицательной аномалий ряда.

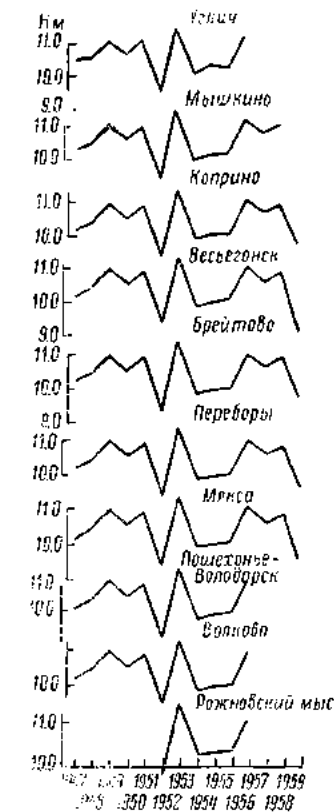


Рис. 14. Кривые многолетнего хода уровня в различных пунктах водохранилища.

Однако из табл. 6 видно, что изменчивость среднегодовых уровней по годам в Рыбинском водохранилище колеблется в широких пределах и в отдельных случаях достигает величины свыше 2 м. Естественно, что такие колебания уровня существенно влияют на все стороны жизни водоема и на его эксплуатацию. За рассматриваемый период наиболее резкое понижение уровня наблюдалось от 1951 к 1952 г. и от 1953 к 1954 г. В первом случае понижение уровня в отдельных пунктах колебалось от 1.47 до 1.61 м, а во втором — от 1.47 до 1.62 м. В среднем же уровень водохранилища в 1952 г. был ниже, чем в 1951, на 1.41 м, а в 1954 г. ниже, чем в 1953, на 1.51 м. В противоположность этим годам от 1952 г. к 1953 г. наблюдалось резкое повышение среднегодового уровня, в некоторых пунктах с 1.93 до 2.07 м.

При анализе изменений среднегодовых уровней по годам, особенно наглядно это видно на кривых рис. 14, в многолетнем ходе уровня замечается чередование лет высокого и низкого уровней. Годы наиболее высокого среднегодового уровня за рассматриваемый период —

Т а б л и ц а 6
Изменения средних уровней от года к году в различных пунктах водохранилища (в см)

Пункт наблюдений	1947— 1948	1948—1949	1949—1950	1950—1951	1951—1952	1952—1953	1953—1954	1954— 1955	1955—1956	1956—1957	1957—1958	1958—1959	1959—1960
Череповец	—	+60	—50	+38	—158	+207	—147	—91	+103	+98	—43	+22	—162
Макса	+27	+53	—48	+38	—157	+204	—148	+8	+6	+100	—	—	—
Попехонце-Воло- дарск	+27	+53	—48	+38	—157	+204	—148	+11	+4	+97	—	—	—103
Мыс Рокловский	—	+56	—49	+40	—147	+193	—151	+9	—	+100	—	—	—
Волково	+25	+57	—48	+39	—155	+203	—151	+11	+4	+95	—42	+28	—179
Весьеголек	+23	+58	—47	+39	—161	+207	—153	+10	+3	+97	—36	+27	—126
Врейтово	+19	+58	—49	+39	—157	+205	—154	+11	+3	+97	—35	+24	—123
Коприно	+22	+56	—49	+39	—160	+207	—150	+7	+6	+97	—38	+23	—123
Переборы	+22	+48	—40	+41	—155	+200	—151	+29	+9	+91	—	—	—124
Углич	+7	+56	—46	+40	—158	+206	—162	+6	+2	+97	—34	+17	—
Машкино	+15												

Примечание. При цифре знак «+» — повышение уровня; знак «—» — понижение уровня.

1949, 1951, 1953, 1957 и 1959, а наиболее низкого — 1950, 1952, 1954, 1955, 1956, 1958 и 1960. Следовательно, за исключением 1955 г., все нечетные годы имели высокий уровень, а все четные — низкий. Из приведенных данных трудно установить какую-либо закономерность многолетнего хода среднего уровня водохранилища, но определенная направленность его изменений заметна.

Кроме отмеченной особенности многолетних колебаний среднего уровня водохранилища, данные табл. 6 и рис. 14 показывают, что изменение среднего годового уровня во всех пунктах водохранилища ежегодно имеет одинаковый знак. Абсолютная величина повышения или понижения уровня для различных пунктов обычно бывает различна, так как на нее оказывает большое влияние местоположение пункта на водохранилище. Кривые многолетнего хода среднего годового уровня в различных пунктах водохранилища, приведенные на рис. 14, показывают, что многолетние колебания уровня очень сходны между собой не только по фазе, но и по величине их изменения. Следовательно, средний уровень Рыбинского водохранилища наряду с изменениями в течение года испытывает значительные колебания по годам, которые происходят по всему водоему синхронно, а величина их зависит от местоположения пункта наблюдений и главным образом от режима работы гидросооружений.

Таким образом, анализ уровня материалов за период с 1948 по 1960 гг. показал, что уровеньный режим Рыбинского водохранилища существенно отличается от такового естественных водоемов данной климатической зоны. Уровень водохранилища как за сутки, так и по годам не остается постоянным. На-

более значительные колебания его происходят в течение года, когда амплитуда колебаний уровня иногда превышала 5 м. Главной причиной, определяющей характер и величину колебаний уровня в Рыбинском водохранилище, является искусственное регулирование стока.

ЛИТЕРАТУРА

- Б е л ы х Ф. И. 1959. О методе расчета среднего уровня Рыбинского водохранилища. Сб. работ Рыбинской гидрометеосернатории, вып. 1, Л.
- И л ь и н а Л. К. и А. Г. П о д д у б н ы й. 1960. Режим уровней верхисволяских водохранилищ и его регулирование в интересах рыбного хозяйства. Тр. Всес. совещ. по биол. основам рыбн. хоз. на внутр. водоемах, М.
- К у с к о в Л. С. 1957. Гидрологические и водохозяйственные расчеты при эксплуатации водохранилищ. Изд. «Речной транспорт», М.
- Р у т к о в с к и й В. И. и Т. Н. К у р д и н а. 1959. Водный баланс Рыбинского водохранилища за период с 1947 по 1955 г. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 1 (4).
-

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВОГО КОМПЛЕКСА УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Основой для настоящего сообщения послужили материалы, собранные в 1958 г. на 115 грунтовых станциях. Гравелистый и песчанистый грунты отбирались дночерпателем Петерсена, при других отложениях пользовались трубкой Государственного океанологического института. Все пробы грунта консервировались высушиванием на воздухе. В выбранных образцах определялись максимальная молекулярная влагоемкость методом Лебедева, потеря в весе при прокаливании в муфельной печи и механический состав отмучиванием с разделением полученных частей на фракции при помощи пипеточной установки Государственного гидрологического института и фракциометра.

Сведения о гидрологическом режиме Угличского водохранилища приведены в работах Н. В. Буторина (1958) и Т. Н. Курдиной (1959). Здесь подробнее остановимся на тех элементах водного режима, которые имеют первостепенное значение при формировании и распределении грунтов. За период становления запроектированного режима до 1948 г. гидрологические характеристики не рассматриваются, так как в последующие годы грунты находятся под влиянием установившегося, согласно проекту, режима сбросов.

Полезный объем водохранилища в 7,8 раза меньше объема весеннего притока, поэтому нормальный подпорный горизонт (НПГ) наступает вскоре (до 10 дней) после начала наполнения и падает на обстановку с ледовыми явлениями. За ряд лет (1948—1957 гг.) амплитуда колебания уровня воды в период, свободный ото льда, по данным водомерного поста Углич, варьирует от 0,8 до 1,4 м за одну навигацию с колебанием около НПГ от +0,8 до -0,9 м за весь рассматриваемый период. Исключение составляет 1955 г., когда амплитуда колебаний уровня достигла 2,1 м, а минимум уровня был на 1,6 м ниже НПГ. Сравнительная стабильность уровня воды в навигационный период определяет незначительную переработку грунтов ранее сформировавшейся береговой отмели и мелководий водохранилища, что исключает большое поступление грунтообразующего материала из указанных источников. Этому обстоятельству способствует малая активность волнения из-за небольших разгонов волны.

Наиболее сильное волнение может развиваться на широким участке между р. Пикшей и Угличем, где имеют место самые большие разгоны. Однако и здесь они незначительны. Так, при ветрах северных и южных направлений разгон волны может достигать только 10 км, а при восточных и западных — всего 2 км. В табл. 1 для приведенных разгонов даны высота волн 15% обеспеченности и глубина их размывающего действия. Высоты волн найдены по номограммам А. П. Браславского с введением коэффициента для перехода к указанной обеспеченности, поскольку она принимается при расчете береговых переформирований (Кондратьев, 1960). Глубина размывающего действия волны, по Н. Е. Кондратьеву,

характеризует глубину, на которой волна еще способна формировать береговую отмель.

В табл. 1 с целью получения нужных величин при определении глубины на краю береговой отмели, формируемой водохранилищем, указаны данные для ветра различной силы. Ветер в 20 м/сек. является для района водохранилища исключительным и наблюдается не каждую навигацию. Поэтому для расчета примем наиболее часто повторяющиеся сильные ветры (10—15 м/сек.) при наибольшем разгоне волны. Этим данным соответствует глубина размывающего действия волны около 1 м. Таким образом, с учетом средней навигационной сработки, равной 0.7 м, отметка края береговой отмели должна находиться на 1.7 м ниже НПГ.

Площадь дна водохранилища с глубинами до 1.7 м равна 31%, из которой 20% находится под глубинами от 0 до 1 м. Поскольку большая часть мелководий расположена на участках, не доступных значительному волнению (заостровные пространства на участке Белый Городок—Калинин и заливы),

можно сказать, что площадь дна прибрежий, подверженная возможным переформированиям, значительно меньше указанной. Кроме того, на береговой отмели грунтообразующий материал получается в основном с абразионных участков, где грунт аккумулятивной части отмели уже пересортирован и поэтому беден частицами, способными перетлагаться. Следовательно, площади, продуцирующие грунтообразующий материал за счет размыва грунта волнами в Угличском водохранилище, незначительны. К этому необходимо добавить отсутствие или сравнительную бедность других внутренних источников, дающих материал для формирования грунтов (торфяные сплавины, макрофиты, затопленная растительность и др.). На этом основании можно утверждать, что автохтонный материал в образовании вторичных грунтов в Угличском водохранилище имеет малый удельный вес и уступает место аллювиальным наносам, поступающим в водохранилище. Распределение аллювиальных наносов по площади водоема осуществляется в основном стоковыми течениями, которые в водохранилище достигают значительных величин.

В половодье водохранилище имеет черты речного режима, которые особенно выражены на верхнем участке. Для грунтообразования наибольший интерес представляет период с максимальными стоковыми течениями, наблюдаемыми в водохранилище во время сброса излишка весенних паводковых вод через гидроузлы. Поскольку половодье для водосборов Иваньковского и Угличского водохранилищ практически наступает одновременно, оба гидроузла начинают весенние сбросы почти синхронно. Это позволяет найти средние скорости течения для интересующих нас створов, пользуясь отношением среднесуточного сброса к площади водного сечения с учетом изменения последней.

Рассмотрим динамику скоростей течения в весенний паводок по створам у Кимр и в 9 км выше Углича. Первый створ характеризует верхний русловый участок, а второй — нижний долинный участок водохранилища.

Рассмотрим динамику скоростей течения в весенний паводок по створам у Кимр и в 9 км выше Углича. Первый створ характеризует верхний русловый участок, а второй — нижний долинный участок водохранилища.

Таблица 1

Высота волны (h) и глубина размывающего действия волны (H) для условий Угличского водохранилища (участок р. Писка—Углич), в м

Разгон волны, км	Скорость ветра, м/сек.					
	5		10		20	
	h	H	h	H	h	H
2.0	0.2	0.2	0.4	0.4	0.8	1.0
10.0	0.3	0.3	0.6	0.7	1.3	2.0

Для вычисления скоростей у Кимр принимались сбросы Иваньковского, а у Углича — Угличского гидроузлов. На рис. 1 показаны среднесуточные скорости течения за годы с небольшим (1949 г.) и многоводным (1955 г.) половодьями. Кривая рисунка позволяет сделать следующие выводы:

1. Средние скорости течения у Кимр больше, чем у Углича.
2. Даже в год с небольшим половодьем на верхнем участке водохранилища могут быть скорости больше 0.24 м/сек., т. е. частицы грунта, соответствующие данной критической скорости, могут не только переноситься, но и отрываться от дна, образуя влекомые наносы (Шамов, 1954).
3. Число дней со скоростью больше 0.24 м/сек. в 1949 и 1955 гг. у Кимр было соответственно 14 и 31, а у Углича — нуль и 23, т. е. продолжительность действия размывающих скоростей от стокового течения на верхнем участке водохранилища значительно больше, чем на нижнем.

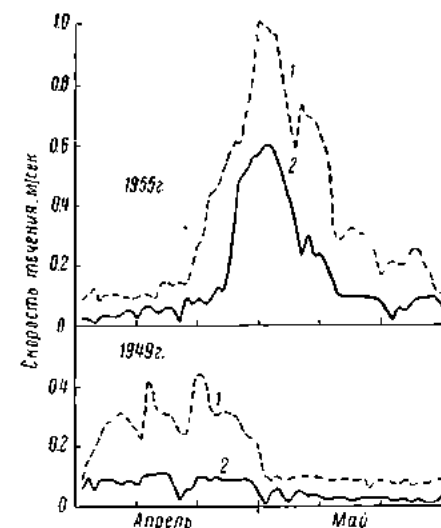


Рис. 1. Средние скорости течения у Кимр (1) и в 9 км выше Углича (2).

Для представления о распределении размывающих скоростей в течение года рассмотрим максимальные месячные скорости по тем же створам за период 1948—1957 гг. При вычислении максимальных месячных скоростей течения брались среднесуточные наибольшие сбросы и относились к площадям водного сечения, определенным по среднесуточным уровням дней этих сбросов. На рис. 2 показана амплитуда колебания максимальных месячных скоростей для верхнего (Кимры) и нижнего (Углич) участков водохранилища. Как видно из рисунка, у Кимр размывающие скорости (>0.24 м/сек.) могут наблюдаться ежемесячно, в то время как на нижнем участке только в период весеннего паводка,

да и то не каждый год. Положение средней кривой максимальных скоростей позволяет сказать, что основной размыв ложа водохранилища нижнего и особенно верхнего участков происходит в половодье. В этот период средние максимальные скорости у Кимр достигают 0.73 м/сек., у Углича — 0.33 м/сек., а наибольшие максимальные месячные скорости соответственно 1.12 и 0.60 м/сек.

В табл. 2 в зависимости от преобладающей глубины участка и скорости течения даны диаметры частиц наносов, которые начинают отрываться от дна при указанных в ней условиях.¹

Из данных таблицы следует:

1. На верхнем участке водохранилища (Кимры) в весенний паводок во влекомые наносы может входить даже крупный гравий. Поэтому все более мелкие частицы, в том числе песок, не могут аккумулироваться здесь и переносятся на средний и нижний участки.
2. На нижней части водохранилища смыв частиц грунта, до крупного песка включительно, может наблюдаться только в многоводную весну. При половодье средней водности сносу подвергаются частицы не крупнее пыли (0.1 мм).

¹ Расчет диаметров частиц сделан по формулам Г. И. Шамова (1954).

3. Аккумулятором наносов в Угличском водохранилище служит участок от р. Кашинки до ГЭС, так как, во-первых, продолжительность действия размывающих скоростей здесь значительно меньше, чем на верхнем участке, а в отдельные годы они не наблюдаются совсем (рис. 1 и 2), и, во-вторых, наибольшая из среднемесячных максимальных скоростей за характеризуемый период (0.3 м/сек.) близка к нижнему пределу скорости (0.24 м/сек.), способной отрывать частицы грунта от дна.

4. Поскольку из Иваньковского в Угличское водохранилище могут поступать частицы не больше крупного песка, да и то только в отдельные годы за кратковременные периоды (Курдин, 1961), на верхнем участке Угличского водохранилища, по всей вероятности, происходят процессы не аккумуляции наносов, а размыва ложа. Это подтверждается указанными в таблице размерами гравия, способного срываться со дна при наибольшей средней максимальной скорости (0.7 м/сек.) и вовлекаться в наносы.

5. До нижнего участка водохранилища могут доноситься частицы не больше 0.8 мм, поэтому часть продуктов абразии верхнего участка

не достигает нижнего и, следовательно, должна накапливаться на среднем — между пунктами Белый Городок и Калязин.

Все значительные боковые притоки, образующие окраинные плёсы, за исключением р. Пикши, впадают в водохранилище вне зоны аккумуляции наносов.

В этих плёсах мощность отложившегося ила мала (2—8 см), причем нижняя часть конуса выноса наносов за границей плёса у основного водоема отсутствует. Отмеченные обстоятельства позволяют предположить, что значительное количество

грунтообразующего материала минует плёс притока и поступает в главный плёс водохранилища, где концентрируется на нижнем его участке.

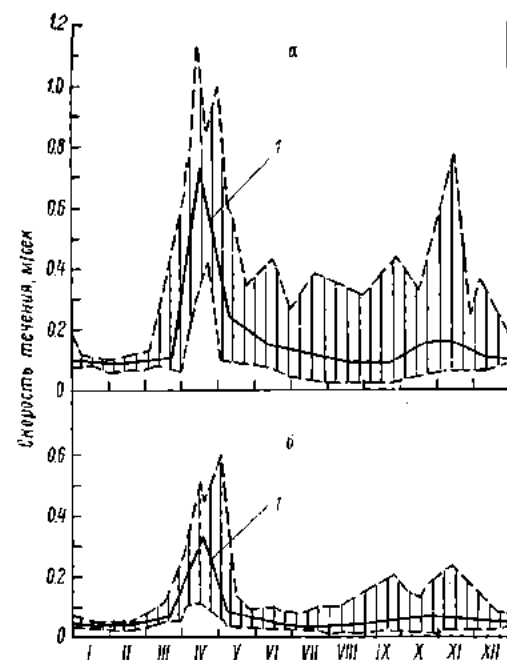


Рис. 2. Амплитуда колебания максимальных месячных скоростей течения за период с 1948 по 1957 гг.

а — створ у Кимр; б — створ в 9 км выше Углича; 1 — средняя максимальных скоростей.

Таблица 2

Наибольшие диаметры частичек наносов (в мм), приходящих в движение при приведенных скоростях и глубинах (h) для верхнего и нижнего участков Угличского водохранилища

Скорость течения, м/сек.	Местоположение створа			
	у Кимр		в 9 км выше Углича	
	$h = 5$ м	$h = 10$ м	$h = 10$ м	$h = 20$ м
1.1	7.0	5.0	—	—
0.7	1.8	1.3	—	—
0.6	—	—	0.8	0.6
0.3	—	—	0.1	<0.1

Примечание. Расчет для скоростей в 0.7 и 1.1 м/сек. не делается, так как они в створе у Углича не наблюдаются.

Таким образом, грунты аккумулярующей части Угличского водохранилища формируются в основном за счет аллювиальных наносов, поступающих из Ивановского, верхнего участка Угличского водохранилища и из боковых притоков. Большая часть наносов отлагается на нижнем участке. Описанные условия формирования грунтов подтверждаются рассматриваемой ниже схемой распределения грунтов (рис. 3), изменением их механического состава и мощностью вторичных отложений.

Картина распределения грунтов (рис. 3) определяется гидродинамической активностью водоема, в соответствии с которой верхний участок водохранилища занят хрящеватым и песчаным грунтом. На верхней части среднего участка от плёса р. Нерль ввиду большого количества островов и увеличения площади донного сечения появляются незаиленные или слабо заиленные почвы и серый пл.² От р. Кашинки серый

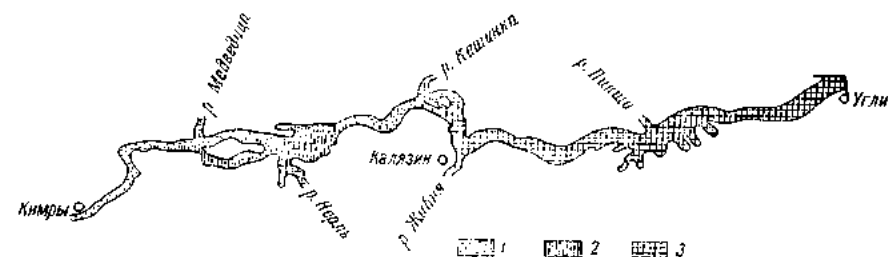


Рис. 3. Схема распределения грунтов Угличского водохранилища.

1 — песок; 2 — почвы; 3 — серый песчаный пл. и серый пл.

ил занимает русловую и пойменные части водохранилища, распространяясь далее на всю площадь нижнего участка. Распределение площадей, занятых основными типами грунтов, следующее: почвы занимают 19, хрящеватые и песчаные грунты — 17, серый песчаный пл. и серый ил — 64%.

Схема распределения грунтов и изменение их механического состава по длине водохранилища взаимно подтверждают друг друга. Из данных табл. 3 видно, что крупный песок в верхнем участке сменяется серым илом в приплотинной части водохранилища. При этом содержание песчаных частиц ($>0.5-0.1$ мм) убывает с 98.6 до 7.2%, а илистых (<0.01 мм) возрастает от 1.4 до 46.6%. Сумма пылеватых фракций (0.1—0.01 мм) достигает максимальных значений в конце верхнего участка (расширение у плёса р. Нерли). Четкую картину увеличения дисперсности частиц по мере приближения к Угличскому гидроузлу даст изменение диаметра медианы (Md), который уменьшается от 0.69 мм у Ивановской ГЭС до 0.01 мм в приплотинной части Угличского водохранилища. Гидродинамическая активность по длине водохранилища хорошо характеризуется коэффициентом сортировки (S_o). По мере удаления от Ивановского гидроузла грунты с высокой степенью сортировки ($S_o=1.26$) сменяются плохо сортированными ($S_o>3.0$), что указывает на аккумуляцию без последующей пересортировки частиц грунта в приплотинной части водохранилища. Об уменьшении гидродинамической активности в сторону Угличской ГЭС можно также судить по коэффициенту асимметрии (S_k),

² К слабо заиленным почвам условно относятся почвы с илистым наилом меньше 1 см. Наилот может быть временный, появившийся в результате особенностей гидрологического режима данного года или постоянный — на участках с незначительной годовой седиментацией.

который только у ГЭС принимает значение больше единицы, т. е. максимум содержания отдельных фракций лежит в стороне менее крупных частиц, чем медиана. Таким образом, нераспределение крупности частиц, слагающих грунты, тесно связано с изменением условий их формирования по длине водохранилища.

Мощность отложений серого ила от значений, близких к нулю в районе плёсов рр. Нерли и Кашинки, возрастает до нескольких десятков сантиметров на нижнем участке. Здесь, на бывшем русле Волги, она колеблется в пределах от 22 до 41 см, а на бывших поймах — от 7 до 11 см. Эти величины из расчета всего времени существования водоема дают среднегодовой прирост серого ила на русло 1.29—2.41 и поймах — 0.47—0.65 см. Скорость илоотложения нижнего участка Угличского водохранилища близка к скорости илоотложения Ивановского плёса Ивановского водохранилища; русло — 1.15—3.80, пойма — 0.50 см (Курдин, 1961). Приводимые величины годового прироста ила указывают на довольно большую аккумулирующую способность нижних частей верхних бьефов Ивановского и Угличского гидроузлов и позволяют сделать вывод о значительном уменьшении стока наносов в створе Угличского гидроузла. Подтверждением несаякания стока наносов служит меньшая дисперсность грунтов Ивановского водохранилища по срав-

Таблица 3
Механический состав (в % от сухого веса) и granulометрические коэффициенты грунтов Угличского водохранилища

Станция	местоположение	Грунт	Глубина при извлечении, м	Пределы фракций, мм							Суммы фракций			M _d , мм	S ₀	s _k
				2.0 < 0.075	0.075—0.05	0.05—0.025	0.025—0.01	0.01—0.005	0.005—0.0025	0.0025—0.00125	100.0 >	10.0 + 1.0	1.0 >			
65.	Нижне Ивановской ГЭС 4.5 км.	Крупный песок.	7.1	81.4	17.2	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы	—	98.6	1.4	0.69	1.26	0.95
83.	В 17 км ниже Гидр.	Крупный песок.	11.8	56.3	35.2	6.1	0.7	1.0	0.7*	—	—	97.6	0.7	0.58	1.76	0.79
95.	Нижне р. Нерли в 4 км.	Серый песчаный ил.	15.0	Следы	0.3	10.2	54.5	24.6	5.2	4.2	1.0	10.5	10.4	0.06	1.61	0.72
41.	Нижне р. Нерли в 7 км.	Серый песчаный ил.	2.8	Следы	2.0	16.5	42.8	24.5	9.5	2.2	2.5	18.5	14.2	0.06	1.82	0.66
4.	В 6 км выше Углича.	Серый ил.	22.8	Следы	0.5	4.5	22.7	39.8	19.0	5.0	8.5	5.0	32.5	0.03	2.64	0.57
3.	В 6.5 км выше Углича.	Серый ил.	7.9	0.7	4.1	6.5	22.5	25.8	21.5	12.2	6.7	11.3	48.3	0.02	3.42	0.67
1.	В 2 км выше Углича.	Серый ил.	22.1	Следы	4.0	3.2	14.7	31.5	19.8	20.8	6.0	7.2	46.2	0.01	3.94	1.17

* Сумма фракций < 0.01 мм.

нению с Угличским. Это очень хорошо видно из сопоставления медиан и суммы илистых фракций, приведенных в табл. 3 для грунтов нижнего участка Угличского водохранилища и для грунтов Иваньковского плёса Иваньковского водохранилища, для которых Md от 0.03 до 0.05 мм, сумма <0.01 мм от 24 до 31%.

Судя по потере при прокаливании органическое вещество в серых илах Угличского водохранилища содержится в меньшем количестве, чем в Иваньковском, — 4.3 против 12.9% на пойме и 10.9 против 13.3% на русле. Меньшее количество органики в грунтах Угличского водохранилища может быть объяснено минерализацией органического вещества по пути от Иваньковского гидроузла до места аккумуляции частиц в Угличском водохранилище и относительной бедностью последнего макрофитами. Так, по данным В. В. Экзерцевой (1961), продукция органического вещества Угличского водохранилища прибрежно-водной растительности составляет 15.4 г/м² или 3.1 мг/л, при общей площади, занятой макрофитами, 5.3% от площади зеркала водоема. В то же время для Иваньковского водохранилища та же продукция равна 75,8 г/м² и 22.2 мг/л при общей зарастаемости 16.7% (Экзерцев, 1958). Иными словами, продукция органического вещества прибрежно-водной растительности в Угличском водохранилище в 5 раз меньше, чем в Иваньковском при расчете на площадь их поверхности, и в 7 раз при расчете на их объем.

В заключение необходимо еще раз подчеркнуть, что условия формирования грунтового комплекса, определяемые в основном гидродинамической активностью разных частей водохранилищ, хорошо иллюстрируются свойствами грунтов и в первую очередь их гранулометрическим составом.

ЛИТЕРАТУРА

- Б у т о р и н Н. В. 1958. К вопросу о проточности Угличского и Иваньковского водохранилищ. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 3.
 К о п д р а т ь е в Н. Е. 1960. Расчеты береговых переформирований на водохранилищах. Гидрометеониздат, Л.
 К у р д и н В. П. 1961. Грунты Иваньковского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4(7).
 К у р д и н а Т. Н. 1959. Элементы гидрологического режима и водный баланс Угличского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2(5).
 Ш а м о в Г. И. 1954. Речные наносы. Гидрометеониздат, Л.
 Э к з е р ц е в В. А. 1958. Продукция прибрежно-водной растительности Иваньковского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 1.
 Э к з е р ц е в а В. В. 1961. Продукция прибрежно-водной растительности Угличского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 10.

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Химический состав воды водохранилища определяется химическим составом водных масс, поступающих всеми путями притока, последующими процессами метаморфизации этих вод в самом водохранилище и зависит от соотношения поверхностного и грунтового питания. Зимой по мере сработки уровня усиливается поступление межених речных вод, которые в возрастающей степени пополняются грунтовыми. Поэтому количество растворенных солей в речной воде заметно превышает их содержание в воде водохранилища. Весной после вскрытия вода водохранилища сохраняет зимнюю концентрацию солей еще долго после того, как реки наполнились паводковой водой. Поэтому весеннее содержание солей в водохранилище выше, чем в реках. Летом по мере поступления талых вод из рек содержание солей в водохранилище уменьшается, а в реках увеличивается. Осенью под влиянием дождей содержание солей в воде рек и предустьевых участков водохранилища обычно снижается.

Для Рыбинского водохранилища сезонные изменения минерализации воды изучались в 1946—1947 гг. П. П. Воронковым (1951б). Исследования Воронкова показали, что из главных притоков Рыбинского водохранилища наиболее резкие сезонные колебания солевого состава воды свойственны Шексне. Вследствие более северного положения ее бассейна вскрытие ото льда и половодье наступает позже и отличается растянутостью, а ледостав наступает раньше, чем в Волге и Мологе. Поэтому зимнее и весеннее содержание солей в Шексне выше, а летнее ниже, чем в Волге и Мологе. Кроме того, как отмечает А. П. Щербаков (1950), частичное регулирование стока системой шлюзов обуславливает в Шексне постепенное нарастание летней концентрации солей после паводочного минимума.

Последовательность сезонного изменения общего содержания компонентов в реках, питающих водохранилище, видны на рис. 1. График составлен по пересчитанным в эквивалентную форму данным А. П. Щербакова (1950) и П. П. Воронкова (1951б) за годы, предшествовавшие заполнению водохранилища до нормального подпорного горизонта (НПГ) между 1934—1947 гг. Для вычисления средних величин использовано 79 анализов проб, отобранных в разных точках, в том числе 50 А. П. Щербакова. Из-за сравнительно малого числа наблюдений кривые имеют ориентировочное значение. Тем не менее характерные сезонные отличия Шексны от Волги и Мологи отражены на графике достаточно отчетливо.

В соответствии с условиями формирования минерального состава в реках сезонные изменения химических свойств в водохранилище также определяются в основном соотношением поверхностного и грунтового питания, но с одним существенным отличием. Малая проточность, т. е. замедленный водообмен, значительно уменьшает скорость и пределы изменения концентрации растворенных солей в водохранилище по сравнению с питающими его реками. Поэтому в водохранилище складывается свой отличный от притоков гидрохимический режим, приближающийся

по типу к озерному (Воронков, 1951б), что видно также при сравнении рис. 1 и 4. Устанавливается также иное, чем в реках, соотношение ионов.

Преобладающие в воде Рыбинского водохранилища ионы гидрокарбонатов и кальция вымываются главным образом из верхних слоев четвертичных отложений. Значительно уступающие им в количественном отношении ионы сильных кислот (SO_4^{2-} , Cl^-), ионы щелочных металлов и отчасти магния связаны с водой глубинного происхождения. Во время весеннего половодья сколько-нибудь значительного обогащения воды ионами HCO_3^- не происходит, тогда как относительное содержание сильных кислот возрастает. Объясняется это тем, что быстро стекающая талая вода не успевает проникнуть глубоко в мерзлую почву и вследствие весьма малого содержания солей изменить соотношение ионов в грунтовых водах, поступление которых во время наводка не прекращается.

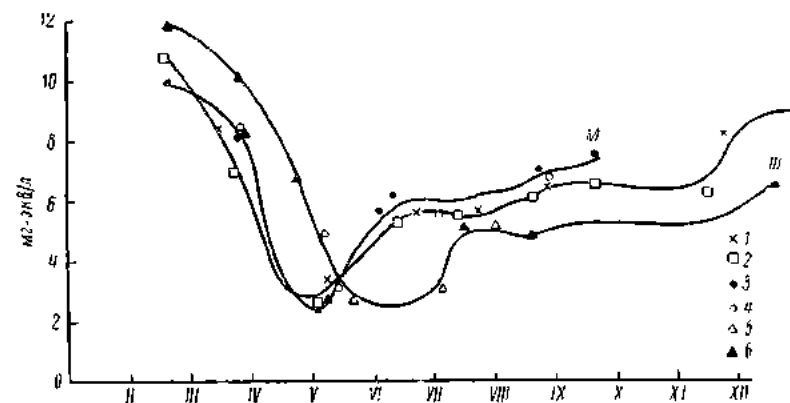


Рис. 1. Сезонные изменения общего содержания ионов в Волге (в), Мологе (м) и Шексне (ш).

1, 3, 5 — по Воронкову; 2, 4, 6 — по Щербакову.

В дальнейшем после спада половодья в речном стоке начинает преобладать вода, проникшая в нижние слои четвертичных и верхние слои карбоновых и пермских отложений, обогатившиеся там ионами CO_3^{2-} и Ca^{++} . В водохранилище вследствие накопления больших масс воды второй половины наводка относительное содержание HCO_3^- по сравнению с притоками увеличивается, а содержание сильных кислот уменьшается. Ближе к осени в процессе фотосинтеза фитопланктона используется углекислота бикарбонатов и содержание HCO_3^- уменьшается, а относительное содержание сильных кислот увеличивается. Наоборот, зимой вследствие прекращения фотосинтеза увеличивается процентное содержание HCO_3^- .

В районах водохранилища, соответствующих подпорным участкам нижнего течения рек (близ ст. Волга, г. Весьегонска, г. Череповца), солевой состав воды приближается к речному и отличается от Главного плёса более высоким содержанием минеральных ионов и иным их соотношением.

Вода Шекснинского района характеризуется пониженной щелочностью и повышенным содержанием сульфатов. А. П. Щербаков (1950) наблюдал высокое содержание иона SO_4^{2-} в 1939—1940 гг. до заполнения водохранилища также и в нижнем течении Шексны, близ г. Рыбинска.

Позднее изучением химизма воды Рыбинского водохранилища занимались Д. Д. Кудрявцев (1950а, 1950б), А. С. Киреева (1956), В. И. Рутковский и А. С. Киреева (1959), Н. И. Аппчикова (1959), Ф. И. Безлер

и Н. А. Трифонова (1960). Динамика водных масс всего водохранилища на основании изучения сезонных изменений цветности и прозрачности наиболее полно обработана М. А. Фортунатовым (1959). Изучение электропроводности воды было произведено Н. М. Казаровец (1960).

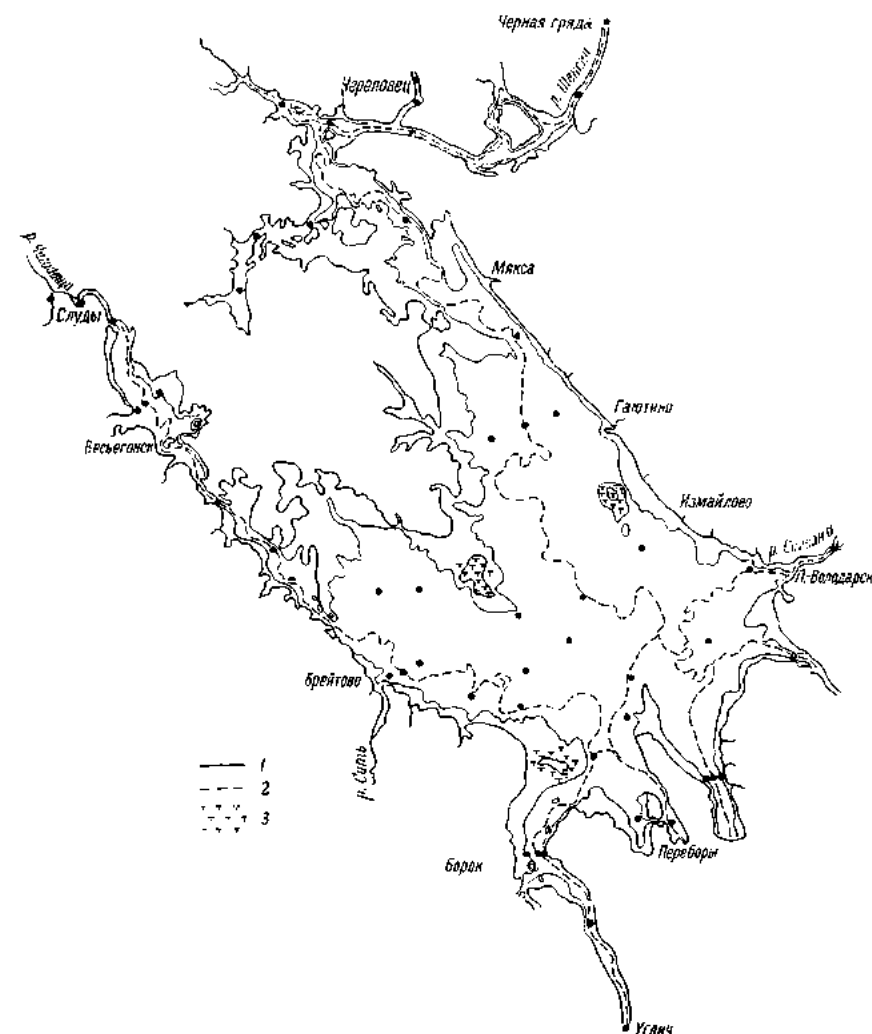


Рис. 2. Схема расположения станций по отбору проб воды в Рыбинском водохранилище в 1959 г.

1 — граница зимней сработки; 2 — затопленные русла; 3 — расплывшиеся торфяники.

Наряду с сезонными колебаниями солевого состава воды в водохранилище с течением времени происходят и возрастные изменения, обозначаемые как «процессы созревания водохранилища».

Задача наших исследований состояла в том, чтобы изучить сезонные изменения химического состава воды Рыбинского водохранилища в 1959 г. и определить качественные сдвиги в минеральном составе воды, произошедшие за 13—14 лет со времени его наполнения до проектной отметки.

Изучение изменений химических свойств воды Рыбинского водохранилища проводилось нами с февраля по октябрь 1959 г. Местоположение станции обозначено точками на схематической карте (рис. 2).

Основное внимание обращалось на следующие показатели.



Рис. 3. Сезонное распределение общего количества ионов в поверхностном слое воды Рыбинского водохранилища в 1959 г.
а — февраль; б — март; в — май.

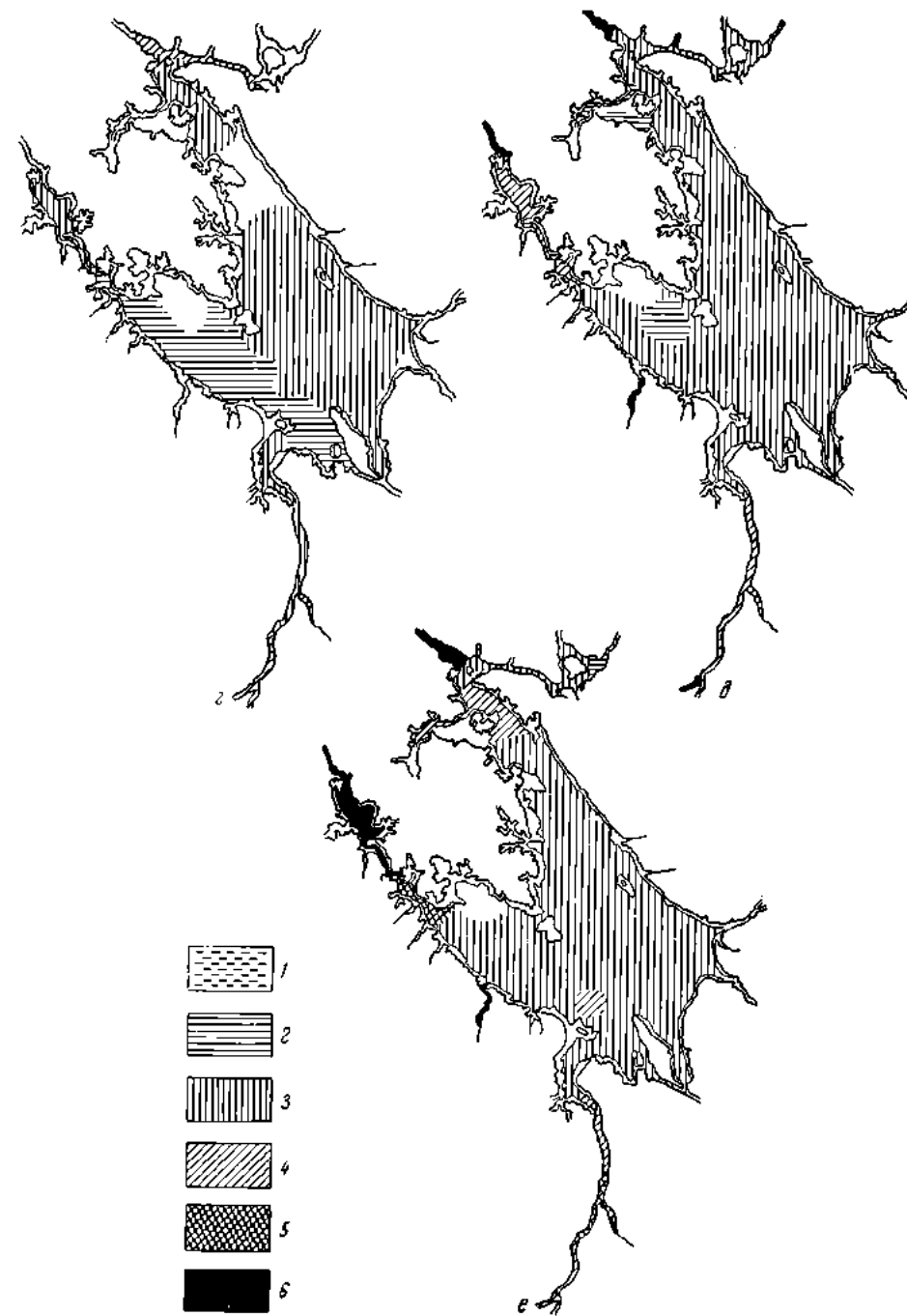


Рис. 3. (Продолжение).
 а — июнь; б — август; е — октябрь. 1 — < 2 мг-экв./л; 2 — 2—3; 3 — 3—4; 4 — 4—5; 5 — 5—6;
 6 — 6—7.

1. **Общее содержание ионов.** Определения производились ионо-обменным методом по М. И. Подгорному (1959), М. И. Подгорному и А. В. Фогтеву (1959). Получаемая этим способом величина несколько превышает аналитическую сумму ионов, так как в нее входят и ионы, связанные с органическими кислотами.

Результаты анализов выражены в мг-экв./л и могут служить показателем динамики водных масс.

2. **Сульфаты.** Определения производились весовым методом осаждения сульфатов в виде BaSO_4 из 300 мл уваренной воды по ГОСТ 4389-48. Результаты выражены в мг/л. Количественное распределение сульфатов дает, с одной стороны, указания на прохождение вод, заполняющих Главный плёс, а с другой — указания на возможность сульфатредукции с образованием сульфидов.

3. **Общая жесткость.** Определения производились трилонометрическим методом. Результаты выражены в мг-экв./л. Сумма ионов кальция и магния дает возможность получить представление о типе воды, поступающей в водохранилище.

4. **Свободная углекислота.** Определения производились объемным титриметрическим методом по расходу 0.02 норм. соды в присутствии фенолфталеина. По содержанию свободной углекислоты можно судить об интенсивности летних процессов фотосинтеза, а в зимнее время — об интенсивности процессов распада органического вещества в самом водохранилище и о значении грунтового стока в поступающих речных водах.

Содержание минеральных форм азота и фосфора определялось одновременно с другими ионами. Однако, поскольку эти величины представляют собой лишь средние показатели между интенсивностью процессов минерализации органического вещества в водоеме, поступлением биогенных элементов с водосборов и условиями их фитопланктоном, им придавалось меньшее значение.

Динамика общей концентрации ионов в воде представлена на рис. 3.

В результате проделанных анализов можно видеть, что в зимнее время вода с повышенным содержанием солей поступает в водохранилище по основным речным артериям. Центральная часть Главного плёса (рис. 3, а) сохраняет еще в феврале осеннюю концентрацию ионов, составляющую около 3.5 мг-экв./л. В марте (рис. 3, б) сумма ионов увеличивается, достигая в главном плёсе 4—5 мг-экв./л.

В мае (рис. 3, в) в период паводка и пополнения водохранилища содержание ионов в западной, Моложской, части резко падает до 2.5 мг-экв./л, а в восточной, Шекнинской, части Главного плёса — до 3.5 мг-экв./л. Центральная часть еще содержит зимнюю воду с общим содержанием ионов около 4—4.5 мг-экв./л.

В июне (рис. 3, г) происходит дальнейшее поступление весенних вод и перемешивание, благодаря чему зимний максимум содержания ионов в центральной части исчезает. Общее содержание ионов достигает в Главном плёсе водохранилища минимальной величины — около 3 мг-экв./л.

С августа по октябрь (рис. 3, д, е) содержание ионов в воде Главного плёса постепенно выравнивается и соответствует приблизительно 3.5 мг-экв./л.

На рис. 4 видно, что различия сезонной динамики Шексны и Мологи (рис. 1) определяют различия общего содержания солей соответствующих речных и открытых участков Главного плёса. Следует, однако, иметь в виду, что октябрьские пробы отбирались непосредственно после интенсивного ветрового перемешивания воды Главного плёса (15—19 октября), которое нарушило различия солевого состава разных его участков. Более поздние анализы Рыбинской гидрометеорологической обсерватории в конце октября показали, что в условиях сравнительно безветренной погоды различия между западной и восточной частью Главного плёса восстанавливаются и, как видно из декабрьских анализов, удерживаются до конца года, хотя выражены не столь резко, как в первой половине открытого периода (табл. 1).

По данным А. П. Щербачева (1950) и П. П. Воронкова (1951б), основным источником поступления сульфатов в Рыбинское водохранилище следует считать Шексну в противоположность Мологе и Волге, где они содержатся в меньшем количестве. В 1959 г. наиболее высокие концент-

рации $\text{SO}_4^{''}$ наблюдалась на участке между селами Кабачиным и Мяксой.

Особенно сильное обогащение сульфатами происходит зимой (рис. 5), когда их содержание в удаленном участке подпора Шекснинского района обычно превышает 40 мг/л. Во время паводка содержание сульфатов в восточной части Главного плёса сохраняется на уровне, близком к зимнему, — 15–20 мг/л $\text{SO}_4^{''}$. В августе (рис. 5, б) среднее содержание сульфатов в западном и юго-западном районах возрастает, а в восточном несколько снижается, благодаря чему их содержание в Главном плёсе

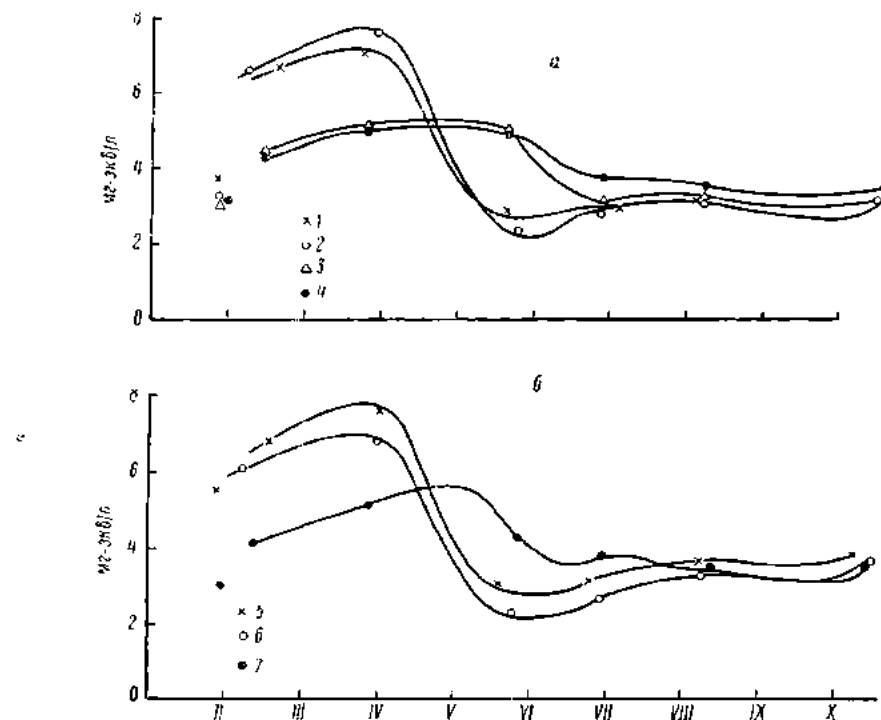


Рис. 4. Сезонные изменения общего количества ионов в Центральном (а) и пограничных речных участках (б) Рыбинского водохранилища.

1 — г. Молога; 2 — Брейтovo; 3 — Наволок; 4 — Городок; 5 — Конрино; 6 — Черемейевские острова; 7 — бывший плёс Игорбы.

выравнивается и соответствует 10–12 мг/л. В октябре среднее содержание сульфатов достигает 10–15 мг/л $\text{SO}_4^{''}$.

Как видно на рис. 6, наибольшие количества ионов щелочно-земельных металлов — кальция и магния — поступают в водохранилище с водой Мологи и Волги в основном в виде гидрокарбонатов. Особенно высокое содержание этих солей было зимой (рис. 6, а) в западной и юго-западной частях Главного плёса вдоль затопленных русел Мологи и Волги; здесь оно достигало 2.5–3.8 мг-экв./л. В центральной и восточной части Главного плёса содержание щелочноземельных равнялось 1.8–2.0 мг-экв./л.

В мае (рис. 6, а) содержание $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ в западной части Главного плёса снизилось до 1.0–1.5, а в восточной части лишь незначительно — до 1.5–2.0 мг-экв./л, что в пересчете соответствует 20–30 в западной и 30–40 мг/л Ca^{++} в восточной части.

Эти отношения сохранились в течение лета (рис. 6, а, б) более или менее постоянными, а осенью, в октябре (рис. 6, в), содержание кальция и магния в Главном плёсе выравнивалось и снизилось до 1.2–1.5 мг-экв./л.

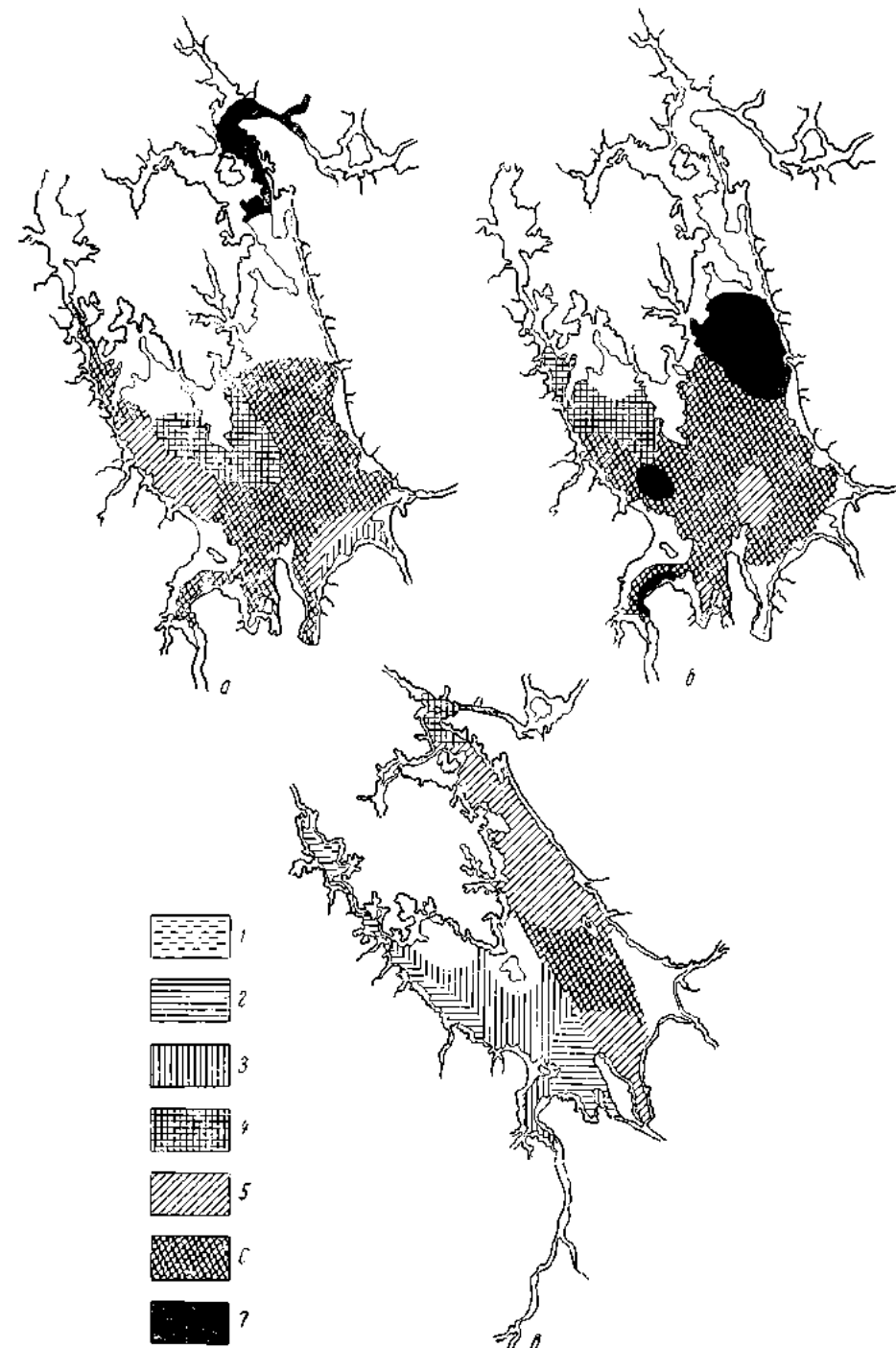


Рис. 5. Сезонное распределение содержания сульфатнона в поверхностном слое воды Рыбинского водохранилища в 1959 г.
 а — февраль; б — март; в — май.

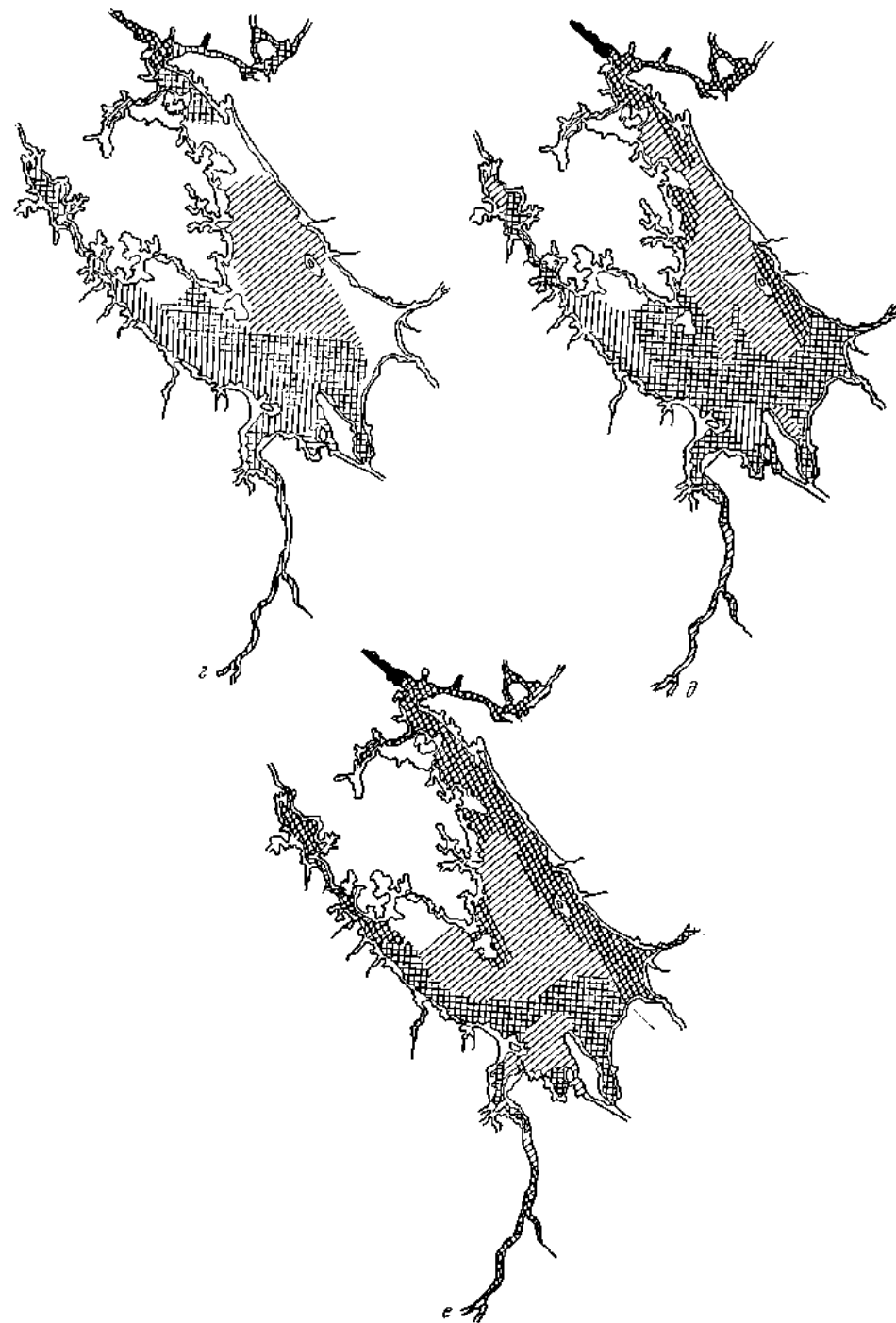


Рис. 5. (Продолжение).
 а — июнь; б — август; в — октябрь. 1 — 0—4 мп/л; 2 — 4—8; 3 — 8—11; 4 — 11—14; 5 — 14—17; 6 — 17—27; 7 — 27—80.

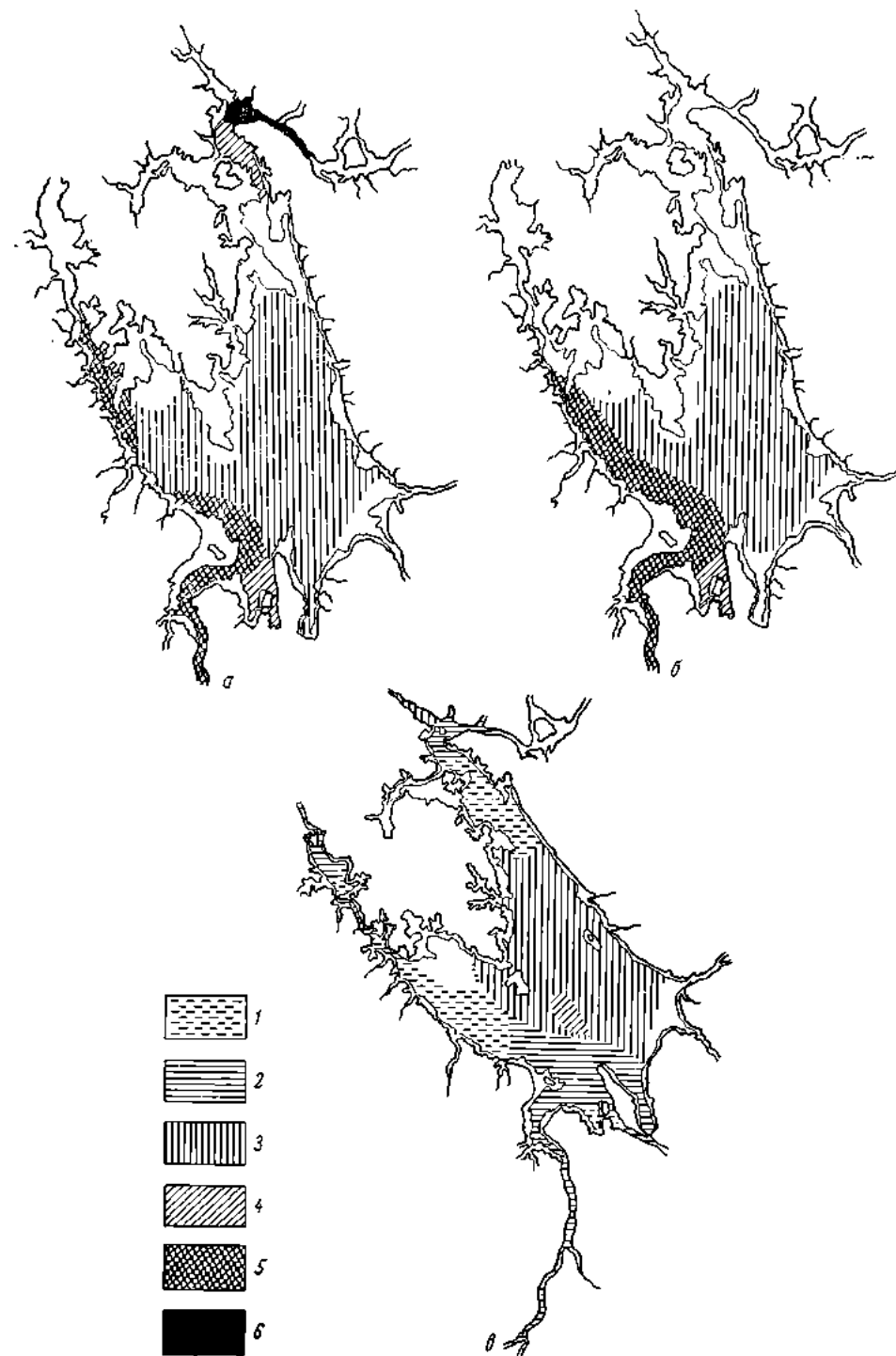


Рис. 6. Сезонное распределение общей жесткости в Рыбинском водохранилище в 1959 г.
а — февраль; б — март; в — май.

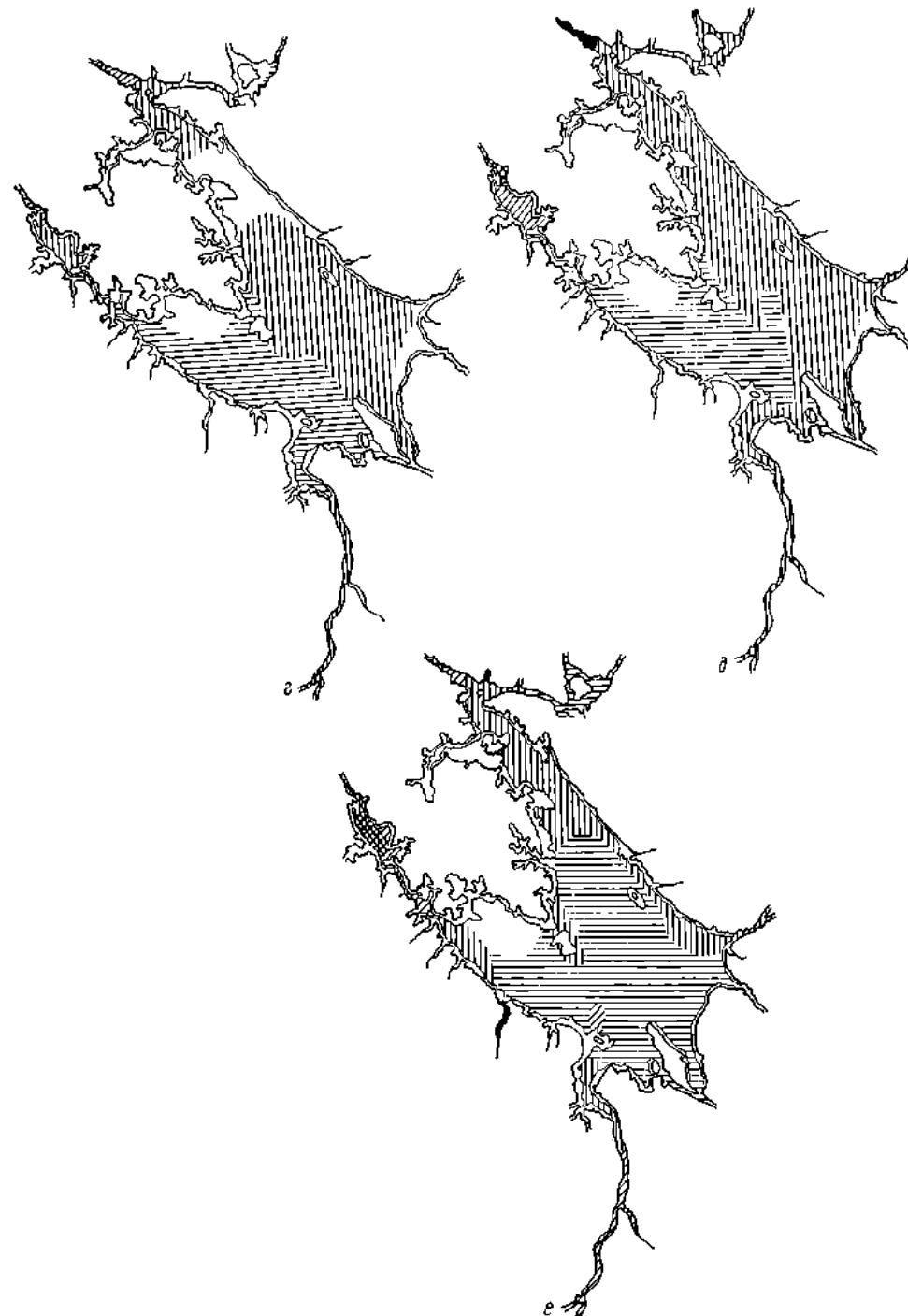


Рис. 6. (Продолжение).
 з — июль; д — август; е — октябрь. 1 — до 1.1 мг-акт./л; 2 — 1.2—1.5; 3 — 1.6—2.1; 4 — 2.2—2.7; 5 — 2.8—3.2; 6 — >3.2.

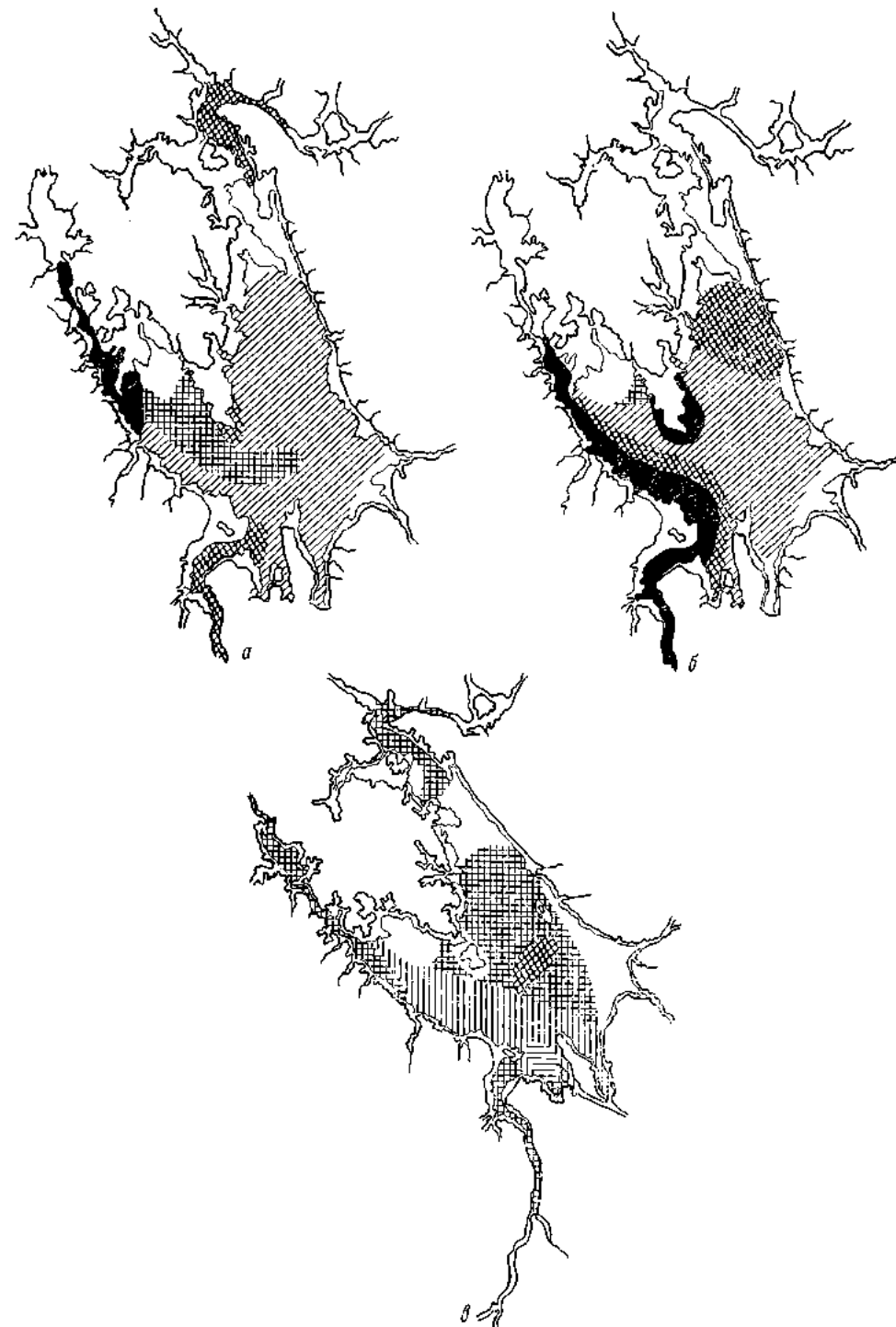


Рис. 7. Сезонное распределение содержания свободной углекислоты в воде Рыбинского водохранилища в 1959 г.
а — февраль; б — март; в — май.

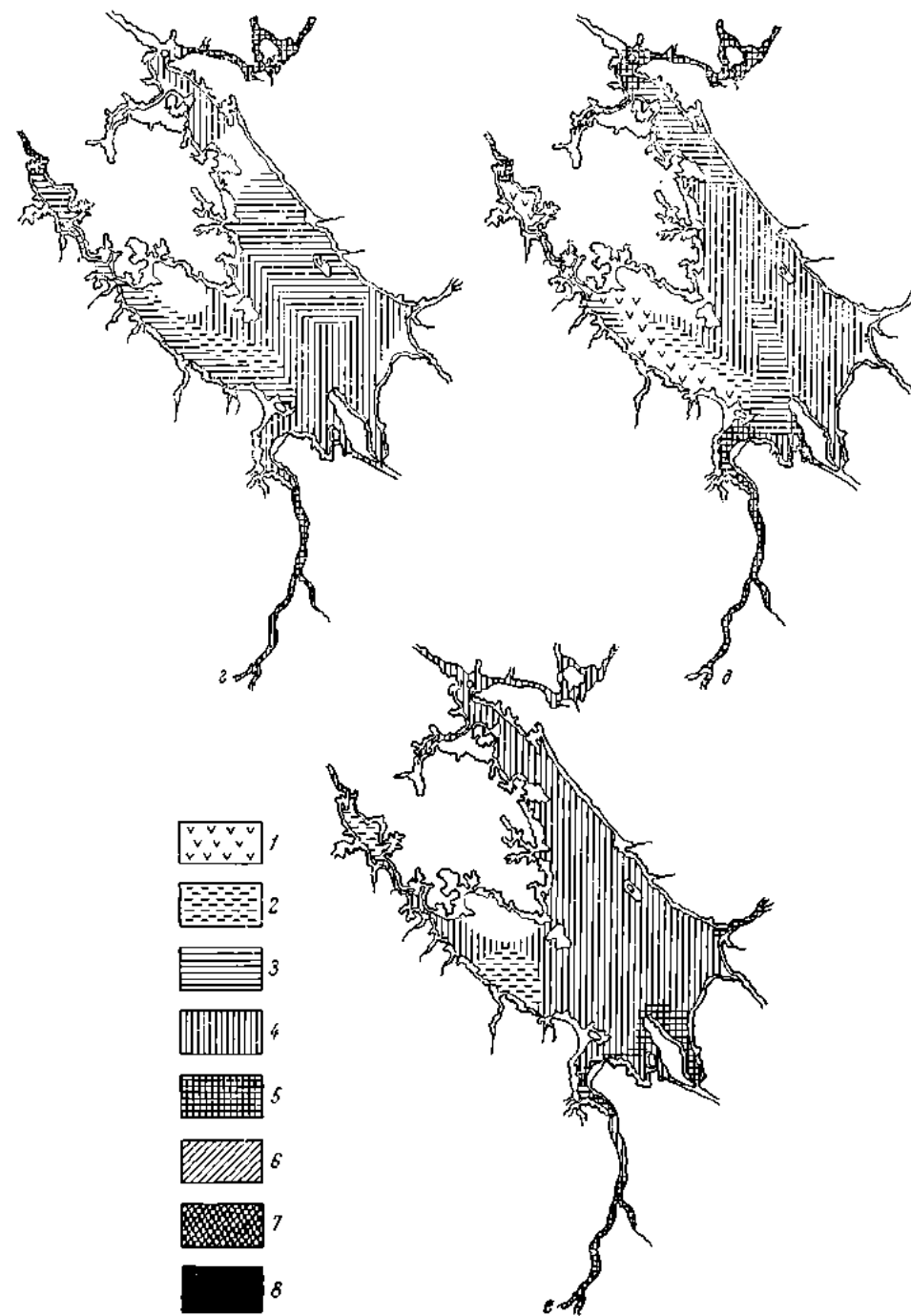


Рис. 7. (Продолжение).

а — июнь; б — август; в — октябрь. 1 — <0 (мг/л); 2 — 0—1; 3 — 1—3; 4 — 3—6; 5 — 6—10; 6 — 10—20; 7 — 20—35; 8 — 35—55.

Т а б л и ц а 1
Различия некоторых показателей анионного состава по поперечному разрезу Дрейтowo—Измайлово с июня по декабрь 1959 г.

Дата	Горизонт	Затопленное русло Мологи (район Дрейтowo)				ПОМ (район великих торфа- нников)				Затопленное русло Шексны (район Измайлово)			
		HCO_3' , мг/л	SO_4'' , мг/л	Σ ионов, мг/л	Σ ионов, HCO_3'	HCO_3' , мг/л	SO_4'' , мг/л	Σ ионов, мг/л	Σ ионов, HCO_3'	HCO_3' , мг/л	SO_4'' , мг/л	Σ ионов, мг/л	Σ ионов, HCO_3'
30 VI	{ Поверхность Дно	65.9 69.5	7.4 7.8	96.5 103.2	1.464 1.486	68.9 67.7	13.6 14.4	107.9 107.8	1.566 1.592	82.4 79.9	49.7 20.2	133.7 130.7	1.622 1.636
30 VII	{ Поверхность Дно	81.7 78.1	14.4 10.5	125.9 115.9	1.541 1.484	81.1	12.7	122.1	1.506	79.9 82.4	15.4 17.7	125.3 131.8	1.567 1.599
15, 19 X	{ Поверхность Дно	75.9	13.4	177.6	1.549	81.0	16.9	130.0	1.610	78.9	16.8	126.9	1.608
30 X	{ Поверхность Дно	83.0	14.4	128.7	1.551	73.5	13.2	114.3	1.555	75.0 75.0	15.4 22.2	120.3 129.6	1.604 1.728
26, 27 XII	{ Поверхность Дно	87.8 89.1	16.7 15.8	137.3 137.9	1.565 1.548	86.0 84.2	11.9 17.7	118.1 134.5	1.373 1.597	83.0 97.0	19.1 18.9	134.9 153.8	1.625 1.586

Примечание. Расчеты за 30 VI, 31 VIII, 30 X, 26—27 XII произведены по данным Рыбинской гидрометеорологической станции. Коэффициент Σ ионов HCO_3' пред-
ставляет собой отношение между общим содержанием ионов и содержанием гидрокарбонатных ионов (в мг/л).

Как упоминалось, повышенное содержание свободной углекислоты в зимний период может характеризовать районы, где сильно сказывалось влияние грунтового питания Мологи и наиболее энергично шел распад органического вещества. Такими районами в Главном плёсе оказались западный и юго-западный. Слабые процессы распада органического вещества происходили в восточном районе (рис. 7, а).

В мае после вскрытия водохранилища, когда еще не было значительного фотосинтеза фитопланктона, происходило сильное выветривание свободной углекислоты (рис. 7, в), так что общее количество CO_2 уменьшилось в Главном плёсе приблизительно до 10 мг/л.

Летом наименьшее содержание свободной углекислоты было в Моложском районе и западной части Главного плёса (рис. 7, г, д). Лишь в октябре здесь появилась свободная углекислота в незначительной концентрации — до 1 мг/л CO_2 (рис. 7, е). Исчезновение свободной углекислоты в августе соответствовало появлению монокарбонатного иона (CO_3''), что на рисунке условно обозначено как отрицательное содержание $\text{CO}_2 < 0$.

Оценка изменений минерального состава воды, произошедших со времени наполнения Рыбинского водохранилища, представляет значительную сложность. По П. П. Воронкову (1953), в качестве главных факторов, обуславливающих колебания химических свойств воды

искусственных водоемов, можно назвать следующее: состав и величина общего содержания ионов в воде, остающейся в водоеме от предыдущих лет; состав и величина общего содержания ионов весенних и дождевых наводковых вод; состав и величина общего содержания ионов грунтовых вод, поступающих в меженьный период; испарение с водной поверхности; инфильтрация и режим водопользования; изменения в соотношении объемов воды упомянутых видов в разные времена года.

Для самого общего решения вопроса, очевидно, достаточно сравнить между собой показатель химического состава воды в 1959 и 1946—1947 гг. — годом наполнения водохранилища первой очереди.

Для такого сопоставления целесообразно воспользоваться предложенными П. П. Воронковым коэффициентами пропорциональности между общим содержанием ионов и содержанием преобладающего в воде водохранилища гидрокарбонатного иона:

$$\frac{\sum \text{ионов}}{\text{HCO}_3'} \text{ мг/л.}$$

Как показал П. П. Воронков, величина коэффициента изменяется в связи с сезонными колебаниями химического состава воды водохранилища в пределах, характерных для данного гидрологического года, от одного весеннего наполнения до другого. Величина коэффициента в различные годы будет варьировать в зависимости от изменения соотношения величины притока и стока и других упомянутых выше факторов. Связь между суммой ионов и HCO_3' выражается уравнением карбонатности, которое имеет для воды Рыбинского водохранилища следующий вид:

$$\sum \text{ионов} = \text{HCO}_3' \cdot 1.41 + 5.5 \text{ мг/л.}$$

Величина 1.41 представляет собой коэффициент пропорциональности для воды центральной части Рыбинского водохранилища, отобранной 27 июля 1946 г. на разрезе г. Молога—с. Измайлово. Свободный член уравнения, выраженный в соизмеримой величине, в данном случае 5.5, характеризует ту часть ионного состава, которая образуется за счет ионов SO_4' и Cl' в среднем за год.

По уравнению карбонатности может быть приближенно вычислена сумма ионов.

Осредненные коэффициенты пропорциональности, рассчитанные по уравнению фактическое и общее содержание ионов в 1946—1947 гг. приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты пропорциональности, расчетное и фактическое содержание ионов в Главном плесе в 1946—1947 гг. (по П. П. Воронкову)

Пункт	Сезон	Дата	HCO_3' , мг/л	SO_4'' , мг/л	$\frac{\sum \text{ионов}}{\text{HCO}_3'}$	$\sum \text{ионов}$, мг/л		Отклонение	
						рас- сч. таблица	по ана- лизу	абсо- лютов	в %
Центральная часть	Лето	27 VII 1946	79.9	6.4	1.412	118.2	112.8	5.4	4.75
	Осень	21, 23 IX, 1947	69.7	11.45	1.563	103.7	108.8	-5.2	4.74
Верхний бьеф	Осень	25 IX 1947	72.0	11.2	1.538	107.2	110.7	-3.5	3.16
	Зима	6 I 1947	89.1	10.4	1.471	131.1	131.0	0.1	0.10
	Зима	2 IV 1947	139.7	14.55	1.4485	202.4	202.0	0.4	0.21
Центральная часть . . .	Зима	26 I 1947	124.5	9.6	1.414	181.0	175.9	5.1	2.92

Как видно из таблицы, сумма ионов, рассчитанная по уравнению, отклонялась в 1946—1947 гг. от фактической в пределах 5%.

Для вычисления коэффициентов пропорциональности 1959 г. были использованы анализы в 3 районах Главного плёса: 1) пункт открытого моря (ПОМ) (глубина 4—6 м) и примыкающий к нему район Наволок (глубина 6—9 м); 2) район мыса Рожновского (глубина 3.5—7 м) и залива у Перебор (глубина 17—20 м); 3) район с. Лаврентьева (зимой на глубине 16 м) и с. Волково (весной, летом и осенью на глубинах 22—25 м) в верхнем бьефе Рыбинской плотины.

Пробы, отобранные в перечисленных районах, характеризуют химический состав воды различных участков Главного плёса: в районе мыса Рожновского и Перебор — с преобладанием воды Волжского участка, в районе ПОМ и Наволок — с преобладанием воды Шекснинского и Моложского участков или одного из них, в Верхнем бьефе — более или менее постоянная смесь воды из различных участков.

Результаты вычисления приведены в табл. 3.

Таблица 3

Аналитические показатели, использованные для вычисления среднего коэффициента пропорциональности на 1959 г.

Район	Горизонт	Дата	HCO ₃ мг/л	Σ ионов, мг/л	γ ионов HCO ₃	Средние за сезон	
						HCO ₃ ['] , мг/л	ионов HCO ₃ [']
Мыс Рожновский	Поверхность— дно	31 I	124.4	190.2	1.529	123.7	1.514
ПОМ	То же	9 II	109.8	163.0	1.485		
Перебор	»	25 III	138.1	211.4	1.531		
Наволоки	»	29 III	121.7	184.1	1.513		
Верхний бьеф	Поверхность	28 VI	91.5	136.4	1.491	86.8	1.485
Мыс Рожновский	»	31 VIII	89.1	132.3	1.485		
ПОМ	»	30 VIII	79.9	118.1	1.478		
Мыс Рожновский	Поверхность— дно	10 IX	78.1	117.2	1.501	77.2	1.555
»	»	30 IX	81.4	125.1	1.537		
Верхний бьеф	Поверхность	9 X	75.1	118.4	1.576		
Мыс Рожновский	Поверхность— дно	31 X	77.8	124.8	1.604		
ПОМ	То же	30 X	73.5	114.3	1.555		
Среднее за год						95.9	1.518

По разности между средним коэффициентом пропорциональности за 1959 г. и летним коэффициентом 1946 г. может быть определена величина свободного члена уравнения карбонатности на 1959 г.

$$\frac{\Sigma \text{ионов}}{\text{HCO}_3'} = (1.518 - 1.412) \cdot 95.9 = 10.2.$$

Расчет приближенной суммы ионов в 1959 г. можно произвести по уравнению

$$\Sigma \text{ионов (мг/л)} = \text{HCO}_3' \cdot 1.41 + 10.2.$$

Сравнительно немногие результаты, отклоняющиеся больше, чем на 5%, преимущественно по придонным пробам с русловых станций, приведены в табл. 5.

Причины значительных отклонений коэффициентов пропорциональности в разных случаях различны.

Так, отклонения с отрицательным знаком в анализах воды затопленного русла Шексны (район Измайлова) зависят от повышенного содержания сульфатов.

В другом случае, как в придонном слое затопленного русла Мологи в районе Брейтово, зимнее отклонение с положительным знаком обусловлено чрезвычайно высоким содержанием гидрокарбонатного иона.

Увеличение количества гидрокарбонатов вызвано, с одной стороны, поступлением более гидрокарбонатной воды из соседних участков и притоков, а с другой — накоплением свободной углекислоты под влиянием распада органического вещества иловых отложений.

Аналогичное явление, менее резко выраженное, наблюдалось зимой и весной также в затопленном русле Шексны в районе сел Лаврентьево и Волково (верхний бьеф). Однако, судя по сходству других показателей, снижение содержания сульфатов в придонном слое у Лаврентьево в феврале объясняется притоком воды из района Центрального мыса, что видно на табл. 4.

Убыль сульфатов в придонных слоях воды может быть объяснена как поступлением воды из боковых притоков и других участков, так и процессами восстановления, протекающими на месте в донных отложениях.

Ввиду ограниченного распространения в Главном плёсе участков с повышенным содержанием сульфатов, а также несколько специфического характера процессов сульфатредукции соответствующие им цифры не были приняты во внимание при вычислении среднего коэффициента пропорциональности. В то же время нет основания сомневаться в значительном общем влиянии процессов распада органического вещества на количественные соотношения минеральных компонентов воды Главного плёса, притом не только в подледный, но и в открытый период.

Таблица 4

Зимне-весенние коэффициенты пропорциональности в верхнем бьефе
Рыбинской плотины в 1959 г.

Место взятия проб	Дата	Горизонт, м	HCO_3' , мг/л	SO_4'' , мг/л	$\frac{\Sigma \text{ ионов}}{\text{HCO}_3'}$	Σ ионов		Отклонение		
						рас-счи-танная	из ана-ли-за	абсо-лют-ное	в %	
Верхний бьеф, район с. Лаврентьево.	18 II	{	0.5	98.2	16.2	1.555	148.7	152.7	-4	2.62
			5	99.5	17.1	1.565	150.5	155.7	-5.2	3.34
			15.5	109.2	13.0	1.473	164.2	160.9	3.3	2.05
Район ПОМа.	9 II	{	0.5	110.4	12.6	—	—	—	—	—
			Дно	109.2	13.8	—	—	—	—	—
Среднее			109.8	13.2	1.484	163.0	—	—	—	—
Верхний бьеф, район с. Волково.	19 V	{	0.5—2	76.0	13.2	1.564	117.4	118.9	-1.5	2.27
			10	80.5	11.5	1.535	123.7	123.6	0.1	0.08
			15	87.3	12.2	1.519	133.3	132.6	1.7	1.28
			23.5	84.8	9.7	1.481	127.8	125.6	2.2	1.75

Т а б л и ц а 5
Результаты расчета общего содержания ионов, отклоняющиеся от средних более чем на 5% в 1959 г.

Место взятия пробы	Горизонт	Сезон	Дата	HCO_3^- , мг/л	SO_4^{2-} , мг/л	г ионов HCO_3^-	Сумма ионов, мг/л		Отклонение	
							расчетный	из анализа	абсолютное	в %
Затопленное русло Молги (район Брейтено).	Поверхность	Зима	8 II	92.1	14.7	1.527	140.1	140.6	— 0.5	0.36
	Дно			256.9	12.5	1.363	372.4	350.4	22.3	6.37
	Поверхность	Весна	29 III	141.0	23.3	1.523	209.0	214.7	— 5.7	2.66
Затопленное русло Шексы (район Назайкино).	Дно			265.4	40.1	1.350	384.4	358.4	26.0	7.26
	Поверхность	Лето	30 VI	82.4	19.7	1.623	126.4	133.7	— 7.3	5.46
	Дно			79.9	20.2	1.636	122.9	130.7	— 7.8	5.05
	Поверхность	Осень	30 X	75.0	15.4	1.604	116.0	120.3	— 4.3	3.58
	Дно			73.0	22.2	1.728	116.0	129.6	— 13.6	10.50
	Поверхность	Зима	27 XII	83.0	19.1	1.625	127.2	134.9	— 7.7	5.71
	Дно			97.0	18.9	1.586	147.0	153.8	— 6.8	4.42

Примечание. Расчет на 30 VI, 30 X и 27 XII произведен по данным Рыбинской гидрометеорологической станции.

При сравнении показателей минерального состава за разные годы (табл. 6) можно видеть, что при сходных содержаниях гидрокарбонатов коэффициенты пропорциональности 1959 г. в общем выше, чем в 1946—1947 гг. за счет главным образом увеличения количества сульфатов.

При сравнении средних коэффициентов пропорциональности за 1959 и за 1946—1947 гг. по сезонам (табл. 7) выясняется, что между зимними и летними коэффициентами 1959 г. разница не так велика, как между летним 1946 и зимним 1947 г.; зимние и летние коэффициенты 1959 г. значительно превышают коэффициенты 1946—1947 гг.; осенние коэффициенты сравнимых лет 1959 и 1947 мало отличаются друг от друга; увеличение коэффициентов 1959 г. произошло за счет сульфатов, летнее содержание которых в 1959 г. было вдвое выше, чем за тот же период 1946 г.

Сходство осенних коэффициентов пропорциональности 1947 и 1959 гг. дает основание предполагать, что разница между летними и зимними показателями 1959 и 1946—1947 гг. обусловлена различиями гидрологического режима.

Для сопоставления режимов 1945, 1946, 1947, 1958 и 1959 гг. были использованы графики колебания уровня водохранилищ, построенные по измерениям, произведенным Рыбинской гидрометеорологической станцией в районе с. Коприно (рис. 8).

Сравнение графиков позволяет получить некоторое предварительное представление о влиянии гидрологического режима этих лет на общее содержание и состав минеральных компонентов воды.

1. Вследствие резкого повышения максимального уровня преобладание паводковой воды при наполнении водохранилища весной 1946 г. было настолько большим, что участие речной и грунтовой воды должно было быть незначительным. Этой особенностью

Сравнение коэффициентов пропорциональности за 1946—1947 и 1959 гг.

Район	Горизонт	Дата		1946 и 1947				1959			
		1946 и 1947	1959	HCO ₃ , мг/л	SO ₄ , мг/л	сумма ионов, мг/л	$\frac{\Sigma}{\text{HCO}_3}$	HCO ₃ , мг/л	SO ₄ , мг/л	сумма ионов, мг/л	$\frac{\Sigma}{\text{HCO}_3}$
Перебор	Поверхность	27 VIII 1946	20 VII	—	—	—	—	76.2	12.3	118.5	1.555
Центральный мыс	»	—	—	79.9	6.4	112.8	1.412	—	—	—	—
Перебор	»	—	30 VIII	—	—	—	—	79.3	13.4	120.4	1.518
Рожновский мыс	»	—	20 IX	—	—	—	—	76.2	11.3	112.9	1.482
Центральный мыс {	»	24 и	—	69.7	11.45	108.95	1.563	—	—	—	—
	»	23 IX 1947 26 I 1947	—	124.5	9.6	175.9	1.414	—	—	—	—
Перебор	Поверхность—дно	—	31 I	—	—	—	—	124.4	19.6	192.2	1.545
Верхний бьеф	Поверхность	6 I 1947	—	89.1	10.4	131.0	1.471	—	—	—	—
	»	—	18 II	—	—	—	—	98.2	16.2	152.7	1.555
Плотина	Дно	—	—	—	—	—	—	109.2	13.0	160.9	1.473
Рожновский мыс	Среднее	—	—	—	—	—	—	103.7	14.6	156.8	1.514
	Поверхность—дно	—	—	—	—	—	—	132.1	19.7	202.3	1.531
Верхний бьеф	Поверхность	2 IV 1947	—	139.1	14.7	201.0	1.447	—	—	—	—
	Дно	—	—	140.3	14.4	203.1	1.450	—	—	—	—
	Среднее	—	—	139.7	14.55	202	1.446	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. В таблице использованы, за исключением анализа от 18 II, анализы Рыбинской гидрометеорологической станции за 1959 г.

Таблица 7

Средние коэффициенты пропорциональности в различные сезоны 1959
и 1946—1947 гг.

Сезоны	Месяцы		1959			1946—1947		
	1959	1946—1947	СН HCO_3' , мг/л	Σ ионов HCO_3'	SO_4'' , мг/л	HCO_3' , мг/л	Σ ионов HCO_3'	SO_4'' , мг/л
Зима	—	I	—	—	—	106.8	1.443	10.0
	I—II	—	111.7	1.517	16.1	—	—	—
	III	—	123.6	1.508	17.9	—	—	—
	—	IV (начало)	—	—	—	139.7	1.448	14.55
Лето	VI	—	77.1	1.535	11.9	—	—	—
	VII	VII *	73.3	1.514	11.7	79.9	1.412	6.4
	VIII	—	82.5	1.516	13.0	—	—	—
Осень	IX	IX	81.2	1.511	13.2	70.5	1.555	11.4
	X	—	75.5	1.576	14.6	—	—	—

* 1946 г., остальные месяцы относятся к 1947 г.

режима, вероятно, объясняется малое содержание солей сильных кислот в воде центральной части Главного плёса летом 1946 г.

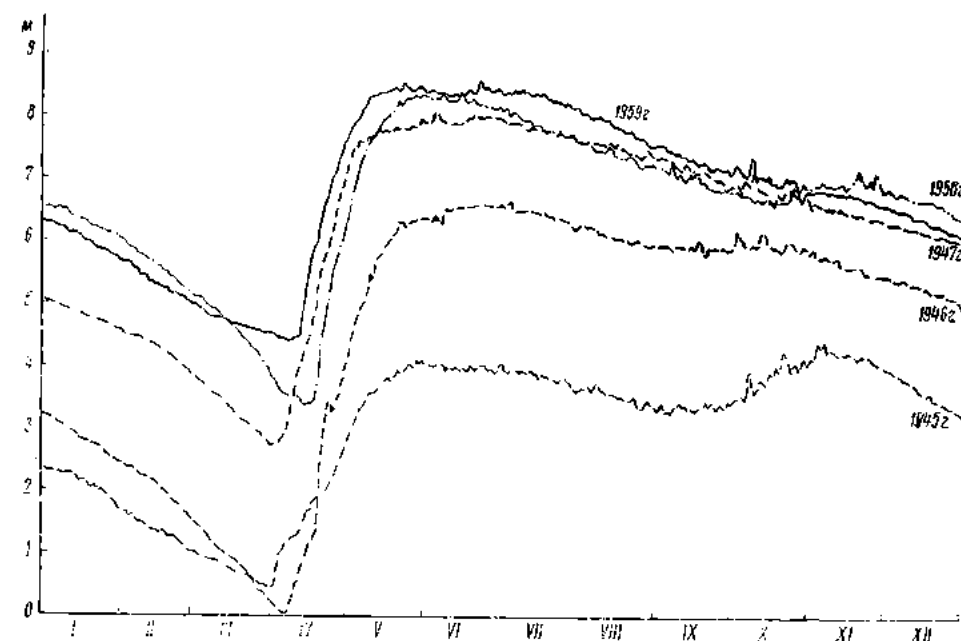


Рис. 8. Сезонные колебания уровня Рыбинского водохранилища в районе Коприно в 1945—1947 гг. и 1958—1959 гг. (составлено по данным Рыбинской гидрометеорологической станции).

2. Сравнение уровней показывает, что относительное участие паводковой воды при весеннем наполнении водохранилища было в 1947 г. больше, чем в 1959 г.

3. Вследствие небольшой по сравнению с 1946—1947 гг. предвесенней сработки уровня в 1958—1959 гг. в части водохранилища задержа-

лась относительно большая масса воды зимнего периода. Участие паводковой воды в заполнении водохранилища в 1958—1959 г. было относительно малым.

Благодаря чертам, свойственным режиму последних лет, более значительное влияние на формирование солевого состава оказывает вода зимнего периода, отличающаяся повышенным содержанием ионов сильных кислот.

На основании сказанного можно считать, что малые различия между зимними и летними коэффициентами пропорциональности в 1959 г. обусловлены меньшей резкостью перепадов зимне-весенних уровней, чем в 1946—1947 гг.

Таким образом, изменения состава растворенных солей в воде Рыбинского водохранилища в 1959 г. вызваны изменениями гидрологического режима по сравнению с начальным периодом наполнения.

Имеющиеся литературные данные и результаты анализов за 1959 г. позволяют сделать следующие выводы.

1. Свойства воды Главного плёса Рыбинского водохранилища определяются своеобразием его гидрологического режима, который складывается под влиянием замедленного водообмена.

2. В солевом составе воды Главного плёса в течение большей части года отражаются характерные черты солевого состава и режима Волги, Мологи, Шексны, которые создают различия между его районами в особенности по направлениям затопленных русел.

3. В начале лета вода Главного плёса представляет собой смесь паводковой воды и воды зимнего периода с повышенным содержанием сильных кислот. В середине и конце лета и ранней осенью увеличивается относительное содержание гидро- и монокарбонатов (щелочности).

4. Поздней осенью (октябрь) в результате сброса большей части весенней паводковой воды и ослабления фотосинтеза усиливается значение питания водой с более высоким процентным содержанием сильных кислот.

5. Зимой в связи с прекращением фотосинтеза и накопления свободной углекислоты увеличивается процентное содержание гидрокарбонатов, уменьшается процентное содержание сильных кислот. Накопление свободной углекислоты в водохранилище происходит при распаде органического вещества, в частности, в затопленных руслах, в устьях притоков. Значительные количества свободной углекислоты вносятся также речными водами, поступление которых увеличивается по мере сработки уровня.

6. Солевой состав воды Главного плёса в 1958—1959 гг. характеризовался повышенным содержанием сильных кислот по сравнению с начальным периодом наполнения водохранилища в 1946—1947 гг., что вызвано различиями гидрологических режимов сравниваемых лет. Особенности режима 1958—1959 гг. состоит в уменьшении перепада зимнего и весеннего уровней.

7. Коренных изменений в составе растворенных солей в воде водохранилища за время его существования не произошло.

ЛИТЕРАТУРА

- Аничкова Н. И. 1959. Некоторые черты гидрохимического режима северной части Рыбинского водохранилища. Тр. Дарвинск. гос. заповедн., вып. V. Вологда.
- Безлер Ф. И. и Н. А. Трифонова. 1960. Материалы по распределению кислорода в Рыбинском водохранилище в зимний период. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 8—9.
- Ворожков П. П. 1951а. Основные черты формирования режима ионного состава поверхностных вод в условиях Севера. Тр. Гос. гидрол. инст., вып. 33(87).

- В о р о н к о в П. П. 1951б. Основы расчета изменений минерализации воды водохранилищ волжской системы. Тр. Гос. гидрол. инст., вып. 33(87).
- В о р о н к о в П. П. 1953. Основные черты формирования полного состава поверхностных вод степной и лесостепной зон в весенний период. Тр. Гос. гидрол. инст., вып. 33(91).
- К а з а р о в е ц Н. М. 1960. Применение кондуктометрического метода к изучению распределения водных масс Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 7.
- К и р е в а А. С. 1956. Некоторые данные по гидрохимии Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 2.
- К у д р я в ц е в Д. Д. 1950а. Материалы к гидрохимической характеристике Волжского острова Рыбинского водохранилища 1943—1946 гг. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 1.
- К у д р я в ц е в Д. Д. 1950б. Сравнительная характеристика гидрохимического режима водохранилищ Верхней Волги: Ивановского, Угличского и Рыбинского. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 1.
- П о д г о р н ы й Л. Н. 1959. Анализ воды с применением катионита КУ2 и трилопа Б. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 3.
- П о д г о р н ы й Л. Н. и А. В. Ф о т л е в. 1959. Методика анализа маломинерализованной воды с применением катионита КУ2. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 2.
- Р у т к о в с к и й В. И. и А. С. К и р е в а. 1959. Основные черты кислородного режима Рыбинского водохранилища. Тр. VI совещ. по пробл. внутр. вод 1957 г. Изд. АН СССР, М.—Л.
- Ф о р т у н а т о в М. А. 1959. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатели его режима. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2(5).
- Щ е р б а к о в А. П. 1950. Гидрохимический режим Волги, Мологи и Шексны в районе Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 1.
-

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
О. И. Феоктистова. Содержание витамина В ₁₂ в фитопланктоне Рыбинского и Угличского водохранилищ	3
Н. Н. Смирнов и О. И. Феоктистова. О токсичности сплывающих водорослей	10
В. А. Экзердев и М. А. Соколова. Сообщества хвоща приречного на Ивановском водохранилище	21
Ф. Д. Мордухай-Болтовской. Основные трофические связи в волжских водохранилищах	36
Т. Л. Поддубная. Жизненный цикл и темп роста ленточного лимнодрила (<i>Limnodrilus lewaensis</i> Mich., Oligochaeta, Tubificidae)	46
С. Н. Заречная. К фауне ручейников Горьковского водохранилища	57
А. И. Шилова. Метаморфоз <i>Lipiniella arenicola</i> Shilova (Diptera, Tendipedidae)	71
М. Н. Иванова. О питании хищных рыб в первые четыре года существования Горьковского водохранилища	81
А. Г. Андре и Т. Н. Куржесковская. Патогистологические изменения у леща при дефиците кислорода	87
Б. В. Краюхин. Строение и иннервация пищеварительного тракта палла.	110
О. А. Гомазков и Б. В. Краюхин. О роли блуждающего нерва в регуляции пищеварительных процессов у рыб	124
В. И. Рутковский. Температурный режим Рыбинского водохранилища.	132
Н. В. Буторин. Формирование гидрологического режима Горьковского водохранилища (1955—1959 гг.)	239
Н. В. Буторин. Гидрологические условия Куйбышевского водохранилища в период заполнения	278
Н. В. Буторин. Уровень Рыбинского водохранилища и его колебания (1948—1960 гг.)	303
В. П. Курдин. Условия формирования грунтового комплекса Угличского водохранилища	322
Ф. И. Безлер. Сезонные изменения химического состава вод Рыбинского водохранилища	329

CONTENTS

Pag.

O. I. Feoktistova. Vitamin B ₁₂ content in phytoplankton of Rybinsk and Uglich Reservoir	3
N. N. Smirnov and O. I. Feoktistova. On toxicity of blue-green algae.	10
V. A. Ekzertsev and M. A. Sokolova. Equisetum fluviatile communities in Ivankovo Reservoir	21
F. D. Mordukhaya-Boltovskoj. Main trophic interrelations in the Volga water reservoirs	36
T. L. Poddubnaja. Life cycle and growth rate of Limnodrilus newacensis Mich. (Oligochaeta, Tubificidae)	46
S. N. Sarechnaja. On the Trichopterous fauna of the Gorky Reservoir.	57
A. I. Shilova. Metamorphosis of Lipiniella arenicola Shilova (Diptera, Tenedipidae)	71
M. N. Ivanova. On nutrition of Esox lucius, Lucioperca lucioperca and Lota lota during the first four years after damming of Gorky Reservoir	81
A. G. Andres and T. N. Kurazhskovskaja. Pathohistological changes in Abramis brama in oxygen deficiency conditions	87
B. V. Krajukhin. Structure and innervation of alimentary tract of Lota lota	110
O. A. Gornozkov and B. V. Krajukhin. On the role of nervus vagus in regulation of nutritional processes in fishes	127
V. I. Rutkovskij. Temperature regime of Rybinsk Reservoir	132
N. V. Butorin. Hydrological regime formation of Gorky Reservoir (1955--1959)	239
N. V. Butorin. Hydrobiological conditions of Kujbyshev Reservoir in the period of its filling	278
N. V. Butorin. Water level of Rybinsk Reservoir and its fluctuations	303
V. P. Kurdin. Formation conditions of ground complex of Uglich Reservoir.	322
F. I. Bezler. Seasonal changes of chemical composition of waters of Rybinsk Reservoir	329

ТРУДЫ ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ ВОДОХРАНИЛИЩ, ВЫП. 5 (8)

Утверждено к печати
Институтом биологии водохранилищ
Академии наук СССР

Редактор Издательства А. А. Стрелков
Технический редактор И. Ф. Риноградова
Корректоры Т. Н. Богданова-Каткова, Н. П. Гилин и Н. М. Медведева

Сдано в набор 1 XI-62 г. Подписано к печати 19 I 1963 г. РИСО
АН СССР № 99-58Р. Формат бумаги 70×108¹/₁₆. Бум. л. 11. Печ. л.
22=30.14 усл. печ. л.+1 окл. Уч.-изд. л. 30,48+1 вкл. (0,25).
Изд. № 1886. Тип. зак. № 898. М-19216. Тираж 1400. Цена 2 р. 25 к.

Ленинградское отделение Издательства Академии наук СССР
Ленинград, В-164, Менделеевская лин., д. 1

1-я тип. Издательства Академии наук СССР
Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12

26574

