

**КОЧЕТКОВА Анна Игоревна**

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ЗАРАСТАНИЯ  
ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

03.02.08 – экология (биология)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата биологических наук

**Борок, 2013**

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Волгоградский государственный университет»

**Научный руководитель:** доктор биологических наук, профессор  
**Папченков Владимир Гаврилович**

**Официальные оппоненты:** **Петросян Варос Гарегинович**  
доктор биологических наук, ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции А.Н. Северцова РАН, г.н.с., заведующий кабинетом биоинформатики и моделирования биологических процессов.

**Ефремов Андрей Николаевич**  
кандидат биологических наук, ЗАО «Проектный институт реконструкции и строительства объектов нефти и газа», начальник группы камеральной обработки отдела экологических изысканий.

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет»

Защита диссертации состоится « 16 » мая 2013 г. в 14<sup>00</sup> ч. на заседании диссертационного совета ДМ 002.036.01 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук по адресу: 152742, Ярославская область, Некоузский район, пос. Борок, тел./факс (48547) 24042.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, с авторефератом – в сети Интернет на сайте ВАК РФ и ИБВВ РАН по адресу: <http://www.ibiw.ru>.

Автореферат разослан: «2» апреля 2013 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
доктор биологических наук



Л.Г. Корнева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Волгоградское водохранилище замыкает сеть гидротехнических сооружений Волжско-Камского каскада и вследствие этого испытывает природно-антропогенное воздействие всей этой сети. При достаточно хорошей изученности растительного покрова Волгоградского водохранилища в пределах Саратовской области (Седова, 2007; Маевский и др., 2010) отсутствуют современные данные по разнообразию флоры и растительности этого водоёма в пределах Волгоградской области. На Волгоградском водохранилище зарастание отмелей и кос, образующихся на выходе из заливов, часто приводит к их отделению от основной акватории и, следовательно, к уменьшению мест для нереста рыб. Для выявления проблемных в этом отношении участков необходимо провести типизацию зарастающих мелководий. Заиление и последующее зарастание мелководий, барьерная роль водных растений, участие их зарослей в накоплении и трансформации тяжёлых металлов и взвешенных веществ недостаточно изучены. Необходим прогноз динамики зарастания путем синтеза материалов научных публикаций и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса.

Исходя их вышеперечисленного, **целью данной работы** является выявление особенностей динамики зарастания Волгоградского водохранилища с использованием методов ДЗЗ и оценка влияния водной растительности на состояние его экосистемы.

**Задачи**, направленные на достижение поставленной цели:

1. Изучение разнообразия растительного покрова Волгоградского водохранилища в пределах Волгоградской области.
2. Изучение процессов зарастания мелководий с момента формирования Волгоградского водохранилища до настоящего времени.
3. Выявление различных типов зарастающих мелководий.
4. Выявление возможности использования водной растительности для индикации геодинамических процессов на Волгоградском водохранилище.
5. Исследование барьерной роли высшей водной растительности для тяжёлых металлов и взвешенных веществ на Волгоградском водохранилище.
6. Выявление закономерностей накопления тяжёлых металлов высшими водными растениями с расчётом коэффициентов биологического поглощения.

**Предметом защиты диссертации** являются выявленные особенности и закономерности зарастания Волгоградского водохранилища и влияния высшей водной растительности на экосистему водоёма.

**Защищаемые положения.**

1. Зарастание Волгоградского водохранилища носит пульсирующий характер, оно неоднородно во времени по скорости, направлению и пространственному положению.

2. Характер зарастания определяется режимом уровня воды, темпами абразии и формирования абразионно-аккумулятивной отмели.

**Научная новизна выполненных исследований.** Впервые с использованием методов ДЗЗ была произведена оценка динамики зарастания Волгоградского водохранилища с момента его наполнения по настоящее время. С применением ГИС была создана база данных, включающая картосхемы зарастания водохранилища и произведена каталогизация гербарных образцов высших водных и прибрежных растений, собранных на мелководьях водоёма. На основе спутниковых снимков Landsat 4-5 (TM) и Landsat 7 (ETM+) с учётом динамики зарастания за период с 1986 г. по 2010 г. произведена типизация зарастающих мелководий.

**Практическая значимость работы.** Результаты исследования могут быть использованы: 1) для оценки экологического состояния Волгоградского водохранилища и разработки природоохранных мероприятий; 2) для комплексной оценки биологического разнообразия водных объектов Волгоградской области; 3) для решения задач рационального природопользования и охраны природной среды в зоне антропогенно-изменённого крупного водного объекта; 4) в подготовке образовательных курсов для студентов, обучающихся по направлению «Экология и природопользование» в ВУЗах Волгоградской области; 5) для создания электронной базы данных гербарной коллекции высших растений в ВГИ (филиале) ВолГУ.

**Апробация работы.** Материалы и основные положения диссертации докладывались на научных конференциях международного, регионального и местного уровней: «Использование геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования Земли при решении пространственных задач» (Пермь, 2011); «VIII Региональная научно-практическая конференция» (Волжский, 2011); «Экологическая оптимизация регионального хозяйства: круглый стол» (Волгоград, 2011); «XVI Региональная конференция молодых

исследователей Волгоградской области» (Волгоград, 2011); «Современные проблемы географии, экологии и природопользования» (Волгоград, 2012); «Экологическая безопасность и природопользование: наука, инновации, управление» (Москва, 2012); «Бассейн Волги в XXI-веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ» (Борок, 2012). Дважды основные результаты исследования были заслушаны на заседании Учебно-методического семинара кафедры природопользования, геоинформационных и наноэкономических технологий Волжского гуманитарного института (филиала) Волгоградского государственного университета.

**Публикации.** Результаты исследований изложены в 18 научных работах, 2 из которых опубликованы в журналах рекомендованных высшей аттестационной комиссией.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация изложена на 226 страницах и состоит из введения, 5 глав, выводов. Список цитируемой литературы 301 наименование. Текст иллюстрирован 130 рисунками и 21 таблицей.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность научному руководителю д.б.н. В.Г. Папченкову за огромную помощь на всех этапах написания работы; директору ВГИ (филиала) ВолГУ д.э.н. М.М. Гузеву, заведующему кафедрой природопользования, геоинформационных и наноэкономических технологий д.э.н. А.В. Плякину, заведующему учебно-научной лабораторией экологических и социальных исследований ВГИ (филиала) ВолГУ к.г.н. О.В. Филиппову за содействие и полезные советы; генеральному директору к.ф.-м.н. В.Е. Гершензону и руководителю отдела геодезии и картографии ИТЦ «СКАНЭКС» к.г.н. М.В. Зимину за бесценные консультации в обработке космических снимков.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Обзор литературы по изучению растительного покрова с использованием ГИС и методов ДЗЗ из космоса**

В главе проанализировано состояние изученности и возможности использования геоинформационных технологий и методов ДЗЗ в оценке растительного покрова. Последние методы в зависимости от поставленной задачи исследования могут базироваться на концепции вегетационных индексов (NDVI, IVI, VCI, IVCI) или дешифрировании различных типов растительности путём сопоставления их спектральной яркости на снимке с материалами полевых наблюдений.

## **Глава 2. Физико-географическая характеристика Волгоградского водохранилища**

На основе литературных данных в главе дана характеристика геологического строения и рельефа, климата, почв, растительности и гидрологического режима Волгоградского водохранилища. Описаны непосредственно влияющие на динамику зарастания факторы: глубина, гранулометрический состав донных отложений, прозрачность, скорость течений и уровенный режим.

## **Глава 3. Материалы и методы исследования**

### **3.1. Полевые методы**

Материалы для исследования были получены в ходе экспедиций по проекту «Волжского плавучего университета», осуществляемому ВГИ ВолГУ в научно-исследовательских и учебных целях с 1998 г. и ФГУ «Управление эксплуатации Волгоградского водохранилища».

Полевые методы включали в себя картирование и геоботаническое описание растительности с гербаризацией растений, отбором проб растений для определения наземной воздушно-сухой биомассы, зольности и донных отложений для лабораторных анализов на тяжёлые металлы.

Картирование растительности проводилось с лодки маршрутным методом с 2009 по 2012 гг. на 17-ти участках Волгоградского водохранилища в пределах Волгоградской области. Исследовались заливы по устьям рек и участки мелководий на выходе из заливов. При описании зарастания последних участков мы использовали термин «устье заливов», означающий входной створ, отделяющий акваторию заливов от водохранилища.

Отбор проб растений и донных отложений для лабораторных анализов осуществлялся в 2006-2008 гг. Пробы растений тщательно промывались от взвесей, высушивались и заворачивались в крафт-бумагу. Образцы проб донных отложений отбирались с помощью дночерпателя Петерсена ДЧ-0,025 и помещались в предварительно подготовленные полиэтиленовые контейнеры.

### **3.2. Аналитические методы**

База данных по зарастанию Волгоградского водохранилища была создана в программе ArcView GIS 3.2. Работа по классификации и тематической обработке космических снимков выполнена в программе ScanEX Image Processor 3.6.8 в модуле Thematic Pro.

Для мониторинга зарастания использовали космические снимки Landsat 5 и Landsat 7 разрешением 15-30 м. Снимки обеспечивают надежное определение распространения водных растений, потому могут служить источником для картографирования и выявления многолетних изменений (Лабутина, Балдина, 2009). Был создан архив снимков за июль месяц с 1986-2010 гг. Для анализа мозаик снимков использовали неуправляемую классификацию ISODATA (Кравцова, Шуматиев, 2005).

В программе ArcView GIS 3.2 производилось соединение точек растительных группировок в полигоны и произведена каталогизация гербарных образцов высших водных и прибрежно-водных растений. Каждый полигон после обработки стал обозначать либо ассоциацию, либо комплекс сообществ. Выделение ассоциаций производилось на основе доминанто-детерминантного подхода (Папченков, 2003).

Пробоподготовку осуществляли в учебной экологической лаборатории ВГИ (филиала) ВолГУ. Взвешивание проб надземной воздушно-сухой биомассы водных растений проходило после сушки их вначале на воздухе до полного высушивания и последующей досушки в сушильном шкафу при 65°C до постоянного веса (Папченков, 2001). Для определения зольности и массы сорбированных взвешенных веществ поверхностью листьев и стеблей и известковых отложений на листьях служили пробы промытых и непромытых водных растений, которые подвергались сжиганию в муфельной печи сухим методом до полного сгорания органического вещества при температуре 400-450 °С.

В результате проделанной работы были получены формулы для расчета процента взвеси в непромытых растениях *Ceratophyllum demersum* L. (1) и *Potamogeton perfoliatus* L. (2):

$$y=20.69\ln(x)-59.725, R^2=0.68 \quad (1)$$

$$y = 0,0076x^2, R^2=0.57 \quad (2)$$

где  $x$  – зольность непромытых растений (%),  $R$  – коэффициент детерминации.

Применение формул (1) и (2) позволяет рассчитать реальную зольность непромытых растений, необходимую для расчета количества органического вещества и калорийности растений.

Определение валового содержания тяжёлых металлов, таких как Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Co, Fe, Mn было реализовано на базе лаборатории «Мониторинга водных систем» МГУ им М.В. Ломоносова на портативном рентгенофлуо-

ресцентном кристалл-дифракционном сканирующем спектрометре «Спектроскан».

## Глава 4. Характеристика растительного покрова Волгоградского водохранилища

### 4.1. Флора водохранилища в пределах Волгоградской области

Флора нижней части водохранилища насчитывает 159 видов растений из 85 родов, 46 семейств и 4 отделов. О.В. Седовой (2007) для этого водоёма в пределах Саратовской области приведен 161 вид из 90 родов, 44 семейств и 3 отделов и отмечено уменьшение разнообразия флоры водохранилища с севера на юг. Самые насыщенные видами семейства: *Asteraceae* (14 видов), *Cyperaceae* (18), *Gramineae* (14), *Lamiaceae* (6), *Potamogetonaceae* (5), *Polygonaceae* (11), *Ranunculaceae* (5), *Salicaceae* (12), *Typhaceae* (10). Из родов с большим разнообразием видов можно отметить *Bidens* (5 видов), *Carex* (5), *Persicaria* (10), *Potamogeton* (5), *Salix* (9), *Scirpus* (7), *Typha* (10).

Видовое богатство различных экотипов растений с продвижением по Волгоградскому водохранилищу с севера на юг различно и это связано со сменой природных зон, в которых меняется отношение осадков к испаряемости (Мальшев, 1992). Так, для лесостепи показатель составляет 0,85, степи – 0,77, сухостепи – 0,41 и полупустыни – 0,33 (Кретинин, 2011). С уменьшением этих показателей понижается разнообразие растений переувлажненных и сырых мест обитаний (гигрогелофитов и гигрофитов) и повышается доля гигромезофитов и мезофитов, появляются мезоксерофиты и ксерофиты.

Нестабильные гидрологические условия на Волгоградском водохранилище, находят свое отражение в особенностях уровня режима, изменении ширины отмели и абразионных процессах. Под действием этих факторов появляются новые свободные местообитания, которые так необходимы для распространения и закрепления разнообразных, в том числе и новых заносных растений и образовавшихся гибридов (Папченков, 2001). Во флоре Волгоградского водохранилища было найдено 14 гибридов, относящихся к разным экотипам. К гелофитам относится 4 гибрида (*Scirpus lacustris* L. × *S. tabernaemontani* (C.C. Gmel) Palla, *Typha angustifolia* L. × *T. laxmannii* Lepech., *T. × glauca* Godron, *T. × smirnovii* E. Mavrodiev), гигрофитам – 9 гибридов (*Bidens connata* Muehl. ex Willd. × *B. frondosa* L., *B. frondosa* L. × *B. × garumnae* Jeaniean et Debray, *Carex × toezensis* Simonk., *Persicaria × brauniana* (S.F. Schultz) Soják, *P. × intercedens* (Beck) Soják, *P. × lenticularis* (Beck.)

Soják, *Salix* × *alopecuroides* Tausch, *S.* × *rubens* Schrank, *S.* × *undulata* Ehrh.), мезофитам – 1 гибрид (*Populus* × *canadensis* Moench.).

При проведении флористических исследований нами обнаружено несколько видов редких для флоры Волгоградской области и ранее не отмеченных для нее (Мавродиев, 1999; Голуб и др., 2002; Флора Нижнего ..., 2006). К числу последних относятся *Bidens radiata* Thuill., *Persicaria hypanica* (Klok.) Tzvel., *P. tomentosa* (Schrank) Bicknell., *Typha elata* Boreau., *Veronica pseudoscardica* Papch. и гибриды: *Bidens connata* × *B. frondosa*, *Carex* × *toezensis*, *Persicaria* × *brauniana*, *P.* × *intercedens*, *P.* × *lenticularis*, *Salix* × *alopecuroides*, *S.* × *undulata*, *Scirpus lacustris* × *S. tabernaemontani*.

#### **4.2. Растительность водохранилища в пределах Волгоградской области**

Растительный покров исследуемого участка Волгоградского водохранилища описывается 64 ассоциациями относящимся к 37 формациям. Наибольшим разнообразием выделяется настоящая водная растительность, представленная 32 ассоциациями (50 % от общего числа ассоциаций), которые входят в 16 формаций, т.е. на одну формацию в среднем приходится 2 ассоциаций. Воздушно-водная растительность характеризуется 20 ассоциациями 14 формаций (1,4 ассоциации на формацию); гигрогелофитная – всего 12 ассоциациями 7 формаций (1,7 ассоциации на формацию). Наиболее разнообразными в синтаксономическом отношении являются формации *Potameta perfoliati* и *Typheta angustifoliae* – соответственно 6 и 4 ассоциаций.

Более половины (54 %) растительных сообществ одноярусны и монодоминантны, у 42 % два доминанта, формирующих два яруса, и лишь в 4 % сообществ, имеющих также двуярусную структуру, доминируют 3 вида, при этом увеличение состава доминантов происходит за счет плавающих на поверхности воды растений (рясок, многокоренника, водокраса).

Наибольшее распространения имеет группа формаций воздушно-водной растительности и формация гидрофита рдеста пронзённолистного. В зарастание водохранилища наиболее существенный вклад привносят фитоценозы *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Ph. altissimus* (Benth.) Nabile, *Typha angustifolia* L., *Potamogeton perfoliatus*. Последние имеют массовое распространение и занимают значительные площади на предустьевых, как правило, участках заливов.

По материалам ДЗЗ в 2010 г. площадь зарастания водохранилища составила 37 тыс. га, из которых на долю зарослей тростника приходилось 48 %. Комплексы сообществ рогоза и тростника давали 40 % зарослей, сообщества истинно водных растений – 20 %. Тростниковые фитоценозы (без учёта комплексов из сообществ тростника и рогоза) занимают площадь около 18 тыс. га и образуют воздушно-сухую биомассу в количестве 215 тыс. т.

#### 4.3. Характер зарастания различных типов мелководий Волгоградского водохранилища

Изучение высшей водной растительности Волгоградского водохранилища началось с момента его наполнения в 1961 г. и продолжается по настоящее время. Материалы по растительному покрову и зарастанию водохранилища отражены в ряде научных публикаций (Экзерцев, Экзерцева, 1962; Экзерцев, 1961, 1963, 1966, 1973, 1978; Лисицына, Экзерцев, 1984, 1989; Лисицкий, 1974; Небольсина, 1974а, 1974б, 1980; Загора, 1983; Загора, Сеницына, 1983; Седова, 2007; Шашуловский, 2006; Шашуловский, Мосияш, 2010).

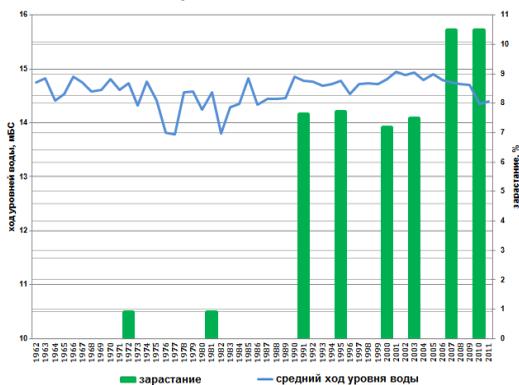


Рис. 1. Динамика зарастания Волгоградского водохранилища в виде гистограммы (источники: 1972 г. – Экзерцев, Лисицына (1984); 1981 г. – Загора, Сеницына (1983); 2003 г. – Шашуловский, Мосияш (2010); 1991, 1995, 2000, 2007, 2010 – данные автора) и ход уровней воды в виде графика

В целом зарастание Волгоградского водохранилища носит пульсирующий характер (рис. 1), для которого характерно чередование медленной и быстрой фаз (Папченков, 2006). В первую из них (наблюдалась в 1972-1981 гг.) зарастание шло едва заметно и достигло 0,9 % акватории водохранилища. Начиная с 1981 г. по 1991 г. площадь зарастания резко увеличивается до 7,5 % и находится на этом уровне до 2003 г. С 2003 г. по 2007 г. процессы зарас-

тания несколько активизировались и степень зарастания достигла 10,5 %. В 2007-2010 гг. снова наблюдалась медленная фаза развития растительного покрова (рис. 1).

Такой темп зарастания во многом объясняется нестабильным уровнем режимом на Волгоградском водохранилище. В период с 1962 г. по 1990 г. наблюдались значительные и частые колебания уровня воды от 13,8 м БС до 14,9 м БС. Зарастание водохранилища было затруднено и не превышало 1 % от всей акватории. Лимитировали этот процесс факторы отсутствия зачатков водных растений (Экзерцев, Лисицына, 1984) и сильные абразионные процессы на озерном участке. Незначительные колебания уровня в период с 1991 г. по 2005 г. и резкое его понижение в 2005-2011 гг. с 14,91 м БС до 14,39 м БС в целом благоприятно повлияли на зарастание мелководий (рис. 1).

Зарастание Волгоградского водохранилища также определяется процессом формирования абразионно-аккумулятивных отмелей (рис. 2) и темпами абразии. Ширина отмели с 1962 г. по 1990 г. сильно менялась с режим её приростом. Так, на левобережье за этот период она в среднем увеличилась с 50 м до 213 м. С 1991 г. по 2010 г. прирост отмели значительно уменьшился и ширина ее за это время стала больше всего на 56 м. В этот временной промежуток темпы абразии также снизились по сравнению с первым периодом. Было достигнуто гидродинамическое равновесие, позволяющее водным растениям закрепляться на мелководьях и образовывать густые заросли (рис. 2).

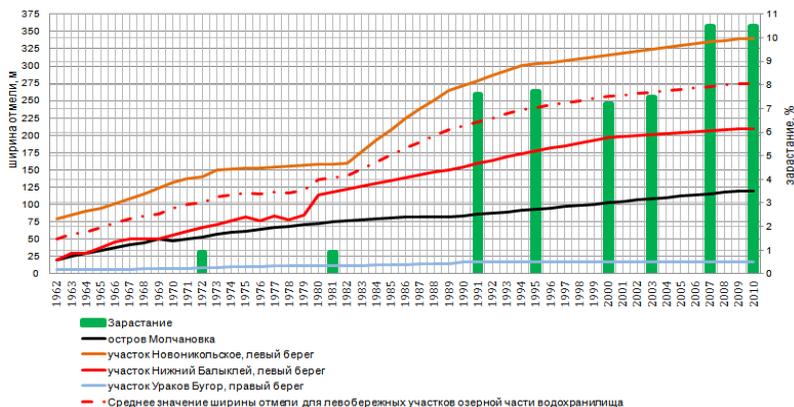


Рис. 2. Динамика зарастания Волгоградского водохранилища (источники по рис. 1) и ход формирования отмелей

Пульсирующий характер зарастания водохранилища, таким образом, обусловлен внешними факторами, вызывающими флуктуационные изменения в его ходе. Первые значительные флуктуации зарастания, отмечены нами в 1991 г. и связаны они с замедлением темпов формирования абразионно-аккумулятивных отмелей. Последующие изменения в зарастании определял в основном уровень режим. В период с 1996 г. по 2001 г. уровень воды постепенно повышался с 14,5 м БС до 14,94 м БС приводя к затоплению и последующему отмиранию ранее сформировавшихся на мелководьях фитоценозов и, следовательно, к уменьшению зарастания водоёма в целом. С резким его понижением в 2005-2011 гг. образовались огромные площади обсыхающих мелководий, которые стали активно занимать прибрежно-водные растения.

С учетом скорости зарастания, его направления и пространственного расположения, гидрологических и морфометрических особенностей мелководных участков проведена их типология. Выделены следующие типы зарастающих мелководий:

1. *Очень глубокие заливы (до 18-21 м), образованные в устьях малых рек (заливы Пичуга, Ерзовка, Песковатка, Даниловка, Другалка).* Самым динамичным участком залива по отношению к зарастанию является верховье. Увеличение темпов зарастания началось с 1991 г. К 2010 г. площадь зарослей увеличилась приблизительно на 12 тыс. м<sup>2</sup>. Вектор зарастания направлен от верховья к устью.

2. *Верховья крупных глубоководных заливов, сформировавшихся на месте затопленных долин приустьевых участков притоков (Ерусланский, Камышинский, Балыклейский).* Наиболее динамично зарастает верховье залива. Здесь зарастание идёт в направлении от верхней части верховья к его вершине. Особенностью зарастания мелководий данного типа является цикличность. Так, например, в заливе Камышинский в 1995 г. площадь зарастания верховья составляла 71 тыс. м<sup>2</sup>, в 2000 г. – 26 тыс. м<sup>2</sup>, 2007 г. – 59 тыс. м<sup>2</sup>, 2010 г. – 38 тыс. м<sup>2</sup>.

3. *Закрытые глубоководные заливы с амплитудой колебания максимальных глубин на различных участках от 4 м до 7 м (Мостовой, Большой, Балка Крестищенская, Бориков, Каранчев и т.д.).* Несмотря на замедленный водообмен в заливах зарастание происходит крайне медленно. Наиболее интенсивно зарастают отделённые пересыпью устья заливов.

4. *Мелководные заливы (1-4 м) по устьевым участкам рек (Б. Иргиз, Терешка, Курдюм, Б. и М. Караман, Тарлык и т.д.).* Для данного типа мелководий зарастание локализовано в верховье залива. Здесь создаются благоприятные условия для намыва мелководий, которые с 2007 по 2010 гг. значительно разрослись и стали обособленными островами. С образованием первых мелководных участков связано появление пионерных группировок водных растений. Рост мелководий и их зарастание идут против течения рек. В период быстрой фазы (2003-2007 гг.) зарастания Волгоградского водохранилища самая высокая скорость была достигнута в заливах по рекам Терешка – 14,6 га/год и Курдюм – 2 га/год. Устьевые участки рек Большой Иргиз и Большой и Малый Караман не представлены в виде заливов, поэтому зарастают крайне слабо.

5. *Относительно мелководные (4-12 м) заливы правобережья по балкам и оврагам (Нижний Ураков, Горноводяное, Нижняя Добринка, Камышевахы и т.д.).* Мелководья верховья залива являются наиболее активно зарастающими по сравнению с другими его участками. Зарастание идет от верховья к устью залива и происходит быстрее, чем в верховьях глубоководных заливов. Здесь можно выделить два периода с высокой скоростью зарастания: с 1991 г. по 1995 г., когда площадь зарослей увеличилась на 14 тыс. м<sup>2</sup>, и с 2000 г. по 2007 г. с увеличением площади на 9 тыс. м<sup>2</sup>.

6. *Мелководья Y-образных заливов правобережья (заливы Жилой, Дубовка, В. и Н. Ураков).* Их особенностью является более сильное зарастание нижних (южных) отрогов по сравнению с верхними.

7. *Закрытые мелководные заливы с глубинами до 3 м (залив Томатный и др.).* Как правило, зарастание таких заливов носит импульсивный характер. Первый существенный скачок в зарастании залива Томатный, например, имел место в период с 1995 г. по 2000 г., тогда зарастание достигло 15 % акватории залива. Следующий скачок произошел в промежуток с 2000 г. по 2007 г. с изменением степени зарастания от 20 % до 85 %. С 2007 г. по 2010 г. зарастание вступило в медленную фазу и изменялось с 85 % до 87 %. Такие заливы нередко зарастают на 90-100 % прибрежно-водными растениями.

8. *Относительно протяженные (от 1,2 км до 5 км) заливы левобережья (Карагачёв, Мордовский, Карагачёва Балка, Терновый и др.).* Зарастание такого типа мелководий наиболее активно происходит в устье заливов. В целом оно носит пульсирующий характер с чередованием быстрых и медлен-

ных фаз. Так, быстрая фаза с резким приростом площади зарослей была в период с 1995 по 2000 гг. Степень зарастания в этот период увеличилась с 16 % до 24 % акватории заливов. С 2000 г. по 2007 г. начинается медленная фаза с незначительным приростом площадей зарослей, доля которых возросла с 24 % до 24,4 %. Далее, с 2007 г. по 2010 г. опять началась быстрая фаза, и степень зарастания изменилось с 24,4 % до 29,4 %.

9. *Открытые мелководья с равномерным зарастанием гидрофитов (о. Молчановка, о. Пролейский, о. Бурты, мелководья Нижний Ураков и Пичуга).* Данный тип зарастания характерен для участков водохранилища с низкими темпами абразии (0,1-1,8 м/год) и сформировавшейся отмелью. Здесь погруженная растительность распределяется по всей отмели мозаично или поясами.

10. *Открытые мелководья с зарастанием гидрофитами по внешней кромки отмели (Бережновка, Новоникольское, Нижний Балыклей).* Данный тип характерен для участков с активной абразией (4,4-5,9 м/год). В связи с неблагоприятными условиями произрастания распределение сообществ погруженной растительности имеет мозаичный характер.

11. *Автогенные отмели (Красноярско-Чербаевские, Ровенско-Чербаевские, Квасниковско-Узморские, Анисовские, Красноярские, Кошелево-Чардымские, Волго-Иргизские).* Зарастание автогенных отмелей в основном происходит в защищенных от внешних воздействий участках и, как правило, положительная её динамика проявляется за островами. В период значительного скачка в зарастании Волгоградского водохранилища с 2000 г. по 2007 г. скорость зарастания отдельных участков Квасниковско-Узморских автогенных отмелей составляла 6,3 га/год и для Красноярских – 4 га/год. Наиболее динамично зарастают Красноярские автогенные отмели с увеличением площади зарослей с 1986 по 2010 гг. до 60 %.

## **Глава 5. Роль высшей водной растительности в функционировании экосистемы Волгоградского водохранилища**

Зарастание при чрезмерном его развитии может оказывать негативное воздействие на экосистему водохранилища. Заросли водных растений оказывают гидравлическое сопротивление водному потоку, снижая его энергию и увеличивая скорость осаждения взвешенных веществ, активизируя процесс заиления водоёма. В результате кумулятивного действия факторов заиления и зарастания некоторые заливы водохранилища отделяются от основной акватории, что приводит к уменьшению мест для нереста рыб. Макрофиты, наряду

с донными отложениями играют важную роль в балансе геоэкологических процессов. Имея высокую продуктивность, они способны к аккумуляции веществ по безбарьерному принципу (Бурдин, 1998; Лычагина и др., 1999).

Таблица 1. Содержание тяжёлых металлов в высших водных растениях Волгоградского водохранилища

Вид <sup>1</sup>	Пара- метры <sup>2</sup>	Cu	Zn	Ni	Pb	Co	Fe	Mn	Cr	Sr
ТО (20)	1	1001	248	65	27	7	5775	3944	104	518
	2	16	18	2	1	1	2420	923	43	156
	3	251,3	159,8	18,6	20,3	4,3	4086,8	1930,23	62,4	420,2
	4	115,5	34,3	87,7	54,9	49,3	34,3	40	25,6	22,1
РУ (15)	1	1201	185	9	НП	НП	6150	6339	61	730
	2	30	101	2	НП	НП	345	538	40	326
	3	263,5	131,9	6,14	НП	НП	3288,8	2919,6	55,1	610,3
	4	161,2	23,1	36,3	НП	НП	65	61,5	12,8	27,2
УМ (11)	1	280	173	67	30	16	16205	9647	135	965
	2	44	39	11	4	5	1066	488	47	294
	3	122,8	93,2	34,4	17,5	11,3	4668	3871,5	72,6	650,8
	4	56,3	37,6	40,7	53,3	32	88	64,2	28,6	36,3
РТ-3 (12)	1	319	194	89	28	16	16590	17703	71	949
	2	59	27	10	4	8	825	1001	57	453
	3	184,4	75,3	46,9	11,5	11,7	6718,9	3973	65,4	613,1
	4	46,3	58,8	39,5	83,5	28,3	75,5	119,7	6	28,2
РП (28)	1	229	225	79	63	16	12030	8093	120	1356
	2	7	26	10	1	1	104	243	39	658
	3	96	90,9	32,4	14,6	6,5	4814,7	1607	60,4	1039
	4	58,3	46,5	50,8	126,4	59,5	69	100,8	19,5	20,3
РБ (12)	1	153	148	35	24	13	8806	4852	86	-
	2	21	35	7	12	2	103	311	44	-
	3	74	72,9	19,7	18,8	7,4	4286,6	1628,1	56,9	-
	4	61,6	46,3	51,3	23,6	42,5	74,9	87,2	22,5	-
РК (14)	1	326	109	52	19	15	11351	3073	72	-
	2	127	63	15	8	2	1007	524	36	-
	3	192,8	86,3	27	12	9	4482	1902,8	54,5	-
	4	40,7	19,4	54,5	41,4	59,5	92,9	52,5	24,6	-
ЭК (19)	1	-	63	36	5	-	8923	1774	68	1037
	2	-	32	2	2	-	3475	725	58	21
	3	39	42,5	18,8	3,5	-	5736	1426	63,6	592,7
	4	-	28,5	65,2	42,9	-	38,3	28,9	5,8	71

<sup>1</sup>Вид: ТО – *Phragmites australis*; РУ – *Typha angustifolia*; УМ – *Myriophyllum verticillatum* L.; РТ-3 – *Ceratophyllum demersum*; РП – *Potamogeton perfoliatus*; РБ – *Potamogeton lucens* L.; РК – *Potamogeton crispus* L.; ЭК – *Elodea canadensis* Michx.

<sup>2</sup>Параметры – концентрации, мг/кг: 1 – максимальная, 2 – минимальная, 3 – средняя; 4 – коэффициент вариации (V), %; НП – ниже предела обнаружения; ( ) количество проб.

Высшие водные растения Волгоградского водохранилища характеризуются высокой вариабельностью содержания тяжёлых металлов, следовательно, их химический состав сильно зависит от концентраций тяжёлых металлов в среде (табл. 1). В общем виде ряд накопления тяжёлых металлов в макрофитах Волгоградского водохранилища (табл. 1) можно представить следующим образом: Fe>Mn>Sr>Cu>Zn>Cr>Ni>Pb>Co.

В исследуемых растениях были выявлены различные уровни связи между тяжёлыми металлами. К первому уровню относятся связи с сильной корреляцией Fe-Cr ( $r=0,9$ ), Fe-Co ( $r=0,83$ ), Co-Mn ( $r=0,83$ ), ко второму – со средней корреляцией Fe-Ni ( $r=0,74$ ), Fe-Mn ( $r=0,61$ ), Zn-Cu ( $r=0,75$ ), Zn-Pb ( $r=0,75$ ) и к третьему – со слабой Ni-Cr ( $0,56$ ).

Высокий коэффициент вариации (V) металла в высших водных растениях наряду со слабыми его корреляционными связями с другими элементами указывает на отсутствие биологического регулирования данного тяжёлого металла макрофитом (Лычагина и др., 1999). Синтезируя данные показатели мы получили следующие виды-индикаторы загрязнения акваландшафта: *Elodea canadensis* (Sr с  $V=71$ ), *Phragmites australis* и *Typha angustifolia* (Cu с  $V=115,5$ ;  $V=161,2$  соответственно), *Ceratophyllum demersum* (Zn с  $V=58,8$ ; Pb с  $V=83,5$ ) и *Potamogeton perfoliatus* (Pb с  $V=126,4$ ).

Таблица 2. Диапазон коэффициента биологического накопления ( $K_B$ ) для системы «водные растения – донные отложения» Волгоградского водохранилища, 2007 г.

TM	Cu	Zn	Mn	Ni	Pb	Co	Cr	Fe
$K_B$	0,15- 6,94	0,26- 6,18	0,35- 17,11	0,04- 4,5	0,01- 1,85	0,05- 0,1	0,3- 0,84	0,035- 0,7

Для оценки интенсивности вовлечения тяжёлых металлов в биогеохимические циклы миграции для высших водных растений были рассчитаны коэффициенты биологического накопления ( $K_B$ ), численно равные отношению содержания элемента в золе макрофита к его содержанию в донных отложениях, отобранных в корнеобитаемом слое растений. С увеличением  $K_B$  элементы более активно переходят из окружающей среды в растения (Перельман, 1966). Полученные данные дают основание полагать, что в исследуемых заливах в системе «растение – донные отложения» элементы Fe, Ni, Pb, Co, Cr преимущественно переходят в донные отложения, где прочно связываются и мало вымываются, тогда как такие металлы как Mn, Cu, Zn в основном аккумулируются тканями растений (табл. 2).

Количество взвесей на растениях прямо или косвенно связано с мутностью воды (объемно-массовая характеристика количества взвешенных наносов в воде), что определяет её относительную прозрачность. Мутность в открытой части Волгоградского водохранилища колеблется в основном от единицы до десятков граммов на кубический метр и может достигать во время шторма 300-500 г/м<sup>3</sup> (Филиппов, 2004). Средняя величина прозрачности для озерного участка водохранилища составляет 2,2-2,8 м (Филиппов, 2004).

При сравнении полученных данных с результатами анализов тех же видов растений, взятых из других водоёмов, можно заметить, что колебания содержания зольной фракции у растений значительны. Зольность *Potamogeton perfoliatus* из Волгоградского водохранилища в среднем составляет 20,2 %. В условиях других водоёмов она колеблется от 10,5 % на Киевском водохранилище до 21,4 % в водоёмах и водотоках Среднего Поволжья (Папченков, 2001). Средняя зольность произрастающего на Волгоградском водохранилище *Ceratophyllum demersum* составляет 26,3 %. Она близка к данным по Среднему Поволжью (22,8 %) (Папченков, 2001) и Горьковскому водохранилищу (26,6 %) (Довбня, 1972).

Для сопоставления данных по массе взвесей, сорбированных исследуемыми видами высших водных растений нами был произведен их перерасчет на воздушно-сухую биомассу растений 100 г/м<sup>2</sup>. Эти данные методом статистической группировки дифференцируются на три кластера с произвольным интервалом: от 8-20 г, 21-30 г, 31-46 г (табл. 3).

Таблица 3. Количество проб (%) при различной массе взвеси на поверхности растений с надземной воздушно-сухой биомассой 100 г/м<sup>2</sup>

Вид	Масса взвеси на поверхности водных растений, г		
	8-20	21-30	31-46
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	11,54	11,54	76,92
<i>Ceratophyllum demersum</i>	13,3	40	46,7

Количество взвеси, сорбированной высшими водными растениями, обуславливается экологическими условиями произрастания *Potamogeton perfoliatus* и *Ceratophyllum demersum*. Первое растение относится к экогруппе погруженных укореняющихся гидрофитов, произрастающих в стоячей и текущей воде, а также в прибойной зоне. Второе относится к экогруппе гидрофитов, свободно плавающих в толще воды с предпочтением глухих заливов

водохранилищ с малоподвижной водой (табл. 4) (Папченков, 2003; Лисицына и др., 2009).

Таблица 4. Надземная воздушно-сухая биомасса *Ceratophyllum demersum* и *Potamogeton perfoliatus* (г/м<sup>2</sup>) и средняя скорость потока воды в их зарослях (м/с)

Вид	Классы проективного покрытия, % (Папченков, 2001)				Средняя скорость движения воды (Казмирук и др., 2004)
	до 30	31-60	61-90	91-100	
<i>C. demersum</i>	20	60	140	340	0,05
<i>P. perfoliatus</i>	-	95	250	450	0,12 *

\* скоростные характеристики течений в зарослях *P. perfoliatus* приняты по данным для сообществ *P. lucens*.

На Волгоградском водохранилище экологически пластичный вид *P. perfoliatus* встречается на всех мелководьях с глубиной до 6 м и довольно значительной скоростью течения. Сообщества *P. perfoliatus* занимают большие площади в устьях заливов, образуют протяженные полосы зарослей на открытых мелководных участках, незащищенных от ветро-волнового воздействия, имеющих высокую скорость течения, что способствует переносу значительных объёмов взвешенных веществ (табл. 3 и 4). Очевидно этим обусловлен такой высокий процент проб (76,9 %) с содержанием взвеси и известковых отложений в пределах 31-46 г. Очевидно, обстановка для сорбирования взвеси поверхностью растений *C. demersum* менее благоприятна. Это показывают и наши данные, согласно которым у роголистника масса взвеси и отложений от 31 до 46 г была отмечена лишь в 46,7 % проб.

По данным В.А Шашуловского площадь зарастания Волгоградского водохранилища в 2003 г. составила 24 тыс. га, или 7,5 % от всей акватории водоёма (Шашуловский, Мосияш, 2010). На большинстве волжских водохранилищ наиболее распространённым гидрофитом является *P. perfoliatus* (Папченков, 2002). Например, в условиях залива Рыбинского водохранилища и подпорного участка по рекам Юхоть и Улейма, которые по морфологии и гидрологическим условиям могут быть моделью Волгоградского водохранилища, этот рдест занимает 40 % площади зарастания водоёма (Папченков, 2011). Интерпретируя эти данные, можно подсчитать, что на Волгоградском водохранилище заросли *P. perfoliatus* занимают площадь около 9600 га и аккумулируют в себе 14,1 тыс. т взвешенных веществ, что составляет приблизительно 0,6 % среднего годового стока наносов с бассейна водосбора водо-

хранилища. Расчёт производился по среднему арифметическому значению надземной воздушно-сухой массы *P. perfoliatus*, составляющей 450 г/м<sup>2</sup>. Но это только воздушно-сухая масса веществ и взвесей, которые накапливают растения на своей поверхности. Вместе с тем, хорошо известно, что растительность оказывает существенное сопротивление движению воды, способствуя осаждению взвешенных веществ на поверхность растений и дно водоёма до 10 % от годового твердого стока реки (Казмирук и др., 2004).

## ВЫВОДЫ

1. Зарастание Волгоградского водохранилища носит пульсирующий характер с чередованием медленной (1972-1981 и 1991-2003 гг.) и быстрой (1981-1991 и 2003-2007 гг.) фаз зарастания.

2. Характер зарастания определяется динамикой уровня воды, абразией и формированием абразионно-аккумулятивной отмели, скоростью изоляции заливов от акватории водохранилища и трансформацией природных комплексов и экосистем.

3. Динамика зарастания Волгоградского водохранилища характеризуется неоднородностью по участкам, большим разнообразием скорости зарастания и пространственного расположения фитоценозов, на основании чего выделено 11 типов зарастающих мелководий.

4. Наиболее высокая скорость зарастания характерна для заливов по устьям рек Терешка – 14,6 га/год, Курдюм – 2 га/год и Квасниковско-Узморским – 6,3 га/год, и Красноярским автогенным мелководьям – 4 га/год, тогда как заливы по оврагам и балкам зарастают медленно – от 0,04 га/год до 0,7 га/год.

5. Растительный покров Волгоградского водохранилища в пределах Волгоградской области отличается невысоким уровнем разнообразия (159 видов растений 85 родов и 46 семейств, 64 ассоциации 37 формаций) и упрощением структуры растительности, снижением числа растений сырых мест обитаний, повышением доли видов умеренно увлажнённых и сухих экотопов по мере усиления аридности территории.

6. В качестве видов-индикаторов загрязнения тяжёлыми металлами акваландшафта Волгоградского водохранилища следует использовать *Elodea canadensis* для Sr, *Phragmites australis* и *Typha angustifolia* для Cu, *Ceratophyllum demersum* для Zn и *Potamogeton perfoliatus* для Pb.

7. В исследованных заливах Волгоградского водохранилища коэффициент биологического накопления Fe находится в диапазоне 0,035-0,7, Ni – в диапазоне 0,04-4,5, Pb – 0,01-1,85, Co – 0,05-0,1, Cr – 0,3-0,84, которые преимущественно переходят в донные отложения, где прочно связываются и мало вымываются, тогда как Mn (0,35-17,11), Cu (0,15-6,94), Zn (0,26-6,18) в основном аккумулируются в тканях растений.

8. На Волгоградском водохранилище наиболее высокой аккумулирующей способностью обладают заросли *Potamogeton perfoliatus*, которые занимают площадь около 9600 га и аккумулируют в себе 14,1 тыс. т взвешенных веществ, что составляет приблизительно 0,6 % среднего годового стока наносов с водосбора водохранилища.

## СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Кочеткова А.И.** О некоторых закономерностях накопления тяжёлых металлов высшей водной растительностью на Волгоградском водохранилище // Вестник ВолГУ. Серия 3 «Экономика. Экология». 2012. № 1 (20). С. 305–309.

2. **Кочеткова А.И.** Особенности накопления взвешенных веществ водными растениями *Potamogeton perfoliatus* L., *Ceratophyllum demersum* L. Волгоградского водохранилища // Вода: химия и экология. 2012. № 8 (август). С. 64–68.

### Другие научные работы:

3. **Кочеткова А.И.** Особенности накопления тяжёлых металлов высшей водной растительностью Волгоградского водохранилища // Экологические и экономические составляющие устойчивого развития региона: материалы круглого стола. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2008. С. 149–156.

4. Зволинский В.П., Черных Н.А., Новиков В.В., **Кочеткова А.И.** Некоторые особенности накопления тяжёлых металлов макрофитами Волгоградского водохранилища // Экологические проблемы и социально-экономические аспекты обустройства и развития аридных территорий Российской Федерации: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Аридное землепользование – способы и технологии интенсификации». М.: Изд-во «Вестник РАСХН», 2009. С. 113–117.

5. **Кочеткова А.И.**, Полякова Ю.М. Пространственные особенности биогеохимической специализации эколого-морфологических групп растений

// XIII региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области. Волгоград: ГОУ ВПО ВолГАСУ, 2009. С. 70–74.

6. Новиков В.В., Воробьев Е.Б., **Кочеткова А.И.**, Маркова Н.Н., Объедкова О.А. О содержании некоторых загрязняющих веществ в экосистем Волгоградского водохранилища // Проблемы комплексного исследования Волгоградского водохранилища. Волгоград: Волгогр. науч. изд-во, 2009. С. 142–155.

7. Черных Н.А., Новиков В.В., Объедкова О.А., Козырева В.Н., **Кочеткова А.И.** О накоплении макрофитами Волгоградского водохранилища тяжёлых металлов // Экология речных бассейнов: тр. 5-й Междунар. науч.-практ. конф. Владимир: Изд-во ВООО ВОИ ПУ «Рост», 2009. С. 294–299.

8. **Кочеткова А.И.**, Объедкова О.А. Содержание ортофосфатов в воде Волгоградского водохранилища и исследование их взаимодействия с макрофитами в экспериментальных условиях // Экономическая модернизация: макро-, мезо- и микроуровни. Проблемы и перспективы устойчивого развития региона: материалы регион. науч.-практ. конф. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2010. С. 155–163.

9. **Кочеткова А.И.**, Павликова О.А. Особенности зарастания некоторых заливов Волгоградского водохранилища // Эколого–экономические проблемы южного макрорегиона: материалы круглого стола. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2010. С. 232–237.

10. **Кочеткова А.И.**, Полякова Ю.М. Биоэкологическая роль высшей водной растительности в трансформации тяжёлых металлов в водных экосистемах Волгоградского водохранилища // Молодые ученые и студенты к 55-летию города Волжского: XV межвузов. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов. Волгоград: Волгогр. науч. изд-во, 2010. С. 124–125.

11. **Кочеткова А.И.** Геоинформационный подход к исследованию процессов зарастания высшей водной растительностью мелководий Волгоградского водохранилища // Вестник факультета естественных и гуманитарных наук. Волжский, 2011. Вып. 1. С. 13–18.

12. **Кочеткова А.И.** Динамика зарастания высшей водной растительностью Волгоградского водохранилища // Проблемы и перспективы устойчивого развития региона: VIII Регион. науч.-практ. конф. Волгоград: Волгогр. науч. изд-во, 2011. С. 91–96.

13. **Кочеткова А.И.** Картирование высшей водной растительности на Волгоградском водохранилище с применением геоинформационных техно-

логий // Использование геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования Земли при решении пространственных задач: сб. науч. тр. Пермь, 2011. С. 17–24.

14. **Кочеткова А.И.** Разработка биоиндикационного метода исследования абразионных процессов Волгоградского водохранилища // Экологическая оптимизация регионального хозяйства: материалы кругл. стола. Урюпинск: Урюпинский филиал ГОУ ПО ВолГУ, 2011. С. 138–140.

15. **Кочеткова А.И.** Возможности использования материалов космической съемки и геоинформационных технологий для изучения зарастания высшей водной растительности Волгоградского водохранилища // Бассейн Волги в XXI – веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Ижевск: Издатель Пермьяков С.А., 2012. С. 148–152.

16. **Кочеткова А.И.** О возможности использования высшей водной растительности для очистки поверхностного и ливневого стоков в г. Волжском // XVI Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области. Волгоград: ВолГАСУ, 2012. С. 11–13.

17. **Кочеткова А.И.** Роль зарослей *Potamogeton perfoliatus* L. и *Ceratophyllum demersum* L. в осадконакоплении на Волгоградском водохранилище // Современные проблемы географии, экологии и природопользования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2012. С. 350–353.

18. **Кочеткова А.И.** Типология зарастающих мелководий Волгоградского водохранилища // Экологическая безопасность и природопользование: наука, инновации, управление»: Сб. работ всероссийского конкурса экологических проектов молодых учёных и специалистов. Москва, 2012. С. 83–88.