

На правах рукописи

ШАШУЛОВСКАЯ Елена Александровна

**РОЛЬ МЕЛКОВОДИЙ В САМООЧИЩЕНИИ РАВНИННЫХ
ВОДОХРАНИЛИЩ
(НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

03.02.08 – экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Н.Новгород-2010

Работа выполнена в Саратовском отделении Федерального государственного научного учреждения «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства»

Научный руководитель: кандидат биологических наук
Мосяш Сергей Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Филенко Олег Федорович

кандидат биологических наук,
Безруков Михаил Евгеньевич

Ведущая организация: Саратовский государственный
университет им. Н.Г. Чернышевского

Защита диссертации состоится « 28 » апреля 2010 г. в 15⁰⁰ ч.
на заседании диссертационного совета Д.212.166.12 при Нижегородском
государственном университете им. Н.И. Лобачевского по адресу: 603950,
г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 1, биологический факультет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского
государственного университета им. Н.И. Лобачевского.

e-mail: ecology@bio.unn.ru

факс: (831)465-85-92

Автореферат разослан « ____ » _____ 20 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Н.И. Зазнобина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В условиях возрастающего техногенного пресса на природную среду очевидную актуальность приобретают исследования, ориентированные на оценку состояния и устойчивости экосистем с учетом особенностей структуры их организации, функционирования и способности к самовосстановлению и саморегуляции (Вернадский, 1967; Былинкина, 1980; Израэль, 1984; Смоляков и др., 2004; Куриленко, Осмоловская, 2007; Бреховских и др., 2008; Pierto Kathleen at al., 2006; Ruelas-Inzunza, Paez-Osuna, 2008 и др.). В этой связи несомненный интерес представляет экосистема Волгоградского водохранилища как последнее звено в Волжском каскаде, которая за полувековой период своего существования явилась результирующей всех процессов загрязнения и самоочищения, накопителем трудноминерализуемых веществ как природного, так и антропогенного происхождения.

В настоящее время показано, что стабилизирующим звеном Волгоградского водохранилища является наличие обширной площади заросших мелководий (Шашуловский, 2006). Вместе с тем вопросы, касающиеся вклада макрофитов и в целом мелководий в процессы самоочищения и самовосстановления экосистемы Волгоградского водохранилища, пока недостаточно изучены.

Цель работы - изучение разнотипных мелководных участков и оценка их роли в процессах самоочищения на примере Волгоградского водохранилища. Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

- в многолетнем аспекте исследовать динамику гидрохимического режима Волгоградского водохранилища и загрязнение компонентов его экосистемы специфическими веществами; дать его токсикологическую характеристику;
- изучить пространственную динамику гидрохимического режима литоральных участков водохранилища, на основе чего провести типизацию его мелководий;
- исследовать закономерности содержания тяжелых металлов в донных отложениях и высшей водной растительности мелководных участков и рыбе;
- провести оценку степени самоочищения водохранилища и количественно определить роль мелководных участков водохранилища в процессах самоочищения;
- сформулировать практические рекомендации к мелиоративным мероприятиям по активизации естественных процессов самоочищения в экосистеме водоема.

Научная новизна. Проведена типизация мелководий Волгоградского водохранилища по гидрохимическим параметрам. Исследованы закономерности содержания тяжелых металлов в донных отложениях его литоральных участков. Впервые изучены закономерности накопления тяжелых металлов в вегетирующей и невегетирующей высшей водной растительности на разнотипных мелководных участках водохранилища. Впервые дана оценка степени самоочищения водохранилища и количественно определена роль мелководных участков водохранилища в процессах самоочищения.

Практическая значимость работы. Результаты исследований могут быть использованы при разработке практических рекомендаций к мелиоративным мероприятиям по активизации работы естественного биофильтра мелководных участков в экосистеме водоема.

Апробация работы. Материалы были доложены и представлены на: VII съезде Гидробиологического общества РАН (Казань, 1996); научной конференции «Биологическая продуктивность водоемов Западной Сибири и их рациональное использование» (Красноярск, 1997); научной конференции, посвященной 50-летию со дня рождений Новгородской лаборатории ГосНИОРХ (С.-Петербург, 1999); научной конференции «Проблемы рыбного хозяйства на внутренних водоемах» (С.-Петербург, 1999); VII Международной конференции (Сыктывкар, 2000), VIII съезде Гидробиологического общества РАН (Калининград, 2001); Всероссийской научной конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты функционирования водных экосистем» (Саратов, 2001); Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы загрязнения водоемов Волжского бассейна, современные методы и пути их решения» (Волгоград, 2004); международной конференции «Современные проблемы водной токсикологии» (Борок, 2005); IX съезде Гидробиологического общества РАН (Тольятти, 2006); международной научно-практической конференции «Состояние, охрана, воспроизводство и устойчивое использование биологических ресурсов внутренних водоемов» (Волгоград, 2007).

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 2 в отечественных журналах, включенных в перечень ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 177 страницах и состоит из введения, 5 глав, выводов и практических рекомендаций. Список цитируемой литературы включает 307 наименований, из них 62 на иностранном языке. Текст иллюстрирован 41 рисунком и 33 таблицами.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Основные поллютанты (цинк, свинец, медь, нефтепродукты) распределены в водах водохранилища в целом равномерно; острая токсичность вод и повышенное загрязнение донных отложений характерны для локальных участков водоема, прилегающих к урбанизированной зоне.

2. Уровень накопления поллютантов в высшей водной растительности определяется степенью зарастания и проточности мелководных участков, а также физиологическим состоянием и типом самой водной растительности. По возрастанию содержания тяжелых металлов в фитомассе высшая водная растительность располагается в следующем порядке: плавающая - прибрежно-водная – погруженная.

3. Мелководные участки водохранилища депонируют в своих компонентах около 10-20% тяжелых металлов и 40-70% биогенных элементов от их общего накопления в водохранилище, выполняя роль естественного биофильтра и способствуя самоочищению водоема.

Благодарности. Автор выражает сердечную благодарность своему научному руководителю к.б.н. Сергею Сергеевичу Мосияшу за неоценимую помощь на всех этапах написания работы; заведующей лабораторией рыбоводства, воспроизводства и охраны рыбных запасов Саратовского отделения ФГНУ «ГосНИОРХ» к.в.н. Н.Н.Лизиной и зав. сектором гидробиологии к.б.н. Ю.А. Малининой за содействие и полезные советы; сотрудникам лаборатории к.г.н. С.Г. Котляр, к.б.н. С.А. Мосияш, И. Г. Филимоновой, Е.Г. Кузиной, Л.В. Гришиной за участие в гидрохимических исследованиях; к.г.н. Сониной Е.Э. и Сильниковой Г. В. за консультативную помощь в определении систематики макрофитов и всем сотрудникам Саратовского отделения ФГНУ «ГосНИОРХ» за всестороннюю поддержку.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Обзор литературы

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ И САМООЧИЩЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

На основе литературных данных рассмотрены гидродинамические, физико-химические и биологические факторы формирования качества воды и самоочищения водных экосистем (Вернадский, 1967; Буторин и др., 1988; Остроумов, 2005; Бреховских и др., 2008 и др.). Отмечено большое значение соединений биогенных

элементов (особенно азота и фосфора) и тяжелых металлов (ТМ) (Трифорова, Былинкина, 1977; Леонов, Айзатуллин, 1977; Буторин и др., 1984; Линник, Набиванец, 1986 и др.) Указано на особое место высших водных растений (ВВР), как ведущего фактора формирования качества воды и газового режима водоемов (Бурдин, Золотухина, 1998; Дикиева, Петрова, 1983; Эйнон, 1992; Лычагина и др., 1998 и др.). Констатируется, что способность макрофитов к фильтрации, минерализации и окислению органических веществ, а также аккумуляции большого числа соединений как природного, так и антропогенного происхождения делает их необходимыми «участниками» естественной или целенаправленной фиторемедиации водоемов (Куриленко и др., 2002; Лычагина и др., 1998; Никаноров, Жулидов, 1991; Панин, Свидерский, 2001 и др.).

Глава 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО МЕЛКОВОДНЫХ УЧАСТКОВ

2.1. Морфология и гидрологический режим

Волгоградское водохранилище расположено в Саратовской и Волгоградской областях и простирается с северо-востока на юго-запад от г. Балаково до г. Волгограда. Длина его составляет 520 км. Водоем причисляют к категории очень крупных водохранилищ: площадь водного зеркала водохранилища при НПУ около 3500 км², полный объем – около 32,2 км³ (Антипова, 1961). Водохранилище относится к проточно-аккумулирующему типу. Показатель водообмена составляет 7,5 раз в год (Государственный водный кадастр..., 1985), что классифицируется как «большая» степень водообмена (Водоохранилища и их воздействие..., 1986).

На основе биогидрохимической классификации водохранилище условно делят на три участка (Сиденко, 1962): верхний, средний, нижний (приплотинный). Участки различаются морфологией, гидрологическим режимом и площадью мелководий (Небольсина, Браценюк, 1971; Герасимова, 1996). Наиболее обширные мелководья возникли на верхнем и среднем участках преимущественно в левобережье водоема и составляют соответственно 66 и 51% от площадей участков, что обусловлено геоморфологической спецификой затопленной речной долины (Небольсина, Земскова, 1980). На нижнем участке мелководная зона занимает всего лишь 14% от общей площади участка.

Особенностью Волгоградского водохранилища является слабо развитая сеть боковой приточности, относительно постоянный уровень и осенне-

зимняя сработка уровня (Далечина, Волков, 1977; Небольсина, Земскова, 1980; Паутова, 2003).

2.2. Мелководные участки

Существенное влияние при формировании качества воды Волгоградского водохранилища имеют мелководные участки с глубинами до 5 м. Площадь их составляет около 45%. Особенности гидрологии и морфометрии благоприятно сказываются на биотопах мелководной зоны, которая играет большую роль в воспроизводстве используемых биологических ресурсов. Ассоциации макрофитов мелководий имеют в настоящее время огромное значение в продукционных процессах его экосистемы, формируя около 30% первичной продукции растительных гидробионтов (Шашуловский, 2006). Мелководная зона характеризуется низким водообменом с русловой частью водохранилища, что обуславливает специфичность физико-химических и биологических процессов, протекающих на литоральных участках.

Глава 3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для выполнения работы послужили данные, полученные лично автором и при его участии в процессе экспедиционных и лабораторных исследований гидрохимического режима, донных отложений (ДО), высшей водной растительности и рыбы Волгоградского водохранилища, а также литературные сведения и фондовые материалы Саратовского отделения ФГНУ ГосНИОРХ (табл.1).

Для выявления роли мелководий в процессах самоочищения исследовали следующие наиболее типичные участки верхней и средней зон водохранилища: поймы, заливы, устьевые заливы рек, мелководья коренных берегов. Кроме того, учитывалась открытость мелководий (открытые, закрытые), их проточность, степень зарастания высшей водной растительностью.

Ежемесячно с апреля по ноябрь 2006-2007 гг. на исследуемых станциях отбирались пробы воды и донных отложений. Пробы макрофитов отбирали одновременно в период максимальной физиологической активности водных растений (июль) и в конце вегетации. Объектами исследований служили растения разных экологических групп, наиболее типичные для Волгоградского водохранилища (Седова, 2007): воздушно-водные - тростник обыкновенный (*Phragmites australis*

(*Cav.*) *Trin. ex Steud.*), рогоз узколистый (*Typha angustifolia* Linnaeus), камыш озерный (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla); погруженные - урути мутовчатая (*Myriophyllum verticillatum* L.) и колосистая (*Myriophyllum spicatum* L.), роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum* L.), элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx.), а также рдесты блестящий (*Potamogeton lucens* L.), курчавый (*Potamogeton crispus* L.) и пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L. Smith); плавающие – кубышка желтая (*Nuphar lutea* (L.) Smith) и водокрас лягушачий (*Hydrocharis morsus-ranae* L.). Определения макрофитов проводились по П.Ф. Маевскому (2006).

Таблица 1

Характеристика материала, использованного в работе

Разделы работы	Характер материала	Период	Источник (объем)
Гидрохимический режим Волгоградского водохранилища	Гидрохимические данные	1980-1989 гг.	Фондовые материалы
		1990-2007 гг.	Фондовые материалы и собственные данные (всего отобрано и обработано 620 проб воды)
Специфическое загрязнение экосистемы Волгоградского водохранилища	Определение содержания ТМ и нефтепродуктов в воде, ДО и рыбе	1990-2008 гг.	Собственные данные (всего отобрано и обработано 146 проб воды, 119 проб ДО и 104 пробы рыбы)
Токсикологическая характеристика Волгоградского водохранилища	Биотестирование воды с помощью дафниевых и водорослевого биотестов	1991-2000 гг.	Собственные данные (всего отобрано и обработано 38 проб воды)
Роль мелководных участков в процессе самоочищения Волгоградского водохранилища	Гидрохимические исследования, определение содержания ТМ в ДО и ВВР	2006-2007 гг.	Собственные данные (всего отобрано и обработано 102 пробы воды, 71 проба ДО и 175 проб ВВР)

Для химического анализа использовали пробы ВВР, состоящие из различных органов растений (стебли и листья).

Отбор, химический и токсикологический анализ проб воды, донных отложений и ВВР проводился по общепринятым ГОСТам (ГОСТ Р 51592-2000; ГОСТ 26929-86 и др.) и методикам (ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3.2-2003; ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3.46-06 и др.).

Статистическую обработку данных проводили с использованием принятых методов вариационной статистики, в том числе факторного, дискриминантного и регрессионного анализов. Для обработки применяли соответствующие процедуры программной среды Microsoft Excel, а также специализированные пакеты программ Stadia 6.1 и Statgraphics Plus 5.0.

Общую степень самоочищения Волгоградского водохранилища по отношению к основным биогенным элементам (минеральные формы азота и фосфора) рассчитывали по формуле (Справочник по гидрохимии, 1989): $CC = 100(C_n - C_k)/C_n$, где CC – степень самоочищения, %; C_n и C_k - концентрации вещества соответственно в начальном и конечном створе участка.

Собственные исследования

Глава 4. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩА

Из всего комплекса гидрохимических показателей водохранилища наибольшее значение имеют количественный и качественный состав органического вещества и биогенные элементы, как наименее стабильные и тесно связанные с внутриводоемными процессами, а также специфические загрязняющие вещества.

За последние три десятилетия существования Волгоградского водохранилища произошло увеличение в его водах содержания трудноминерализуемой части органического вещества в результате старения водоема и аккумуляции веществ, поступающих из выше расположенных водохранилищ (табл.2).

4.1. Динамика биогенных элементов

Нами проведено исследование временных рядов многолетней динамики растворенных минеральных форм биогенных элементов за всё время существования водохранилища. К анализу были также подключены данные по среднесезонной биомассе фитопланктона, как одного из основных потребителей биогенных элементов в экосистеме (Котляр и др., 2004). Для статистического оценивания тенденции многолетнюю выборку показателей условно разделили на три периода: 1960-1975, 1976-1990 и 1991-2002 гг.

Таблица 2

Средние показатели содержания органического вещества и биогенных компонентов в воде Волгоградского водохранилища в 1980-2007 гг.

Исследуемые показатели	1980-1990 гг.	1990-2000 гг.	2001-2007 гг.
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	8,8±0,2	9,5±0,2	9,2±0,3
ХПК, мгО/дм ³	24,6±3,2	23,9±2,8*	38±4,5*
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	2,67±0,27*	2,24±0,32	2,02±0,21*
Азот аммонийных соединений, мг/дм ³	0,40±0,04	0,38±0,05	0,38±0,06
Азот нитритов, мг/дм ³	0,024±0,001	0,022±0,001	0,018±0,001
Азот нитратов, мг/дм ³	0,5±0,08*	0,89±0,09*	0,72±0,09
Сумма азота, мг/ дм ³	0,88±0,07*	1,23±0,12*	1,18±0,14
Фосфор ортофосфатов, мг/ дм ³	0,069±0,008	0,066±0,009	0,055±0,004
Железо, мг/ дм ³	0,21±0,02	0,27±0,03*	0,12±0,02*
Кремний, мг/ дм ³	3,95±0,42*	6,98±0,53*	6,47±0,84

Примечание: знаком* обозначены статистически значимые ($p < 0,05$) различия показателей между 1980-1990, 1990-2000 и 2001-2007 гг.

Сравнение данных (табл. 3) показывает, что за период существования водохранилища различия показателей во времени статистически не доказываются ($p > 0,05$) для большинства из них. Исключение составляет азот нитратов и сумма минеральных форм азота, статистически значимо увеличившиеся в последний период. Вместе с тем содержание минерального фосфора в воде остается практически на одном уровне. Последнее обстоятельство связано с особенностями трансформации и формами состояния фосфора в экосистеме водоема (Хендерсон-Селлерс, Маркленд, 1990).

Средние показатели концентраций биогенных элементов и биомассы фитопланктона в разные периоды существования Волгоградского водохранилища

Показатели	1960-1975 гг.	1976-1990 гг.	1991-2002 гг.
Азот аммонийных соединений, мг/м ³	247±36	318±32	283±32
Азот нитритов, мг/м ³	25±4	23±2	22±3
Азот нитратов, мг/м ³	407±71*	328±111	838±61*
Сумма минеральных форм азота, мг/м ³	667±57*	619±70	1133±101*
Фосфор минеральный, мг/м ³	55±4	69±9	66±6
Биомасса фитопланктона, г/м ³	1,50±0,24	1,98±0,51	1,91±0,63

Примечание: знаком* обозначены статистически значимые ($p < 0,05$) различия показателей между 1960-1975 и 1991-2002 гг.

4.2. Специфическое загрязнение

По нашим данным, наблюдается равномерное распределение по акватории водохранилища содержания таких поллютантов как тяжелые металлы и нефтепродукты. Средние концентрации цинка в воде находятся на уровне рыбохозяйственных ПДК, кадмий встречается в единичных пробах, количества свинца в несколько раз ниже нормативов, медь превышает ПДК в 1,5 раза. Концентрации нефтепродуктов в воде – на уровне рыбохозяйственных нормативов за исключением среднего участка, где наблюдается двукратное превышение (табл. 4).

Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в воде Волгоградского водохранилища (2001-2007 гг.)

Участок	Концентрация, мг/дм ³			
	Цинк	Свинец	Медь	Нефтепродукты
Верхний	0,009±0,0003	0,001±0,0005	0,0015±0,0002	0,05±0,01
Средний	0,009±0,0003	0,001±0,0002	0,0015±0,0002	0,09±0,01
Нижний	0,009±0,0003	0,001±0,0003	0,0016±0,0002	0,05±0,01
Рыбохозяйственные ПДК	0,01	0,006	0,001	0,05

Загрязнение донных отложений носит неравномерный характер, обусловленный локальным поступлением поллютантов и типом донных отложений (табл. 5). Максимальные значения отмечены в районе Вольска, Усовки, ниже г. Саратова, в районе р. Еруслана и г. Волжского.

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в донных отложениях Волгоградского водохранилища в 2001-2007 гг.

Участок	Концентрация, мг/кг				
	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь	Нефтепродукты
Верхний	н/о – 40	н/о – 0,22	1,6 -30	2,5 – 35	н/о-280
Средний	н/о – 204	н/о – 0,49	13 – 40	1,6 – 46	н/о-305
Нижний	41 – 154	н/о – 0,6	11 – 50	5,0 – 86	62-181

Концентрации токсикантов в мышцах промысловых видов рыб не превышают допустимых норм (табл. 6). Особо следует отметить кадмий и свинец, частота встречаемости которых повысилась в последние годы.

Таблица 6

Сравнительные данные содержания некоторых тяжелых металлов в мышцах основных промысловых видов рыб (мг/кг сырого веса) Волгоградского водохранилища в 1990-х и 2006-2008 гг.

Токсикант	1990- е гг.		2006-2008 гг.		Допустимые остаточные количества в пищевых продуктах
	Среднее	Встречаемость, %	Среднее	Встречаемость, %	
Цинк	14,0±4,6	100	5,4±1,0	100	40
Кадмий	-	3	0,0021±0,0005	30	0,1
Свинец	0,19±0,05	25	0,33±0,06	100	1,0
Медь	2,07±0,49	100	1,4±0,2	100	10

4.3. Токсикологическая характеристика

Проведенные нами токсикологические исследования показали, что вода водохранилища в районе большого промышленного узла (г. Саратов) характеризуется неудовлетворительным качеством (табл. 7). На участках водохранилища, не подверженных сильному антропогенному прессу, качество воды удовлетворительное. Острая токсичность характерна для воды ряда оврагов, впадающих в водохранилище с территории города.

Оценка токсичности воды на разных участках водохранилища в летний период в остром эксперименте (3 суток)

Пункты отбора проб	Качество воды по дафниевому и водорослевому тестам
Урбанизированные акватории верхнего и среднего участков	
Выше г. Саратова	
г. Вольск	неудовлетворительное
п. Усть-Курдюм	удовлетворительное
Ниже г. Саратова	
п. Нефтяной	неудовлетворительное
Ниже ж/д моста	неудовлетворительное
п. Беленькие	неудовлетворительное
Средний участок	
п. Ахмат	удовлетворительное
с. Золотое	удовлетворительное
Нижний участок	
с. Горный Балыклей	удовлетворительное
г. Волжский	удовлетворительное

Глава 5. ПРОЦЕССЫ САМООЧИЩЕНИЯ НА МЕЛКОВОДЬЯХ ВОДОХРАНИЛИЩА

5.1. Гидрохимические исследования мелководий

Проведенные нами исследования показали, что из всех типов мелководий наиболее отличимыми гидрохимическими показателями характеризуются пойменные участки и заливы. В воде этих объектов повышается количество легкоокисляемого органического вещества, увеличиваются показатели перманганатной окисляемости и ХПК. Содержание азота нитратов падает благодаря поглощению их высшими водными растениями. Количество аммонийного азота увеличивается вследствие интенсификации как продукционных, так и деструкционных процессов.

Среднее содержание общего железа в воде пойм и заливов несколько выше, чем в русле и мелководьях коренного берега. Концентрации меди, наоборот, ниже на закрытых участках мелководий. Здесь же выше средние концентрации органического вещества, азота нитритов, кремния и железа. Уменьшение соотношения N:P на закрытых участках мелководий свидетельствует об усилении эвтрофирующего эффекта, определяющую роль в котором играет фосфор (Алекин и др., 1983).

Описанные тенденции подтверждает и типизация мелководных участков по проточности. Ее снижение или отсутствие создает особые условия, при которых преобладает нестойкое, преимущественно автохтонное органическое вещество.

Увеличивается количество аммонийного азота, нитритов, уменьшаются средние концентрации нитратов и фосфатов.

На сильно заросших участках повышается содержание органического вещества, снижается количество меди и железа.

5.2. Типизация мелководий по гидрохимическим параметрам

Проведенная на основе дискриминантного анализа типизация мелководий по гидрохимическим параметрам показала, что можно выделить следующие их типы:

а) пойменные участки, б) устьевые заливы рек, впадающих в водохранилище, в) прибрежные мелководья (рис. 1).

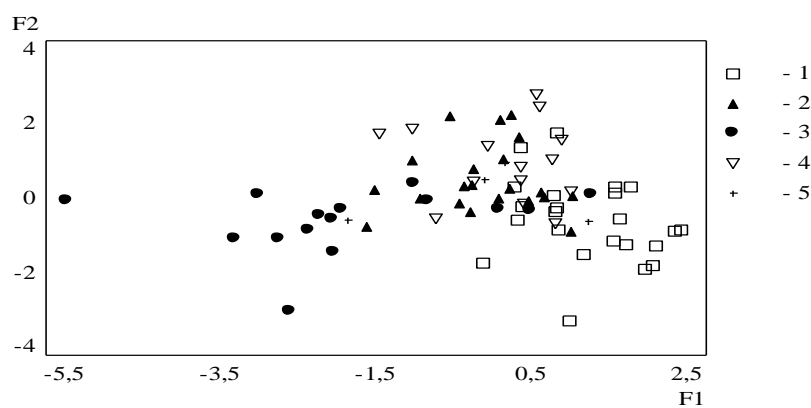


Рис. 1. Диаграмма рассеивания разных по генезису мелководных участков на плоскости двух дискриминантных функций: 1 – пойменные участки, 2 – заливы, 3 – устьевые заливы, 4 – мелководья коренного берега, 5 – центры классов

По результатам факторного анализа установлено, что в изменениях гидрохимического фона мелководий обнаруживается выраженная плеядная структура показателей, наиболее изменчива плеяда «нелимитирующих биогенных веществ» (нитриты, железо, кремний), наименее – «стойкое органическое вещество» (перманганатная окисляемость); плеяда – «лимитирующие биогенные вещества» (нитраты, фосфаты) занимает промежуточное положение.

5.3. Загрязняющие вещества в донных отложениях мелководий

Нами установлено, что донные отложения пойменных участков в среднем содержат в 2 раза более высокие концентрации тяжелых металлов по сравнению с другими типами мелководий (рис. 2).

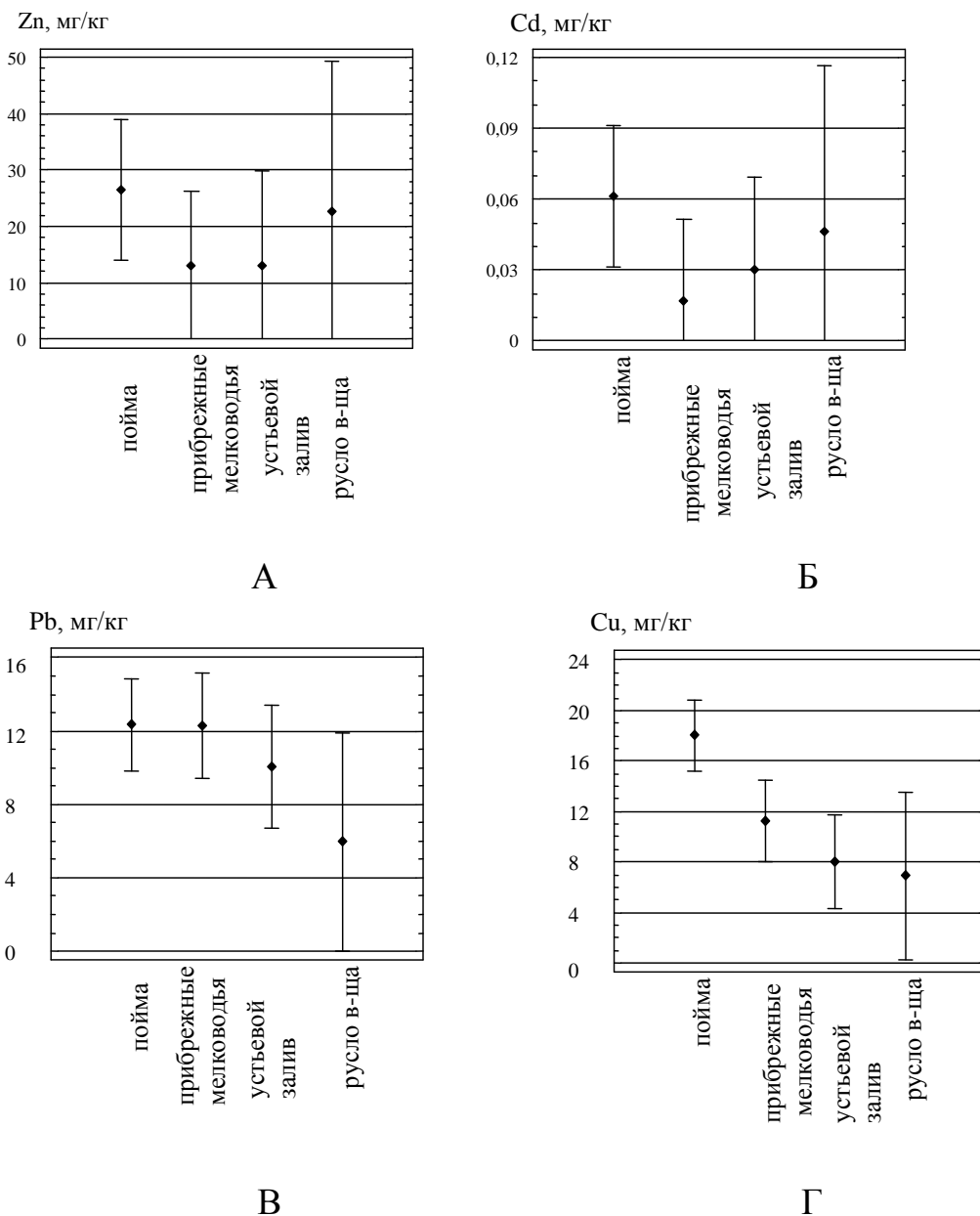


Рис. 2. Концентрации (средние и доверительный интервал) цинка (А), кадмия (Б), свинца (В) и меди (Г) в донных отложениях на различных участках Волгоградского водохранилища.

Этому способствует слабый водообмен с транзитной зоной водохранилища, не приводящий к быстрому выносу тяжелых металлов.

Открытость или изолированность мелководий оказывает влияние на содержание некоторых тяжелых металлов в донных отложениях. По нашим данным, в закрытых, как правило, сильно заросших мелководьях, мягкие грунты содержат наибольшее количество ТМ (рис. 3).

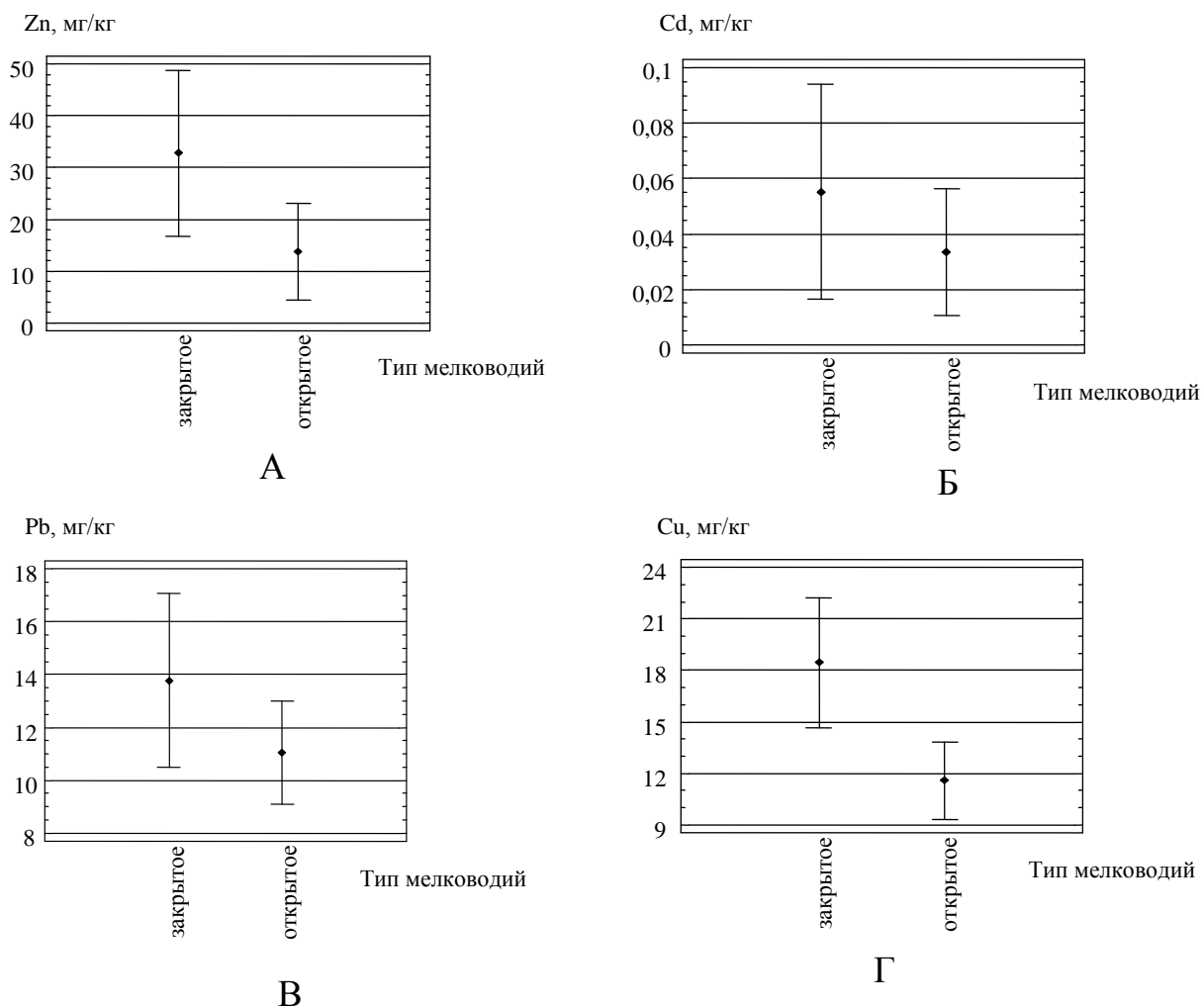


Рис. 3. Концентрации (средние и доверительный интервал) цинка (А), кадмия (Б), свинца (В) и меди (Г) в донных отложениях на различных по открытости мелководных участках Волгоградского водохранилища.

5.4. Закономерности накопления загрязняющих веществ в высшей водной растительности

Нами установлено, что по возрастанию содержания тяжелых металлов в фитомассе, высшая водная растительность располагается в следующем порядке: плавающая – прибрежно-водная – погруженная. Особенности накопления разных ТМ в растительности неодинаковы и зависят как от природы элемента, так и экологического типа растений (рис. 4). Содержание цинка в вегетирующей растительности выше в среднем в 3 раза, для кадмия эта разница меньше. Свинца и меди, наоборот, невегетирующая высшая водная растительность содержит в 1,5-3 раза больше. Подобные различия обусловлены разной прочностью соединения металлов с органическим веществом растений (Илялетдинов, 1984).

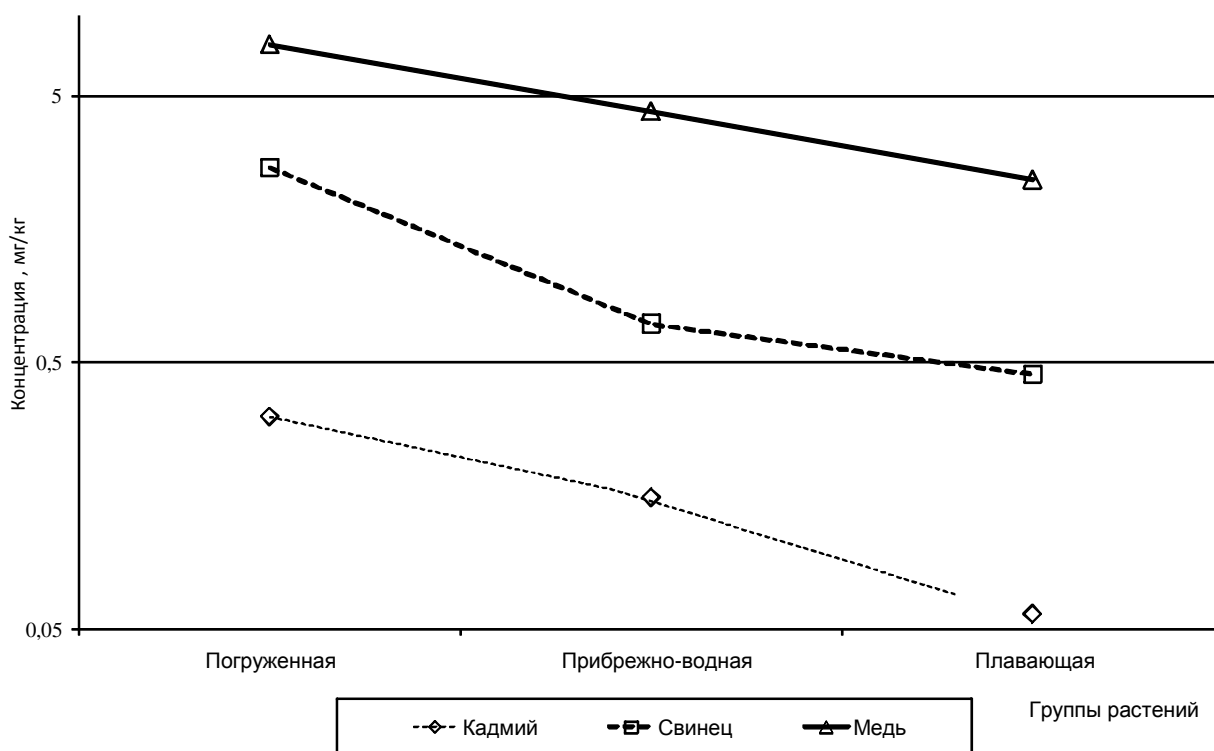


Рис. 4. Содержание тяжелых металлов в разных типах вегетирующей высшей водной растительности на мелководьях Волгоградского водохранилища (по оси ординат приведена логарифмическая шкала)

Наиболее активными биоконцентраторами тяжелых металлов являются роголистник темно-зеленый и уруть мутовчатая — растения, относящиеся к группе укорененных гидатофитов, которые поглощают металлы как из воды, так и из донных отложений.

На уровень накопления тяжелых металлов в высшей водной растительности оказывают влияние степень зарастания и проточность мелководий. По нашим данным, с увеличением степени зарастания уменьшаются средние концентрации металлов в вегетирующих растениях в 2-3 раза, в невегетирующих, как правило, - в 2 раза. Возрастание скоростей течения приводит к повышению содержания исследуемых токсичных элементов в тканях растительности в среднем в 2,3 раза.

5.4. Аккумулирующая емкость мелководных участков

Для расчетов аккумулирующей емкости Волгоградского водохранилища использовали полученные нами средние показатели содержания основных биогенных элементов и тяжелых металлов в воде, донных отложениях и высшей водной растительности водохранилища (табл. 8).

Таблица 8

Средние концентрации ингредиентов в воде, донных отложениях и высшей водной растительности Волгоградского водохранилища

Исследуемые ингредиенты	Вода, мг/дм ³		Донные отложения, мг/кг сухого веса	Макрофиты (невегетирующие), мг/кг сухого веса
	Мелководная часть	Водохранилище в целом		
Минеральный азот	0,68	0,67	-	-
Минеральный фосфор	0,067	0,076	-	-
Медь	0,0017	0,0019	12	7,7
Свинец	0,0004	0,0005	9	3,6

По литературным данным, донными отложениями водохранилищ поглощается около 60 % меди и 87 % свинца от их общего содержания в толще воды (Смоляков и др., 2004).

Учитывая эти цифры, и то, что объем Волгоградского водохранилища составляет около 32,2 км³ (Антипова, 1961), а объем всех мелководий (при средней глубине 2,5 м) – около 4 км³, получаем общее количество ингредиентов в воде и донных отложениях водохранилища (табл. 9).

Таблица 9

Общее содержание химических элементов в воде и донных отложениях Волгоградского водохранилища

Ингредиент	Вода		Донные отложения	
	Водохранилище в целом	Мелководная часть	Водохранилище в целом	Мелководная часть
Минеральный азот, тыс. т	22	2,72	-	-
Минеральный фосфор, тыс. т	2,4	0,268	-	-
Медь, т	61,2	6,8	37,7	4,2
Свинец, т	16,1	1,6	13,9	1,4

На основании данных об изменениях концентраций биогенных элементов по продольной оси водохранилища в конце вегетационного сезона получены соответствующие уравнения тренда и их графические отображения (рис. 5).

Исходя из полученных уравнений, рассчитывались средние концентрации минеральных форм азота и фосфора в начальном и конечном створах водохранилища, а также степень самоочищения водоема по данным биогенным элементам (табл. 10).

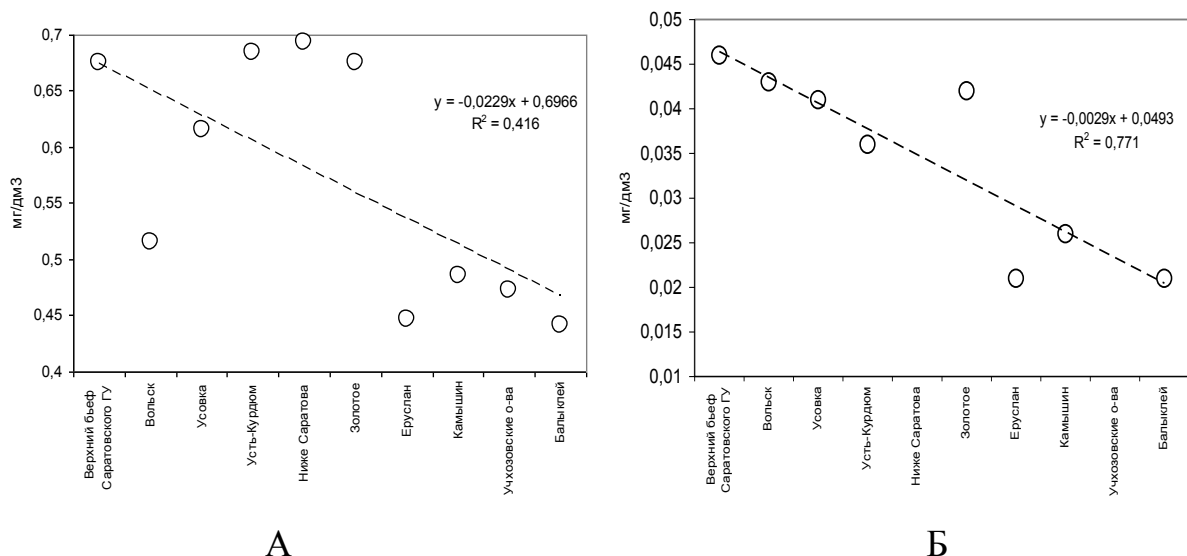


Рис. 5. Пространственный тренд содержания в воде суммарного минерального азота (А) и минерального фосфора (Б) по продольной оси Волгоградского водохранилища к концу вегетационного сезона (сентябрь)

Таблица 10

Порядок расчета степени самоочищения Волгоградского водохранилища по основным биогенным элементам

Показатель	Минеральный азот	Минеральный фосфор
Концентрация в начальном створе водохранилища, мг/дм ³	0,674	0,046
Концентрация в конечном створе водохранилища, мг/дм ³	0,468	0,020
Разность концентраций в начальном и конечном створах, мг/дм ³	0,206	0,026
Степень самоочищения, %	30,6	56,3

Таким образом, экосистемой водоема «поглощается» около одной трети азота и половины фосфора, поступающих из расположенного выше Саратовского водохранилища.

В Волгоградском водохранилище ежегодно продуцируется около 320 тыс. т сухой массы высшей водной растительности (Шашуловский, 2006). По различным источникам, макрофиты накапливают около 2,15-2,21% азота и 0,30-0,61% фосфора от сухого веса (Якубовский и др., 1975; Довбня, 1979).

Опираясь на эти цифры нами подсчитано, что высшие водные растения мелководных участков Волгоградского водохранилища ежегодно накапливают в своей массе около 7 тыс. т азота и 1,5 тыс. т фосфора.

Учитывая средние концентрации содержания тяжелых металлов в тканях невегетирующих макрофитов получаем, что во всей растительной массе

водохранилища к концу вегетационного сезона ежегодно накапливается около 1,2 т свинца и 2,5 т меди.

Используя литературные данные по промзапасам рыб водохранилища и содержанию в них азота и фосфора (Шашуловский и др., 2007; Клейменов, 1952), а также наши данные по содержанию тяжелых металлов (см. табл.6) получаем, что рыба, как конечное звено пищевой цепи, аккумулирует в своей массе всего около 4,8 % азота, 2,2% фосфора, 0,3 % свинца и 0,6% меди от количества этих ингредиентов, содержащихся в макрофитах. В этой связи при расчетах самоочищения можно пренебречь аккумуляцией химических соединений в рыбе.

Планктонные организмы – наиболее активные концентраторы микроэлементов по сравнению с рыбами и водными растениями (Леонова, Брагинский, 1998). Однако, в силу короткого жизненного цикла этих гидробионтов и стремления биоты вывести тяжелые металлы из биогеохимического круговорота (Никаноров, Жулидов, 1997), планктон не может рассматриваться в качестве депонирующего компонента экосистемы.

Приближенная модель аккумулирующей емкости позволяет констатировать, что мелководные участки водохранилища депонируют в своих компонентах значительную часть загрязняющих веществ, существенно способствуя самоочищению экосистемы водоема (табл.11).

Таблица 11

Итоговые данные оценки аккумулирующей емкости Волгоградского водохранилища по основным биогенным элементам и тяжелым металлам

Биогенные элементы	Азот минеральный	Фосфор минеральный
Аккумуляция, тыс. т/год		
Общая в водохранилище	16,7	2,11
В высшей водной растительности	7	1,5
Доля в процессах самоочищения, %		
Высшая водная растительность мелководий	42	71
Другие факторы самоочищения	58	29
Тяжелые металлы	Медь	Свинец
Аккумуляция, т/год		
Всего	40,2	15,1
В высшей водной растительности	2,5	1,2
В донных отложениях мелководной части	4,2	1,4

Таким образом, растительность мелководий ежегодно накапливает в своей фитомассе около 7 тыс. т азота, 1,5 тыс. т фосфора, 1,2 т свинца и 2,5 т меди. В общем процессе самоочищения макрофиты извлекают из воды более 40% азота и 70% фосфора. Донные отложения мелководий аккумулируют порядка 10-20% накапливающихся в водоеме тяжелых металлов.

ВЫВОДЫ

1. За последние три десятилетия существования Волгоградского водохранилища произошло увеличение в его водах содержания трудноминерализуемой части органического вещества и суммы минеральных форм азота в 1,5 раза. Наблюдается равномерное распределение по акватории водохранилища содержания таких поллютантов как тяжелые металлы и нефтепродукты. В то же время загрязнение донных отложений носит неравномерный характер, обусловленный локальным поступлением поллютантов и типом донных отложений на отдельных участках водохранилища. Концентрации токсикантов в мышцах промысловых видов рыб не превышают допустимых норм.

2. Проведенные токсикологические исследования с использованием методов биотестирования показали, что большинство участков Волгоградского водохранилища характеризуется водой «удовлетворительного» качества. Острая токсичность характерна лишь для локальных участков водоема, прилегающих к мелким водотокам урбанизированной зоны.

3. По динамике гидрохимического режима, мелководья водохранилища подразделяются на а) пойменные участки, б) устьевые заливы, впадающих в водохранилище рек, в) прибрежные мелководья. Гидрохимический режим мелководных участков с разной степенью зарастания высшей водной растительностью имеет выраженные различия, для которых наиболее значимыми являются показатели нитратного и аммонийного азота, БПК₅, перманганатной окисляемости, железа.

4. Донные отложения пойменных участков характеризуются в среднем в 2 раза более высокими концентрациями тяжелых металлов по сравнению с другими типами мелководий.

5. По возрастанию содержания тяжелых металлов в фитомассе, высшая водная растительность располагается в следующем порядке: плавающая – прибрежно-водная – погруженная. Наиболее активными биоконцентраторами тяжелых металлов являются роголистник темно-зеленый и уруть мутовчатая. Особенности накоп-

ления разных тяжелых металлов в вегетирующей высшей водной растительности неодинаковы. Однако в конце вегетации различия в динамике содержания элементов нивелируются, что является следствием замедления обмена веществ.

6. На уровень накопления тяжелых металлов в высшей водной растительности оказывают влияние степень зарастания и проточность мелководий. С увеличением степени зарастания средние концентрации металлов в растениях уменьшаются в 2-3 раза. Возрастание скоростей течения приводит к повышению содержания исследуемых токсичных элементов в тканях растительности в среднем в 2 раза.

7. По приближенной оценке, экосистемой водохранилища депонируется около 30% соединений минерального азота и около 60% фосфора, поступающих из выше лежащих участков Волги. Растительность мелководий ежегодно накапливает в своей фитомассе около 7 тыс. т азота, 1,5 тыс. т фосфора, 1,2 т свинца и 2,5 т меди. Доля макрофитов в общем процессе самоочищения составляет более 40% по азоту и 70% по фосфору. Аккумуляция тяжелых металлов в мелководной части достигает порядка 10-20% от их общего накопления в водохранилище.

8. Полученные данные свидетельствуют, что мелководные участки водохранилища, депонирующие в своих компонентах значительную часть загрязняющих веществ, выполняют роль мощного биофильтра, коренным образом способствуя самоочищению экосистемы.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

– Активизация работы естественного биофильтра мелководных участков водохранилища возможна путем выполнения системы мелиоративных мероприятий, включающих спроектированное периодическое удаление высшей водной растительности.

– К наиболее перспективным участкам для такого рода мероприятий следует отнести устьевые заливы рек (Терешка, Курдюм) и пойменные участки верхней и средней зон водохранилища (Красноярская, Ровенско-Черebaевская поймы).

– Проектирование мероприятий по мелиорации пойменных мелководий должно предусматривать возможность максимального сохранения естественной системы самоочищения водоема, с учетом позитивной роли зарослей макрофитов в очищении поверхностного стока от загрязняющих веществ.

– При планировании работ по удалению высшей водной растительности путем выкашивания следует акцентировать внимание на разрушение непрерывности массивов прибрежно-водной растительности в целях увеличения

проточности на мелководных участках и наиболее эффективного накопления поллютантов в фитомассе.

- Скошенная растительность должна быть удалена за пределы водоема, что будет способствовать не только активации процессов самоочищения и снижению вторичного загрязнения, но и прямому освобождению экосистемы от излишков биогенных элементов, накапливаемых в ходе её развития по макрофитному типу.

- При проектировании мелиоративных мероприятий следует четко определить целевые показатели результатов мелиорации. К основным из целевых показателей следует причислить: улучшение проточности, улучшение газового режима, снижение илонакопления, сдерживание зарастания и заболачивания, снижение вторичного загрязнения водоема.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ

(* - публикации в соответствии со списком ВАК)

1. * Шашуловская Е.А. О накоплении тяжелых металлов в высшей водной растительности Волгоградского водохранилища // Поволж. экол. журн.- 2009.- №4.- С. 355-359.

2. * Шашуловская Е.А., Мосияш С.А. О роли мелководий в процессах самоочищения Волгоградского водохранилища // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. - 2009.- №12.- С. 43-46.

3. Зенкина Е.А. Биотестирование как интегральный метод оценки качества вод // Материалы VII съезда Гидробиологического общества РАН, Казань. - Ч.3. - 1996.- С. 30-32.

4. Шашуловская Е.А. Комплексная оценка влияния сточных вод промышленных предприятий на экосистему водоема // Биологическая продуктивность водоемов Западной Сибири и их рациональное использование: Тез. докл. научн. конф.- Красноярск, 1997.- С. 54.

5. Загора Л.П., Котляр С.Г., Шашуловская Е.А., Кузнецова В.И, Лопина О.А. Влияние промышленного комплекса г. Саратова на состояние, структурные особенности и продуцирование гидробионтов // Новгородская лаборатория ГосНИОРХ (к 50-летию со дня рождения): Сб. научн. трудов.- С.-Петербург, 1999.- С. 129-142.

6. Шашуловская Е.А., Кузина Е.Г. Биотестирование природных и сточных вод в зоне влияния промышленного комплекса г. Саратова // Проблемы рыбного хозяйства на внутренних водоемах: Тез. конф. молодых ученых. - С.-Петербург, 1999.- С. 78.

7. Шашуловская Е.А., Мосияш С.С., Кузина Е.Г., Шмакова Т.Т. Токсикогенная характеристика сточных вод и ее использование в практике гидробиологического контроля // Итоги рыбохозяйственных исследований на

Саратовском и Волгоградском водохранилищах: Сб. научн. трудов. -С.-Петербург, 2000.- С. 143-155.

8. Шашуловская Е.А. Влияние промышленного комплекса г. Саратова на экосистему среднего участка Волгоградского водохранилища //Тез. докл. VII Междунар. конф. -Сыктывкар, 2000.- С. 71-72.

9. Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Мосияш С.С. Токсикологическое исследование поверхностных водных объектов Саратовской области //Малые реки: современное экологическое состояние, актуальные проблемы: Тез. докл. Междунар. научн. конф.- Тольятти, 2001.- С. 226.

10. Шашуловская Е.А. О загрязнении тяжелыми металлами и нефтепродуктами биогидроценоза Волгоградского водохранилища // VIII съезд Гидробиологического общества РАН: Тез. докл.- Калининград.- Т. 2.-2001.- С. 191-192.

11. Шашуловская Е.А., Котляр С.Г. Мониторинг загрязняющих веществ в биогидроценозе Волгоградского водохранилища // Фундаментальные и прикладные аспекты функционирования водных экосистем: Матер. Всерос. научн. конф.- Саратов: СГУ.- 2001.- С. 185-193.

12. Котляр С.Г., Кузина Е.Г., Шашуловская Е.А. Характеристика качества воды, донных отложений и рыбы нижнего участка Волгоградского водохранилища в 2000-2001 гг.// Экологические проблемы загрязнения водоемов Волжского бассейна, современные методы и пути их решения: Матер. Всерос. научно-практической конф.- Волгоград, 2004.- С.92-93.

13. Котляр С.Г., Лизина Н.Н., Мосияш С.С., Шашуловская Е.А. Экосистемный подход к регламентации содержания биогенных элементов в водоеме. // Научные тетради ФГНУ ГосНИОРХ. - С.-Петербург, 2004. -Вып. 9.- 36с.

14. Шашуловская Е.А., Кузина Е.Г. Комплексная оценка экотоксикологического состояния среднего участка Волгоградского водохранилища //Современные проблемы водной токсикологии: Материалы междунар. конф.- Борок, 2005.- С. 161-162.

15. Шашуловская Е.А., Мухаметжанова М.Л, Гречушникова Д.В, Филимонова И.Г. Тяжелые металлы и нефтепродукты в экосистеме Волгоградского водохранилища // Сб. научн. трудов ФГНУ ГосНИОРХ.- С.-Петербург, 2007.- Вып.336.- С. 334-350.

16. Шашуловская Е.А., Филимонова И.Г. Эколого-токсикологическая характеристика мелководных участков Волгоградского водохранилища// Состояние, охрана, воспроизводство и устойчивое использование биологических ресурсов внутренних водоемов: Материалы междунар. научно-практической конференции.- Волгоград, 2007.- С.274-277.