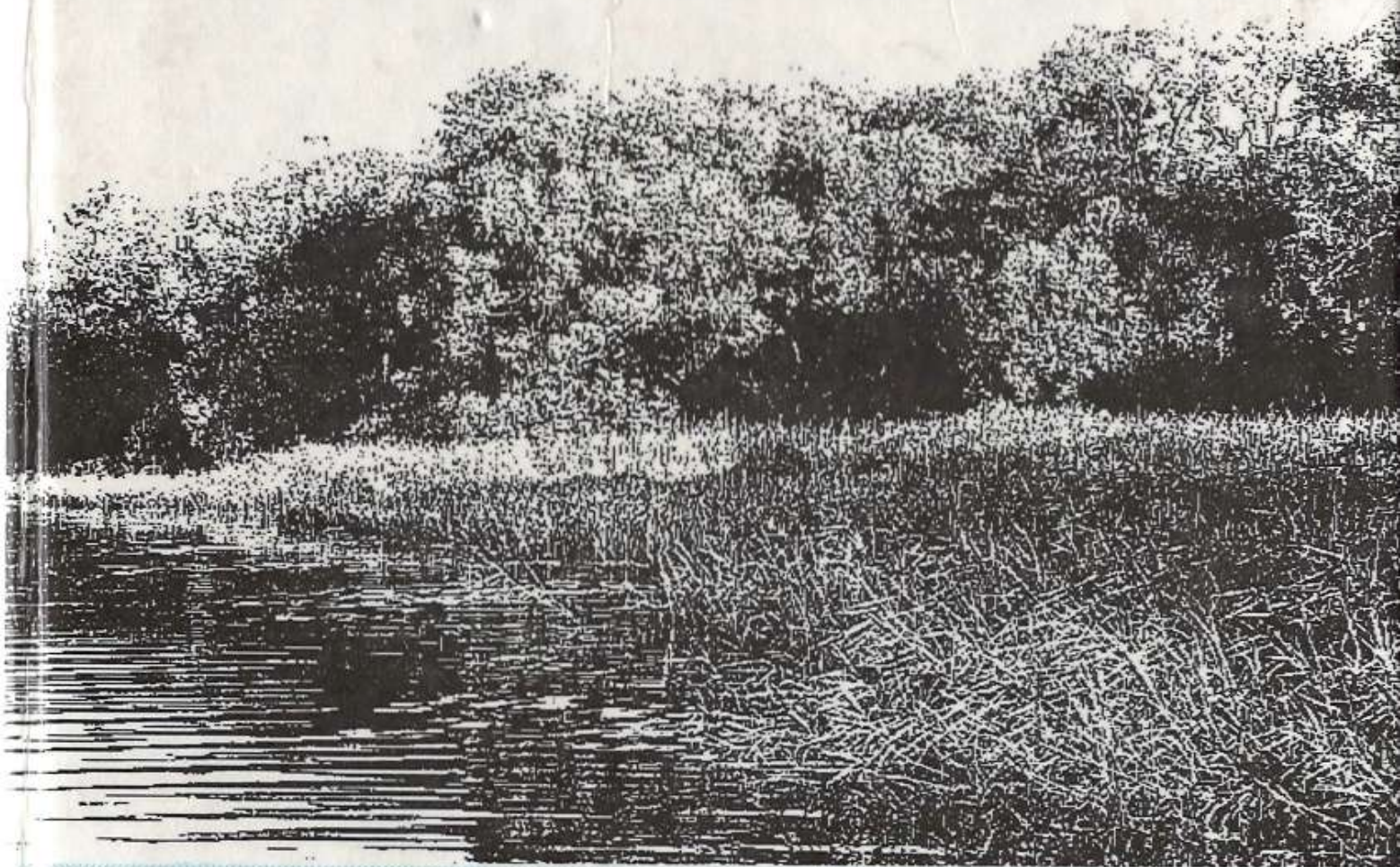


ИВАНЬКОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Современное состояние
и проблемы охраны



· НАУКА ·

ИВАНЬКОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Современное состояние и проблемы охраны



МОСКВА • НАУКА • 2000

ISBN 5-03-004306-0

УДК 627
ББК 26.222.6
И 18

Авторы:

В.А. Абакумов (разд. 4.1), *Н.П. Ахметьева* (разд. 3.2), *В.Ф. Бреховских* (разд. 3.4, 4.1, 5.2–5.4), *Г.Н. Вишнева* (разд. 3.4, 4.1), *Э.В. Волкова* (разд. 3.3, 3.4, 5.2, 5.3), *Н.А. Гашкина* (разд. 5.4), *И.Л. Григорьева* (разд. 1.1–1.3), *В.Д. Казмирук* (разд. 3.5, 5.1, 5.5, 6.2), *Т.Н. Казмирук* (разд. 3.5, 5.1, 5.5, 6.2), *Н.В. Кирпичникова* (разд. 1.1–1.4, 2.1, 2.2, 3.1, 3.3), *А.Г. Кочарян* (разд. 5.2, 5.3, 6.1), *Е.Р. Кременецкая* (разд. 3.4), *С.Л. Обридко* (разд. 4.1), *В.М. Перекальский* (разд. 3.4, 5.2), *К.И. Сафронова* (разд. 6.1), *Л.П. Федорова* (разд. 4.2, 5.3), *Е.А. Штрингер* (разд. 3.2).

Ответственный редактор
академик *М.Г. Хубларян*

Рецензенты:

академик *С.В. Яковлев*
доктор географических наук *Н.И. Алексеевский*

Иваньковское водохранилище: Современное состояние и проблемы охраны / В.А. Абакумов, Н.П. Ахметьева, В.Ф. Бреховских и др. – М.: Наука, 2000. – 344 с.; ил.

ISBN 5-02-004306-0

В монографии обобщены результаты многолетних исследований сотрудников Института водных проблем РАН на Иваньковском водохранилище. Работы по гидробиологии выполнены при участии сотрудников Института глобального климата и экологии РАН. Рассмотрены основные аспекты проблемы качества воды в связи с изменением интенсивности и структуры антропогенной нагрузки на водохранилище. Особое внимание уделено донным отложениям; аккумулярующим загрязняющим вещества, и проблемам зарастания водохранилища.

Для специалистов в области охраны водных ресурсов.

ТП 2000-І-№ 179

Научное издание

ИВАНЬКОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Современное состояние и проблемы охраны

Утверждено к печати Ученым советом
Института водных проблем Российской академии наук

Зав. редакцией *А.М. Гидальевич*. Редактор *Н.Б. Золотова*
Художник *Ю.С. Шлевер*. Технический редактор *О.В. Ардова*
Корректоры *Г.В. Дубовицкая*, *Р.В. Молоканова*, *Т.И. Шенювалова*

Набор и верстка выполнены в издательстве на компьютерной технике

ЛР № 020297 от 23.06.1997

Подписано к печати 19.08.2000. Формат 60 × 90^{1/16}. Гарнитура Таймс. Печать офсетная
Усл. печ. л. 21,5. Усл. кр.-отт. 21,8. Уч.-изд. л. 24,8. Тираж 240 экз. Тип. зак. 3438

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90

Санкт-Петербургская типография "Наука", 199034, Санкт-Петербург В-34, 9-я линия, 12

ISBN 5-02-004306-0

© Издательство "Наука", 2000

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|------------|
| Введение | 6 |
| Глава 1. Гидрологические процессы в Иваньковском водохранилище .. | 8 |
| 1.1. Общая характеристика водоема | 8 |
| 1.2. Водный баланс | 12 |
| 1.3. Уровенный режим | 19 |
| 1.4. Водообмен | 23 |
| Глава 2. Основные источники загрязнения водохранилища | 30 |
| 2.1. Контролируемые источники загрязнения | 32 |
| 2.2. Неконтролируемые источники загрязнения | 36 |
| Глава 3. Факторы, влияющие на качество воды и биоту | 62 |
| 3.1. Изменение гидрохимического режима водохранилища | 62 |
| 3.2. Особенности формирования химического состава грунтовых вод | 98 |
| 3.3. Влияние теплового загрязнения | 120 |
| 3.4. Влияние дночерпательных работ на экологическое состояние водохранилища | 138 |
| 3.5. Особенности гидрохимического режима мелководий | 157 |
| Глава 4. Динамика гидробиоценозов Иваньковского водохранилища | 172 |
| 4.1. Многолетние изменения характеристик биоценоза водохранилища | 172 |
| 4.2. Характеристика высшей водной растительности водохранилища | 210 |
| Глава 5. Донные отложения и их роль в формировании качества воды | 224 |
| 5.1. Состав и свойства донных отложений | 224 |
| 5.2. Донные отложения как аккумулятор загрязняющих веществ и источник вторичного загрязнения | 239 |
| 5.3. Содержание тяжелых металлов в высшей водной растительности | 268 |
| 5.4. Накопление фосфора в донных отложениях и проблема евтрофирования | 278 |
| 5.5. Процессы седиментации и взмучивания | 289 |

| | |
|--|-----|
| Глава 6. Водоохранные мероприятия в бассейне Ивановского водохранилища | 309 |
| 6.1. Водоохранные мероприятия, направленные на сокращение загрязнения сточных вод и поверхностного стока | 309 |
| 6.2. Расчистка и обустройство зарастающих мелководий | 325 |
| Заключение | 343 |
| Принятые сокращения | 344 |

ВВЕДЕНИЕ

Ивановское водохранилище, одно из Верхневолжских, было создано в 1937 г. с целью улучшения коммунального и промышленного водоснабжения, судоходства, гидроэнергетики и развития рыбного хозяйства и рекреации.

Первые исследования поверхностных и подземных вод на этом участке Волги были проведены в конце XIX–XX в. в связи с устройством дополнительного водоснабжения Верхней Волги. Эти исследования были предприняты Министерством путей сообщения с конца 1896 г. для развития судоходства. Более детальные исследования были развернуты в 1930-е годы в связи с проектированием и строительством канала Москва–Волга и Ивановского водохранилища.

После создания водохранилища рядом научно-исследовательских организаций было начато изучение гидрологического и гидрохимического режимов водохранилища, формирования его флоры и фауны. С 1953 г. изучение отдельных биологических процессов и биологии доминирующих в водохранилище видов животных и растительности выполнялись Биологической станцией "Борок", в последующем преобразованной в Институт биологии внутренних вод (ИБВВ) РАН. С 1967 г. исследования приобрели системный характер, особенно в связи со строительством Конаковской ГРЭС. Помимо ИБВВ в них принимали участие ГОСНИОРХ (Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства), Рыбинская ГМО (Гидрометеорологическая обсерватория) и другие организации. Обобщение исследований о видовом составе и численности преобладающих видов гидробионтов, сезонной и многолетней динамике биомассы основных групп, а также реакции бактерио-, фито- и зоопланктона на искусственный подогрев вод нашло свое отражение в книге "Ивановское водохранилище и его жизнь" (1978), подготовленной сотрудниками ИБВВ. Приведенные в этой книге данные позволили проследить за изменением экологических условий в водохранилище в период с 1937 по 1975 г.

В связи с разработкой мероприятий по защите водных объектов бассейна Волги от истощения и загрязнения и проведением крупномасштабных работ по установке очистных сооружений на промышленных предприятиях с начала 1970-х годов исследовалось формирование минерального состава вод водохранилища. В этот период в Институте водных проблем (ИВП) РАН была создана научно-исследовательская станция с целью проведения мониторинга за состоянием Ивановского

водохранилища. Работы на водохранилище проводились ИВП совместно с МосводканалНИИ проектом и Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского. Значительный по объему цикл работ был посвящен содержанию загрязняющих веществ в воде и донных отложениях, высшей водной растительности. В этот период были выполнены работы по оценке баланса органического вещества и тяжелых металлов в Ивановском водохранилище, миграции и накоплению ряда микроэлементов в донных отложениях, изучению влияния водной растительности и фитопланктона на накопление элементов в донных отложениях и определению содержания микроэлементов в иловых водах.

В 1980-е годы в ИВП и ИМГРЭ (Институт минералогии, геохимии и кристаллографии редких элементов) выполнялись исследования поверхностных и подземных вод, что позволило получить общую картину загрязнения водохранилища микроэлементами, органическим веществом, нефтепродуктами и рассмотреть роль различных источников в формировании загрязнения водоема. В результате этих работ было показано, что за 46 лет существования водохранилища на 34% площади его донных отложений проявились аномалии, связанные с высокой степенью загрязнения донных отложений тяжелыми металлами, в том числе и высокотоксичными.

В этот же период Гидропроект им. С.Я. Жука (Всесоюзный ордена Ленина проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт) был разработан проект улучшения технического и санитарного состояния Ивановского водохранилища (1983 г.), где были представлены данные о природных условиях, гидрологическом режиме, техническом состоянии водохранилища и территории водоохранной зоны. Были проведены инженерно-гидрологические изыскания, для оценки водного баланса, режима течений в водоеме.

В первой половине 1980-х годов сотрудники ИВП начали проводить исследования по проблеме "Научные основы управления качеством вод и охраны их от загрязнения". В результате была разработана экономически оптимальная структура водоохранного комплекса для целей управления качеством водных ресурсов в бассейне Ивановского водохранилища, изучена трансформация неконсервативных веществ в водохранилище. Целью этих исследований была разработка модели оптимальной структуры водоохранного комплекса, позволяющего поддерживать нормативное качество водных ресурсов при минимальных затратах на их охрану.

В середине 1990-х годов был завершен цикл работ по фундаментальной программе исследований РАН по теме "Исследование и прогноз изменения водных ресурсов, качества вод, проблемы их охраны и водообеспеченности страны". В частности, в рамках исследования тепло- и массопереноса и гидрофизических процессов в водной среде было проведено изучение особенностей накопления тяжелых металлов в донных отложениях и высшей водной растительностью заливов Ивановского водохранилища с использованием материалов наблюдений на 9 крупных заливах водохранилища в 1995–1998 гг. Проведено обобщение и анализ данных о гранулометрическом составе донных отложений, содержании

тяжелых металлов, фосфора в донных отложениях, характеристик бентоса, показателей качества воды. Полученные в этот период данные свидетельствуют о тенденции снижения сброса загрязняющих веществ в Ивановское водохранилище, об изменении структуры поступления веществ в связи со спадом производства, что привело к снижению содержания микроэлементов в донных отложениях. Для оценки вторичного загрязнения водохранилища была разработана диффузионная модель изменения концентраций микроэлементов в осадках водохранилища.

С 1997 г. исследования на Ивановском водохранилище были расширены в связи с работами по ФЦП "Оздоровление экологической обстановки на р. Волге и ее притоках, восстановление и предотвращение деградации природных комплексов Волжского бассейна" ("Возрождение Волги"). В этот период значительное внимание было уделено исследованиям формирования качества вод, состава и свойств донных отложений, загрязнению вод и донных отложений микроэлементами, органическим веществом, биогенными элементами.

В подготовленной монографии "Ивановское водохранилище: Современное состояние и проблемы охраны" рассмотрен широкий круг вопросов гидрологического режима водохранилища, формирования качества вод и накопления загрязняющих веществ в донных отложениях, состояния гидробиоценозов в водохранилище. Существенное внимание уделено практическим вопросам, связанным с подводной добычей нерудных строительных материалов и ее влиянием на экологическое состояние водохранилища, оценке воздействия подогретых вод на компоненты экосистемы водохранилища и качество вод. В заключительной части работы (гл. б) рассмотрены водоохранные мероприятия, направленные на улучшение качества вод и экологического состояния водохранилища.

4.2. Характеристика высшей водной растительности водохранилища

Основным назначением Ивановского водохранилища наряду с его разносторонним использованием является питьевое водоснабжение. Водохранилище мелководное и наиболее заросшее среди волжских водохранилищ. Поэтому огромная роль в процессе самоочищения водоема принадлежит высшим водным растениям. Они интенсивно поглощают биогенные элементы, минеральные и органические вещества, накапливают ионы тяжелых металлов и радионуклидов, выступают в роли минерализаторов и детоксикантов пестицидов и нефтепродуктов.

В условиях современной антропогенной нагрузки очистительная способность растительных сообществ может привести к снижению токсичности химических элементов или, по меньшей мере, к исключению их прямого воздействия на человека.

В исследовании нами использованы материалы экспедиционных исследований 1986–1996 гг. Основное внимание уделялось изучению реакции основных растительных сообществ в условиях антропогенной нагрузки, выявлению структурно-функциональных характеристик растительных сообществ, необходимых для индикации качества воды, определению количественных показателей развития высшей водной растительности.

Флористический состав растительности

За время существования водохранилища стабильный летний режим уровня способствовал образованию в мелководной зоне сформированного растительного покрова. В работе В.А. Экзерцева [14] сделан обстоятельный анализ флоры Ивановского водохранилища и прилегающей к нему территории, находящейся при НПУ несколько выше уреза воды. Было зарегистрировано более 220 видов высших растений, относящихся к 53-м семействам. Из них наиболее представительными являются 8 семейств: Сурегасеae – 31, Граминеae – 29, Ранункулясae – 14, Салисaeae – 12, Polygonaceae – 10, Potamogetonaceae – 10, Scrophulariaceae – 8, Yuncaceae – 7. Остальные 45 семейств представлены во флоре небольшим числом видов.

Основную роль в растительном покрове мелководной зоны водохранилища играют виды семейств типично водных растений, таких как Ceratophyllaceae – 1, Nymphaeaceae – 2, Callitrichaceae – 2, Nymphaeaceae – 1, Butomaceae – 1, Hydrocharitaceae – 3, Alismataceae – 2, Lemnaceae – 3, Turficeae – 2 и др. Рассматривая флору водохранилища по экологическому составу, можно отметить, что по численности наиболее обширна группа растений влажных местообитаний (гидрофиты), а группа собственно водных растений (гидрофиты и гидатофиты) составляет 32% от флоры водоема.

Прослеживается приуроченность отдельных экологических групп растений к определенным биотопам. Так, в заливах и сильно заросших межостровных мелководьях на органических грунтах преимущественно встречаются болотные растения, такие как *Calla palustris* L., *Equisetum*

fluviatile L., *Menyanthes trifoliata* L., *Nymphaea candida* Pr. и др. На речном участке водохранилища на песчаных грунтах открытых прибрежий встречаются виды, хорошо приспособившиеся к условиям прибойной зоны: *Potamogeton pectinatus*, *Potamogeton perfoliatus*, *Scirpus lacustris*, *Butomus umbellatus* и др. На долю болотных растений в составе флоры водохранилища приходится более 20%, что свидетельствует о процессе заболачивания в застойных зонах мелководий водохранилища. В данном исследовании рассматриваются растения, развивающиеся в условиях обводнения. Видовые названия растений даны по "Флоре средней полосы европейской части СССР" [4].

Поскольку Ивановское водохранилище мелководно (имеется достаточное количество заливов и затишных межостровных площадей), условия для развития водной растительности в нем благоприятны.

Флора мелководной зоны водохранилища довольно разнообразна. Здесь можно отметить следующие экологические группы.

I. Гелофиты, или водно-болотные растения. Это надводные растения с поднимающимися над поверхностью воды стеблями и листьями, укореняющиеся: *Phragmites communis*, *Scolochloa festucacea*, *Equisetum fluviatile*, *Butomus umbellatus*, *Typha latifolia*, *Typha angustifolia*, *Scirpus lacustris*, *Sagittaria sagittifolia*, *Alisma plantago-aquatica*, *Glyceria aquatica*, *Glyceria fluitans*, *Zizania latifolia*, *Sparganium erectum*, *Sparganium simplex*. Они занимают пространство от уреза воды до глубины 0,8 м (средневысокие) и до глубины 1,5 м (высокие травы).

II. Гидатофиты – растения с плавающими на поверхности воды листьями, укореняющиеся: *Nuphar luteum*, *Nymphaea candida*, *Polygonum amphibium*, *Potamogeton natans* и неукореняющиеся – *Gydrocharis morsus-ranae*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrrhisa*. Они располагаются у края зоны высоких надводных растений со стороны зеркала водоема до глубины 1–1,5 м.

III. Гидрофиты – погруженные в воду растения, укореняющиеся высокие растения: *Potamogeton lucens*, *Potamogeton perfoliatus*, *Potamogeton pectinatus*, *Potamogeton crispus*, *Potamogeton compressus*, *Myriophyllum spicatum* – распространяются до глубины 1–1,5 м и невысокие растения – *Eleocharis acicularis* и *Elodea canadensis* – до глубины 1–1,5 м. А также неукореняющиеся (плавающие в толще воды) – *Ceratophyllum demersum*, *Utricularia vulgaris*, *Lemna trisulca*. К группе погруженных растений относится и *Stratiotes aloides*, хотя определенный отрезок вегетационного периода это растение находится в плавающем состоянии.

Особо следует отметить такие образования, как сплавины, состоящие из переплетающихся стеблей болотных растений и поросшие видами *Carex*, *Menyanthes trifoliata*, *Eriophorum vaginatum*, *Comarum palustre*. В настоящее время на долю сплавин приходится 18 км² площади мелководной зоны Ивановского водохранилища (верховья заливов) [12].

Таблица 4.15

Флора Ивановского водохранилища

| Латинское название растения | Русское название растения |
|--|---------------------------|
| 1 | 2 |
| <i>Equisetum fluviatile</i> L. | Хвощ приречный |
| <i>Ranunculus circinnatus</i> Sibth. | Лютик жестколистный |
| <i>R. divaricatus</i> Schrank. | Лютик расходящийся |
| <i>R. Kaufmannii</i> Clerc. | Лютик Кауфмана |
| <i>R. lingua</i> L. | Лютик длиннолистный |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> L. | Роголистник темно-зеленый |
| <i>Nymphaea candida</i> Presl. | Кувшинка чисто-белая |
| <i>Nuphar luteum</i> (L.) Smith | Кувшинка желтая |
| <i>Rumex aquaticus</i> L. | Щавель водный |
| <i>Polygonum amphibium</i> L. | Горец земноводный |
| <i>Elatine hydropteris</i> L. | Повойничек водяной перец |
| <i>Rorippa amphibia</i> (L.) Bess | Жерульник земноводный |
| <i>Lytrum salicaria</i> L. | Дербенник иволистный |
| <i>Trapa natans</i> L. | Рогольник плавающий |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> L. | Уруть колосистая |
| <i>M. verticillatum</i> L. | Уруть мутовчатая |
| <i>Callitriche hermaphrodita</i> Inslen. | Болотник обоеполый |
| <i>C. palustris</i> L. | Болотник болотный |
| <i>Hippuris vulgaris</i> L. | Хвостик обыкновенный |
| <i>Cicuta virosa</i> L. | Вех ядовитый |
| <i>Sium latifolium</i> L. | Поручейник широколистный |
| <i>Oenanthe aquatica</i> (L.) Poir. | Омежник водяной |
| <i>Hottonia palustris</i> L. | Турча болотная |
| <i>Limosella aquatica</i> L. | Лужайник водный |
| <i>Veronica anagalis-aquatica</i> L. | Вероника ключевая |
| <i>V. beccabunga</i> L. | Вероника поручейная |
| <i>V. scutellata</i> L. | Вероника щитковая |
| <i>Utricularia neglecta</i> Lehm. | Пузырчатка незамеченная |
| <i>U. vulgaris</i> L. | Пузырчатка обыкновенная |
| <i>Butomus umbellatus</i> L. | Сусак зонтичный |
| <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L. | Водокрас обыкновенный |
| <i>Stratiotes aloides</i> L. | Телорез алоэвидный |
| <i>Elodea canadensis</i> Rich. | Элодея канадская |
| <i>Alisma plantago-aquatica</i> L. | Частуха подорожниковая |
| <i>Sagittaria sagittifolia</i> L. | Стрелолист стрелолистный |
| <i>Potamogeton Berchtoldii</i> Fieb. | Рдест Берхтольда |
| <i>P. compressus</i> L. | Рдест сплюснутый |
| <i>P. crispus</i> L. | Рдест курчавый |
| <i>P. Friesii</i> Rupr. | Рдест Фриса |
| <i>P. teterofyllus</i> Schreb. | Рдест разнолистный |
| <i>P. lucens</i> L. | Рдест блестящий |
| <i>P. natans</i> L. | Рдест плавающий |
| <i>P. pectinatus</i> L. | Рдест гребенчатый |
| <i>P. perfoliatus</i> L. | Рдест пронзеннолистный |
| <i>Najas marina</i> L. | Наяда морская |

Таблица 4.15 (окончание)

| 1 | 2 |
|---|-------------------------------|
| <i>Iris pseudacorus</i> L. | Касатик аировидный |
| <i>Acorus calamus</i> L. | Аир обыкновенный ¹ |
| <i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleid. | Многокоренник |
| <i>Lemna minor</i> L. | Ряска малая |
| <i>L. trisulca</i> L. | Ряска тройчатая |
| <i>Sparganium friessii</i> Beurl. | Ежеголовник Фриса |
| <i>S. ramosum</i> Huds. | Ежеголовник ветвистый |
| <i>S. simplex</i> Huds. | Ежеголовник простой |
| <i>Typha angustifolia</i> L. | Рогоз узколистный |
| <i>T. latifolia</i> L. | Рогоз широколистный |
| <i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem et Schult. | Ситняг игольчатый |
| <i>E. palustris</i> (L.) R.Br. | Ситняг болотный |
| <i>Scirpus lacustris</i> (L.) Palla | Камыш озерный |
| <i>Carex acuta</i> L. | Осока острая |
| <i>C. aquatilis</i> Wahlb. | Осока водная |
| <i>C. vesicaria</i> L. | Осока пузырчатая |
| <i>Leersia oryzooides</i> (L.) Sw. | Леерсия рисовидная |
| <i>Phragmites communis</i> Trin. | Тростник обыкновенный |
| <i>Glyceria aquatica</i> (L.) Wahlb. | Манник водяной |
| <i>G. fluitans</i> (L.) R.Br. | Манник наплывающий |
| <i>Scolochloa festucacea</i> Link. | Тростянка овсяничная |
| <i>Agrostis stolonizans</i> Bess. | Полевика побегообразующая |
| <i>Alopecurus aequalis</i> Sobol. | Лисохвост равный |
| <i>A. geniculatus</i> L. | Лисохвост коленчатый |
| <i>Diglyphis arundinacea</i> (L.) Trin. | Двукосточник тростниковый |
| <i>Beckmania eruciformis</i> (L.) Host. | Бекманья обыкновенная |

Список видов, отмеченных нами в процессе исследования растительности мелководной зоны Ивановского водохранилища, представлен в табл. 4.15. Зарегистрировано 74 вида 28-ми семейств растений, произрастающих в условиях обводнения. Виды, произрастающие выше уреза воды при НПУ не учитывались.

Распределение растительности

Ивановское водохранилище, в соответствии с его морфологией, поделено на восемь гидрографических районов [12] Волжского, Шонинского и Ивановского плесов.

В Волжском плесе выделены три гидрографических района – Тверской, Мелковский и Конаковский.

1. Тверской район отличается незначительным подпором уровня. Растительность представлена прерывистыми полосами крупноосочников, куртинами камыша озерного и манника водяного, небольшими зарослями рдеста гребенчатого.

2. В Мелковском районе зона мелководий занимает около половины его площади. От уреза воды с нарастанием глубины водянными сменяются хвощом приречным, манником водяным, тростником обыкновенным, камышом озерным, телорезом алоэвидным, кувшинкой чисто-

белой, кубышкой желтой и видами рдестов. В заостровных мелководьях отмечены манниковые сплавины.

3. В Конаковском районе пояс зарастания представлен фрагментарно вдоль берегов островов сообществами манника водяного, тростника обыкновенного. В небольших заливах присутствуют заросли хвоща приречного, кувшинки чисто-белой, кубышки желтой, горца земноводного, урути колосистой, видов рдестов.

В Ивановском плёсе выделены два гидрографических района – Корчевской и Дубненский.

4. В Корчевском районе площади мелководий невелики. В открытой части мелководной зоны этого района высшая водная растительность представлена разреженными сообществами рдестов (гребенчатого и пронзеннолистного), характерны куртины камыша озерного.

5. Дубненский район характеризуется наличием крупных заливов и обилием островов. Зарастание открытых мелководий для этого района не свойственно.

Лишь в 1996 г. на открытых мелководьях Конаковского, Корчевского и Дубненского гидрографических районов нами были отмечены значительные площади, занятые зарослями нитчатых водорослей, что, очевидно, связано с повышенной концентрацией биогенов в воде мелководной зоны.

Шошинский плёс разделен на три гидрографических района: Козловский, Гарилковский и Безбородовский.

6. Козловский район имеет обширную систему островов, проток и болот. Заливы, отделенные от русла островами, заняты зарослями хвоща приречного, телореза алоэвидного, кувшинки чисто-белой. На месте затопленных болот – плавающие острова из тростника, значительные заросли белокрыльника болотного и вахты трехлистной. Погруженная растительность развита слабо.

7. В Гаврилковском районе макрофиты распространены как в защищенных мелководьях, так и в открытой части плёса. Отмечены большие массивы тростника обыкновенного, камыша озерного, рогоза широколистного, хвоща приречного. Значительные площади заняты рдестами (блестящим и пронзеннолистным), горцем земноводным.

8. Безбородовский район занимает узкую нижнюю часть Шошинского плёса. Преобладают сообщества хвоща приречного, манника водяного, аира обыкновенного, кувшинки чисто-белой, рдестов (пронзеннолистного, блестящего, травяного).

Характеристика основных формаций

Формация тростника обыкновенного (*Phragmites communis*) представлена чистой ассоциацией *Phragmites communis* и ассоциациями: *Phragmites communis* + *Typha latifolia*, *Phragmites communis* + *Glyceria aquatica*, *Phragmites communis* + *Carex acuta*. Сообщества тростника отмечены по всему водохранилищу как на открытых побережьях так и в заливах. Большие массивы тростника встречены в Шошинском плёсе, в районе пос. Мелково, а также в заливах Ивановского плёса (Пер-

трусовский, Коровинский). Глубина распространения тростника не превышает 60 см, растения достигают 2–2,4 м высоты, проективное покрытие в зарослях – от 80 до 100%.

Формация рогоза широколистного (*Typha latifolia*) представлена как односоставными ассоциациями этого растения, образующего небольшие куртины до 100 м², так и ассоциациями: *Typha latifolia* + *Equisetum fluviatile*, *Typha latifolia* + *Glyceria aquatica*, *Typha latifolia* + *Glyceria aquatica* + *Cicuta virosa* + *Phragmites communis*, *Typha latifolia* + *Carex acuta* + *Equisetum fluviatile*. Распространено сообщество рогоза широколистного по всему водохранилищу, но значительные площади отмечены в заливах Шошинского и Ивановского плёсов. Растения достигают 2,0 м высоты, проективное покрытие – 70–80%.

Формация манника водяного (*Glyceria aquatica*) является самой представительной на мелководьях Ивановского водохранилища. Практически все заливы и заостровные мелководья заросли манником в виде широких бордюров. А в верховьях заливов манник является основным строителем сплавины. В пределах формации отмечены следующие ассоциации: чистая ассоциация *Glyceria aquatica*, *Glyceria aquatica* + *Typha latifolia*, *Glyceria aquatica* + *Sparganium simplex*, *Glyceria aquatica* + *Phragmites communis*, *Glyceria aquatica* + *Equisetum fluviatile*. Растения достигают высоты 1,5 м, проективное покрытие – 100%.

Формация камыша озерного (*Scirpus lacustris*) состоит из чистой ассоциации *Scirpus lacustris*. Заросли распространены по всему водохранилищу на открытых побережьях и в устьевых участках заливов в виде куртин площадью от 50 до 100 м². Растения развиты хорошо, в высоту достигают 1,8 м, проективное покрытие – 80%.

Формация цицании широколистной (*Zizania latifolia*) включает в себя чистую ассоциацию *Zizania latifolia*. Встречается только в Ивановском плёсе (Перетрусовский, Коровинский заливы) в виде прибрежных зарослей, расположенных по периметру заливов, а также образует сплавины. В высоту растения достигают 2,2 м, проективное покрытие – 90–100%.

Формация вахты трехлистной (*Menyanthes trifoliata*) включает в себя чистую ассоциацию *Menyanthes trifoliata* и ассоциацию *Menyanthes trifoliata* + *Hydrocharis morsus-ranae*. Большие массивы, переходящие в сплавины, отмечены в Борцинском заливе Шошинского плёса. Также заросли вахты отмечены и в заливах Ивановского плёса.

Формация хвоща приречного (*Equisetum fluviatile*) представлена несколькими ассоциациями: чистая ассоциация *Equisetum fluviatile*, *Equisetum fluviatile* + *Carex acuta*, *Equisetum fluviatile* + *Polygonum amphibium*, *Equisetum fluviatile* + *Nuphar luteum*. Формация хвоща приречного приурочена к органическим грунтам и встречается в основном в заливах и заостровных мелководьях Шошинского и Ивановского плёсов. Густота травостоя незначительная, проективное покрытие – до 40%.

Формация телореза алоэвидного (*Stratiotes aloides*) состоит в основном из одной ассоциации *Stratiotes aloides* и имеет ограниченное рас-

пространение (только в верховьях заливов водохранилища). Изредка встречаются ассоциации *Stratiotes aloides* + виды *Lemna*, *Stratiotes aloides* + *Hydrocharis morsus-ranae*. Заросли телореза занимают большие пространства, иногда плотность произрастания так велика, что растения располагаются в два яруса.

Формация рдеста блестящего (*Potamogeton lucens*), рдеста плавающего (*Potamogeton natans*), рдеста пронзеннолистного (*Potamogeton perfoliatus*) представлены чистыми ассоциациями каждого вида. Заросли рдестов отмечены по всему водохранилищу в затишных местах и заливах на глубине 0,8–1,5 м. Проективное покрытие достигает 70–100%. Занимаемые площади от 10 до 50 м².

Формации погруженных растений представлены следующими видами: рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus*), рдест травяной (*Potamogeton gramineus*), уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum*), роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum*), лютик жестколистный (*Ranunculus circinatus*). Чистые ассоциации этих растений встречаются во всех заливах Ивановского водохранилища. В отличие от других, ассоциация *Potamogeton pectinatus* отмечена на открытых прибрежьях с песчаными грунтами Волжского и Ивановского плёсов. Глубина в зарослях не превышает 80 см.

Формация айра обыкновенного (*Acorus calamus*) состоит из чистой ассоциации *Acorus calamus*. Большие массивы отмечены в устьевой зоне Шошинского плеса и реже на заостровных мелководьях Волжского плеса. Заросли занимают пространство от уреза воды до глубины 20 см. Проективное покрытие – 80–90%.

Формация свободноплавающих растений представлена следующими ассоциациями: *Lemna minor-purum*, *Lemna minor* + *Lemna trisulca*, *Lemna minor* + *Hydrocharis morsus-ranae*, *Hydrocharis morsus-ranae* + *Spirodela polyrrhisa* + *Lemna minor*. Встречаются эти ассоциации в заливах Ивановского и Шошинского плёсов.

В Волжском плёсе на открытых прибрежьях на глубине 50–80 см отмечены отдельные группировки, расположенные на большом расстоянии одна от другой. Эти сообщества не образуют сомкнутого травостоя и носят названия "открытых" ценозов. Среди таких сообществ отмечены: ассоциации *Butomus umbellatus purum*, *Sagittaria sagittifolia purum*, *Alisma plantago-aquatica purum*, *Typha angustifolia purum*.

Формации *Trapa natans* и *Najas marina*, состоящие из чистых ассоциаций названных видов, отмечены только в Мошковичском заливе, куда сбрасываются теплые воды Конаковской ГРЭС. Эти растения не указаны ранее для Тверской области, лишь в 1966 г. в заливе у д. Новоселье был отмечен *Trapa natans* [14]. Ассоциации небольшие – занимают площадь от 2 до 5 м².

Формация растений с плавающими листьями представлена чистыми ассоциациями кувшинки чисто-белой (*Nymphaea candida*) и кувшинки желтой (*Nuphar luteum*), а также ассоциациями: *Nymphaea candida* + *Nuphar luteum*, *Nuphar luteum* + *Equisetum fluviatile*, *Nuphar luteum* +

+ *Potamogeton perfoliatus*, *Nuphar luteum* + *Potamogeton natans*. Площади, занимаемые этими сообществами, незначительны – от 4–6 до 10 м². Распространяются растения на глубине 0,8–1,0 м у границы высоких надводных трав на илистых грунтах, встречаются по всему водохранилищу.

Характеристика исследуемых участков водохранилища

В настоящее время площадь заросших мелководий составляет 27,5% от всей площади водохранилища. Большая их часть расположена в верховьях Шошинского плеса, в заливах и межостровных пространствах Ивановского плеса, а также на отдельных участках Волжского плеса.

I. В Шошинском плёсе мелководная зона занимает 83 км². Наиболее заросшими районами являются верховья плеса, Борцинский залив и устьевая зона в районе о-ва Низовка. Здесь отмечены высокая степень развития высшей водной растительности. Вся площадь мелководной зоны до 1,5–2,0 м глубины занята воздушно-водной растительностью. Были обследованы Борцинский залив (три профиля) и полигон у о-ва Низовка.

Вся прибрежная зона Борцинского залива занята широким поясом сплавины, прерываемым в некоторых местах чистыми зарослями тростника обыкновенного, манника водяного, цицании широколистной. Отмечены сплавины с различными видами эдификаторов: манниково-хвощевая, манниково-рогозавая, вахтово-водокрасовая сплавины. Ширина сплавинного пояса достигает в некоторых местах нескольких десятков метров. В составе растительности сплавины отмечены: тростник обыкновенный, айр болотный, двукисточник тростниковый. От края сплавины по направлению к центру залива хорошо развита ассоциация телореза алоэвидного, занимающая значительные площади. В зарослях телореза в качестве примеси обычно встречаются ролистник темно-зеленый, кувшинка чисто-белая, изредка – кубышка желтая, уруть колосистая, ряска, водокрас лягушачий, рдест пронзеннолистный. Грунт – ил с растительными остатками.

В устьевой части плеса был обследован полигон в районе о-ва Низовка (левая литораль). Растительность полигона представлена видами различных экологических групп, занимает значительную часть прибрежной зоны. Большая часть площади зарастания занята ассоциациями айра болотного, хвоща топяного и манника водяного. Далее до глубины 0,8 м значительные площади занимают сообщества гречихи земноводной и кубышки желтой, телореза алоэвидного с урутью колосистой. Заросли рдеста пронзеннолистного и рдеста травяного здесь встречаются в виде небольших ятен. Состояние растительности хорошее, проективное покрытие в ассоциациях надводной растительности – до 90%, в ассоциациях погруженных растений – от 20 до 60%. Грунт – ил с растительными остатками.

II. Наиболее представительными участками Волжского плеса в плане зарастания являются: район пос. Мелково, прибрежная зона о-ва

Низовка со стороны русла Волги, залив в районе д. Юрятино, Осиновский и Зуевский заливы.

Практически вся мелководная зона в районе пос. Мелково занята большими массивами воздушно-водной растительности. У уреза воды отмечена полоса осочников (осока острая, осока пузырчатая), которая сменяется широким (несколько десятков метров) поясом сообществ тростника обыкновенного, рогоза широколистного, манника водяного. Далее с нарастанием глубины до 0,8 м встречаются отдельные пятна камыша озерного. Глубины от 0,8 до 1,0 м заняты ассоциациями рдестов пронзеннолистного и блестящего с вкраплениями кубышки желтой. Проектное покрытие в сообществах воздушно-водной растительности составляет 70–90%, в сообществах погруженной растительности – 30–40%. Грунт – ил.

Заливы у д. Юрятино, Зуевский и Осиновский, расположенные по левому берегу водохранилища на незначительном расстоянии один от другого, имеют закрытую форму, соединяясь с водохранилищем нешироким устьем. Наблюдается сходство по типу зарастания. По периметру заливов расположен пояс шириной 5 м воздушно-водной растительности, в основном это заросли манника водяного в сочетании с тростником обыкновенным и рогозом широколистным. С нарастанием глубины воздушно-водная растительность сменяется обширными зарослями погруженной растительности и с плавающими листьями. Отмечены следующие виды: кувшинка чисто-белая, роголистник темно-зеленый, рдест травяной, рдест пронзеннолистный, гречиха земноводная, стрелолист стрелолистный, рдест блестящий, водокрас лягушачий, телорез алоэвидный, ряска. Проектное покрытие у надводной растительности – 70–80%, у погруженной – 30–40%, за исключением телореза алоэвидного – 80–90%. Грунт – ил с растительными остатками.

III. *Иваньковский плёс* характеризуется наличием больших заливов: Бабнинский, Мошковичский, Федоровский, Коровинский, Новосельский, Перетрусовский, а также – большими площадями заостровных мелководий (о-ва Омутня и Клинцы).

Бабнинский залив расположен по левому берегу водохранилища, имеет вытянутую форму, судоходен (маломерный флот). На всем протяжении залива вдоль обоих берегов тянется манниковый пояс шириной 5–7 м, сменяющийся с нарастанием глубины растительностью с плавающими листьями (кувшинка) и полностью погруженной (рдесты). Самой заросшей частью залива является его верховье – место затишное, мало подверженное волно-прибойному воздействию. Заросли осоки острой у уреза воды сменяются сообществами рогоза широколистного и манника водяного. Встречаются заросли частухи подорожниковой и сусака зонтичного. Большие площади в верхней части залива заняты ассоциациями рдестов блестящего и пронзеннолистного. Вся центральная часть этого участка занята ассоциацией телореза алоэвидного с участием рдеста плавающего, урути колосистой, роголистника темно-зеленого, ряска малой и тройчатой. Проектное покрытие достигает 90%. Есть тенденция к сплавинообразованию.

Мошковичский залив отличается от других заливов Иваньковского плёса тем, что подвержен влиянию сбросных теплых вод Конаковской ГРЭС и имеет большую проточность с высокими скоростями, что предопределяет бордюрную форму зарастания. Полоса прибрежной растительности представлена поясом тростника обыкновенного, перемежающегося с камышом озерным и манником водяным. Ширина полосы воздушно-водной растительности от 2,0 м в открытой части и до 19,0 м в заводях. В верхней части залива по правому берегу имеется обширная мелководная площадь с богатой в видовом отношении растительностью. Здесь отмечены: тростник обыкновенный, манник водяной, гречиха земноводная, стрелолист стрелолистный, сусак зонтичный, кувшинка чисто-белая, кубышка желтая, рдесты блестящий, пронзеннолистный и травяной, многокоренник, ряска малая, уруть колосистая, телорез алоэвидный. Особо следует отметить, что в Мошковичском заливе отмечены виды, не указанные ранее для Тверской области: водяной орех (*Trapa natans*) и наяда морская (*Najas marina*). Очевидно, что видовое разнообразие и наличие термофильных видов обусловлено более высокой температурой воды в течение года в результате сброса подогретых вод Конаковской ГРЭС.

Заостровное мелководье у нижней оконечности о-ва Клинцы мало подвержено волно-прибойному воздействию, что способствует хорошему развитию водной растительности. Здесь присутствуют представители всех формаций, отмеченных в Иваньковском водохранилище. Глубина мелководной зоны не превышает 1,2 м. Грунт – ил с большим количеством растительных остатков. Ярко выражена поясность в распределении растительности. Пояс высоких водно-болотных трав сменяется полосой средне-высоких трав с плавающими листьями и далее – погруженной растительностью. Отмечены следующие виды: осока острая, аир обыкновенный, хвощ приречный, манник водяной, гречиха земноводная, кубышка желтая, кувшинка чисто-белая, рдесты плавающий и пронзеннолистный, телорез алоэвидный, водокрас лягушачий, ряска тройчатая. Ближе к русловой части находятся небольшие – от 100 до 500 м² куртины камыша озерного.

Омутнинское заостровное мелководье представляет собой обширную площадь, заросшую ассоциациями погруженной растительности и растительностью с плавающими листьями: стрелолист стрелолистный, кубышка желтая, кувшинка чисто-белая, ряска малая и тройчатая, водокрас лягушачий, элодея канадская. Огромные площади заняты телорезом алоэвидным. Вся прибрежная полоса – это сплавиновый пояс, здесь присутствуют рогозово-манниковая и рогозово-тростниковая сплавины. Грунт – ил с растительными остатками.

Мелководные зоны в Корчеве и Приплотинном участке сходны по экологическим условиям. Расположены они на правой литорали водохранилища в открытой части водоема и подвержены волновым воздействиям. Грунт – мелкозернистый песок. Известно, что растения приурочены к определенным биотопам, поэтому на этих участках произрастают виды хорошо приспособившиеся к песчаным грунтам открытых прибрежий. Для мелководий характерны формация тростника

Таблица 4.16

Распространение и встречаемость формаций по плёсам водохранилища

| Формация | Встречаемость по плёсам | | | Распространение |
|------------------------------------|-------------------------|---|---|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| <i>Equisetum fluviatile</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Ranunculus circinatus</i> | | | + | Ограниченное |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Nymphaea candida</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Nuphar luteum</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Polygonum amphibium</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Oenanthe aquatica</i> | + | + | + | Ограниченное |
| <i>Butomus umbellatus</i> | | + | + | Ограниченное |
| <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> | + | + | + | Ограниченное |
| <i>Straoties aloides</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Elodea canadensis</i> | | + | + | Ограниченное |
| <i>Alisma plantago-aquatica</i> | + | + | + | Ограниченное |
| <i>Sagittaria sagittifolia</i> | + | + | + | Ограниченное |
| <i>Potamogeton lucens</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>P. natans</i> | + | | + | Ограниченное |
| <i>P. perfoliatus</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>P. gramineus</i> | + | | + | Ограниченное |
| <i>P. pectinatus</i> | + | + | + | Ограниченное |
| <i>Acorus colomus</i> | + | + | + | Ограниченное |
| <i>Calla palustris</i> | + | | + | Ограниченное |
| <i>Lemna minor, lemna trisulca</i> | | + | + | Ограниченное |
| <i>Sparganium simplex</i> | + | + | + | Ограниченное |
| <i>Typha latifolia</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Scirpus lacustris</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Carex acuta</i> и другие | + | + | + | Ограниченное |
| <i>Phragmites communis</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Clyceria aquatica</i> | + | + | + | Широкое |
| <i>Zyzania latifolia</i> | | | + | Ограниченное |
| <i>Menyanthes trifoliata</i> | + | | + | Ограниченное |
| <i>Trapa natans</i> | | | + | Мошковицкий 3-в |
| <i>Najas marina</i> | | | + | Мошковицкий 3-в |

Примечание. 1 – Шошинский плёс, 2 – Волжский плёс, 3 – Ивановский плёс.

обыкновенного и формация рдеста гребчатого. Отмечены небольшие вкрапления рдеста пронзеннолистного. Сообщества водной растительности мелководий Корчевы и Приплотинного участка довольно устойчивы и на протяжении нескольких лет наблюдений практически не изменились, за исключением отдельных группировок рдеста гребчатого на Приплотинном участке, исчезнувших в 1994 г. и возобновившихся в 1996 г.

Основная доля заросших мелководий Ивановского плёса приходится на крупные заливы: Перетрусовский, Федоровский, Коровинский, Новосельский. Схема зарастания типична для всех заливов. В устьевых участках, испытывающих воздействие ветровых волн, растительность распределяется вдоль берегов полосой шириной 5–10 м и представлена

видами воздушно-водной растительности. В верховьях заливов, находящихся в условиях слабой гидродинамической активности и при наличии органических грунтов, мощное развитие получили водно-болотные виды и на их основе – сплавины, достигающие в ширину нескольких десятков метров. Огромные массивы телореза алоэвидного занимают всю центральную часть, начиная от края сплавины. Отмечено большое разнообразие видов погруженной растительности (табл. 4.16).

Перетрусовский залив расположен по левому берегу водохранилища. Берега пологие, малоизрезаны. Грунт – ил с растительными остатками. По периметру залива – широкая полоса цицании широколистной (дикий рис), чередующейся с тростником обыкновенным и манником водяным. Верх залива сплошным ковром покрывает формация телореза алоэвидного, отмечены отдельные группировки кувшинки чисто-белой и рдеста пронзеннолистного, а также – значительные заросли рдеста плавающего и рдеста блестящего.

Федоровский залив расположен по правому берегу водохранилища. Залив имеет вытянутую форму, судоходен. Береговая линия изрезана слабо. Грунт – ил с растительными остатками. От устья к верховью залива растительность расположена вдоль берегов. Здесь в основном присутствуют формации тростника обыкновенного, цицании широколистной, двухкосточника тростникового, осочников. В верховье залива значительные площади занимают хвощево-манниковая и рогозово-манниковая сплавины с участием белокрыльника болотного, хвоща топяного, вахты трехлистной. Крупные массивы телореза алоэвидного чередуются с группировками погруженной растительности: рдесты блестящий и пронзеннолистный, роголистник темно-зеленый, уруть колосистая, лютик жестколистный, кувшинка чисто-белая, кубышка желтая, стрелолист стрелолистный.

Так же как и Федоровский, Коровинский залив расположен по правому берегу водохранилища, имеет большую протяженность и судоходен. Грунт – ил с растительными остатками. По типу зарастания сходен с другими заливами Ивановского плёса. Вдоль берегов – полоса воздушно-водной растительности, состоящая из ассоциаций рогоза широколистного и тростника обыкновенного. Пояс сплавины образован цицанией широколистной. Большие площади занимает сообщество телореза алоэвидного с участием стрелолиста стрелолистного, сусака зонтичного, кубышки желтой, кувшинки чисто-белой, рдестов блестящего и пронзеннолистного, пятнистый характер несут заросли лютика жестколистного и урути колосистой.

Продукционная характеристика растительных сообществ

Наряду с геоботаническими исследованиями изучался вопрос продуктивности растительных сообществ. Изучение этого вопроса строилось в основном на определении зеленой (надземной) растительной массы фитоценозов весовым методом в период массового цветения растений [2, 6]. Определение надземной фитомассы водных растительных сообществ проводилось на учетных площадках (1 м²) посредством взятия укосов и их взвешиванием. С использованием общепринятой гид-

Таблица 4.17

Продуктивность основных формаций Иваньковского водохранилища, г/м²

| Формации | Сырой вес | | | Воздушно-сухой вес | | |
|---------------------------|-----------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
| | мин. | макс. | сред. | мин. | макс. | сред. |
| Тростник обыкновенный | 612 | 4284 | 1999 | 312 | 840 | 587 |
| Рогоз широколистный | 1992 | 3006 | 2499 | 660 | 768 | 714 |
| Манник водяной | 876 | 8520 | 3995 | 228 | 1122 | 624 |
| Камыш озерный | 1140 | 2928 | 2085 | 234 | 816 | 527 |
| Цицания широколистная | 5028 | 7584 | 6306 | 1386 | 2107 | 1746 |
| Вахта трехлистная | 3924 | 5772 | 4848 | 560 | 780 | 671 |
| Хвощ приречный | 1056 | 2616 | 1865 | 192 | 654 | 376 |
| Аир обыкновенный | 1680 | 3972 | 2544 | 192 | 672 | 459 |
| Телорез алоэвидный | 1536 | 15360 | 9269 | 162 | 1396 | 851 |
| Рдест блестящий | 1692 | 3564 | 2568 | 192 | 570 | 330 |
| Рдест плавающий | 1512 | 3012 | 2262 | 180 | 408 | 294 |
| Рдест пронзеннолистный | 96 | 1950 | 674 | 24 | 252 | 104 |
| Рдест гребенчатый | 588 | 2256 | 1366 | 66 | 216 | 159 |
| Роголистник темно-зеленый | 1980 | 4392 | 3186 | 132 | 216 | 174 |

роботанической методики нами были обследованы основные растительные сообщества Иваньковского водохранилища.

При оценке продуктивности определялся воздушно-сухой вес как наиболее показательный при сравнении фитомассы различных экологических групп растительности.

Из данных табл. 4.17 следует, что продуктивность растительных формаций Иваньковского водохранилища колеблется в зависимости от их местонахождения. Так, наибольшая продуктивность наблюдается на заросших участках с глубинами до 1 м в верхних заливах. Продукция с единицы площади в господствующих сообществах воздушно-водной растительности колеблется в пределах от 654 до 2107 г/м². В сообществах погруженной растительности отмечены более низкие показатели от 252 до 570 г/м².

Литература

1. Довбня И.Л. Значение гидрофильной растительности мелководий волжских водохранилищ в круговороте веществ. Л., 1979. (Тр. ИБВВ АН СССР; Вып. 42(45)).
2. Катанская В.М. Методика исследования высшей водной растительности // Жизнь пресных вод СССР. М.; Л., 1956. Т. 4, ч. 1.
3. Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Л., 1981.
4. Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части СССР. 8-е изд. М.; Л., 1954.
5. Раммурти С., Мур Дж.В. Тяжелые металлы в природных водах. М., 1987.

6. Распопов И.М., Белавская А.П. Основные понятия продукционной биологии и методы определения продукции макрофитов пресноводных озер // Вопросы современной лимнологии. Л., 1973.

7. Россолимо О.А. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенных факторов. М., 1977.

8. Семин В.А., Хромов В.М., Кокин К.А. и др. Использование кумулятивной способности высшей водной растительности для биоиндикации тяжелых металлов в водотоках // Тез. докл. VII Всесоюз. симпоз. по соврем. пробл. прогнозирования, контроля качества воды водоемов и озонирования. Таллинн, 1985.

9. Смирнова Н.Н., Тарасова О.Г. Высшие водные растения – мониторы загрязнения водоемов // Биоиндикация и биотестирование природных вод: Тез. докл. Всесоюз. конф. Ростов н/Д, 1986.

10. Тихомиров О.А. Географические проблемы водохранилищ. Калинин, 1979.

11. Тихомиров О.А., Кирпичникова Н.В., Федорова Л.П. и др. Современное состояние аквальных комплексов заливов Иваньковского водохранилища // Экологическое состояние Верхне-Волжского бассейна. Тверь, 1997.

12. Тихомирова Л.К., Тихомиров О.А., Кирпичникова Н.В., Федорова Л.П. О тенденции зарастания Иваньковского водохранилища // Там же.

13. Федотов В.Л., Мортыещенко В.П. Микроэлементный состав макрофитов // Тез. докл. I Всесоюз. конф. по высш. водн. и прибреж.-водн. растениям. Борок, 1977.

14. Экзерцев В.А. Флора Иваньковского водохранилища // Растительность волжских водохранилищ. М.; Л.: Наука, 1966.

15. Guizzoni P. Manganese, copper and chromium content in macrophytes of lake Endine (Northern Italy) // Mem. Ist. ital idrobiol. 1975. Vol. 32.

23. Мур Д.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1988. 287 с.

24. Нахшина Е.П. Тяжелые металлы в системах вода-донные отложения водосмов: (Обзор) // Гидробиол. журн. 1985. Т. 21, № 2. С. 80-90.

25. Нормы и критерии оценки загрязнения донных отложений в водных объектах: Региональный норматив. СПб., 1996. 20 с.

26. Петрова И.В., Дурнова Н.Б. Химический состав донных отложений как показатель антропогенного воздействия на водоем (на примере озера Белого Вологодской области) // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1990. Вып. 31. С. 227.

27. Тихомиров Л.К., Тихомиров О.А., Киртичникова Н.В., Федорова Л.П. // Экологические аспекты изучения природной среды Тверской области. Тверь, 1997. С. 32.

28. Хатчинсон Д. Лимнология. М.: Прогресс, 1969. 592 с.

29. Экспериментальная экология. М.: Наука, 1991. 248 с.

30. Kocharian A.G., Malutin A.N., Lapin I.P. et al. Study of humic organic substances and heavy metals in the Ivancovo Reservoir waters // Toxicol. and Environ. Chem. 1989. Vol. 24. P. 83-93.

31. Yong Liu. Determination of heavy metal contamination in river sediment // Sediment quality criteria: General aspects and international state of discussion: V Intern. symp. on river sedimentation. Karlsruhe, 1992.

5.3. Содержание тяжелых металлов в высшей водной растительности

Заросшие мелководья Ивановского водохранилища занимают 27,5% всей площади водоема. Основная доля площадей зарастания приходится на крупные заливы. Значительная роль мелководных заливов в формировании качества вод водохранилища, а также его экологического состояния, свидетельствует о необходимости изучения содержания ТМ в высшей водной растительности (ВВР) и выяснение влияния загрязнения ДО ТМ заросших заливов на содержание ТМ в водных растениях. Микроэлементный состав ВВР изучен слабо. В литературе имеются данные лишь о некоторых представителях водных растительных сообществ. К сожалению, почти все исследователи используют разные единицы выражения содержания микроэлементов в растительном материале, что затрудняет сравнение между собой имеющихся данных. Результаты исследований ряда авторов свидетельствуют о большой накопительной способности ВВР микроэлементов: Mn, Fe, Zn и Cu, что имеет важное значение, поскольку эти элементы влияют на органолептические показатели воды [6, 10, 14, 21].

Исследования водно-болотной и некоторых представителей гидрофильной группы растительности показали, что прибрежные макрофиты с развитой корневой системой хорошо концентрируют Cu, но в меньшей степени, чем погруженные с плавающими листьями — Mn, Fe, Zn. Полностью погруженные макрофиты примерно в 2-3 раза больше содержат Mn по сравнению с земноводными и надводными растениями [20]. Наибольшее количество Zn и Cu аккумулируют свободноплавающие на поверхности воды растения, а Mn, Fe, Ni, Pb — растения, свободноплавающие в толще воды [17]. Учитывая избирательность ра-

стений к различным веществам можно использовать водные растения как индикаторы, отражающие химические показатели водной среды и ДО, но лишь до известных пределов, так как определено, что растения весьма устойчивы к кратковременным всплескам загрязнения и могут накапливать химические элементы в тканях в больших количествах без видимых функциональных изменений. Поэтому содержание ТМ в золе растений является важной характеристикой состояния загрязнения водоема и его экосистемы.

Следует отметить, что скорость поглощения микроэлементов ВВР зависит от концентрации элемента в водной среде, продолжительности воздействия и от pH среды. С ростом pH воды поглотительная способность растений уменьшается. Кроме того, следует иметь в виду неоднородность накопления микроэлементов различными органами растений, прежде всего это касается Fe и Mn. У большинства видов Mn интенсивнее накапливается в листьях и стеблях, а Fe — в корневой системе [16].

Изучение содержания ТМ в ДО и золе растений проводилось в заливах, расположенных вблизи Юрятино, о-в Клишцы; Омутня, Борцино, Видогощи, Мошковичском, Бабенском, Федоровском заливах, Шошинском плесе в летний период 1995 г. В период отбора проб ДО и растений определялись также гидрохимические и гидрофизические показатели: pH, жесткость, щелочность, удельная электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал (Eh), температура воды (t), растворенный в воде (O₂) по стандартным методикам.

Определение содержания ТМ в ДО проводилось методом атомно-адсорбционной спектроскопии, в золе растений — спектральным методом.

Как было показано выше донные отложения заливов Ивановского водохранилища представлены первичными трансформированными грунтами (почвы обнаженные, разбухшие, заболоченные) и вторичными грунтами (песок, илестый песок, ил песчаный серый, ил серый, ил переходный, ил торфянистый, отложения из макрофитов) [5, 12]. Заостровные пространства зарастают ВВР, заполняются отложениями из макрофитов и торфянистым илом. Согласно данным [11], в 1990 г. ДО макрофитов и торфянистым илом. Согласно данным [11], в 1990 г. ДО Ивановского водохранилища были представлены следующим образом: почва — 11%, песок, илестый песок — 49%, песчаный и серый илы — 31%, торфянистый ил и отложения из макрофитов — 9%. ДО заливов Ивановского водохранилища представлены главным образом илистым песком и различными типами илов (песчаный серый, переходный, серый). Гранулометрический состав ДО заливов различается в зависимости от расположения их по длине водохранилища. Для большинства заливов характерно преобладание в ДО частиц размерами 0,1-0,05 и 0,2-0,1 мм. Для песка илестого в верховье (Мелково) преобладают частицы размером 1,0-0,5 и 0,5-0,2 мм, тогда как в низовье водохранилища (в Федоровском заливе) — 0,5-0,2; 0,2-0,1; 0,05-0,01 мм, т.е. более мелкие, чем в верховье. Накопление илов в заливах и распространение ВВР увеличивает аккумулирующую емкость заливов в отношении ТМ.

По состоянию загрязнения ДО заливов ТМ относительно фона (Верхняя Волга) существенно различаются между собой (см. разд. 5.2). К наиболее чистым следует отнести залив в районе Борцино и Шопинский плёс. Так, средние величины концентраций ТМ в ДО залива у Борцино (11 станций) большинства микроэлементов (Zn, Cu, Pb, Ni, Cd) имели значения ниже фоновых, превышения фона отмечены лишь для Cr и Co, при этом сумма относительных концентраций $\Sigma (C_i/C_{ф})$ рассматриваемых элементов невелика (5,26) по сравнению с другими заливами.

Заливы Бабенский, Мошковичский, а также расположенные в районе Видогощи и Омутни, следует отнести к загрязненным, здесь для большого числа микроэлементов отмечено превышение фона. Наиболее загрязнены ДО в районе Городни и Омутни. Сумма относительных концентраций здесь составляет 21,1 и 19,5 соответственно. Для Мошковичского залива – 17,5; Видогощи – 14,3.

Загрязнение ТМ ДО заливов относительно фона отличается не только количественно, но и качественно. Оно проявляется также в расстановке приоритетов загрязняющих веществ. Так, в ДО залива у Омутни к числу приоритетных загрязняющих веществ относятся Zn ($(C_i/C_{ф}) = 7,8$), Cu (2,72), Cr (2,71), Ni (2,2), Co (2,0), а в Бабенском заливе – Zn (4,3), Ni (2,1), в Мошковичском, как и в Бабенском, – Zn (7,84), Cr (2,04), Ni (3,04), Co (1,83), Pb (1,93). В целом заливы наиболее существенно загрязнены Zn, Ni, Co, Cr.

Анализ содержания ТМ в ДО сильно загрязненного залива у Омутни показал, что наиболее высокое содержание ТМ отмечается в середине залива, сумма относительного содержания элементов составляет 47,3 (табл. 5.11). Наименее загрязнены ДО заостровных мелководий – здесь сумма равна 8,5. На зарастающих мелководьях, где идет формирование тонкодисперсных отложений с высоким содержанием органического вещества, ВВР – не только источник формирующий материал ДО, но и механизм, способствующий накоплению ТМ в локальных ограниченных зонах [9]. Большое различие в содержании ТМ на станциях у Омутни свидетельствует о слабой динамике вод в заливе и неравномерном распространении микроэлементов в ДО под одним и тем же видом растений. Согласно данным наблюдений в 1990–1995 гг. в районах Плоски и о-ва Низовка диапазон изменения концентраций Cu в золе тростника обыкновенного составлял от 1,9 до 6,3 мг/г золы, Pb – от 1,3 до 15, Zn – от 4,0 до 31,5, Cr – от 1,7 до 50,0, Ni – от 2,5 до 20,0 мг/г золы.

Высшие водные растения являются одним из основных водных сообществ, очистительная способность которых приводит к снижению токсичности различных загрязняющих веществ и исключению их прямого воздействия на человека и животных. Для оценки роли высших водных растений в распространении ТМ в ДО мелководных заливов было рассмотрено содержание наиболее экологически значимых микроэлементов (Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Co, Ni, Cr) в золе растений и их валовое содержание в ДО, отобранных непосредственно под корнями растений в 1995 г.

Таблица 5.11

Относительное содержание микроэлементов в пробах ДО из-под корней растений на открытых участках заостровного мелководья (Ст. 10) и в середине залива у о-ва Омутня (Ст. 11) летом 1995 г.

| Станция | Zn | Cu | Pb | Ni | Cr | Co | Cd | $\Sigma(C_i/C_{ф})$ |
|-------------------|------|-----|------|------|------|------|------|---------------------|
| 1(III) | 5,4 | 1,3 | 1,05 | 0,73 | 0,96 | 0,94 | 0,24 | 10,62 |
| 2(III) | 14,0 | 5,0 | 4,7 | 3,3 | 3,4 | 3,2 | 0,24 | 33,9 |
| 3(IIIa) | 5,1 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 12,1 | 4,3 | 0,24 | 26,3 |
| 4(IIIa) | 5,1 | 1,4 | 2,5 | 2,4 | 2,2 | 0,6 | 0,7 | 15,0 |
| 5(V) | 5,7 | 1,9 | 1,3 | 2,1 | 1,3 | 1,4 | 0,24 | 13,9 |
| 6(V) | 8,6 | 3,0 | 1,9 | 2,2 | 2,4 | 2,9 | 0,32 | 21,5 |
| 7(II) | 6,8 | 3,0 | 2,0 | 2,9 | 1,8 | 1,9 | 0,24 | 18,7 |
| 8(IX) | 6,5 | 2,3 | 1,1 | 1,5 | 0,7 | 1,0 | 0,24 | 13,4 |
| 9(IV) | 2,7 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,6 | 1,0 | 0,24 | 6,6 |
| 10 | 3,8 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,24 | 8,5 |
| 11 | 21,6 | 8,9 | 2,4 | 6,1 | 3,4 | 4,1 | 0,8 | 47,3 |
| Среднее по заливу | 7,8 | 2,7 | 1,8 | 2,2 | 2,7 | 2,0 | 0,25 | |

Примечание (к табл. 5.11 и 5.12): в скобках приведены виды растений, из-под корней которых были отобраны пробы ДО: I – манник водяной, II – кубышка желтая, III – рдест пронзеннолистный, IIIa – рдест блестящий, IV – телорез алоэвидный, V – кувшинка чисто-белая, VI – хвощ приречный, VII – аир обыкновенный, VIII – элодея канадская, IX – тростник обыкновенный.

Многолетние исследования высшей водной растительности Ивановского водохранилища позволили получить наиболее важные ее показатели: основные формации высшей водной растительности и ее флористический состав, концентраций наиболее токсичных элементов в исследуемых видах водных растений, продукционные показатели основных формаций водной растительности.

Растительный покров Ивановского водохранилища включает в себя следующие группы формаций:

- 1) высоких надводных трав, к которым относятся формации тростника обыкновенного, рогоза широколистного, манника водяного, цицании широколистной, камыша озерного, осоки острой;
- 2) средневысоких надводных трав – хвоща приречного, аира болотного, ежеголовника прямого, сусака зонтичного и др.;
- 3) низких надводных трав – формации: стрелолиста обыкновенного, болотницы болотной, ежеголовника простого;
- 4) погруженной растительности – роголистника темно-зеленого, видов рдестов, телореза алоэвидного;
- 5) плавающей растительности (свободно плавающая и прикрепленная с плавающими листьями). К ней относятся формации рдеста плавающего, кувшинки чисто-белой, кубышки желтой, горца земноводного, видов рясок.

Особо следует отметить такие образования, как сплавины, состоящие из переплетающихся стеблей болотных растений и поросшие

Таблица 5.12

Валовое содержание тяжелых металлов в высшей водной растительности Ивановского водохранилища по результатам спектрального анализа, мкг/г

| Станция | | Mn | Zn | Cu | Pb | Cd | Co | Ni | Cr |
|-------------------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Юрятино | I | 22,45 | 15,10 | 3,52 | 2,10 | 0,15 | 4,45 | 3,46 | 2,12 |
| Клиницы | I | 19,96 | 10,92 | 2,68 | 4,85 | 0,15 | 7,42 | 3,74 | 3,10 |
| | II | 18,35 | 8,36 | 2,11 | 3,44 | 0,12 | 4,22 | 2,88 | 1,75 |
| Залив у Омутни | III | 35,62 | 22,73 | 2,22 | 1,96 | 0,12 | 2,16 | 3,95 | 2,70 |
| | IIIa | 21,80 | 18,45 | 1,95 | 2,74 | 0,10 | 3,72 | 2,64 | 2,00 |
| | IV | 73,12 | 42,70 | 2,93 | 4,78 | 0,14 | 6,21 | 2,96 | 3,10 |
| Залив у Борщю | III | 29,80 | 24,10 | 2,18 | 2,48 | 0,10 | 4,92 | 2,21 | 1,79 |
| | IIIa | 25,71 | 10,84 | 2,15 | 2,58 | 0,10 | 4,10 | 4,81 | 2,70 |
| Мошковичский зал. | I | 30,20 | 29,70 | 2,46 | 1,53 | 0,12 | 3,94 | 4,78 | 5,10 |
| | III | 46,84 | 45,68 | 7,80 | 2,54 | 0,13 | 5,21 | 6,21 | 3,81 |
| | V | 84,21 | 29,51 | 3,66 | 5,24 | 0,15 | 3,69 | 2,63 | 2,51 |
| Федоровский залив | IIIa | 40,82 | 35,64 | 3,95 | 2,41 | 0,10 | 2,96 | 7,93 | 5,19 |
| | III | 46,51 | 24,81 | 4,33 | 2,85 | 0,15 | 3,70 | 6,54 | 4,80 |
| Бабенский залив | I | 18,21 | 7,81 | 1,22 | 3,12 | 0,18 | 4,80 | 2,10 | 2,00 |
| | IV | 39,10 | 25,90 | 2,65 | 3,46 | 0,17 | 5,28 | 3,66 | 1,75 |
| | IIIa | 21,95 | 19,18 | 2,21 | 3,22 | 0,12 | 6,51 | 3,18 | 1,86 |
| Видогощи | IIIa | 35,46 | 28,40 | 2,94 | 3,92 | 0,15 | 4,95 | 4,81 | 1,66 |
| | V | 42,39 | 26,54 | 5,81 | 4,25 | 0,13 | 4,73 | 3,69 | 2,21 |
| | VII | 16,95 | 10,31 | 1,92 | 2,86 | 0,10 | 2,98 | 2,88 | 1,92 |
| | VIII | 39,46 | 18,90 | 7,36 | 1,53 | 0,12 | 5,21 | 4,83 | 3,16 |

Примечание: I-VIII - виды растений (обозначения см. в табл. 5.11).

так и с особенностями аккумуляции ТМ различными видами растений (табл. 5.12). Соотношение максимальных и минимальных величин концентраций ТМ в золе растений позволяет разделить элементы на три группы. В первую входят Cu, Zn, Mn, для которых соотношение равно 5,0-6,4, во вторую Ni, Cr, Co, Pb, где оно имеет более низкие величины (3,4-3,8), в третью самые низкие, отмеченные для Cd (1,7), по-видимому из-за малого его содержания.

Наибольшая аккумуляция ТМ в растениях происходит в заливах у Омутни, Мошковичском, Федоровском заливах, наиболее загрязненных. Формирование загрязнения ДО у Омутни, по-видимому, связано со скоростными и механическими барьерами в этой зоне водохранилища, в Федоровском заливе - в связи с загрязнением вод р. Тропки, в Мошковичском заливе в результате сброса подогретых и сточных вод Конаковской ГРЭС. В этих заливах превышение среднего уровня отмечено по 6 и более элементам. Наименьшее содержание ТМ в золе растений отмечено на Шошинском плёсе, в Бабенском заливе и у о-ва Клиницы.

Таким образом, заливы выполняют барьерную роль в распространении ТМ в ДО водохранилища. Наличие растительности в них создает условия для круговорота микроэлементов в самих заливах, а слабый во-

видами осок и другими пионерами зарастания. В настоящее время на долю сплавины приходится 18 км² площади мелководной зоны Ивановского водохранилища (верховья заливов) [10, 13].

Большая часть площадей зарастания приходится на крупные заливы Шошинского и Ивановского плёсов, расположенных в районах Борщю, Огурцово, Омутня, а также Бабенского, Мошковичского, Перетрусовского, Федоровского, Коровинского, Новосельского заливов. Результаты обследования заливов свидетельствуют о высокой степени развития ВВР. Общие закономерности распространения ВВР в заливах проявляются в том, что большая площадь мелководной зоны заливов занята воздушно-водной и погруженной растительностью. Глубина распространения водных растений достигает 1,7-2,0 м. На всем протяжении прибрежий заливов вытянулся хорошо выраженный пояс сплавины. Главными растениями - сплавиннообразователями на Ивановском водохранилище являются рогоз широколистный, манник водяной, тростник обыкновенный, хвощ приречный, дикий рис, анр и др. Показатели их фитомассы составляют 500-1600 г воздушно-сухого веса на 1 м², проективное покрытие грунта - 100%. Глубина распространения сплавины - до 1,0 м. Важной отличительной особенностью сплавинных комплексов является наличие сплавинного тела, мощность которого достигает 30-50 см.

Площади, сильно заросшие воздушно-водной растительностью, располагаются на тех же глубинах, что и сплавины. Полупогруженные макрофиты имеют высокие показатели фитомассы (400-1200 г/м²). Проективное покрытие колеблется от 60 до 100%. К сплавинам и воздушно-водным растениям примыкает пояс сильного зарастания телорезом алоэвидным, занимающим водное пространство на глубинах 0,4-1,3 м. Заросли телореза представляют собой сплошной ковер, их фитомасса - свыше 500 г/м². Более глубокие участки заливов заняты комплексами умеренного и слабого зарастания погруженной растительностью и растениями с плавающими листьями. Растительность до глубины 1,7-2,0 м представлена рдестом блестящим, рдестом пронзеннолистным, роголистником темно-зеленым, урутью мутноватой, кубышкой чисто-белой, кубышкой желтой, рдестом плавающим, разными видами рясок. При проективном покрытии от 30 до 100% фитомасса погруженной растительности составляет лишь 80-300 г/м². К периоду цветения фитоценозы воздушно-водной растительности накапливают: 58% азота, 62% фосфора, 58% калия, 72% натрия, 54% кальция и 56% магния общего количества этих элементов во всей фитомассе. Растительность сплавины - 32% азота, 31% фосфора, 30% калия, 23% натрия, 28% кальция и 25% магния. Оценка накопления элементов растительностью на 1 м² площади мелководной зоны за период вегетации показывает, что оно составляет: 9 г азота, 2 г кальция, 8 г калия, 2 г натрия, менее 1 г фосфора и магния [10].

Анализ содержания ТМ в золе ВВР в 9 заливах (22 станции) Ивановского водохранилища с различным уровнем загрязнения ДО свидетельствует о значительной неоднородности содержания ТМ в растениях, что связано как с различным уровнем загрязнения заливов,

Таблица 5.13

Соотношение содержания микроэлементов в ДО и золе растений для Ивановского водохранилища в 1995 г., $n = 16$

| Элемент | Средняя величина | Среднее квадратичное отклонение | $C_{\text{з}}/C_{\text{ДО}}$ | $\sigma_{\text{з}}/\sigma_{\text{ДО}}$ | $C_{\text{з}}/C_{\text{ф}}$ |
|-----------|------------------|---------------------------------|------------------------------|--|-----------------------------|
| Zn (ДО) | 163,1 | 151,1 | 0,132 | 0,066 | 4,41 |
| Zn (зола) | 21,5 | 10,0 | | | |
| Cu (ДО) | 42,6 | 41,4 | 0,066 | 0,015 | 1,18 |
| Cu (зола) | 2,8 | 0,64 | | | |
| Pb (ДО) | 20,9 | 21,1 | 0,162 | 0,054 | 1,10 |
| Pb (зола) | 3,38 | 1,14 | | | |
| Cd (ДО) | 0,165 | 0,067 | 0,827 | 0,384 | 0,33 |
| Cd (зола) | 0,137 | 0,026 | | | |
| Co (ДО) | 12,5 | 8,85 | 0,414 | 0,162 | 1,83 |
| Co (зола) | 5,15 | 1,44 | | | |
| Ni (ДО) | 20,94 | 15,68 | 0,166 | 0,052 | 1,90 |
| Ni (зола) | 3,48 | 0,82 | | | |
| Cr (ДО) | 73,34 | 82,67 | 0,033 | 0,010 | 2,53 |
| Cr (зола) | 2,43 | 0,89 | | | |

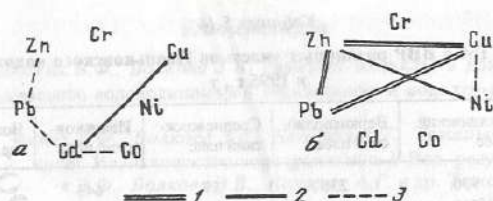


Рис. 5.8. Уровни связи микроэлементов в золе ВВР (а) и в донных отложениях (б) заливов Ивановского водохранилища в 1995 г.

1 - коэффициент корреляции $r = 0.7-0.8$; 2 - $r = 0.6-0.69$; 3 - $r = 0.5-0.59$

Для концентраций ТМ в золе растений отмечена более низкая степень корреляции, чем для концентраций ТМ в ДО. Так, концентрации Cd в золе растений связаны с концентрациями Cu ($r = 0,67$), Pb ($r = 0,54$), Co ($r = 0,52$), а концентрации Pb связаны с концентрациями Zn ($r = 0,56$).

Таким образом, для ДО определяющим элементом связи микроэлементов является Zn, а для золы растений - Cd (рис. 5.8). Отсутствие полной идентичности связи микроэлементов в ДО и золе растений связано, по-видимому, с избирательной способностью растений к различным ТМ.

Расстановка осредненных концентраций ТМ в золе и ДО для Ивановского водохранилища имеет следующий вид: $C_{\text{з}} - \text{Zn} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Cd}$; $C_{\text{ДО}} - \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Cd}$.

Сравнение содержания ТМ в золе высшей водной растительности и в ДО для Ивановского плёса в 1995 г. показывает, что концентрации ТМ в золе ВВР имеют достаточно высокие значения, сравнимые с содержанием ТМ в ДО (см. табл. 5.13).

Таким образом, различие в накоплении микроэлементов в ДО заливов в первую очередь связано с характером поступления микроэлементов в ДО заливов и в меньшей степени с влиянием различных видов растительности на содержание ТМ в ДО.

На основе имеющихся данных оценим содержание ТМ в ВВР для различных участков Ивановского водохранилища (табл. 5.14). Площади плёсов и степень их зарастаемости были приняты по данным на 1980 г. Наибольшие величины содержания ТМ в ВВР получены для наиболее заросших ВВР Шошинского и Ивановского плёсов. Так, содержание Mn в них составляет соответственно 936 и 737 т, Zn - 516 и 481 т. Достаточно высокое содержание в ВВР на этих плёсах отмечено для Co - 183 и 69 т, Ni - 122 и 84 т, Cu - 104 и 63 т соответственно. Наиболее низкое содержание ТМ в ВВР характерно для Средневожского плёса. В целом для Ивановского водохранилища содержание Mn в ВВР составляет 1874 т, Zn - 1119 т, Cu - 164 т, Pb - 166 т, Cd - 7,4 т, Co - 304 т, Ni - 226 т, Cr - 149 т. Однако вычлнить роль различных типов растений на накопление микроэлементов в ДО плёсов

дообмен заливов с транзитной зоной потока не способствует быстрому выносу ТМ из заливов в транзитную зону водохранилища.

Аккумуляция ТМ ВВР и последующая трансформация микроэлементов при отмирании ВВР способствуют формированию сезонных изменений содержания ТМ в ДО, однако вопрос этот изучен еще слабо. Сравнение содержания микроэлементов в ДО и золе ВВР (табл. 5.13) свидетельствует о том, что соотношение их средних концентраций и величин средних квадратичных отклонений, полученных для водохранилища в целом, существенно различается для различных элементов. Наиболее высокие значения отношений отмечены для Cd и Co, наиболее низкие для Cu и Cr, что, по-видимому, связано с уровнем загрязнения ДО ТМ, а также избирательной способностью растений к элементам. Однако прямой связи этих отношений с превышением фона содержания ТМ в ДО не прослеживается.

Анализ корреляционной зависимости между содержанием ТМ в золе растений и в ДО, отобранных под корнями растений на 16 станциях мелководных заливов Ивановского водохранилища в 1995 г., свидетельствует об отсутствии достоверной связи между этими характеристиками. Коэффициенты корреляции между концентрациями ТМ в ДО и золе растений имеют значения ниже 0,5. Между тем достаточно высокая степень корреляции между концентрациями различных микроэлементов в ДО. Так, концентрации Zn в ДО связаны с концентрациями Cu ($r = 0,85$), Pb ($r = 0,74$), Ni ($r = 0,65$). Концентрации Pb в ДО связаны с концентрациями Cu ($r = 0,81$), что свидетельствует о том, что для этих элементов характерны общие условия их поступления в водохранилище и пространственного перераспределения.

Таблица 5.14

Содержание ТМ в ВВР различных участков Ивановского водохранилища в 1995 г., т

| Элемент | Шошинский плёс | Верхневолжский плёс | Средневолжский плёс | Иваньковский плёс | Водохранилище в целом |
|---------|----------------|---------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|
| Mn | 936 | 236 | 59 | 643 | 1874 |
| Zn | 516 | 148 | 40 | 416 | 1119 |
| Cu | 104 | 32 | 6 | 52 | 164 |
| Pb | 83 | 22 | 7 | 54 | 166 |
| Cd | 4,3 | 0,9 | 0,4 | 2 | 7,4 |
| Co | 183 | 32 | 12 | 77 | 304 |
| Ni | 122 | 28 | 7 | 69 | 226 |
| Cr | 78 | 16 | 4 | 51 | 149 |

пока не представляется возможным. Сохранение высоких концентраций ТМ в ДО большинства заливов свидетельствует о том, что они остаются источниками вторичного загрязнения вод.

Таким образом, заросшие мелководья Ивановского водохранилища, большая часть которых принадлежит крупным заливам Шошинского и Ивановского плёсов, занимают 27,5% площади водоема и сильно отличаются одно от другого по уровню загрязнения донных отложений тяжелыми металлами. Так, содержание ТМ в ДО Шошинского плёса ниже фоновых (кроме Cr и Co), в то время как мелководья и заливы Волжского и Ивановского плёсов следует отнести к загрязненным – для большинства микроэлементов отмечено превышение фона. Наиболее загрязнены ДО заливов в районах створов Городня и Омутня. Основное влияние на распространение микроэлементов в заливах оказывают условия поступления загрязняющих веществ и проточность. В целом заливы наиболее загрязнены Zn, Ni, Co, Cr.

Большие площади зарастания высшей водной растительностью и слабый водообмен с транзитным потоком в заливах создают барьер в распространении ТМ в центральные районы Ивановского водохранилища. Средообразующее свойство высшей водной растительности способствует накоплению ТМ в локальных ограниченных зонах.

Отсутствие полной идентичности в зависимостях между концентрациями микроэлементов в донных отложениях и в золе высшей водной растительности свидетельствуют об избирательной способности растений к различным элементам.

Наиболее высокое содержание тяжелых металлов в высшей водной растительности характерно для Шошинского и Ивановского плёсов, наиболее низкое – для Средневолжского плёса.

Литература

1. Бреховских В.Ф., Волкова З.В. Тяжелые металлы в донных отложениях Ивановского водохранилища // Мелиорация и вод. хоз-во. 1998. № 3. С. 15.
2. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Кочарян А.Г. Тяжелые металлы в донных отложениях Ивановского водохранилища // Вод. ресурсы.
3. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Кочарян А.Г. и др. Тяжелые металлы в донных отложениях и высшей водной растительности Ивановского водохранилища // Там же.
4. Брукс Р.Р. Загрязнение микроэлементами // Химия окружающей среды. М.: Химия, 1982. С. 371–413.
5. Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Курдин В.П. Донные отложения Верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 159 с.
6. Веницианова Е.В., Кочарян А.Г. Тяжелые металлы в природных водах // Воды суши: Проблемы и решения. М.: ИВП РАН, 1994. С. 299–326.
7. Ганеева М.В., Законнов В.В., Ганеев А.А. Локализация и распределение тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ Верхней Волги // Вод. ресурсы. 1997. № 2. С. 174–180.
8. Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве. М.: Медицина, 1986. 319 с.
9. Денисова А.И., Нахшина Е.П., Новиков Б.И., Рябов В.К. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. Киев: Наук. думка, 1987. 164 с.
10. Довбня И.В. Значение гидрофильной растительности мелководий волжских водохранилищ в круговороте веществ // Флора и растительность водоемов бассейна Верхней Волги. Рыбинск, 1979. С. 155–167. (Тр. ИБВВ АН СССР; Вып. 42(45)).
11. Законнов В.В. Пространственно-временная неоднородность распределения и накопления донных отложений Верхневолжских водохранилищ // Вод. ресурсы. 1995. № 3. С. 362.
12. Зиминова Н.А. Ивановское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1975.
13. Кадукин А.И., Красинцева В.В., Романова Г.И. и др. Баланс органических веществ, биогенных элементов и микроэлементов в Ивановском водохранилище // Вод. ресурсы. 1980. № 4. С. 120–131.
14. Мур Д.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1988. 287 с.
15. Нормы и критерии оценки загрязнения донных отложений в водных объектах: Региональный норматив. СПб., 1996. 20 с.
16. Семин В.А., Хромов В.М., Кокин К.А. и др. Использование кумулятивной способности высшей водной растительности для биоиндикации тяжелых металлов в водотоках // Тез. докл. VII Всесоюз. симпоз. по соврем. пробл. прогнозирования, контроля качества воды водоемов и озонирования. Таллинн, 1985.
17. Смирнова Н.Н., Тарасова О.Г. Высшие водные растения – мониторы загрязнения водоемов // Биоиндикация и биотестирование природных вод: Тез. докл. Всесоюз. конф. Ростов н/Д, 1986.
18. Тихомиров О.А. Географические проблемы водохранилищ. Калинин, 1979.