

ЗАРАСТАНИЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ВОДОЕМЕ

© 2025 В.Д. Казмирук

Институт водных проблем РАН, г. Москва (Россия)

Поступила 22.03.2025

Аннотация. Иваньковское водохранилище – самое старое и наиболее мелководное среди водохранилищ Волжско-Камского каскада. За почти 90 лет существования водоема его акватория существенно заросла высшей водной растительностью, которая занимает около 26% от площади водоема и более 55% от площади мелководий. В задачи исследований входило комплексное многолетнее изучение динамики зарастания Иваньковского водохранилища, его современные тенденции и анализ средообразующей роли макрофитов как фактора гидроэкологических процессов в водоеме. Для проведения исследований использовались архивные материалы, аэровидео- и аэрофотосъемка, а с 1990 г. проводились ежегодные полевые работы. Установлено, что в последние десятилетия низкий уровень воды в водоеме, как результат изменения климата, способствовал созданию благоприятных условий для укоренения *Phragmites communis* Trin. и скачкообразному зарастанию прибрежных отмелей. Дальнейший подъем уровня воды не привел к деградации зарослей. Еще более выраженным изменением в структуре растительного покрова Иваньковского водохранилища является существование в водоеме до 2008 г. отдельных растений, а затем массовое распространение вида *Trapa natans* L. Этот вид ранее не встречался в водохранилище, а в настоящее время сплошным ковром занимает практически всю акваторию непроточных заливов правобережной части Иваньковского плеса водоема. Макрофиты прямо и опосредованно влияют на все внутриводоемные процессы. Они существенно замедляют скорость движения воды и водообмен, влияют на химический состав вод, являются грунтообразующим материалом и влияют на состав, состояние и свойства донных отложений, а также ледовые явления. Макрофиты создают обособленные экологические ниши, чем способствуют развитию сине-зеленых водорослей.

Ключевые слова: Иваньковское водохранилище, зарастание водоемов, изменение климата, макрофиты, гидроэкологические процессы, современные тенденции

Введение

Иваньковское водохранилище было создано в 1937 г. путем перекрытия русла р. Волги в ее верховье у с. Иваньково. Основным назначением водохранилища является сезонное регулирование стока р. Волги для бесперебойного снабжения водой системы канала им. Москвы, через которую поступает около 70% всей воды, потребляемой населением и промышленностью г. Москвы. Водоохранилище также используется в качестве основного источника водоснабжения г. Твери, ряда других менее крупных населенных пунктов, промышленных объектов, сельского и рыбного хозяйства, водного транспорта, рекреации, добычи нерудных строительных материалов и минерально-органических смесей в качестве удобрений.

Первые исследования флоры и растительности Иваньковского водохранилища были проведены сотрудниками Тверского государственного университета (ТвГУ, современное название) (Калинина, 1945; Гавеман, 1952; Горянинская, 1975а, б; Тихомирова, 1985; Тихомиров, 2011), а затем продолжены и расширены в Институте биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (ИБВВ РАН) (Экзерцев, Трифонова, 1959; Экзерцев, 1961, 1966, 1971, 1978; Экзерцев, Экзерцева, 1962; Экзерцев, Мишулина, 1976; Экзерцев, Лисицина, 1984) и Институте водных проблем РАН (ИВП РАН) (Казмирук, 2000; Казмирук и др., 2004; Федорова, Григорьева, 2010). В результате этих работ был изучен флористический состав водохранилища как искусственного водоема, исследованы процессы зарастания и формирования растительного покрова, описано распространение видов в литорали водоема, их экологические особенности и участие в образовании ассоциаций.

Казмирук Василий Данилович, докт. геогр. наук, вед. науч. сотр., kazm@iwp.ru

Несмотря на многочисленность публикаций о растительности плесов и заливов Иваньковского водохранилища, подавляющее большинство из них основано на полевых работах, проведенных на водоеме в прошлом веке и не отражающих современные процессы динамики растительного покрова в последние десятилетия, хотя происходящие изменения существенны и вызваны продолжающимся заилением водохранилища, интенсификацией изменений климата, изменениями в искусственном регулировании уровня воды и регулярными инженерными мероприятиями по снижению зарастаемости отдельных участков водоема высшей водной растительностью. Комплексные исследования единичны. Особенно это касается средообразующей роли макрофитов в гидроэкологических процессах в водоеме. Влияние макрофитов на ледовые явления вообще не исследовалось не только на Иваньковском водохранилище, но и на других зарастающих водных объектах (Казмирук, 2024).

Целью данной работы является анализ многолетних данных о состоянии и изменениях в растительном покрове Иваньковского водохранилища под влиянием природных и антропогенных факторов и роли макрофитов во внутриводоемных процессах. Основной фокус в работе сконцентрирован на нескольких задачах: описании существенных изменений в растительном покрове Иваньковского водохранилища, происшедших за последние 25 лет; анализе средообразующей роли макрофитов в формировании донных отложений; влиянии макрофитов на ледовые явления на мелководьях.

Материалы и методы

На Иваньковском водохранилище в его центральной части (г. Конаково; до 2006 г. – д. Плоски Тверской обл.) расположен Филиал ИВП РАН Иваньковская научно-исследовательская станция (современное название). Начиная с 1990 г., автором проводились ежегодные наблюдения за растительным покровом на ключевых участках водоема. Использовался целевой план, предполагающий выбор характерных репрезентативных мест для гидробиотических съемок, отбора проб грунтов и воды в предположении возможных скачкообразных изменений в растительном покрове при взаимодействии природных (изменения климатических и погодных условий) и антропогенных факторов (искусственное регулирование уровня воды и степени зарастания водоема).

Кроме наблюдательных полигонов, для исследования динамики растительных сообществ и их картирования осуществлялись маршрутные съемки со стороны берега и водоема. Водные

маршруты выполнялись с катера КС100-Д «Поиск», лодок типа «Прогресс-2М» или «Ял» с подвесными моторами «Вихрь-30», «Ветерок-8М» или лодки «ЛАС». Использование различных плавсредств вызвано, прежде всего, мелководностью и различной степенью зарастания участков водоема.

В августе 2000 г. нами была выполнена аэровидео- и аэрофотосъемка акватории Иваньковского водохранилища и его прибрежной полосы с применением легкого самолета ЯК-52 (рис. 1). Съемка проводилась при оптимальной высоте полета 200-300 м. При скорости движения самолета около 200 км/час достаточно 1,5-2 часа летного времени для получения нескольких тысяч видеок кадров. Местоположение самолета фиксировалось с помощью GPS приемника.

При наземных исследованиях создавались карты-схемы границ зарослей макрофитов с определением их видового состава. Проективное покрытие макрофитов определялось визуально, подсчитывалось количество растений на 1 м² акватории. Кроме того, регулярно проводились наблюдения за динамикой водных масс, формированием донных отложений, образованием полей из микроорганизмов и ледовыми явлениями. Отбирались пробы воды и донных отложений для лабораторных физико-химических анализов. Подробное описание комплекса проводимых исследований представлено в работе (Казмирук, 2024).

Результаты исследования и их обсуждение

Динамика растительного покрова после создания водохранилища

Гидробиотические исследования на многих искусственных водоемах показывают, что степень зарастания водохранилищ зависит от времени их существования. Это связано как с периодом интенсивной переработки берегов в средних и нижних частях водохранилищ, так и с формированием слоя донных грунтов с достаточным количеством питательных веществ для развития макрофитов. Немаловажна роль исходных биотопов. Затопленные болота, старицы, пойменные озера являются очагами расселения макрофитов. Чем старше водохранилище – тем более заросшим оно оказывается. Сукцессионные изменения происходят в основном по пути вытеснения ценотически слабых сообществ и формированием на значительных площадях относительно устойчивых, ценотически мощных сообществ, достигших в продукционном отношении показателей, близких к оптимальным.



Рис. 1. Исследование структуры растительного покрова Иваньковского водохранилища с помощью легкого самолета Як-52 (фото автора, 2000 г.)

Fig. 1. Study of the structure of the vegetation cover of the Ivankovskoye Reservoir using a light aircraft Yak-52 (photo by the author, 2000).

При наполнении Иваньковского водохранилища, которое началось в апреле 1937 г., были затоплены болотные массивы, находящиеся в низовьях притоков р. Волги (Лама, Инюха, Шоша, современный Шошинский плес) и у затопленных деревень Клинцево и Моисеево (Иваньковский плес, район современной д. Перетрусово). Также было затоплено реликтовое озеро, расположенное на левобережной пойме р. Волги у д. Выдогощи (Карта, 1892). В первых работах по зарастанию Иваньковского водохранилища (Калинина, 1945; Потапов, 1954; Шмелева, 1954) указывается, что формирование флоры этого нового водного объекта происходило за счет семян и органов вегетативного размножения растений, произрастающих на водосборной площади. Хотя в этих работах прямо не указывается, но наши многолетние наблюдения на Иваньковском водохранилище позволяют предположить, что переработка болотных массивов под воздействием динамики водных масс, всплытие, разрушение и миграция кусков торфа с произрастающими на них водно-болотными растениями уже в начальной стадии существования водоема были одними из основных источников распространения макрофитов по акватории водоема. Благоприятный уровенный и волновой режим верховьев заливов способствовал их быстрому за-

растанию. При этом уже в первые годы существования водохранилища заливы, в которые впадали малые водотоки – притоки водохранилища, зарастали более интенсивно, чем заливы без притоков (Экзерцев, 1978). Причинами этому являются сохранившиеся очаги зарастания, существовавшие в притоках до образования водохранилища, и формирование плодородных илистых грунтов в конусах выноса устьевых участков.

Первое обстоятельное описание флоры Иваньковского водохранилища с таксономическим и экологическим анализом высших водных растений дано в работе (Экзерцев, 1966). В дальнейшем список видов уточнялся, и многие авторы отмечают, что флора водоема не претерпевает существенных изменений (Экзерцев, 1978; Экзерцев, Лисицина, 1984; Федорова, Григорьева, 2010), хотя сами авторы этих работ приводят противоречивые данные. Так, в работе (Экзерцев, Лисицина, 1984: с. 91) указано, что после создания первичного списка видов (подразумевается список из работы (Экзерцев, 1966)), в 1973 г., было проведено повторное обследование флоры водохранилища и что «при первом обследовании зарегистрировано 220 видов макрофитов, при повторном – 210». Вместе с тем, в работе этого же автора (Экзерцев, 1978: с. 125) приводятся данные, что «к настоящему времени

на мелководьях Иваньковского водохранилища зарегистрировано 277 видов растений, относящихся к 59 семействам». В монографии (Иваньковское, 2000: с. 213) указано, что во время экспедиционных исследований на мелководьях Иваньковского водохранилища в период 1986-1996 гг. «зарегистрировано 74 вида 28-ми семейств, произрастающих в условиях обводнения». В более поздней работе этих авторов (Федорова, Григорьева, 2010: с. 305) отмечено, что «на данный момент зарегистрировано 87 видов 31 семейства».

Флора водохранилища как искусственного водоема, где накладываются условия различных биотопов (реки, озера, болота, эфемерных водоемов и водотоков), богаче, чем в расположенных рядом естественных водных объектах. Это вызвано доступностью отдельных участков водохранилища для различных экологических групп растений. Гидрофиты составляют только 20-33% флоры мелководий водохранилища, но им принадлежит основная роль в зарастании водоема. Наоборот, гигрофиты наиболее многочисленны по видовому составу, но играют незначительную роль в зарастании.

Впервые площадь зарастания водохранилища была определена через 20 лет его существования в 1957 г. путем визуальных наблюдений и обмеров, проведенных сотрудниками ИБВВ АН СССР. В 1973 г. была выполнена первая спектрозональная аэрофотосъемка большей части акватории водоема (без заросшей территории Шошинского плеса). В это время отмечены первые существенные замещения в площадях распространения отдельных видов (Экзерцев, Лисицина, 1984). Более конкурентоспособные виды, такие как *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb., *Typha angustifolia* L., *Equisetum fluviatile* L., *Stratiotes aloides* L., начали вытеснять экологически слабые в создавшихся условиях *Typha latifolia* L., *Sagittaria sagittifolia* L., *Alisma plantago-aquatica* L., *Oenanthe aquatica* (L.) Poir., *Myriophyllum spicatum* L., *Elodea canadensis* Michx. Этому способствовало подтопление берегов, снижение к тому времени интенсивности их переработки и накопление продуктов эрозии в заливах, дополненное грунтообразующим материалом из кусков всплывшего торфа и растительного опада, что создало устойчивый субстрат для укоренения и распространения видов, предпочитающих заиленные и болотистые грунты.

Процессы заболачивания берегов, накопление большого объема трудноразлагаемой растительной массы, отчленение отдельных кусков от наружного края старых болотных торфяников, всплывание и вспучивание их отдельных участков, наличие корневищной растительности ведут

к образованию сплавин, особенно в верховьях заливов и в межостровных протоках, где зарастаемость может достигать 100%. Наиболее распространены сплавины манниковые, хвощовые, тростниковые; встречаются также рогозовые, телорезовые, айрные и разнотравно-осоковые. Большая часть уже образованных сплавин находится в заливах и заостровных пространствах Иваньковского плеса, занимая площадь 11,8 км² (48,8% от площади зарастания), а также в Шошинском плесе водохранилища. Эндогенные процессы, породившие образование сплавин, вызвали также сукцессионные изменения в растительном покрове – массовое распространение сообществ болотных растений. Больше других заросли и заболотились Козловский, Безбородовский и Дубненский гидрографические районы, где сильно изрезана береговая линия и значительные площади заняты непроточными мелководьями.

Интенсивное развитие воздушно-водной растительности и накопление растительного опада на некоторых участках привели к локальному ухудшению гидрохимического режима водоема и снизили его доступность. По данным Управления эксплуатации Иваньковского водохранилища в феврале месяце 1965-70 гг. на Шошинском плесе концентрация растворенного в воде кислорода не превышала 1,2-1,3 мг/л, что более чем в три раза ниже предельно допустимых концентраций. Иногда концентрация кислорода уменьшалась до нуля, в результате чего возникали заморные явления. Деревня Перетрусово, расположенная в приплотинной части Иваньковского плеса, оказалась фактически отрезанной от водоема 300-400 метровой полосой зарослей, сплавин и болот.

В 1983 г. Институтом «Гидропроект» им. С.Я. Жука был разработан проект «Улучшение технического и санитарного состояния Иваньковского водохранилища». В рамках разработки этого проекта в 1980 г. выполнена вторая спектрозональная аэрофотосъемка всего водохранилища и прибрежной полосы шириной 0,5 км в масштабе 1:15 000. В результате дешифрирования аэрофотоснимков были составлены планы в масштабе 1:10 000 с обозначением границ зарастания водоема и указанием видового состава макрофитов. Проект предусматривал широкий комплекс мероприятий на мелководьях водоема.

Еще до создания этого проекта, начиная с 1974 г., на Иваньковском водохранилище начали проводиться инженерные мероприятия по снижению негативных последствий чрезмерного заиления и зарастания водоема. Такие работы в разные годы проводились в районе



а)



б)

Рис. 2. Инженерные мероприятия по регулированию зарастания Иваньковского водохранилища: а) проведение работ в Коровинском заливе с помощью плавучего крана КПЛ-5-30 (фото автора, 2000 г.); б) выкашивание макрофитов в прибрежной полосе г. Конаково (фото автора, 2021 г.)

Fig. 2. Engineering measures to regulate the overgrowth of the Ivankovskoye Reservoir: а) carrying out work in Korovinsky Bay using the floating crane KPL-5-30 (photo by the author, 2000); б) mowing macrophytes in the coastal strip of the city of Konakovo (photo by the author, 2021).

о. Низовка, в Козловском районе Шошинского плеса, в Перетрусовском и Коровинском заливах (работы начаты в 1998 г.) (рис. 2). Эти работы проводятся и в настоящее время. В 2024 г. инженерные мероприятия в Коровинском заливе проводились силами ФГБВУ «Центррегионводхоз». В 2025-2026 гг. планируется проведение работ в рамках нового федерального проекта «Вода России» нацпроекта «Экологическое благополучие».

Современные тенденции зарастания водохранилища

Если для рек и озер в естественных условиях сезонная цикличность зарастания относительно стабильна, то для искусственных водоемов, таких, как водохранилища и пруды, облик растительного покрова по годам может иметь резкие различия, которые проявляются в степени и интенсивности зарастания мелководий, в величине продукции фитоценозов, в массовом развитии одних видов и не проявлении других, в том числе и тех, которые были хорошо развиты в предыдущие годы (Папченков, 1999). Летне-осенняя сработка водохранилищ благоприятствует развитию воздушно-водной растительности и ограничивает распространение погруженной, хотя доступность питательных веществ для последней в этом случае возрастает. Именно наличие летне-осенней сработки обусловило резкое преобладание воздушно-водной растительности в большинстве водохранилищ. В Ивановском водохранилище колебания уровня воды составляют 4-4,5 м.

Высшая водная растительность способна произрастать в довольно узком диапазоне внешних условий. Абсолютное большинство растений произрастает до глубин воды 2 м, хотя встречаются растения и на глубинах 4 м. Считается, что предельной глубиной произрастания макрофитов является глубина воды, прозрачность которой позволяет достичь поверхности растений 1-4% света. Оптимальной температурой для фотосинтеза большинства макрофитов является температура в диапазоне 20-35°C, хотя они имеют большой потенциал для акклиматизации и могут произрастать при более низких температурах (Bornette, Puijalon, 2011). Поэтому в холодных, сильно затененных и с высокой мутностью воды водных объектах растительность очень бедная. Кроме того, для укоренения макрофитов должны отсутствовать подвижки донного грунта, а скорости движения воды должны составлять менее 10 м/с. Именно подвижки грунта, вызванные ветровыми и судовыми волнами, препятствуют укоренению макрофитов и зарастанию прибрежных отмелей Ивановского во-

дохранилища непосредственно у уреза воды, что является основной причиной формирования полос из тростника на удалении 3-25 м от береговой линии. Более того, острые края неокатанных фракций грунтообразующего материала, перемещающегося в волноприбойной зоне, могут вызывать механические повреждения мягких побегов растений.

Одним из следствий изменения климата является увеличение количества засушливых периодов, когда уровень воды в водных объектах низкий по естественной причине или в результате забора воды на хозяйственные нужды. В этом случае возникают дополнительные мелководья, где складываются благоприятные условия для укоренения растений. Дополнительным фактором зарастания в маловодный период являются малые скорости движения воды, в результате чего переносимые потоком семена растений оседают на грунт и прорастают. Маловодный период, как правило, совпадает с периодом вегетации и теплым сезоном года. После укоренения растений дальнейшее повышение уровня и скоростей движения воды, как правило, не приводит к обратной деградации растительного покрова. Макрофиты адаптируются к этим условиям.

В последние десятилетия в московском регионе в теплое полугодие наиболее засушливыми были 2010 и 2014 годы, когда продолжительность засух составляла 5 месяцев. Таких продолжительных засух было всего три за весь период суточных наблюдений с 1949 г. (Тищенко и др., 2016). Немного короче (4 месяца) была засуха в 2011 г. В засушливые годы при летней сработке водохранилища осушались значительные территории незаросших мелководий, а урез воды на 20-50 м смещался в сторону транзитного потока. За все время существования водохранилища менее всего зарастали прибрежные песчаные отмели, подверженные интенсивному ветроволновому воздействию. Именно эти отмели стали очагами зарастания в засушливые годы. Этому способствовали: во-первых, смещение уреза воды в сторону русловой ложбины, где на прирусловых валах грунты более плодородны; во-вторых, у уреза воды скапливались фрагменты растений, имеющих органы вегетативного размножения; в-третьих, продолжительный период низкого уровня воды был достаточным для прорастания семян и укоренения растений.

Характерной особенностью зарастания Ивановского водохранилища в последнее десятилетие является интенсивное распространение пояса зарослей *Phragmites communis* Trin. На ранее не заросших песчаных мелководьях (рис. 3). Этот вид имеет жесткую структуру стебля, мощные, толстые, длинные (до 3,5 м)

и очень ветвистые корневища, надежно закрепляющие растения в грунте. Корневище, перемещенное с куском грунта из естественного биотопа на слабо увлажненную территорию, остается живым более года. Растения способны выдерживать значительные перепады уровней воды, гид-

родинамические и механические нагрузки, произрастать при периодическом повышении глубин воды до 2,5 м. Длинные (до 10 м) ползучие побеги обеспечивают быстрое распространение зарослей даже при неблагоприятных внешних условиях.



а)



б)

Рис. 3. Современные тенденции зарастания прибрежной полосы Иваньковского водохранилища: а) 2015 г.; б) 2022 г. (фото автора).

Fig. 3. Current trends in overgrowing of the coastal strip of the Ivankovskoye Reservoir: а) 2015; б) 2022 (photo by the author).

На начальной стадии зарастания возникают цепочки очагов укоренившихся растений *Phragmites communis* вдоль уреза воды при низком уровне. Затем происходит постепенное смыкание отдельных участков и образование полосы зарослей, расширяющейся со средней скоростью 2-3 м/год до ширины 5-18 м. *Phragmites communis* выступает в качестве вида-эдификатора, под прикрытием пионерных зарослей которого создается благоприятная среда, защищенная от ветровых и судовых волн, где накапливаются плодородные органические илы и где укореняются и развиваются небольшие (диаметром 1-10 м) очаги *Glyceria maxima*, *Typha angustifolia*, *Scirpus lacustris* L., *Potamogeton natans* L. Расширение флористического состава фитоценозов пионерных зарослей происходит уже на следующий год после формирования пояса *Phragmites communis*, что наблюдалось в 2015-16 гг. в районе пляжных отмелей у г. Конаково.

Еще один аспект изменения климата - более значительное потепление в отдельных регионах как вариация глобального потепления. Это приводит к расширению ареала возможного произрастания южных теплолюбивых видов. К 2020 г. на побережье волжских водохранилищ среднегодовая температура воздуха увеличилась на 1,3–1,8°C (Поддубный и др., 2023), т.е. этот регион по гидрометеорологическому режиму выходит за пределы самого мягкого сценария

потепления климата. Температура водных масс имеет аналогичную динамику. Кроме того, в современный период в водохранилищах Верхней Волги наблюдается наибольшее увеличение теплосодержания водной массы – в среднем на 24%. В весенние месяцы такое увеличение может достигать 150–190%. На основе численной модели глобального климата, разработанной в Годдардовском институте космических исследований (The Goddard Institute for Space Studies (GISS)) было спрогнозировано, что, при различных модельных сценариях изменения климата, наиболее значительное зарастание некоторых водных объектов будет происходить именно при умеренном потеплении (+2°C) (Poiani, Johnson, 1993).

Произошедшие в последние десятилетия изменения климата, по-видимому, являются основной причиной скачкообразного распространения *Trapa natans* L. Этот вид упоминается в списках флоры водохранилища, приведенных в работах (Экзерцев, 1978; Иваньковское, 2000), как адвентивный вид, связанный со сбросом в Мошковицкий залив подогретых вод из Конаковской ГРЭС. В списке флоры Тверской области вид не значится. Проведенное нами в 2008 г. обследование зарастания Мошковицкого залива выявило только отдельные, слабо развитые растения *Trapa natans*, с диаметром розетки в пределах 12-24 см, тогда как, по наблюдениям автора, на Нижней Волге обычный диаметр розетки

у растений этого вида составляет около 45 см. Однако уже в 2018 г. это растение сплошным ковром покрывало почти все непроточные и слабопроточные заливы в Иваньковском плесе водохранилища (рис. 4), который расположен ниже по течению от Мошковичевского залива. Это особенно проявлялось для правого берега

водоема, где и расположен этот залив и вдоль которого распространяются сбрасываемые подогретые воды. При этом значительно (почти в 2 раза) возросла биомасса самих растений. Отдельные очаги зарастания *Trapa natans* встречаются и в вышележащем Волжском плесе, например, в затопленной части устья р. Донховки.



Рис. 4. Зарастание заливов Иваньковского водохранилища *Trapa natans* L. (фото автора, 2018 г.)

Fig. 4. Overgrowing of the bays of the Ivankovskoye Reservoir with *Trapa natans* L. (photo by the author, 2018).

Нельзя однозначно ответить на вопрос, является ли *Trapa natans* адвентивным видом, т.е. чужеродным, завезенным человеком в новый для него регион. Архивные источники свидетельствуют (например, Энциклопедический словарь Брокгауза и Эфрона) о том, что этот вид – аборигенный, достаточно давно обитающий в водоемах Тверской и Московской областей, но в силу каких-то причин исчезнувший с данной территории. Его исчезновение в регионе началось примерно в 1870-х и закончилось в 1930-х годах. Можно предположить, что основной причиной исчезновения *Trapa natans* в этих областях был рост населения и использование съедобных плодов в качестве продуктов питания, коммерческая торговля которыми привела к чрезмерной эксплуатации популяции растений и их исчезновению. Именно этот исторический период совпадает со сложными социальными процессами, наиболее ярко выраженными в центральном регионе России, включая отмену крепостного права, развитие промышленности, быстрый рост населения городов, гражданскую войну, коллективизацию сельского хозяйства, индустриализацию, голод 1932-33 гг. В пользу того, что *Trapa*

natans для данного региона – нативный восстанавливающийся вид, говорят факты его современного обнаружения в ряде озер Тверской и Московской областей (Дементьева, Петушкова, 2010; Пушай и др., 2021).

Макрофиты как экосистемные «инженеры»

Появление в какой-либо части водоема высшей водной растительности прямо и опосредованно влияет на все внутриводоемные процессы. Она играет существенную средообразующую роль, создает особую гетерогенную среду или выступает «экосистемным инженером», если использовать терминологию концепции экосистемного инжиниринга. Растительность выполняет разносторонние и разнонаправленные экосистемные, водоохранные и эстетические функции: препятствует развитию гидродинамических процессов, способствует их затуханию и осажению взвешенных в воде веществ, сорбирует взвешенные частицы на листьях и стеблях, перехватывает микропластик, препятствует размытию донных отложений, влияет на ледовые явления, накапливает и удерживает значительное количество биогенных и других химических элементов,

насыщает воду кислородом, выступает грунто-образующим материалом, убежищем и источником питания для животных (Казмирук, 2021; Thomaz, 2023). Направленность процессов в зарастающих зонах зависит от гидродинамических условий, густоты и вида растительности, ее морфологических особенностей, места произрастания и сезона года. Однако в некоторых случаях густые заросли макрофитов могут ухудшать экологическое состояние зарастающей части водоема: происходит накопление растительного опада и его деструкция в пределах зарастающей зоны, накапливаются загрязняющие вещества, концентрации которых со временем могут достигать опасных значений, снижается интенсивности фотосинтеза, наблюдается низкий уровень насыщения воды кислородом и низкая скорость минерализации органического вещества, создаются благоприятные гидродинамические условия для развития сине-зеленых водорослей, возникают заморные явления, происходит раннее угнетение и разложение макрофитов, появляются неприятные запахи, мелководья теряют рыбохозяйственную и рекреационную функции, происходит заиливание и заболачивание прибрежной полосы. Изученность этих гидроэкологических процессов сильно различается. К примеру, накоплено достаточно научных знаний о гидравлических сопротивлениях макрофитов движению воды (Казмирук, 1990) и поглощению ими различных химических элементов и веществ, хотя внутренние механизмы этого поглощения не вполне ясны (Бреховских и др., 2008). Вместе с тем, практически отсутствуют знания о средообразующей роли макрофитов различных видов в формировании донных отложений, их роли как физических объектов в формировании среды для развития фитопланктона, влиянии макрофитов на ледовые явления.

Влияние на формирование донных отложений

В условиях Иваньковского водохранилища большинство видов макрофитов достигают максимальной биомассы и подходят к пику своего сезонного развития в июле – первой половине августа. Время начала вегетации, а также скорость достижения максимума биомассы зависят от вида растений, а также условий произрастания, в том числе, климатических и погодных. Например, аномально теплая зима и весна 2020 г. стали причиной того, что развитие *Phragmites communis* на Иваньковском водохранилище началось примерно на 10 дней раньше, чем в предыдущие годы. В начальный период вегетации (вторая половина мая – первая половина июня) интенсивность роста *Phragmites communis* составляет 2,8-4,0 см/сут. Нижний предел приве-

денного диапазона, как правило, соответствует условиям, когда в этот период сохраняется прошлогодний сухостой или происходит затенение макрофитов прибрежной древесной растительностью. Обычно максимум биомассы сохраняется до середины сентября, после чего происходит постепенная деградация растительного покрова.

Существует ряд особенностей деструкции различных видов макрофитов. К примеру, при незначительном затоплении зарослей сухостой *Phragmites communis* и новая поросль в течение нескольких месяцев существуют параллельно, а некоторые экземпляры сухостоя (до 10%) могут находиться в вертикальном положении круглый год. Этому способствуют новые растения, образующие густые заросли и препятствующие наклону и ломке растений под действием ветра. Заросли *Phragmites communis*, находящиеся в ложбине и защищенные от ветрового воздействия, более длительное время не погружаются в воду и не подвержены интенсивной деструкции. Также не подвержены интенсивной деструкции те части и фрагменты растений, которые вмерзли в лед.

В результате того, что в начале вегетационного периода до 95% прошлогоднего *Phragmites communis* находится в виде сухостоя, молодая поросль быстрее прорастает на периферии растительной ассоциации, где более благоприятные условия по освещенности и питанию, а также не сказывается угнетающее влияние накопления продуктов метаболизма, что имеет место в центре ассоциации. При прочих равных условиях, когда растительная ассоциация не ограничена естественными (глубина воды, берег) или искусственными границами (например, береговые сооружения), она приобретает характерную кольцеобразную форму. Внутри кольца происходит накопление растительного опада, во-первых, по причине слабого водообмена и невозможности выноса фрагментов растений за пределы мест произрастания, во-вторых, ввиду большой фитомассы и замедления процессов ее деструкции. Содержание растворенного в воде кислорода на таких участках может падать до нуля.

Погружение в воду растительного опада *Typha angustifolia* и *Glyceria maxima* происходит в конце ноября – начале декабря и в значительной степени зависит от условий установления снежного покрова. Потерявшие гибкость, отмершие листья этих растений, под воздействием ветра перегибаются на высоте 25-35 см от уровня воды для *Typha angustifolia* и на высоте 5-10 см – для *Glyceria maxima*. Верхушки листьев погружаются в воду, что ускоряет процесс фрагментации и выщелачивания в этих частях растений. Разница в высоте перегиба для этих видов объ-

ясняется толщиной растений и различиями в их жесткости. При выпадении снега до установления ледостава листья рогоза и манника почти полностью погружаются в воду, придавленные снегом. Над поверхностью воды остается только прикорневая часть растений. После погружения растений в воду начинается их интенсивная фрагментация и дальнейшая деструкция. В случае выпадении снега после установления ледостава листья рогоза под тяжестью снега ложатся на лед и сохраняются в таком состоянии до вскрытия водоема.

Благодаря наличию пор в своем строении, плотность тканей воздушно-водной растительности в 2-3 раза меньше, чем у погруженных видов, из чего следует, что их фрагменты могут плавать на поверхности воды и переноситься течениями и ветром на значительные расстояния от мест произрастания. Кроме того, под воздействием ветра фрагменты растений могут скапливаться, формируя на поверхности воды мусорные поля и сплавины, а под воздействием ветровых волн – выбрасываться и скапливаться в прибрежной полосе суши.

Совсем иная картина наблюдается при разложении погруженной растительности. Во-первых, стебли и листья погруженных растений являются более мягкими, количество клетчатки в структуре этих растений в 1,5-2 раза меньше, чем у *Phragmites communis* и *Typha angustifolia*. Во-вторых, растения этой группы имеют более короткий период вегетации, и разложение растительного опада начинается сразу же после ее окончания, когда определенный период температура воды сохраняется достаточно высокой для активного протекания биогеохимических процессов. В-третьих, погруженные растения подвержены значительному воздействию гидродинамических процессов в водном объекте, у этих растений быстрее происходит процесс фрагментации, переноса и рассредоточения по акватории водоема и площади дна. В застойных зарастающих зонах накапливаются огромные массы органического вещества, находящегося во взвешенном состоянии, концентрация которого может достигать до 480 мг/л. Наконец, в-четвертых, биомасса погруженных растений ниже, чем воздушно-водных, и для их разложения требуется меньшее количество кислорода; в результате деструкция опада погруженных растений, как правило, происходит в аэробных условиях.

Изменение климатических условий, экстремальные погодные явления, а также искусственное регулирование гидрологического режима могут существенно повлиять на скорость и место деградации растительного опада. Так, в резуль-

тате аномально теплой зимы 2019-20 гг. ледовый и снежный покров на Иваньковском водохранилище практически не сформировался, в результате чего сухостой прибрежных зарослей *Phragmites communis*, который к тому времени уже стал хрупким, большую часть зимнего периода подвергался интенсивному механическому ветро-волновому воздействию. К марту месяцу более 70% стеблей сухостоя *Phragmites communis*, а также практически все листья и соцветия растений были фрагментированы и вынесены из мест произрастания волнами и течениями. Этот процесс еще больше усилился в результате весеннего наполнения водохранилища, что привело к затоплению зарастающих мелководий, усилению ветро-волновых явлений в прибрежной полосе, к чему еще и добавилось воздействие от судовых волн. Ветровыми и судовыми волнами часть фрагментов *Phragmites communis* была выброшена на берег, сформировав маты толщиной до 15 см и шириной до 1,5 м. Такие маты из фрагментов *Phragmites communis* и, частично, *Typha angustifolia* и *Glyceria maxima* начинают интенсивно формироваться в конце ноября - начале декабря. Деградация этой части опада *Phragmites communis* уже будет происходить в воздушной среде, скорость деградации в которой, в значительной степени, будет определяться погодными условиями и интенсивностью антропогенного воздействия на прибрежную полосу. В первой половине июня основная масса фрагментов *Phragmites communis* (более 60%), находящихся на берегу у уреза воды, продолжает сохранять структурную целостность, хотя примерно третья часть крупных фрагментов подвержена дальнейшей фрагментации, частично уносится в водоем или засыпается наносами при штормовых ветро-волновых явлениях (рис. 5). Часть мелких фрагментов смывается в водоем во время ливней. Аналогичные процессы наблюдались с отмершей надземной частью *Scirpus lacustris*. Только к концу сентября прибрежная полоса очищается от фрагментов прошлогодней растительности.

Сравнение содержания химических элементов в однотипных грунтах на заросших участках и на чистоводе показывает, что заросли макрофитов существенно обогащают донные отложения, как в целом органическим веществом, так и биогенными элементами. На заросших участках наблюдается 1,1-3,0-кратное превышение органического вещества и продуктов его разложения, чем на незаросших открытых участках. Более 40% массы опада остаются в донных отложениях литорали после 2 лет деструкции, которая идет медленно и приводит к образованию богатых органикой отложений.



Рис. 5. Накопление растительного опада в прибрежной полосе водохранилища (фото автора, 2022 г.)

Fig. 5. Accumulation of plant litter in the coastal strip of the reservoir (photo by the author, 2022).

Особый интерес представляют грунты на основе растительного опада и, прежде всего, на основе опада макрофитов-гиперконцентраторов тяжелых металлов. На Ивановском водохранилище широко распространены два вида гиперконцентраторов: *Ceratophyllum demersum* L. и *Lemna minor* L.. Оба вида предпочитают застойные зоны, где складываются благоприятные гидродинамические условия для накопления мелкодисперсных частиц и органических илов. Присутствие этих видов, с одной стороны, является источником естественного концентрирования тяжелых металлов в донных отложениях, создавая локальные геохимические аномалии, а, с другой стороны, эти растения могут выступать основой фиторемедиации загрязненных тяжелыми металлами участков водоема и депонирования этих загрязнителей в донных отложениях. Большими массивами с повышенным содержанием тяжелых металлов в донных отложениях являются левобережные отмели в районе д. Выдогощи (зона выклинивания подпора), массив в районе Коренских островов и о. Низовка, за-

островное пространство за островами Клиницы, Омутня, Шевница, особенно Перетрусовский и 1-й Бревновский заливы.

Густая воздушно-водная растительность способствует образованию обособленных экологических ниш, своеобразных застойных зон, где могут возникать условия для «цветения» воды, вызванные влиянием не только конкурентных отношений между макрофитами и фитопланктоном за пищевые ресурсы, но и созданием благоприятных гидродинамических условий для их развития, в том числе, для распределения покоящихся стадий сине-зеленых водорослей (акинет) в донных отложениях. Плотные пленки фитопланктона у зарослей макрофитов нами регулярно наблюдались на Ивановском водохранилище (рис. 6). При массовом отмирании сине-зеленых происходит быстрый распад и лизис колоний, с последующим пополнением донных отложений органическим веществом. Аналогичная ситуация наблюдается на небольшом водохранилище Бугач, расположенном на окраине г. Красноярска (Кравчук, Анисимова, 2012).



**Рис.6. Развитие фитопланктона в застойной зоне Иваньковского водохранилища
(фото автора, 2018 г.)**

**Fig. 6. Development of phytoplankton in the stagnant zone of the Ivankovskoye Reservoir
(photo by the author, 2018).**

Влияние на ледовые явления

Многолетние наблюдения автора за процессами образования и таяния льда в зарастающих зонах Иваньковского водохранилища свидетельствуют о том, что высшая водная растительность оказывает существенное прямое и опосредованное влияние на эти процессы. Особенно отчетливо это проявляется при наличии зарослей *Phragmites communis*. В результате более быстрого выхолаживания воды на мелководьях и гашения ветровых волн зарослями *Phragmites communis*, а также в результате задержания растительностью снега, первичные забереги на зарастающих мелководьях образуются ранее, чем на мелководьях без растительности. При наличии свободного пространства между полосой *Phragmites communis* и берегом или разрывов в полосе *Phragmites communis*, в начальный период образования ледового покрова они заполняются шугой из мелкобитого льда, перемещению и выносу которого ветровыми волнами препятствует растительность. При стабильных отрицательных температурах масса шуги промерзает, образуя шуговой лед.

В случае значительного ветрового воздействия, особенно на внешнем крае зарослей *Phragmites communis*, ледовый покров формиру-

ется позже, чем в тыльной их части у берегов. Кроме общеизвестных причин этого явления (более медленное охлаждение водных масс и развитие ветрового волнения), следует отметить дополнительное перемешивание воды, вызванное интенсивным колебанием стеблей *Phragmites communis* под воздействием ветра. Если температура воздуха отрицательная, верхняя часть стеблей *Phragmites communis*, находящаяся над водой, охлаждается сильнее, чем та, что находится под водой. В результате этого, на границе между поверхностью воды и воздухом, на стеблях *Phragmites communis* формируются конические наледи, высота которых зависит от амплитуды колебания волн на данном участке: то есть, до какой высоты происходит периодическое погружение растений в воду (рис. 7). Эти наледи, расширяясь и сходясь, являются первичным звеном формирования ледового покрова на внешнем крае зарослей *Phragmites communis*. Изменение климата, его потепление и усиление ветро-волновой активности позволяют предположить, что такая стадия формирования ледового покрова будет встречаться чаще и период ее существования будет более длинным.



Рис.7. Конические наледы на *Phragmites communis* Trin. на ранней стадии формирования ледового покрова (фото автора, 2020 г.)

Fig. 7. Conical ice deposits on *Phragmites communis* Trin. at an early stage of ice cover formation (photo by the author, 2020).

Весной наличие опада макрофитов в виде перезимовавшего сухостоя, матов или рассредоточенных по льду отмерших надземных частей растений оказывает разнонаправленное влияние на процессы таяния льда и снега. Сухостой *Phragmites communis* и лежащий на льду рассредоточенный растительный опад имеют альбедо в 2-3 раза ниже, чем поверхность льда и покрывающего его снега. В результате этого, под воздействием солнечной радиации, растительный опад нагревается больше, что способствует более быстрому таянию снега и льда, а также их разрушению в местах соприкосновения с фрагментами растений и стоячими стеблями. Кроме того, ветровое воздействие на незакрепленные (не вмёрзшие в лед) части стеблей и листьев приводит к их колебанию, что также ведет к истиранию поверхности льда, уменьшению его плотности и изменению микрорельефа. Со всем другие явления наблюдаются, если участки льда со всех сторон покрываются плотным ковром растительного опада толщиной более 3 см, например, из опада *Glyceria maxima*, *Typha angustifolia* или *Acorus calamus* L.. В этом случае

таяние льда под ковром из растительного опада может запоздать на несколько недель по сравнению с открытыми участками. Объясняется это низкой теплопроводностью ковра из пористых стеблей и листьев, который предохраняет лед от нагревания и таяния.

Заключение

Вопреки предположениям о том, что зарастание Иваньковского водохранилища стабилизировалось в конце прошлого века, оно продолжает прогрессировать. Одной из причин захвата макрофитами новых участков акватории водоема является изменение климата, его потепление и увеличение количества и продолжительности засушливых периодов, создающих благоприятные условия для определенных видов. Так, серия засушливых лет в 2010-е годы создала условия для распространения *Phragmites communis* Trin. на ранее не зарастающих прибрежных песчаных отмелях. Под прикрытием зарослей этого вида начали развиваться другие, более слабые фитоценозы. Другим ярким проявлением зарастания водоема новым для него видом является массо-

вое распространение в последнее десятилетие теплолюбивого *Trapa natans* L.

Разные стадии зарастания, различия в гидродинамической активности водных масс и видовом составе высшей водной растительности могут вызывать диаметрально противоположные отклики в разных частях экосистемы водоема – от улучшения экологического состояния и качества воды до полной потери рыбопродуктивности и изменения самой экосистемы. Макрофиты создают обособленную гетерогенную среду с большим количеством условий проявления гидроэкологических процессов. Ключевую роль в анализе экологического благополучия водоема играют донные отложения, состав, состояние и свойства которых в интегральном виде отражают долгопериодные изменения в гидрологическом режиме и тенденциях зарастания, поскольку макрофиты не только формируют среду, но и являются грунтообразующим материалом. Бытующее мнение о том, что макрофиты подавляют развитие фитопланктона ввиду конкуренции в борьбе за ресурсы, не подтверждается натурными данными на водохранилищах. Наобо-

рот, жесткая воздушно-водная растительность создает благоприятные гидродинамические условия для его развития.

Отсутствие или скудость знаний о гидроэкологических процессах в зарастающих водных объектах, с одной стороны, и востребованность этих знаний, с другой, позволяют сформулировать приоритетные направления дальнейших исследований. Несмотря на очевидную важность скорости движения воды в определении статуса сообществ макрофитов, относительно мало что известно о природе процессов, контролирующей эту взаимосвязь. Особенно не хватает количественных знаний об обратной связи между ростом макрофитов и скоростью движения воды. Имеются лишь единичные сведения о взаимоотношениях между макрофитами и фитопланктоном. Не вполне ясны условия и механизмы влияния макрофитов-концентраторов и гиперконцентраторов тяжелых металлов на их накопление в донных отложениях. Только начаты исследования влияния макрофитов на температурный режим и ледовые явления на зарастающих мелководьях.

Автор заявляет об отсутствии конфликтов интересов.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2025-0002 Государственного задания ИВП РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Список русскоязычной литературы

Бреховских В.Ф., Казмирук В.Д., Вишневская Г.Н. Биота в процессах массопереноса в водных объектах. М.: Наука, 2008. 316 с.

Гавеман А.В. Московское море. Калинин: Обл. кн. изд-во, 1952. 60 с.

Горянинская Л.К. Дикий рис на Ивановском водохранилище // Проблемы биогеографии. Калинин: гос. ун-т, 1975а. С. 56–62.

Горянинская Л.К. Распределение высшей водной растительности Омутнинского залива Ивановского водохранилища в связи с физико-географическими условиями // Проблемы биогеографии. Калинин: гос. ун-т, 1975б. С. 49–55.

Дементьева С.М., Петушкова Т.П. К экологии и распространению *Trapa natans* L. в озерах Тверской области // Экология. 2010. Т. 41, № 5. С. 393–396.

Ивановское водохранилище: Современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 2000. 344 с.

Казмирук В.Д. Барьерная роль макрофитов при загрязнении водных объектов микропластиком // Наука. Инновации. Технологии. 2021, № 3. С. 133–149.

Казмирук В.Д. Гидравлические сопротивления высшей водной растительности // Водные ресурсы. 1990. Т. 17, № 1. С. 147–154.

Казмирук В.Д. Гидроэкологические процессы и реконструкция зарастающих водных объектов: Дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2024. 442 с.

Казмирук В.Д. Фитоиндикация состояния водных масс и донных отложений при дистанционном мониторинге водных объектов // Гидробиотаника-2000.

Мат-лы V Всерос. конф. по водным растениям. Ярославль: Изд-во гос. технич. ун-та, 2000. С. 150–151.

Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н., Бреховских В.Ф. Зарастающие водотоки и водоемы: динамические процессы формирования донных отложений. М.: Наука, 2004. 310 с.

Калинина А.В. Первые стадии зарастания мелководий Московского моря // Сов. ботан. 1945. Т. 13, № 4. С. 24–38.

Карта Корчевского уезда Тверской губернии / изд. Тверского. губ. земства. СПб.: Картогр. зав. А. Ильина, 1892.

Кравчук Е.С., Анисимова Т.В. Потенциальное влияние зарослей макрофитов на численность акинет синезеленых водорослей в литорали водоема // Сибир. экол. журн. 2012. Т. 19, № 4. С. 579–583.

Папченков В.Г. Закономерности зарастания водотоков и водоемов Среднего Поволжья: Дис. ... д-ра биол. наук. Борок, 1999. 578 с.

Поддубный С.А., Законнова А.В., Цветков А.И., Трофименко Л.Т., Швець Н.В. Современный гидрологический режим волжских водохранилищ // Водные ресурсы. 2023. Т. 50, № 3. С. 249–262.

Потапов А.А. Распределение водных растений в заливах Ивановского и Истринского водохранилищ в зависимости от состава воды и характера дон-

ных отложений // Строительство водохранилищ и проблема малярии. М.: Медгиз, 1954. С. 40–64.

Пушай Е.С., Тусов А.В., Сорокин А.С., Кириллова Т.М., Кошелев Д.В. Новые и подтвержденные находки местообитаний редких видов Тверской области // Вестн. ТвГУ. Сер. Биол. и экол. 2021. Т. 61, № 1. С. 175–185.

Тихомиров О.А. Формирование, динамика и экологическое состояние аквальных комплексов равнинных водохранилищ: Дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2011. 340 с.

Тихомирова Л.К. Роль макрофитной растительности в формировании аквальных комплексов мелководий Ивановского водохранилища: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Пермь, 1985. 16 с.

Тищенко В.А., Козельцева В.Ф., Кузнецова Н.Н. Повторяемость засушливых периодов в Москве в теплое полугодие // Тр. ГМЦ РФ. 2016. Вып. 359. С. 161–177.

Федорова Л.П., Григорьева И.Л. Современное состояние высшей водной растительности мелководных зон Ивановского водохранилища // Гидробиотика-2010. Мат-лы I (VII) Междунар. конф. по водным макрофитам. Ярославль: Принт Хаус, 2010. С. 303–305.

Шмелева Ю.Д. Заращение и анофелогенность Ивановского водохранилища // Строительство водохранилищ и проблема малярии. М.: Медгиз, 1954. С. 65–120.

Экзерцев В.А. Высшая водная растительность // Ивановское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1978. С. 125–157.

Экзерцев В.А. Первые стадии зарастания мелководий волжских водохранилищ // Бюл. Ин-та биологии водохранилищ АН СССР. 1961, № 10. С. 11–13.

Экзерцев В.А. Растительность Ивановского водохранилища // Биология и продуктивность пресноводных организмов. Л.: Наука, 1971. С. 75–95.

Экзерцев В.А. Флора Ивановского водохранилища // Растительность волжских водохранилищ. М.-Л.: Наука, 1966. С. 104–142.

Экзерцев В.А., Лисицина Л.И. Изучение растительных ресурсов водохранилищ волжского каскада // Биологические ресурсы водохранилищ. М.: Наука, 1984. С. 89–99.

Экзерцев В.А., Мишулина Г.С. О заболачивании мелководий Ивановского водохранилища // Информ. бюл. ИБВВ АН СССР. 1976. № 32. С. 21–25.

Экзерцев В.А., Трифонова Н.А. О связи некоторых растительных группировок Ивановского водохранилища с элементами окружающей среды // Бюл. Ин-та биологии водохранилищ АН СССР. 1959. № 4. С. 17–20.

Экзерцев В.А., Экзерцева В.В. Продукция макрофитов в заливах Ивановского водохранилища // Бюл. Ин-та биологии водохранилищ АН СССР. 1962. № 12. С. 11–15.

Общий список литературы / Reference List

Brekhovskikh V.F., Kazmiruk V.D., Vishnevskaya G.N. Biota in mass transfer processes in water bodies. Moscow: Nauka, 2008. 316 p. (In Russ.).

Gaveman A.V. The Moscow Sea. Kalinin: reg. P.H., 1952. 60 p. (In Russ.).

Goryaninskaya L.K. Wild rice on the Ivankovskoye Reservoir // Problems of biogeography. Kalinin: SU, 1975a. P. 56–62. (In Russ.).

Goryaninskaya L.K. Distribution of higher aquatic vegetation in Omutninsky Bay of Ivankovskoye Reservoir in relation to physiographic conditions // Problems of biogeography. Kalinin: SU, 1975b. P. 56–62. (In Russ.).

Dementieva S.M., Petushkova T.P. On the ecology and distribution of *Trapa natans* L. in lakes of the Tver Region // Ecology. 2010. Vol. 41, No. 5. P. 393–396. (In Russ.).

Ivankovskoye Reservoir: Current state and problems of protection. Moscow: Nauka. 2000. 344 p. (In Russ.).

Kazmiruk V.D. The barrier role of macrophytes in pollution of water bodies with micriplastics // Sci. Innovations. Technologies. 2021, No. 3. P. 133–149. (In Russ.).

Kazmiruk V.D. Hydraulic resistances of higher aquatic vegetation. Water Resour. 1990. Vol. 17, No. 1. P. 101–108. (In Russ.).

Kazmiruk V.D. Hydro-ecological processes and reconstruction of overgrown water bodies: Doct. geogr. sci. diss. Moscow, 2024. 442 p. (In Russ.).

Kazmiruk V.D. Phytoindication of the state of water masses and bottom sediments in remote monitoring of water bodies // Proc. 5th All-Rus. conf. on aquatic plants. Yaroslavl: P.H. State Tech. Univ., 2000. P. 150–151. (In Russ.).

Kazmiruk V.D., Kazmiruk T.N., Brekhovskikh V.F. Overgrowing watercourses and reservoirs: dynamic processes of bottom sediment formation. Moscow: Nauka, 2004. 310 p. (In Russ.).

Kalinina A.V. First stages of overgrowth of shallow waters of the Moscow Sea // Sov. botan. 1945. Vol. 13, No. 4. P. 24–38. (In Russ.).

Map of Korchevsky uезд of Tver province / ed. of Tver prov. zemstvo. St. Petersburg: Cartographic facility by A. Ilyin. (In Russ.).

Kravchuk E.S., Anisimova T.V. Potential effects of macrophyte beds on the number of the blue-green algae akinetes in the littoral of water body // Siberian J. Ecol. 2012. Vol. 19, No. 4. P. 579–583. (In Russ.).

Papchenkov V.G. Overgrowth patterns in watercourses and reservoirs of the Middle Volga region: Doct. biol. sci. diss. Borok, 1999. 578 p. (In Russ.).

Poddubnyi S.A., Zakonnova A.V., Tsvetkov A.I., Trofinnenko L.T., Shvets N.V. 2023. Current hydrological regime of the Volga Reservoirs // Water Resour. Vol. 50, No. 3. P. 345–357. (In Russ.).

Potapov A.A. Distribution of aquatic plants in the bays of Ivankovskoye and Istra reservoirs depending on water composition and character of bottom sediments // Construction of reservoirs and the problem of malaria. Moscow: Medgiz, 1954. P. 40–64. (In Russ.).

Pushay E.S., Tyusov A.V., Sorokin A.S., Kirillova T.M., Koshelev D.V. New and confirmed finds of habitats of rare species in the Tver Region // Bull. Tver SU. Ser. Biol., Ekol. Vol. 61, No. 1. P. 175–185. (In Russ.).

- Tihomirov O.A.** Formation, dynamics and ecological state of aquatic complexes of plain reservoirs: Doct. geogr. sci. diss. Moscow, 2011. 340 p. (In Russ.).
- Tihomirova L.K.** The role of macrophytic vegetation in the formation of aquatic complexes of shallow waters of the Ivankovskoye Reservoir: Cand. geogr. sci. thesis. Perm, 1985. 16 p. (In Russ.).
- Tishchenko V.A., Kozeltseva V.F., Kuznetsova N.N.** Repeatability of dry periods in Moscow in the warm half of the year // Proc. HydroMetCenter RF. 2016. Iss. 359. P. 161–177. (In Russ.).
- Fedorova L.P., Grigorieva I.L.** Current state of higher aquatic vegetation of shallow water zones of Ivankovskoye Reservoir // Hydrobotany-2010. Matls of the I (VII) Internat. conf. on aquatic macrophytes. Yaroslavl: Print House, 2010. P. 303–305. (In Russ.).
- Shmeleva Yu.D.** Overgrowing and anophelogenicity of the Ivankovskoye Reservoir // Construction of reservoirs and the problem of malaria. Moscow: Medgiz, 1954. P. 65–120. (In Russ.).
- Ekzertsev V.A.** Higher aquatic vegetation // Ivankovskoye Reservoir and its life. Leningrad: Nauka, 1978. P. 125–157. (In Russ.).
- Ekzertsev V.A.** First stages of overgrowth of shallow waters of Volga reservoirs // Bull. Inst. of Reservoir Biol., AS USSR. 1961, No. 10. P. 11–13. (In Russ.).
- Ekzertsev V.A.** Vegetation of the Ivankovskoye Reservoir // Biology and productivity of freshwater organisms. Leningrad: Nauka, 1971. P. 75–95. (In Russ.).
- Ekzertsev V.A.** Flora of the Ivankovskoye Reservoir // Vegetation of the Volga Reservoirs. Moscow–Leningrad: Nauka, 1966. P. 104–142. (In Russ.).
- Ekzertsev V.A., Lisitsina L.I.** Study of plant resources of the Volga cascade reservoirs // Biological resources of reservoirs. Moscow: Nauka, 1984. P. 89–99. (In Russ.).
- Ekzertsev V.A., Mishulina G.S.** On waterlogging of shallow waters of the Ivankovskoye Reservoir // Inf. bull. IBIW AS USSR. 1976. No. 32. P. 21–25. (In Russ.).
- Ekzertsev V.A., Trifonova N.A.** On the relationship between some plant groupings of the Ivankovskoye Reservoir and environmental elements // Bull. Inst. of Reservoir Biol. AS USSR. 1959. No. 4. P. 17–20. (In Russ.).
- Ekzertsev V.A., Ekzertseva V.V.** Macrophyte production in the bays of Ivankovskoye Reservoir // Bull. Inst. of Reservoir Biol. AS USSR. 1962. No. 12. P. 11–15. (In Russ.).
- Bornette G., Puijalon S.** Response of aquatic plants to abiotic factors: a review // Aquat. Sci. 2011. Vol. 73, No. 1. P. 1–14. URL: [dx.doi.org/10.1007/s00027-010-0162-7](https://doi.org/10.1007/s00027-010-0162-7) (accessed: 20.03.2025).
- Poiani K.A., Johnson W.S.** Potential effects of climate change on a semi-permanent prairie wetland // Clim. Change. 1993. Vol. 24, No. 3. P. 213–232. URL: doi.org/10.1007/BF01091830 (accessed: 20.03.2025).
- Thomaz S.M.** Ecosystem services provided by freshwater macrophytes // Hydrobiologia. 2023. Vol. 850. P. 2757–2777. URL: doi.org/10.1007/s10750-021-04739-y (accessed: 20.03.2025).

OVERGROWING OF THE IVANKOVSKOYE RESERVOIR AND ITS INFLUENCE ON HYDRO-ECOLOGICAL PROCESSES IN THE RESERVOIR

© 2025 V.D. Kazmiruk

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow (Russia)

Abstract. The Ivankovskoye Reservoir is the oldest and shallowest of the reservoirs of the Volga-Kama Cascade. Over the almost 90 years of the reservoir's existence, its water area has become significantly overgrown with higher aquatic vegetation, which occupies about 26% of the reservoir area and more than 55% of the shallow water area. The objectives of the research included a comprehensive long-term study of the dynamics of overgrowing of the Ivankovskoye Reservoir, its current trends and an analysis of the environment-forming role of macrophytes as a factor in hydroecological processes in the reservoir. Archival materials, aerial video and aerial photography were used for the research, and since 1990, annual field work has been carried out. It has been established that in recent decades the low water level in the reservoir, as a result of climate change, contributed to the creation of favorable conditions for the rooting of *Phragmites communis* Trin. and the spasmodic overgrowing of coastal shoals. A further rise in the water level did not lead to degradation of the thickets. An even more pronounced change in the structure of the vegetation cover of the Ivankovskoye Reservoir is the existence of individual plants in the reservoir until 2008, and then the mass spread of the species *Trapa natans* L. This species was not previously found in the reservoir, and currently occupies almost the entire water area of the stagnant bays of the right-bank part of the Ivankovskoye Reach of the reservoir with a continuous carpet. Macrophytes directly and indirectly affect all processes within the reservoir. They significantly slow down the speed of water movement and water exchange, affect the chemical composition of water, are soil-forming material and affect the composition, condition and properties of bottom sediments, as well as ice phenomena. Macrophytes create isolated ecological niches, which contribute to the development of blue-green algae.

Key words: Ivankovskoye Reservoir, overgrowing of reservoirs, climate change, macrophytes, hydroecological processes, modern trends