

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАТЫРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО И СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

А. А. Валяльщикова, К. Ю. Силкин

Воронежский государственный университет

В. В. Кульнев

ООО НПО «Альгобиотехнология» (г. Воронеж)

Поступила в редакцию 28 января 2014 г.

Аннотация: проведен комплексный анализ экологического состояния Матырского водохранилища, при котором использовались данные многолетнего эколого-гидрохимического мониторинга и многозонального спутникового зондирования. Выполнена оценка экологического благополучия водоема. Сделаны выводы относительно причин возникновения и особенностей изменения его экологического статуса. Осуществлен учет влияния антропогенного вмешательства в экосистему водоема с помощью интродуцирования в него автотрофных организмов.

Ключевые слова: эколого-гидрохимический мониторинг, многозональное спутниковое зондирование, Матырское водохранилище, экологическое состояние, альголизация, загрязнение воды.

Abstract: the Matyrsky reservoir was subjected to the complex analysis of its ecological state. Data of long-term environmental and hydrochemical monitoring and multispectral satellite sensing were used. The ecological status of a reservoir was studied from prerequisites of its formation and features of its change. The analysis of influence of anthropogenous intervention in the reservoir ecosystem by means of mass introduction of the autotrophic organisms in it was carried out.

Key words: environmental and hydrochemical monitoring, multispectral satellite sensing, Matyrsky reservoir; ecological state, biological rehabilitation, water pollution.

В данной работе проведен комплексный анализ экологического состояния Матырского водохранилища по данным эколого-гидрохимического мониторинга и материалам многозонального космического зондирования Земли. Первые дают представление о том, как химический состав воды в отдельных местах может влиять на благополучие водной экосистемы, вторые позволяют непосредственно оценить степень развития ее растительной составляющей. Наземные исследования дают точные, но редкие во времени и пространстве результаты. В то же время спутниковые данные менее точны, но значительно более представительны во всех измерениях. Совместное их изучение позволяет использовать преимущества каждого источника данных.

Матырское водохранилище представляет собой мелководный водоем руслового типа с умеренно-извилистой береговой линией и замедленным водообменом. По основным морфометрическим показателям водохранилище по классификации А. Б. Авакяна относится к классу средних искусственных водоемов,

а по средней глубине – к неглубоким [1]. Оно простирается с юго-востока на северо-запад.

По проекту площадь зеркала воды при НПУ 109,0 м равна 45 км², средняя глубина – 2,5 м, максимальная глубина – 11,5 м, средняя ширина – 1,12 км, полный объем воды – 144 млн м³.

Матырское водохранилище относится к категории равнинных водохранилищ, зоны мелководья здесь занимают 22–28 % общей площади водохранилища. Это обстоятельство является причиной зарастания мелководий влаголюбивой растительностью. Прогревание в теплый период мелководных участков водохранилища создает благоприятные условия для развития синезеленых водорослей. В свою очередь растительность значительно уменьшает скорость течения воды и тем самым определяет быстрое осаждение влекомых и взвешенных наносов, что приводит к увеличению площади мелководий и нарастание берега.

На современном этапе данные процессы наиболее активно протекают в верхушке и в средней части водохранилища. Следует особо выделить так называемый участок Желудок между с. Ярлуково и г. Грязи. В этом месте водохранилище делает изгиб и образует залив

с малыми глубинами, который активно зарастает погруженной и полупогруженной водной растительностью. Ширина водохранилища в этом озеровидном расширении составляет 1,5 км, средняя глубина – до 2 м. На долю этого участка приходится всего 14 % объема воды и 28 % занимаемой площади.

Эколого-гидрохимические исследования

Для выявления динамики изменения химического состава вод Матырского водохранилища нами были изучены материалы предыдущих исследований.

Они проводились в разные годы разными производственными и научными организациями. Информация, накопленная за период с 2006 по 2012 г., дает возможность выявить тенденции изменения химического состава за прошедшие годы, выявить взаимосвязь динамики эколого-гидрохимического состояния водоема и активности развития синезеленых водорослей.

Основные результаты эколого-гидрохимических исследований Матырского водохранилища за 2006–2012 гг. представлены на рис. 1.

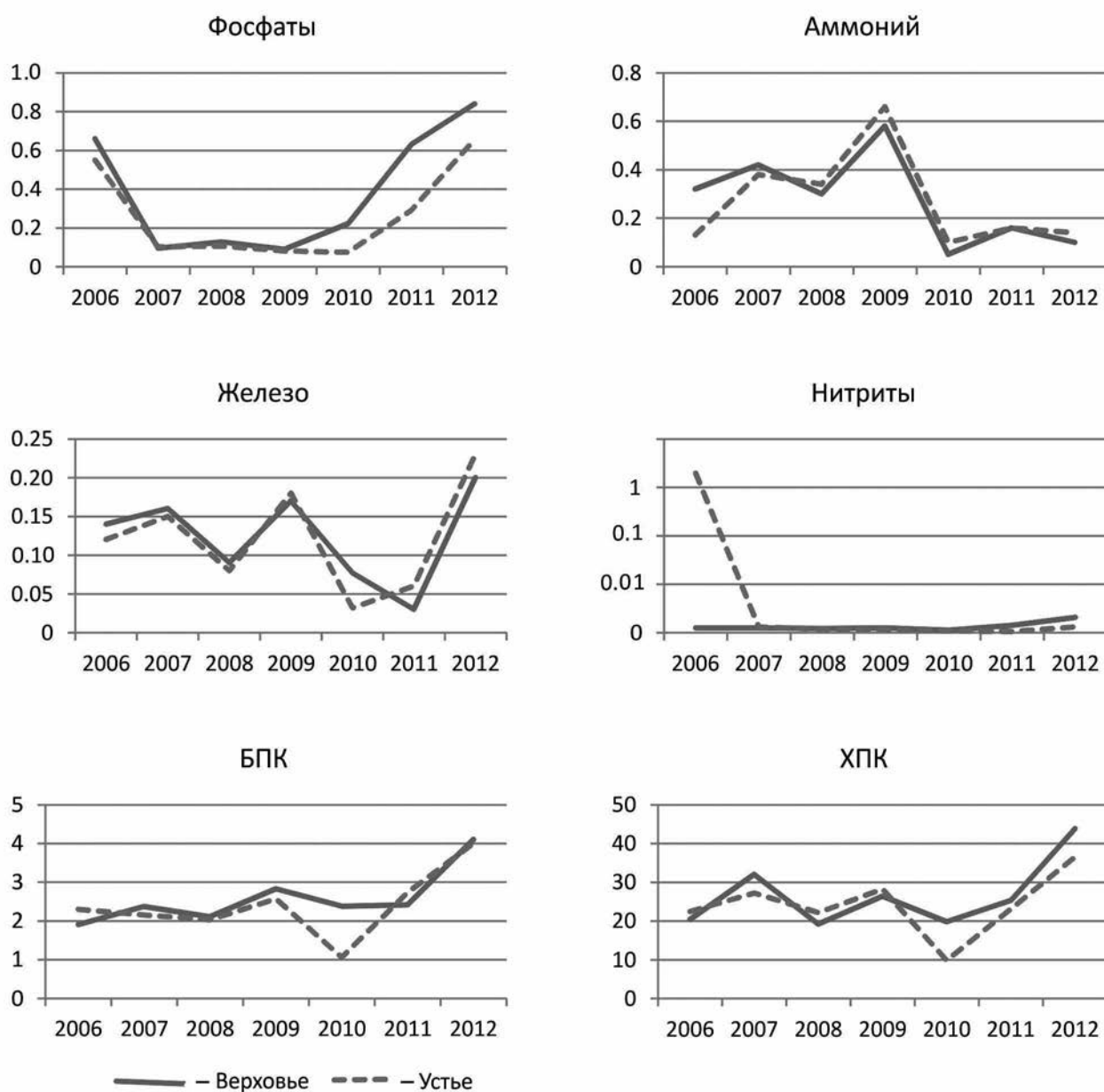


Рис. 1. Результаты эколого-гидрохимических исследований Матырского водохранилища за 2006–2012 гг.

Воды Матырского водохранилища имеют слабощелочную реакцию. Анализ полученных зависимостей показал, что изменения величин рН за период наблюдения незначительны. Средние значения показателя рН колеблются в интервале 8,22–8,32.

Во всех точках отбора зарегистрированы аэробные условия с содержанием кислорода 7,14–10,78 мг/л. При этом в придонном слое кислорода на 3–6 % ниже, чем в приповерхностном слое. Средние значения содержания растворенного кислорода в воде Матырского водохранилища варьируются от 7,75 в июле и до 10,48 в октябре. Подобная зависимость демонстрирует наличие обратно пропорциональных связей между температурой воды и количеством растворенного кислорода. Максимальные значения приходятся на весенний и осенний периоды, когда при низкой температуре происходит насыщение воды кислородом. Минимальные значения соответствуют зимним и летним периодам. Зимой нехватка кислорода обусловлена изоляцией льдом поверхностных вод от атмосферы. Летом происходит прогрев водохранилища и, соответственно, уменьшение концентрации растворенного кислорода. Кроме того, в этот период года существенный вклад в уменьшение концентрации растворенного кислорода вносит активизация биохимических процессов.

Воды Матырского водохранилища по классификации Алекина относятся к гидрокарбонатному классу группы кальция, магния [2]. В группе анионов преобладают гидрокарбонат-ионы, на их долю в среднем приходится более 60–70 % от общей суммы анионов. SO_4^{2-} и Cl^- ионы находятся в подчиненном состоянии гидрокарбонатному иону, их содержание значительно ниже и составляет в среднем не более 15–25 % и 10–15 % соответственно.

В группе катионов доминирует кальций. Анализ предыдущих исследований показывает, что средние значения содержания кальция составляют 40–60 мг/дм³. Концентрация ионов магния значительно ниже и не превышает 25–30 мг/дм³.

Содержание соединений кальция и магния в воде определяет величину общей жесткости. За период наблюдений значения общей жесткости изменялись от 4,8 до 5,5 мг · моль/дм³.

Микрокомпонентный состав исследовался в ограниченном объеме. Анализировались те элементы, высокие концентрации которых отмечались в предыдущие годы. Анализ полученной информации показывает, что в Матырском водохранилище обнаружены превышения относительно ПДК для ряда металлов.

Наиболее значимые превышения характерны для марганца, концентрации которого варьируют от 0,002 до 0,053 мг/дм³ при ПДК = 0,01 мг/дм³, железа от 0,12

до 0,31 мг/дм³ при ПДК = 0,1 мг/дм³, меди от 0,012 до 0,031 мг/дм³ при ПДК = 0,001 мг/дм³ [3].

Содержание железа колеблется в узком интервале от 0,18 до 0,22 мг/дм³, периодически наблюдались концентрации в разных частях водохранилища до 0,3 мг/дм³. В 2012 г. в придонном и в приповерхностном слое отмечена положительная аномалия в средней части водохранилища. В конце вегетационных периодов мало контрастные аномалии выявлены в приповерхностном слое рядом с плотиной. В придонном слое концентрации однородны.

Для марганца относительный диапазон колебаний концентраций еще уже – от 0,030 мг/дм³ до 0,53 мг/дм³. Соотношение железа и марганца в придонном и приповерхностном слое практически одинаково. Исключением являются результаты мониторинга за июль–август, когда в приповерхностном слое были отмечены пониженные концентрации – до 0,1 мг/дм³. Скорее всего, это связано с активным вовлечением железа в биохимические процессы на пике вегетационного периода.

Средние значения концентрации меди за период наблюдений оставались стабильными от 0,0012 мг/дм³ до 0,0014 мг/дм³ в приповерхностном слое, от 0,0016 мг/дм³ до 0,0019 мг/дм³ в придонном слое, превышая ПДК в 1,2–1,9 раз. Минимальные значения концентраций характерны для июльских проб из приповерхностного слоя, максимальные – для октябрьских проб из придонного слоя. Как и в случае с железом, это связано с активным вовлечением меди, особенно в приповерхностном слое, в биохимические процессы на пике вегетационного периода.

Наибольшее внимание в ходе исследований уделялось содержанию в Матырском водохранилище биогенных элементов и их соединений, таких как азот в нитритной, нитратной и аммонийной форме, а также фосфаты. Перечисленные соединения, образуя питательную среду для автотрофных организмов, во многом определяют экологическое состояние водохранилища, степень его эвтрофикации.

Концентрации нитритов и аммония примерно одинаковы в придонном и приповерхностном слое. Соединения азота в большинстве проб зафиксированы в незначительных концентрациях, гораздо ниже величины ПДК, изменяются в пределах фоновых значений, за исключением единичных проб, отобранных во второй половине лета в 2010 и 2012 гг. в приплотинной части, Казинском и Юшинском затонах, в участке Желудок. Содержание нитритов превышало ПДК в 2–4 раза (до 0,32 мг/дм³), аммония – в 1,5–2 раза. На протяжении последующих августа–октября 2010 и 2012 гг. концентрации нитритов снижались до фоновых значений, содержание иона аммония в эти месяцы наоборот выросло вдвое (рис. 1), т.е. суммар-

ное содержание азота в «неустойчивых» формах оставалось до конца вегетационного периода на одном уровне. Подобные всплески по концентрации нитритов и аммония наблюдались и в предыдущие годы [4; 5]. Скорее всего, такая динамика связана с максимальной активизацией в придонной части водохранилища процессов распада азотсодержащих органических веществ до ионов аммония с одновременным замедлением биохимических процессов его нитрификации в условиях максимального прогрева вод и низкого содержания растворенного кислорода.

Среднее содержание нитратов за период наблюдения незначительно выросло с 1,8 до 2,8 мг/дм³, что гораздо ниже установленных предельно допустимых концентраций. При этом в придонном слое в холодный период года их концентрации выше, чем в приповерхностном на 5–30 %, что, более вероятно, связано с активизацией процессов окисления азотсодержащих соединений в условиях увеличения содержания кислорода.

Содержание растворенных форм фосфора в водах Матырского водохранилища превышает ПДК и находится на уровне не ниже 0,4 мг/дм³, что превосходит ПДК в 2 раза. Максимальные значения характерны для проб, отобранных в октябре. Повышение концентрации фосфора до 1,0 мг/дм³, скорее всего, можно связать с активизацией внутриводоемных процессов разложения фосфорорганических соединений.

Что касается пространственного распределения фосфатов, то на протяжении периода наблюдений выраженная динамика отсутствует. На всей акватории водохранилища в приповерхностном и в придонном слое отмечены высокие концентрации фосфатов. При этом максимальные значения характерны для средней части водохранилища (участок Желудок).

Вместе с тем в период проведения биологической реабилитации Матырского водохранилища методом коррекции альгоценоза (2009–2011 гг.) отмечено снижение содержания железа, марганца [6], фосфатов, нитритов, ХПК и БПК₅. Из рис. 1 видно, что во время применения метода происходило улучшение качества воды при ее продвижении от верховьев к приплотинной части водоема. До 2009 г. такого явления не наблюдалось, а с 2012 г. по ряду поллютантов был отмечен резкий рост их содержания, объяснение причин которого является предметом дополнительных исследований.

В ходе гидробиологических исследований, проводившихся параллельно с альголизацией водоема, в 2010–2012 гг. А. Е. Силиной, Е. Н. Животовой, Г. А. Анциферовой установлено, что в заливе Желудок происходит частичная утилизация аллохтонного вещества за счет активного развития макрофитов, которые играют роль естественных физических и хи-

мических фильтров. Этот участок водохранилища был охарактеризован исследователями как зона активной минерализации органического вещества. Следует отметить, что сходными свойствами обладают и фотосинтезирующие представители фитопланктона.

Наиболее важными показателями качества воды, связанными с загрязнением органическими веществами, являются ХПК и БПК₅.

Полученные данные показывают, что воды Матырского водохранилища относятся к классу загрязненных. Значения величин ХПК указывают на присутствие стойкого органического вещества в количествах, превышающих допустимые значения (< 30 мгО₂/дм³) в 2–2,5 раза. Во временном аспекте наиболее неблагоприятными являются пробы, отобранные в августе, где среднее значение составляет 68,51 мгО₂/дм³ – для приповерхностного слоя и 64,53 мгО₂/дм³ – для придонного слоя.

Показатель БПК₅ также превышает ПДК в 3,0 мгО₂/дм³, достигая максимальных значений (3,0 мгО₂/дм³) в пробах, отобранных в августе. Ситуация стабилизируется в конце вегетационного периода – в октябре. Показатель БПК₅ в октябрьских пробах по сравнению с августом уменьшается вдвое и составляет 1,5–2,5 мгО₂/дм³ в приповерхностном и 2,0–2,7 мгО₂/дм³ в придонном слое. На протяжении вегетационного периода наблюдений сохранялась тенденция, когда значения показателей ХПК и БПК₅ в приповерхностном слое больше на 10–15 %, чем в придонном слое. Это объясняется высокой концентрацией легко окисляемой органики, именно в приповерхностном слое воды.

Анализ пространственного распределения показывает, что максимальные показатели ХПК характерны для августа, отмечены в приплотинной части водоема и в участке Желудок, где показатель достигает 70–80 мгО₂/дм³.

Синхронно менялась ситуация и со значениями показателя БПК₅. Высококонтрастные аномалии отмечались в августе в приплотинной части водоема, как в придонном, так и в приповерхностном слое. В октябре максимальные показатели отмечены в верховье и в средней части водохранилища.

Как видим, в формировании гидрохимического облика водоема решающую роль играют биохимические процессы, протекающие в водных экосистемах, и их интенсификации способствует искусственное увеличение биомассы зеленых микроводорослей (проведение альголизации).

Степень развития водных экосистем, а точнее наиболее значимой (с точки зрения скорости преобразования вещества и энергии) ее составляющей – фитоценозов можно оценить на основе ДЗЗ.

Многозональное спутниковое зондирование

Как было показано ранее, на примере Воронежского водохранилища [7], многозональные спутниковые снимки из архива Landsat могут быть использованы для анализа развития фитоценозов в крупных стоячих водоемах. Для этого был разработан нормализованный дифференциальный альгоиндекс (NDAI), позволяющий оценивать степень развитости водной флоры. Это трансформанта многозонального спутникового изображения, позволяющая в количественной мере проводить подобную оценку.

В работе К. Ю. Силкина [8] анализ временного хода альгоиндекса был применен для Матырского водохранилища, точнее его средней части, называемой Желудком. Следующая эмпирическая формула используется для вычисления значений альгоиндекса:

$$NDAI = \frac{I_G + 2I_{NIR} - I_B - I_R}{I_G + 2I_{NIR} + I_B + I_R} + 0,5,$$

где I_B, I_G, I_R, I_{NIR} – яркость излучения водного объекта в синем, зеленом, красном и ближнем инфракрасном диапазонах соответственно.

Показания индекса не зависят от атмосферных помех и влияния спектра отражения самой воды и нормированы таким образом, что значения меньше 0,5 соответствуют чистой воде; около 0 – более-менее слабому размножению водорослей; больше 0,5 – бурному «цветению» воды.

Была проанализирована 81 разновременная сцена из архива Landsat с 1984 по 2013 гг., на которых Матырское водохранилище свободно от облаков. Эти сцены относятся к вегетационному периоду (с мая по сентябрь). После сглаживания и полиномиальной аппроксимации результаты наглядно представлены на рис. 2.

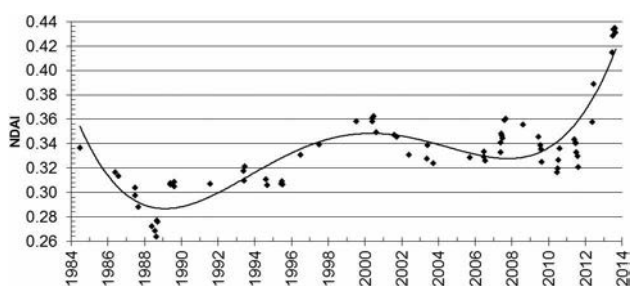


Рис. 2. Сглаженные значения NDAI для всего периода наблюдений и их полиномиальный тренд

Из рис. 2 можно видеть, что в истории Матырского водохранилища последние 30 лет не было стабильности в степени развития водных фитоценозов. Выделяется два продолжительных периода, которые значительно различаются по среднему уровню значений NDAI. Границей между ними служит рубеж 1996 г. До этого момента водорослей в воде было существенно меньше, но потом, очевидно, эвтрофи-

кация водоема возросла. В последние два года происходит новый подъем.

Даже такая простая аппроксимация с помощью полинома позволяет выявить несколько разномастных, циклически повторяющихся составляющих. Более детально их можно изучить с помощью вейвлет-преобразования (рис. 3). Этот вид анализа временных рядов дает наглядное изображение скрытых периодичностей [9].

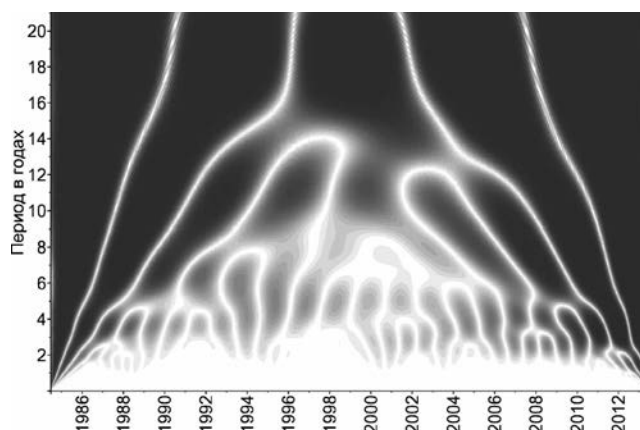


Рис. 3. Результат вейвлет-преобразования временного ряда значений NDAI

На этом рисунке отчетливо выделяются солнечные циклы с периодом 22 года (цикл Хейла), 11–12 лет (цикл Швабе) [10], а также многочисленные более мелкомасштабные составляющие. Следовательно, антропогенное воздействие на временной ход значений NDAI не исключено, но и не может быть единственным.

Теперь посмотрим более пристально на последние 8 лет существования водоема. На рис. 4 представлены значения NDAI в период 2006–2013 гг.

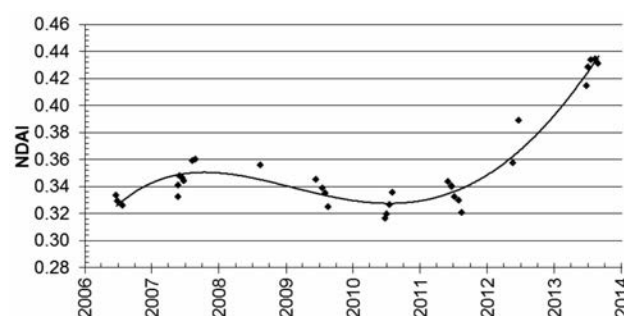


Рис. 4. Сглаженные значения NDAI за 2006–2013 гг. и их полиномиальный тренд

Мы видим, что в 2007 г. наблюдался очередной всплеск активности размножения водной растительности. Возможно, он стал последним аргументом в пользу проведения альголизации, которая сразу начала влиять на фитоценоз, а точнее на альгоценоз [11]. Период этой процедуры (2009–2011 гг.) отмечен

кратковременным снижением NDAI. Однако сразу вслед за этим можно отметить начавшееся восстановление состояния фитоценоза, которое привело к беспрецедентному росту в 2013 г.

Данный вывод подтверждает эффективность проведения биологической реабилитации Матырского водохранилища методом коррекции альгоценоза, поскольку снижение значения показателя NDAI было обусловлено значительным снижением численности и биомассы синезеленых водорослей [12].

Дальнейшие исследования были направлены на выяснение связи участка Желудок и приплотинной части водохранилища в плане того, как изменяется удельное поверхностное содержание растительности по мере продвижения водных масс на 18-километровом участке фарватера вплоть до водослива плотины (рис. 5).

Вдоль этого фарватера были измерены значения NDAI. Графики среднего значения, в том числе аппроксимированного с помощью полинома, и дисперсии полученных за несколько лет профилей площадного распределения альгоиндекса приведены на рис. 6.

На данном рисунке видно, что на выходе из участка Желудок, где водохранилище принимает вид узкого канала, сохраняется обстановка довольно интенсивного развития водного фитоценоза, сопоставимая с тем, что наблюдалось в самом Желудке (NDAI $\approx 0,35$). Встречающиеся местами значения, достигающие 0,55, особенно связанные с аномальной дисперсией, – это случаи возникновения на фарватере временных зарослей жесткой околководной растительности. Чтобы исключить эти флуктуации, среднепогодные значения NDAI были аппроксимированы с помощью полинома.

Около ПК 7000, там, где канал начинает превращаться в воронкоподобную нижнюю часть водохранилища, наступает двукратный спад значений альгоиндекса, свидетельствующий о распределении влекомого водой фитопланктона на большой акватории и снижении его площадной концентрации. Однако к выходу из водохранилища он снова почти весь собирается вместе, о чем говорит возрастание NDAI на последних двух километрах фарватера до значений, близких к 0,3.

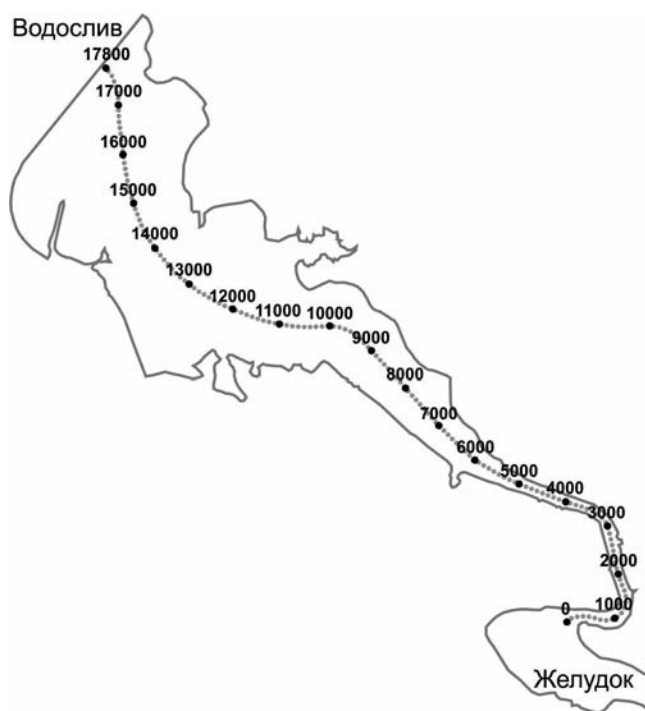


Рис. 5. Фарватер между участком Желудок и водосливом плотины Матырского водохранилища

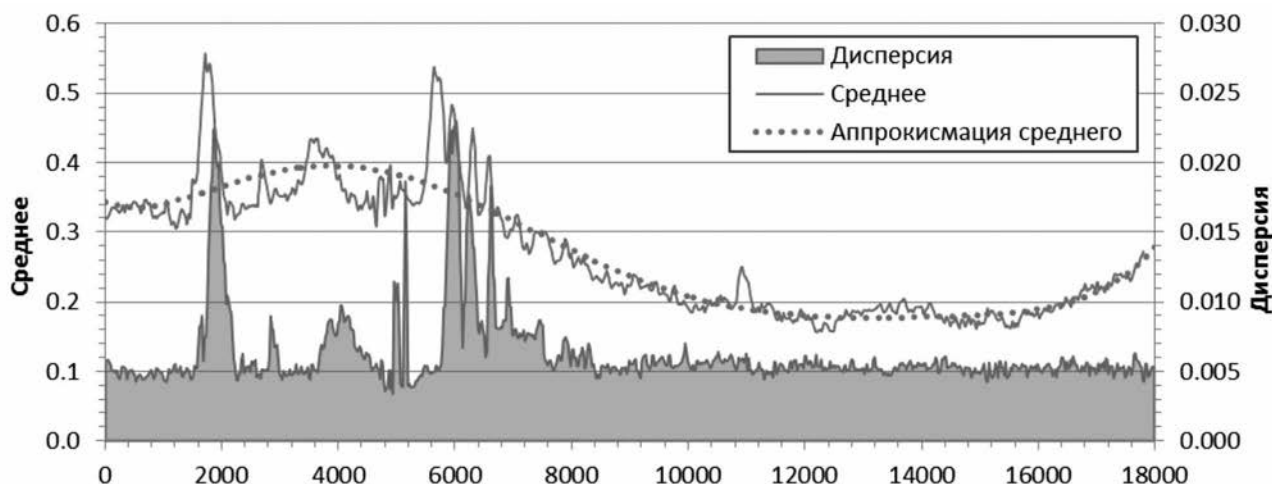


Рис. 6. Осредненные многолетние значения NDAI и их дисперсия вдоль фарватера

Таким образом, в результате анализа материалов многозонального зондирования и эколого-гидрохимических исследований можно сделать следующие выводы:

1. По большинству нормируемых компонентов минимальные значения зафиксированы в 2008–2009 гг., в то время как NDAI испытывал подъем. Сине-зеленые водоросли, интенсивно размножившиеся в эти годы, даже вынудили бороться с ними с помощью альголизации водоема.

2. Многолетняя динамика эколого-гидрохимической обстановки в верховьях и в приплотинной части показывает асинхронность изменения концентрации ряда элементов. С одной стороны, это можно объяснить выпадением в осадок растворенных веществ в условиях замедленного водообмена в заводях в приплотинной части. С другой стороны, средняя часть водохранилища (Желудок), которая характеризуется развитием мелководий и обилием водной растительности, выступает как биогеохимический барьер на пути миграции растворенных веществ, что подтверждается результатами дистанционного зондирования.

3. Широкий нижний участок водохранилища характеризуется пониженной концентрацией органического вещества вследствие того, что фитопланктон распределяется по большей акватории и, не успев размножиться, выбрасывается вместе с водой через гидроузлы. Также на снижение объема приповерхностной биомассы на этом участке влияет то, что растворенные в воде верховьев биогены были утилизированы на участке Желудок.

4. Проведение анализа химического состава воды возле выпуска гидроузла не совсем верно, так как возле него наблюдается сгущение переносимого водой живого и косного вещества, что не может не сказаться на повышении всех измеряемых показателей.

5. Сравнивая последние годы наблюдений (2012–2013) с предыдущим периодом исследований, можно отметить увеличение содержания в водах азота, фосфора, кальция, магния, железа, марганца. Первые из перечисленных элементов и их соединения (биогены) определяют биологическую продуктивность водоема, в том числе и распространение и процветание микроскопических водорослей, которые участвуют как в продукционных процессах, так и в процессах преобразования органического вещества, аккумулирующегося в водоеме [3]. Вероятно, данный факт объясняет рост индекса NDAI в 2013 г.

6. Очевидно, помимо природных факторов, формирующих геохимический фон, большую роль играет хозяйственная деятельность человека, определяющая кратковременное возникновение на локальных участках гидрохимических аномалий, которые в те-

чение периода исследований неоднократно фиксировались у г. Грязи, с. Казинка, с. Ярлуково, с. Малей.

7. Альголизация водоема, проводившаяся в 2009–2011 гг., имела неоднозначные последствия. С одной стороны, в аномально жаркое лето удалось избежать массового цветения водоема, уменьшились концентрации ряда загрязнителей. В первый год после окончания альголизации отмечен возврат к прежним показателям, а по данным гидробиологов отмечено существенное сокращение видового разнообразия водных экосистем, но это положение можно рассматривать с оговоркой на отсутствие научно обоснованных причин произошедшего сокращения, ведь известно, что однократная констатация какого-либо предположения без ссылки на статистические данные и выявленных причинно-следственных связей не имеет права на существование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян А. Б. Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – М. : Мысль, 1987. – 325 с.
2. Алевкин О. А. Основы гидрохимии : учеб. пособие для студентов гидрометеорологических ин-тов и гос. ун-тов / О. А. Алевкин. – Л. : Гидрометеоздат, 1970. – 444 с.
3. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. // Рос. газета. – 2010. – 5 марта.
4. Валяльщикова А. А. Динамика химического состава вод Матурского водохранилища за период 2010–2011 годы / А. А. Валяльщикова // Приоритетные направления экологической реабилитации Воронежского водохранилища : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (21 ноября 2012 г.). – Воронеж, 2012. – С. 50–56.
5. Косинова И. И. Об эффективности применения биологических методов для оптимизации эколого-гидрохимического состояния Матурского водохранилища / И. И. Косинова, А. А. Валяльщикова // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж, 2010. – № 2. – С. 286–290.
6. Кульнев В. В. Механизмы изменения концентрации тяжелых металлов при биологической реабилитации Матурского водохранилища методом коррекции альгоценоза / В. В. Кульнев, О. В. Базарский // Сборник материалов XII Междунар. науч.-практ. симпозиума и выставки «Чистая вода России» (г. Екатеринбург, 14–16 мая 2013 г.). – С. 181–184.
7. Силкин К. Ю. Методика оценки экологического состояния Воронежского водохранилища по материалам многозонального дистанционного зондирования / К. Ю. Силкин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж, 2012. – № 1. – С. 220–223.
8. Силкин К. Ю. Анализ динамики развития фитоценозов Матурского водохранилища по данным спутникового мониторинга / К. Ю. Силкин, А. А. Валяльщикова // Экологическая геология : теория, практика и региональные проблемы : матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. (20–22 ноября 2013 г.). – Воронеж, 2013. – С. 53–56.
9. Мала С. Вейвлеты в обработке сигналов / С. Мала. – М. : Мир, 2005. – 671 с.

10. Витинский Ю. И. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца / Ю. И. Витинский, М. Копецкий, Г. В. Куклин. – М. : Наука, 1986. – 296 с.

11. Немцева Н. В. Структурно-функциональная характеристика водорослевого сообщества и ее использование для определения экологического состояния пойменных водоемов / Н. В. Немцева, Т. Н. Яценко-Степанова, О. В. Бухарин // Проблемы региональной экологии, – 2011. – № 5. – С. 81–86.

12. Косинова И. И. Оценка полученных гидрохимических показателей Матырского водохранилища в 2010 году в срав-

нении с предыдущими годами наблюдения / И. И. Косинова, Г. А. Анциферова, А. А. Валяльщикова [и др.]. – Режим доступа: <http://www.algobiotehnologia.com/shop/?gid=170>

13. Анциферова Г. А. Особенности вегетационных сукцессий низших водорослей в условиях аномально высоких летних температур 2010–2012 годов (бассейн Среднего Дона) / Г. А. Анциферова // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: География. Геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 107–112.

Воронежский государственный университет

Валяльщикова А. А., доцент кафедры экологической геологии

E-mail: 770vaa@mail.ru

Тел.: 8-903-655-91-15

Voronezh State University

Valyalschikov A. A., Associate Professor of Ecological Geology Department

E-mail: 770vaa@mail.ru

Tel.: 8-903-655-91-15

Силкин К. Ю., доцент кафедры экологической геологии

E-mail: Silkin@geol.vsu.ru

Тел.: 8-909-210-05-52

Silkin K. Yu., Associate Professor of Ecological Geology Department

E-mail: Silkin@geol.vsu.ru

Tel.: 8-909-210-05-52

ООО НПО «Альгобиотехнология» (г. Воронеж)

Кульнев В. В., директор по науке

E-mail: abt-vrn@yandex.ru

Тел.: 8-920-219-33-62

LLC SPA «Algobiotehnologia» (Voronezh)

Kulnev V. V., Science Director

E-mail: abt-vrn@yandex.ru

Tel.: 8-920-219-33-62