

УДК 574.52

## ВЛИЯНИЕ МАССОВОГО РАЗВИТИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ПРОБЛЕМА И ПУТИ РЕШЕНИЯ)

© 2023 К.В. Селезнева<sup>1,2</sup>, А.В. Селезнева<sup>1</sup>, В.А. Селезнев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН,  
г. Тольятти, Россия

<sup>2</sup>Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия

Статья поступила в редакцию 25.08.2023

Процесс массового развития цианобактерий оказывает негативное влияние на экологическое состояние и качество воды водохранилищ Волжско-Камского каскада, которые используются для питьевого водоснабжения, рыбного хозяйства и рекреации. Основная цель исследований – оценка влияния массового развития цианобактерий на формирование качества воды на примере Куйбышевского водохранилища в условиях глобального потепления. Комплексные наблюдения проводились в период 2001–2021 гг. на самом крупном в Европе Куйбышевском водохранилище с сезонным, недельным и суточным режимом регулирования водного стока. Результаты исследований показывают, что в период «цветения воды» увеличивается органическое загрязнение воды. Так перманганатная окисляемость летом превышает допустимое значение в 1,5–2,0 раза, что создает проблемы обеспечения населения качественной питьевой водой. Массовое развитие цианобактерий нарушает кислородный режим водохранилища. Сезонная изменчивость концентрации растворенного кислорода включает четыре периода, отличающиеся различной направленностью процессов формирования кислородного режима. Внутри года наблюдаются два минимума содержания растворенного кислорода: зимний и летний. В летний минимум концентрация растворенного кислорода снижается до критических значений, и составляет 4–5 мг/дм<sup>3</sup>. На формирование летнего минимума кислорода существенное влияние оказывает процесс массового развития цианобактерий. В результате фотосинтезирующей аэрации образуется тонкий перенасыщенный кислородом поверхностный слой воды, который нарушает процесс абсорбции кислорода из атмосферы на значительной части акватории водохранилища. В условиях роста биогенной нагрузки и глобального потепления климата интенсивность и масштаб процесса массового развития цианобактерий на Куйбышевском водохранилище будет только увеличиваться, что приведет к дальнейшему росту дефицита кислорода, ухудшению качества воды и возникновению рисков водопользования.

**Ключевые слова:** водохранилище, биогенная нагрузка, массовое развитие цианобактерий, качество воды, органическое загрязнение, нарушение кислородного режима, риски водопользования.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-5-164-174

EDN: ZUQMLE

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда  
(номер проекта 23-27-10008).*

### ВВЕДЕНИЕ

По результатам многолетних исследований Института экологии Волжского бассейна установлено, что одной из основных экологических и водохозяйственных проблем водохранилищ Средней и Нижней Волги является нарушение экологической устойчивости и ухудшение качества воды. *Селезнева Ксения Владимировна, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории мониторинга водных объектов ИЭВБ РАН, доцент ТГУ.*

*E-mail: kvbespalova@yandex.ru*

*Селезнева Александра Васильевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории мониторинга водных объектов. E-mail: aleks.selezneva@mail.ru*  
*Селезнев Владимир Анатольевич, доктор технических наук, кандидат географических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории мониторинга водных объектов. E-mail: seleznev53@mail.ru*

ства вод в летний период при массовом развитии цианобактерий. Процесс массового развития цианобактерий или «цветения воды» наблюдался и ранее на реке Волга до создания каскада Волжско-Камских водохранилищ. Например, заведующий Волжской биостанцией В. П. Зыков писал, что «1901 год оказался крайне маловодным и концу июля часть Волги против г. Саратова превратилась в замкнутый бассейн, где в огромном количестве развивались сине-зелёные водоросли. Огромным их количество было и в коренной Волге».

С созданием Волжско-Камских водохранилищ процесс «цветения воды» активизировался и проблема ухудшения качества воды обострилась из-за замедления водного обмена и роста биогенной нагрузки [5]. В современных условиях глобального потепления климата актуальность проблемы возрастает из-за повышения

температуры воды в водоемах и обострения негативных последствий «цветения воды», что приведет к возникновению дополнительных рисков водопользования [3, 4].

Процесс «цветения воды» – это видимая невооруженным глазом составная часть более глобального процесса – антропогенного эвтрофирования водоемов. Эвтрофирование – это накопление в водоемах биогенных элементов под воздействием антропогенных или природных факторов. «Обильное питание» экосистемы биогенными элементами ведет сначала к повышению биологической продуктивности водоемов, а затем с возрастающей нехваткой кислорода – к заморам.

Процесс «цветения воды» особенно ярко проявляется в жаркие и маловодные годы [8]. В это время в структуре фитопланктона доминируют цианобактерии, численность и биомасса которых достигает значительных величин. Массовое развитие цианобактерий наблюдается как в русловой, так пойменной части водохранилищ. При этом, пик «цветения воды» приходится, как правило, на июль и август.

Основная цель исследований – оценка воздействия процесса массового развития цианобактерий на формирование качества воды.

#### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Самым крупным в Европе является Куйбышевское водохранилище (рис. 1), которое входит в состав сложной водохозяйственной системы водохранилищ Волжско-Камских каскада [2].

Длина водохранилища с учетом Волжской и Камской веток составляет 750 км, а площадь – 6450, км<sup>2</sup>. Через замыкающий створ Куйбышевского водохранилища проходит 97% водного стока всей реки Волга. Водохранилище используется комплексно, включая хозяйственно-питьевое водоснабжение, рыбное хозяйство и рекреацию. Особого внимания заслуживает тот факт, что водохранилище выделяется замедленным водным обменом и для него характерным является процесс массового развития цианобактерий.

Комплексные исследования экологического состояния и качества воды водохранилища и их боковых притоков проводятся с момента создания в 1957 году Жигулевского гидроузла. Наблюдения осуществляются с научно-исследовательского судна «Биолог», которое оборудовано автоматизированной системой «Хитон» (рис. 2). С помощью неё в режиме «in situ» осуществляется диагностика пространственных неоднородностей водной массы по температуре, электропроводности, pH, Eh, растворенному кислороду и хлорофиллу для установления репрезентативной сетки станций наблюдений на акватории водохранилища. Для идентификации водных масс в различные сезоны года на станциях отбираются пробы воды для последующего химического и биологического анализа в лабораториях института. По полученным результатам создается информационная база данных наблюдений с использованием ГИС-технологий для обработки и представления результатов исследования.



**Рис. 1.** Расположение Куйбышевского водохранилища в бассейне Волги: 1 – Чебоксарский гидроузел, 2 – Нижнекамский гидроузел, 3 – Жигулевский гидроузел  
▲ - пункты наблюдений





Рис. 2. Научное судно «Биолог» (слева) и система контроля качества воды «Хитон» для диагностики пространственных неоднородностей (справа)

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Чтобы оценить масштаб процесса «цветения воды» достаточно взглянуть на космический снимок Куйбышевского водохранилища, выполненный в августе 2021 г. (рис. 3). На космическом снимке видно, что практически вся акватория центральной и южной части Куйбышевского водохранилища охвачена процессом «цветения воды». Доминируют цианобактерии в планктоне в июле и августе. Продолжительность «цветения воды» зависит от гидрометеорологических условий и, прежде всего, от температуры воды. На Куйбышевском водохранилище термический оптимум для цианобактерий составляет  $\geq 22$  °C и продолжается 25-75 дней.

Цианобактерии (сине-зеленые водоросли) - это значительная группа крупных бактерий, способных к фотосинтезу, сопровождающемуся выделением кислорода. Это древнейшие организмы, которые сыграли существенную роль в эволюции атмосферы и жизни на Земле. Они

могут быть одноклеточными и нитчатыми, в том числе колониальными (рис. 3).

Размеры этих микроорганизмов варьируют от 0,1–100 мкм. При благоприятных условиях взросление одноклеточных цианобактерий длится 6–12 часов, происходит их лавинообразное размножение и резко повышается экспорт метаболитов в окружающую среду. Отдельные представители цианобактерий способны продуцировать токсины. Наиболее известный - микроцистин-LR. Всемирная организация здравоохранения установила ориентировочную допустимую концентрацию микроцистина-LR в питьевой воде не более 1 мкг/дм<sup>3</sup>.

В период массового развития цианобактерий качество воды на водохранилищах резко ухудшается. Вода приобретает неприятный запах и специфический вкус, появляется цветность, увеличивается рН и по ряду показателей вода не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к водным объектам хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного назначения.

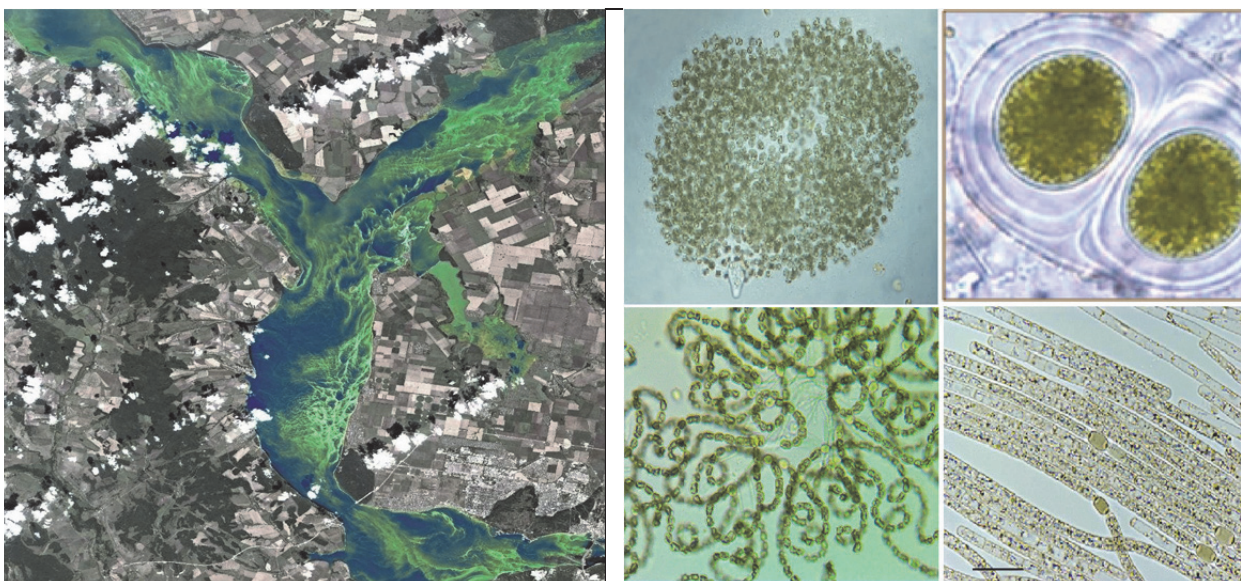


Рис. 3. Вид из космоса «цветение воды» (слева) и возбудители «цветения воды» (справа)

Особую озабоченность вызывают рост органического загрязнения, которое, к сожалению, оценивается только по интегральным показателям: химическое потребление кислорода (ХПК), перманганатная окисляемость (ПО) и биохимическое потребление кислорода (БПК). Например, перманганатная окисляемость в 1,5-2,0 раза превышает допустимые значения для водоемов хозяйственно-питьевого водоснабжения. Наибольшее загрязнение органическими веществами наблюдается в июле и августе, в период массового развития цианобактерий (рис.4).

В жаркие маловодные годы резко увеличивается негативное влияние массового развития цианобактерий на формирование кислородного режима в водной массе (рис. 4). Принято считать, что сезонная изменчивость концентрации растворенного кислорода зависит только от противоположно направленных факторов, основными из которых являются: абсорбция кислорода в воду из атмосферы; поступление кислорода в воду в результате фотосинтеза водорослей; потребление кислорода на биохимическое окисление органических и минеральных веществ; потребление кислорода на дыхание гидробионтов.

Однако, есть основания предполагать, что существует дополнительный, ранее не учтенный фактор, оказывающий негативное влияние на формирование летнего дефицита кислорода в придонных горизонтах воды [9]. Этим фактором является процесс «цветения воды». В результате фотосинтеза цианобактерий в водоеме образуется тонкий (2-5 см) перенасыщенный кислородом (150-200 %) поверхностный слой воды, сдерживающий абсорбцию кислорода из атмосферы и аэрацию нижележащих слоев. Кроме того, обширные поля цианобактерий, образующиеся в ясную и безветренную погоду, частично задерживают поступление солнечной радиации в нижележащие слои, что препятствует фотосинтезу и выделению кислорода. Роль и значение дополнительного фактора в формировании

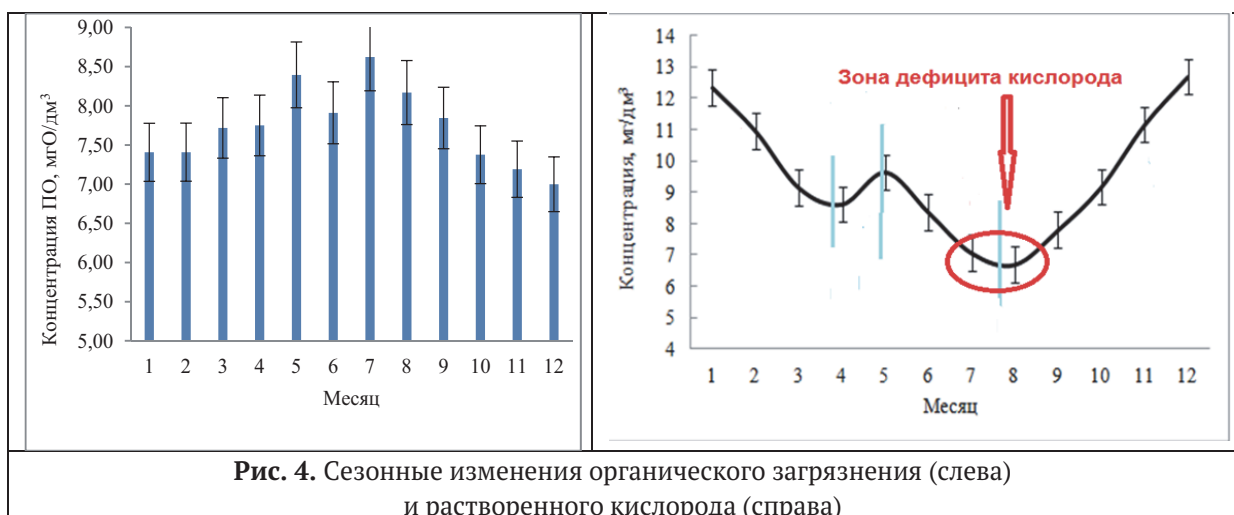
кислородного режима зависит от масштаба процесса массового развития цианобактерий.

Низкие концентрации растворенного кислорода оказывают негативное влияние на экологическое состояние водохранилищ и жизнеспособность гидробионтов. От содержания кислорода в воде, а также скорости его поступления в организм при дыхании гидробионтов зависит интенсивность обменных процессов. При недостатке растворенного кислорода велика вероятность кислородного голодания (аноксии). Существенный дефицит кислорода отрицательно сказывается на росте и развитии гидробионтов и может привести к их массовой гибели. Особенно страдают от аноксии придонные обитатели водоемов.

В результате, из-за нарушения среды обитания гидробионтов наносится ущерб водным биологическим ресурсам [10], снижается вылов промысловых видов рыб: лещ, судак, берш, окунь, чехонь, сом.

Экологическая ситуация ухудшается в жаркие и маловодные годы, когда температура воздуха и воды увеличивается [6]. Начиная с 70-х годов прошлого века, наблюдается глобальное повышение температуры воздуха [1, 11] (рис. 5). На границе Средней и Нижней Волги за последние 60 лет средняя температура воздуха увеличилась на 1,5 -2,0 °С. Особый интерес вызывает современный период (2015-2022 гг.), когда летняя температура воздуха увеличилась на 2-4 °С по сравнению с нормой.

Наблюдаемое увеличение температуры воздуха обусловило устойчивый тренд повышения температуры поверхностного слоя воды. Средняя температура воды Волги в районе г. Тольятти за теплый период 2016-2021 гг. увеличилась 1,7°С по отношению к норме. Наибольшее повышение приходилось на июль и август и составило 2,0 и 2,1°С, соответственно (рис. 5). Повышение температуры воды активизирует процесс массового развития цианобактерий и негативно сказывается на формировании качества воды.



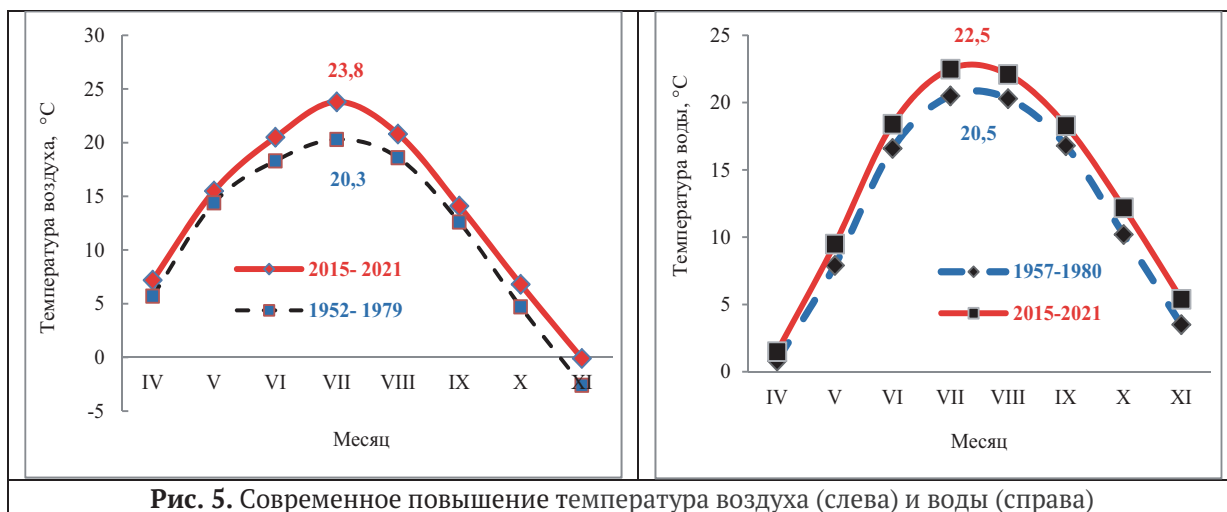


Рис. 5. Современное повышение температура воздуха (слева) и воды (справа)

### ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Основная причина массового развития цианобактерий на Волжско-Камских водохранилищах – это чрезмерная биогенная нагрузка. Ежегодно в бассейн Волги поступает огромное количество биогенных веществ от точечных и диффузных источников загрязнения. Только от точечных источников в водохранилища Волги и её притоков ежегодно поступает 13 и 130 тыс. тонн общего фосфора и нитратов, соответственно. Столь «обильное питание» активизирует процесс массового развития цианобактерий.

В целях экологической реабилитации (оздоровления) водохранилищ целесообразно применять превентивные меры борьбы для снижения интенсивности и продолжительности процесса

«цветения воды» за счет снижения биогенной нагрузки на водохранилища:

- от точечных источников загрязнения (промышленные, коммунальные, ливневые сточные воды);
- от диффузных источников загрязнения, расположенных на речных водосборах (сельское хозяйство, землепользование).

В качестве обоснования целесообразности для применения превентивных методов борьбы следует обратить внимание на установленный факт, что в период массового развития цианобактерий (июль, август) наблюдается резкое уменьшение концентрации биогенных веществ в воде водохранилищ, прежде всего фосфатов и нитратов. При этом, чем интенсивнее процесс «цветения воды», тем меньше концентрация

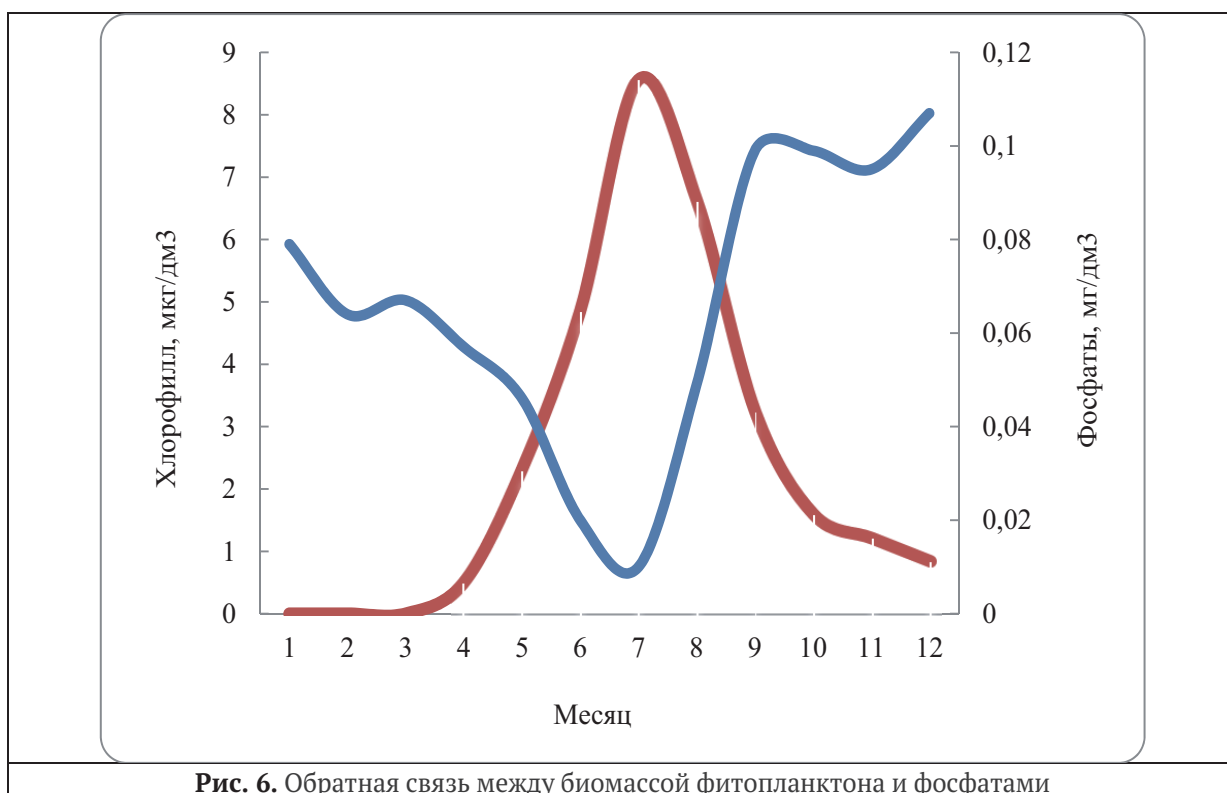


Рис. 6. Обратная связь между биомассой фитопланктона и фосфатами



биогенных веществ в воде. Особое внимание следует обратить на содержание фосфатов, которые являются лимитирующим фактором для процесса «цветения воды». Когда содержание фосфатов становится минимальным, процесс «цветения воды» замедляется или полностью прекращается (рис. 6).

В настоящее время в институте продолжается разработка методологического подхода к оценке и анализу антропогенной нагрузки от точечных источников загрязнения на водные объекты. Количественная оценка и анализ антропогенной нагрузки является необходимым условием оптимального регулирования поступления загрязняющих веществ в водотоки.

Для каждого конкретного года величина антропогенной нагрузки зависит не только от количества загрязняющих веществ, поступающих в реки, но и от водности года. В маловодные годы антропогенная нагрузка на водные объекты будет увеличиваться при прочих равных условиях, а в многоводные - снижаться. Внутри года нагрузка также меняется: в межень нагрузка увеличивается, а в половодье - уменьшается.

Методологические основы оценки антропогенной нагрузки на качество поверхностных вод заложены А.В. Караушевым. В настоящее время, существуют различные подходы к оценке нагрузки на водные объекты. Чаще всего под «нагрузкой» понимается масса загрязняющих веществ, поступающих непосредственно в водный объект от источников загрязнения. При этом не учитываются ни режим водного стока реки, ни её расположение в различных природных зонах и климатических поясах. При таком подходе, невозможно провести сравнительный анализ нагрузок на водотоки, отличающиеся по величине водного стока и условиям формирования естественного качества вод.

При определении антропогенной нагрузки предлагается учитывать массу загрязняющих веществ, поступающих в реки, межгодовую и сезонную изменчивость водного стока и фоновые концентрации веществ в воде. Техногенную нагрузку предлагается оценивать по нескольким составляющим, так как она рассматривается, с одной стороны, как нагрузка сточными водами, а с другой – как нагрузка загрязняющими веществами.

Нагрузка сточными водам – это величина, характеризующая отношение объема сточных вод, сбрасываемых в реку, к водному стоку реки. Нагрузка сточными водами достаточно легко определяется, и для ее расчета, как правило, всегда имеется необходимая информация. Однако она не учитывает качество сточных вод, поэтому её целесообразно использовать на первом этапе анализа техногенной нагрузки.

Имея сведения о массе веществ, содержащихся в сточных водах, представляется возмож-

ным рассчитать составляющие техногенной нагрузки по отдельным загрязняющим веществам.

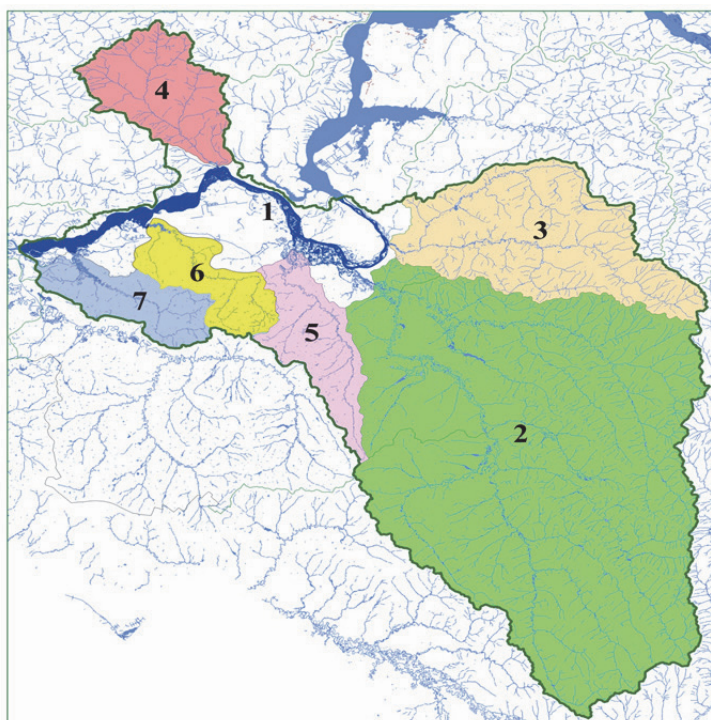
Нагрузка загрязняющим веществом – это величина, характеризующая отношение массы конкретного загрязняющего вещества, сбрасываемого в реку, к водному стоку реки. При таком подходе, техногенную нагрузку становится возможным разложить по отдельным составляющим (азотная, фосфорная, сульфатная, хлоридная и т.п.) и оценивать приоритетность той или иной составляющей нагрузки для конкретной реки.

Для оценки техногенной нагрузки по всему спектру загрязняющих веществ целесообразно использовать суммарную нагрузку загрязняющими веществами.

Для количественной оценки и сравнения между собой техногенной нагрузки на реки, расположенные в различных природных зонах и климатических поясах, предлагается использовать нормированную нагрузку загрязняющими веществами. При этом, фоновые концентрации химических веществ в воде реки определяются по данным систематических наблюдений вне зон загрязнения. Далее определяется суммарная нормированная нагрузка загрязняющими веществами.

Предлагаемый способ определения антропогенной нагрузки на реки от точечных источников загрязнения позволяет ранжировать реки России по величине антропогенной нагрузки, сравнивать между собой водотоки, расположенные в различных природных зонах, климатических поясах и имеющие широкий диапазон величин водного стока. При таком подходе представляется возможным оценивать приоритетность конкретного загрязняющего вещества для реки, обосновывать региональные программы поэтапного сокращения точечного загрязнения. Данный подход целесообразно использовать не только для количественной оценки нагрузки, но и для контроля эффективности осуществляемых охранных мероприятий в бассейнах крупных водохранилищ в рамках реализации федеральных проектов «Оздоровление Волги».

В настоящее время в институте разрабатываются методологические подходы к оценке антропогенной нагрузки от диффузных источников загрязнения на водные объекты [7]. В качестве объекта исследований выбран бассейн Саратовского водохранилища (рис. 7). Основная задача - оценить диффузную нагрузку на водохранилище от боковых притоков I порядка: Самара, Сок, Сызранка, Чапаевка, Чагра, Малый Иргиз. Сложность оценки диффузного загрязнения обусловлена недостаточностью гидрологической и гидрохимической изученности малых рек (притоков 2 и 3 порядков).



**Рис. 7.** Основные боковые притоки I порядка Саратовского водохранилища (1):  
2 - Самара; 3 - Сок; 4 - Сызранка; 5 - Чапаевка; 6 - Чагра; 7 - Малый Иргиз

Диффузные источники загрязнения расположены непосредственно на водосборной территории водных объектов. При этом, земельные ресурсы частично заняты сельскохозяйственными угодьями: пашня - 75%, пастбища - 20%, сенокосы - 1,4 %, залежь - 2,9 %, многолетние насаждения - 0,7 %. Самыми мощными диффузными источниками загрязнения являются площадные стоки с сельскохозяйственных угодий, не канализованных территорий населенных пунктов и свалок. Территория, на которой они формируются, может достигать 45-85% водосборной площади водного объекта, а фронт поступления загрязнений в него растянуться на десятки и тысячи километров.

В условиях недостаточной изученности процесса диффузного загрязнения и отсутствии необходимой детальной информации для его математического моделирования, именно этот подход позволит достоверно и быстро определить величину диффузного загрязнения крупного водохранилища.

Для основных притоков 1 порядка по данным многолетних наблюдений на гидрологических постах сети Росгидромета производился расчет:

- средних месячных значений модуля водного стока рек в наблюдаемых створах;
- средних месячных расходов воды в замыкающих створах рек с использованием нормативных документов по определению основных расчетных гидрологических характеристик.

По данным гидрохимических наблюдений в замыкающих створах рек производился расчет:

- фактической средней месячной концентрации фосфора в воде рек;
- техногенной составляющей концентрации фосфора, формирующейся за счет точечных источников загрязнения на основе данных государственной статистической отчетности 2ТП-водхоз.

Расчет диффузного загрязнения осуществляется с учетом того, что за природную составляющую концентрации вещества двойного генезиса принимается его средняя концентрация за период зимней межени за вычетом техногенной составляющей концентрации. После соответствующей апробации в различных природно-климатических условиях бассейна Волги, данный метод может быть использован для других крупных водохранилищ Волжско-Камского каскада.

При разработке подходов к регулированию диффузного загрязнения Саратовского водохранилища в качестве объекта исследования был выбран бассейн реки Большой Кинель. Это приток реки Самара, который интенсивно используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Отрадный и Кинель. Предпринята попытка распределить нагрузку между боковыми притоками 1-13 (рис. 8). Больше всего биогенных веществ попадает в реку Большой Кинель из бассейна реки Малый Кинель (8), водосборная территория которой полностью используется для целей сельского хозяйства. В бассейне реки Большой Кинель наиболее сильно биогенными веществами загрязнены реки: Сарбай (7), Турхановка (3), Мочегай (2) и Ереуз (4).



В целях предотвращения поступления в водные объекты загрязненных поверхностных вод используются следующие мероприятия: создание водоохранных зон, высадка лесополос, устройство бессточных канав, прудов накопителей, заболачивание территории, снегозадержание и др. Мероприятия в данном случае можно разделить на группы:

- мероприятия, позволяющие снизить объем образующихся загрязненных вод;
- мероприятия, позволяющие перехватить объем загрязнений в транзитной зоне от источника загрязнений до водного объекта;
- мероприятия, направленные на повышение самоочищающей способности водных объектах.

При этом, основная проблема – это оперативное внедрение современных сельскохозяйственных технологий, направленных на сокращение диффузного загрязнения водных объектов.

Для практического управления антропогенной нагрузкой от точечных источников загрязнения в институте разрабатывается технология регулирования сброса загрязняющих веществ в реки от точечных источников загрязнения.

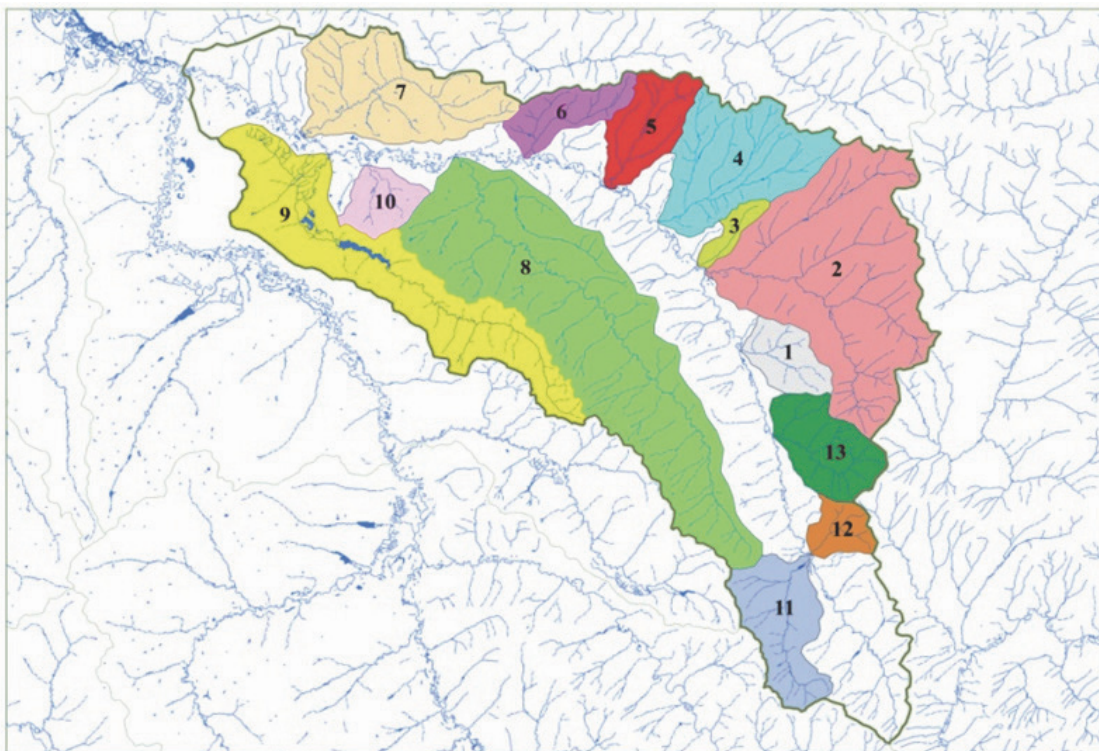
В настоящее время, основным механизмом регулирования точечных источников является разработка для них нормативов допустимых сбросов (НДС) загрязняющих веществ в водные объекты. Главным недостатком действующей методики расчета НДС является использование

в качестве критериев нормирования предельно допустимых концентраций (ПДК), значения которых определяются видом водопользования и не учитывают природных особенностей водных объектов.

Для повышения эффективности существующей системы регулирования необходимо опираться на всесторонний анализ состояния водного объекта и воздействующих на него источников загрязнения, а также учитывать региональные и бассейновые особенности формирования качества вод, выявленные в результате мониторинга рек. Предлагаемая технология регулирования антропогенного воздействия включает:

- определение фоновых концентраций химических веществ в речной воде по данным локального и фонового мониторинга качества речных вод;
- расчет техногенной составляющей формирования качества речных вод на основе данных государственной статистической отчетности водопользователей (форма 2тп-водхоз) и данных государственного водного кадастра;
- разработка критериев регулирования техногенной нагрузки с учетом природных особенностей речных бассейнов;
- разработка нормативов допустимого сброса загрязняющих веществ с учетом их генезиса.

На основании оценки разнообразия качества поверхностных речных вод представляется нецелесообразным использование единых для



**Рис. 8.** Распределение водосборных территорий малых рек в бассейне реки Б. Кинель: (1 – Бол. Кисла, 2 – Мочегай, 3 – Турхановка, 4 – Ереуз, 5 – Аманак, 6 – Савруша, 7 – Сарбай, 8 – Мал. Кинель, 9 – Кутулук, 10 – Черновка, 11 – Умирка, 12 – Саврушка, 13 – Камышла)



территории всей страны предельно допустимых концентраций (ПДК) в качестве критериев при регулировании антропогенного воздействия на реки. Для совершенствования регулирования антропогенного воздействия для каждого водного объекта (или участка водного объекта) следует разрабатывать бассейновые допустимые концентрации (БДК), учитывающие природные особенности формирования гидрохимического фона.

Нормирование антропогенного воздействия на водные объекты целесообразно производить отдельно в зависимости от генезиса (происхождения) загрязняющего вещества. Для веществ антропогенного происхождения нормирование сточных вод следует осуществлять по действующей методике с учетом вида водопользования на основе федеральных ПДК, полученных в результате лабораторных испытаний. Для веществ двойного генезиса (природного и антропогенного) - на основе БДК, полученных по данным мониторинга водных объектов по экспериментальной методике.

Предлагаемая технология регулирования антропогенного воздействия основывается на учете гидрохимических особенностей водных объектов. Основными базовыми принципами технологии являются:

- принцип бассейнового деления территории, как основа эффективного регулирования антропогенного воздействия с учетом природных особенностей водного объекта;

- принцип индивидуальности заключается в том, что в каждой реке формируется особенное природное качество воды, свойственное данной водосборной территории и зависящее от региональных (природно-климатических) и местных (бассейновых) условий;

- принцип сдерживания заключается в том, что антропогенное воздействие не должно приводить к существенному изменению гидрохимического фона реки, в противном случае последует нарушение экологического состояния водных объектов и ухудшение качества вод;

- принцип разделения заключается в том, что нормирование химического воздействия следует осуществлять отдельно: для веществ антропогенного происхождения (на основе федеральных ПДК), полученных в лабораторных условиях, а для веществ двойного генезиса на основе бассейновых допустимых концентраций (БДК), учитывающих природные гидрохимические особенности водных объектов.

## ВЫВОДЫ

Для создания условий для устойчивого водопользования в бассейне реки Волга в ближайшей перспективе предстоит решать следующие задачи:

1) Координация научных исследований по изучению процесса массового развития цианобактерий на водохранилищах и разработка водоохраных мероприятий по предотвращению «цветения воды» и минимизации его негативных последствий.

2) Разработка Программы сокращения сброса неочищенных сточных вод с не канализованных территорий. Минимизация сброса биогенных веществ в составе сточных вод за счет модернизации сооружений биологической очистки и внедрением технологии глубокого удаления биогенных веществ. Внедрение химических методов удаления фосфора фосфатов. Для снижения биогенной нагрузки необходимо рассмотреть возможность внесения изменений или дополнений в федеральные и региональные программы: «Развитие водохозяйственного комплекса» и «Развитие коммунальной инфраструктуры».

3) Создание информационной базы данных об источниках диффузного загрязнения с использованием ГИС-технологий и каталога современных технологий ведения сельского хозяйства для минимизации поступления диффузного загрязнения с водосборных территорий боковых притоков. В целях предотвращения диффузного загрязнения водных объектов предлагается использовать следующие мероприятия: внедрение современных технологий использования минеральных удобрений; создание водоохраных зон и прибрежных полос; высадка лесных полос; устройство бессточных прудов и канав; заболачивание территорий и снегозадержание и др. Защитные мероприятия можно разделить на три группы: 1 группа – это снижение объема загрязняющих вод; 2 группа – перехват объема загрязнений в транзитной зоне; 3 - повышение самоочищающей способности водных объектов.

4) Оптимизация сезонного, недельного и суточного режима регулирования водного стока на гидроузлах. При регулировании процесса «цветения воды» в условиях неблагоприятных метеорологических условиях следует обратить внимание на недельное регулирование водного стока на гидроузлах. В выходные дни расходы воды в створах гидроузлов могут понижаться до уровня санитарных пусков. В результате проточность водохранилищ снижается, и создаются благоприятные условия для массового развития цианобактерий. Представляется целесообразным внести изменения в действующие «Правила эксплуатации водохранилищ» для оптимизации недельного режима регулирования водного стока при неблагоприятных метеорологических условиях.

5) Разработка соглашений о трансграничном переносе биогенных веществ по каскаду

Волжско-Камских водохранилищ. В Волжский бассейн входят полностью или частично 39 субъектов РФ, которые вносят свою лепту в формирование биогенной нагрузки на реку Волга. Предстоит оценить вклад каждого субъекта РФ в формирование биогенной нагрузки и ранжировать их по степени негативного воздействия. В этих регионах должны быть разработаны региональные Программы поэтапного снижения биогенной нагрузки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будыко, М.И. Современное потепление / М.И. Будыко, Н.А. Ефимова, К.М. Лугина // Метеорология и гидрология. – 1993. – № 7. – С. 29-34.
2. Вуглинский, В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР / В. С. Вуглинский. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 223 с.
3. Дмитриева, В.А. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона / В.А. Дмитриева, Е.Г. Нефедова // Вопросы географии. – 2018. – № 145. – С. 285-297.
4. Копылов, А.И. Сезонные и межгодовые колебания первичной продукции фитопланктона в Рыбинском водохранилище: влияние погодных и климатических изменений / А.И. Копылов, Т.С. Масленникова, Д.Б. Косолапов // Водные ресурсы. – 2019. – № 46(3). – С. 270-277.
5. Коронкевич, Н. И. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государствах в конце XX столетия / Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева. – М.: Наука. 2003. 367 с.
6. Литвинов, А.С. Термический режим Рыбинского водохранилища при глобальном потеплении / А.С. Литвинов, А.В. Законнова // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 9. – С. 91-96.
7. Селезнева, А.В. Оценка диффузного загрязнения Саратовского водохранилища / А.В. Селезнева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20. – № 5-2 (85). – С. 196-203.
8. Селезнева, А.В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья / А.В. Селезнева, В.А. Селезнев, К.В. Беспалова // Поволжский экологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 88-96.
9. Селезнева, К.В. Содержание растворенного кислорода в воде Куйбышевского водохранилища в условиях массового развития водорослей / К.В. Селезнева, А.В. Селезнева, В.А. Селезнев // Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология. – 2022. – № 3. – С. 97-108.
10. Слынько, Ю.В. Рыбы пресных вод Понто-Каспийского бассейна (Разнообразие, фауногенез, динамика популяций, механизмы адаптации) / Ю.В. Слынько, В. Г. Терещенко. – М.: Полиграф-плюс. 2014. – 328 с.
11. IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner [and others]. 2013. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY. USA. 1535 p.

#### INFLUENCE OF THE MASS DEVELOPMENT OF CYANOBACTERIA ON THE FORMATION OF THE WATER QUALITY OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR (PROBLEM AND SOLUTIONS)

© 2023 K.V. Selezneva<sup>1,2</sup>, A.V. Selezneva<sup>1</sup>, V.A. Seleznev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of Volga River Basin RAS, Togliatti, Russia

<sup>2</sup> Togliatti State University, Togliatti, Russia

The process of mass development of cyanobacteria has a negative impact on the ecological state and water quality of the reservoirs of the Volga-Kama cascade, which are used for drinking water supply, fisheries and recreation. The main goal of the research is to assess the impact of the mass development of cyanobacteria on the formation of water quality using the example of the Kuibyshev reservoir in the context of global warming. Comprehensive observations were carried out in the period 2001-2021. on the largest in Europe Kuibyshev reservoir with seasonal, weekly and daily regime of water line regulation. The research results show that during the period of "water bloom" organic water pollution increases. So permanganate oxidation in summer exceeds the permissible value by 1.5-2.0 times, which creates problems in providing the population with high-quality drinking water. The mass development of cyanobacteria disrupts the oxygen regime of the reservoir. The seasonal variability of the dissolved oxygen concentration includes four periods, which differ in the different directions of the processes of formation of the oxygen regime. Within the year, two minima of the dissolved oxygen content are observed: winter and summer. In the summer minimum, the concentration of dissolved oxygen decreases to critical values, and is 4-5 mg/dm<sup>3</sup>. The mass development of cyanobacteria has a significant influence on the formation of the summer oxygen minimum. As a result of photosynthetic aeration, a thin surface layer of water supersaturated with oxygen is formed, which disrupts the process of oxygen absorption from the atmosphere in a significant part of the reservoir water area. Under conditions of growing nutrient load and global climate warming, the intensity and scale of the process of mass development of cyanobacteria in the Kuibyshev reservoir will only increase, which will lead to a further increase in oxygen deficiency, deterioration of water quality and the emergence of water use risks.

**Key words:** reservoir, biogenic load, mass development of cyanobacteria, water quality, organic pollution, violation of the oxygen regime, risks of water use.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-5-164-174

EDN: ZUQMLE

## REFERENCES

1. *Budyko, M.I. Sovremennoe poteplenie / M.I. Budyko, N.A. Efimova, K.M. Lugina // Meteorologiya i gidrologiya. – 1993. – № 7. – S. 29-34.*
2. *Vuglinskij, V.S. Vodnye resursy i vodnyj balans krupnyh vodohranilishch SSSR / V. S. Vuglinskij. – L.: Gidrometeoizdat, 1991. – 223 s.*
3. *Dmitrieva, V.A. Gidrologicheskaya reakciya na menyayushchiesya klimaticheskie usloviya i antropogennuyu deyatel'nost' v bassejne Verhnego Dona / V.A. Dmitrieva, E.G. Nefedova // Voprosy geografii. – 2018. – № 145. – S. 285-297.*
4. *Kopylov, A.I. Sezonnnye i mezhgodovye kolebaniya pervichnoj produkcii fitoplanktona v Rybinskom vodohranilishche: vliyaniye pogodnyh i klimaticheskih izmenenij / A.I. Kopylov, T.S. Maslennikova, D.B. Kosolapov // Vodnye resursy. – 2019. – № 46(3). – S. 270-277.*
5. *Koronkevich, N.I. Antropogennnye vozdejstviya na vodnye resursy Rossii i sopredel'nyh gosudarstvah v konce XX stoletiya / N.I. Koronkevich, I.S. Zajceva. – M.: Nauka. 2003. 367 s.*
6. *Litvinov, A.S. Termicheskij rezhim Rybinskogo vodohranilishcha pri global'nom poteplenii / A.S. Litvinov, A.V. Zakonnova // Meteorologiya i gidrologiya. – 2012. – № 9. – S. 91-96.*
7. *Selezneva, A.V. Ocenka diffuznogo zagryazneniya Saratovskogo vodohranilishcha / A.V. Selezneva // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2018. – T. 20. – № 5-2 (85). – S. 196-203.*
8. *Selezneva, A.V. Massovoe razvitie vodoroslej na vodohranilishchah r. Volgi v usloviyah malovod'ya / A.V. Selezneva, V.A. Seleznev, K.V. Bespalova // Povolzhskij ekologicheskij zhurnal. – 2014. – № 1. – S. 88-96.*
9. *Selezneva, K.V. Soderzhanie rastvorennogo kisloroda v vode Kujbyshevskogo vodohranilishcha v usloviyah massovogo razvitiya vodoroslej / K.V. Selezneva, A.V. Selezneva, V.A. Seleznev // Vestnik VGU, Seriya: Geografiya. Geoekologiya. – 2022. – № 3. – S. 97-108.*
10. *Slyn'ko, Yu.V. Ryby presnyh vod Ponto-Kaspijskogo bassejna (Raznoobrazie, faunogenez, dinamika populyacij, mekhanizmy adaptacij) / Yu.V. Slyn'ko, V. G. Tereshchenko. – M.: Poligraf-plyus. 2014. – 328 s.*
11. *IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner [and others]. 2013. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY. USA. 1535 p.*

*Ksenia Selezneva, Candidate of Chemical Sciences, Researcher, Associate Professor.*

*E-mail: kvbespalova@yandex.ru*

*Alexandra Selezneva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher.*

*E-mail: aleks.selezneva@mail.ru*

*Vladimir Seleznev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher. E-mail: seleznev53@mail.ru*