



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 3. С. 147–154

*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 3, pp. 147–154

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-3-147-154>, EDN: RVGTGO

Научная статья

УДК 582.26:502.7(470.324)



## Эколого-санитарное состояние Воронежского водохранилища в условиях «цветения» вод по материалам 2016–2022 годов

Г. А. Анциферова<sup>1</sup>, С. Л. Шевырев<sup>2</sup>, В. В. Кульнев<sup>3</sup>✉, Н. И. Русова<sup>4</sup>, Е. С. Галкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет, Россия, 394018, г. Воронеж, пл. Университетская, д. 1

<sup>2</sup> Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Россия, 690022, г. Владивосток, пр-т 100 летия Владивостока, д. 159

<sup>3</sup> Отдел государственного экологического надзора по Воронежской области Центрально-Черноземного межрегионального управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, Россия, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 105

<sup>4</sup> Военно-морской политехнический институт «Военно-морская академия им. адмирала флота Советского союза Н. Г. Кузнецова», Россия, 197045, г. Санкт-Петербург, Ушаковская набережная, д. 17/1

Анциферова Галина Аркадьевна, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования, [g\\_antsiferova@mail.ru](mailto:g_antsiferova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0040-6564>

Шевырев Сергей Леонидович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, [shevirev@mail.ru](mailto:shevirev@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6649-7492>

Кульнев Вадим Вячеславович, кандидат географических наук, ведущий специалист-эксперт, [kulnev@rpn36.ru](mailto:kulnev@rpn36.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1646-9183>

Русова Надежда Ивановна, кандидат географических наук, доцент кафедры радиационной, химической и биологической защиты, [nadezhda\\_minnikova@mail.ru](mailto:nadezhda_minnikova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9232-8059>

Галкина Екатерина Станиславовна, преподаватель кафедры природопользования, [korotkovaes@gmail.com](mailto:korotkovaes@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9384-4020>

**Аннотация.** *Цель.* Изучение экологического состояния Воронежского водохранилища в условиях «цветения» вод цианобактериями.

**Материалы и методы.** При оценке качества вод учитывались данные гидрохимического анализа, анализа распространения взвесей и температуры по акватории, материалы гидробиологического изучения (по фитопланктону), содержание микроцистинов в водах. **Результаты и их обсуждение.** Направленность антропогенных изменений, происходящих в экологическом состоянии водохранилища, прослежена для 2016–2022 годов. Необратимые последствия, связанные с ухудшением качества вод, четко проявились под влиянием аномально высоких летних температур воздуха в 2010–2012 годах, что сопровождалось массовым развитием «цветения» вод. Это привело к необратимым последствиям, поскольку на большей части акватории окончательно сформировалась обстановка экологического регресса. В настоящее время, включая 2022 год, происходит продолжительное летнее – осеннее «цветение» вод, связанное с ним увеличение объема органического вещества, формирование токсичности водной среды за счет продуцируемых цианобактериями цианотоксинов. Для этого периода нами проведена оценка распространения относительного содержания взвесей и температуры воды. **Заключение.** Прогноз трансформации качества вод неблагоприятен, поскольку она сопровождается направленным экологическим регрессом экосистемы водохранилища и подчеркивается интенсивным «цветением» вод. Для их реабилитации может быть рекомендован биотехнологический метод альголизаци.

**Ключевые слова:** альголизация, биоиндикация, водохранилище, поверхностные воды, микроводоросли, фитопланктон, «цветение» вод, цианотоксины, экологический регресс, эколого-санитарное состояние

**Для цитирования:** Анциферова Г. А., Шевырев С. Л., Кульнев В. В., Русова Н. И., Галкина Е. С. Эколого-санитарное состояние Воронежского водохранилища в условиях «цветения» вод по материалам 2016–2022 годов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 3. С. 147–154. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-3-147-154>, EDN: RVGTGO

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

**Ecological and sanitary condition of the Voronezh water reservoir under “blooming” conditions based on materials from 2016–2022**

G. A. Antsiferova<sup>1</sup>, S. L. Shevyrev<sup>2</sup>, V. V. Kul'nev<sup>3</sup>✉, N. I. Rusova<sup>4</sup>, E. S. Galkina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russia

<sup>2</sup>Far Eastern Geological Institute FEB RAS, 159 100 letiya Vladivostok Ave, Vladivostok 690022, Russia

<sup>3</sup>Department of State Ecological Supervision for Voronezh region of the Central Black Earth Interregional Directorate of the Federal Service for Supervision of Natural Resources, 105 Lomonosova St., Voronezh 394087, Russia



<sup>4</sup>Naval Polytechnic Institute “Admiral N. G. Kuznetsov Naval Academy of the Soviet Union Navy”, 17/1 Ushakovskaya naberezhnaya, St. Petersburg 197045, Russia

Galina A. Antsiferova, g\_antsiferova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0040-6564>

Sergey L. Shevirev, shevirev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6649-7492>

Vadim V. Kul'nev, kulnev@rpn36.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1646-9183>

Nadezhda I. Rusova, nadezhda\_minnikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9232-8059>

Ekaterina S. Galkina, korotkova.es@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9384-4020>

**Abstract. The aim.** Study of the ecological state of the Voronezh reservoir under conditions of “blooming” of water by cyanobacteria. **Materials and Methods.** Evaluating water quality data of hydrochemical analysis, assessment of suspended solids distribution and temperature in the water area, materials of hydrobiological study (phytoplankton), microcystin content in water have been taken into account. **Results and Discussion.** The direction of anthropogenic changes occurring in the ecological state of the reservoir has been traced for 2016–2022. The irreversible effects associated with water quality deterioration were clearly evident under the influence of abnormally high summer air temperatures in 2010–2012, accompanied by the massive development of water “blooms”. This has had irreversible consequences, as an ecological regression has finally taken shape in most of the water area. At present, including 2022, there is a prolonged summer-autumn “bloom” of waters, the associated with it an increase in the volume of organic matter, formation of aquatic toxicity due to cyanotoxins produced by cyanobacteria. For this period we have evaluated the distribution of the relative content of suspended solids and water temperature. **Conclusion.** The prognosis of water quality transformation is unfavourable, as it is accompanied by a directed ecological regression of the reservoir ecosystem, and is emphasized by intensive “blooming” of waters. For their rehabilitation, a biotechnological method of algolisation can be recommended. **Keywords:** algolisation, bioindication, reservoir, surface water, microalgae, phytoplankton, water ‘bloom’, cyanotoxins, ecological regression, ecological-sanitary status

**For citation:** Antsiferova G. A., Shevirev S. L., Kul'nev V. V., Rusova N. I., Galkina E. S. Ecological and sanitary condition of the Voronezh water reservoir under “blooming” conditions based on materials from 2016–2022. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 3, pp. 147–154 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-3-147-154>, EDN: RVGTGO

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

Актуальность исследований, связанных с изучением эколого-санитарного состояния водных объектов в пределах урбанизированных территорий, трудно переоценить. При современном уровне антропогенной (техногенной) нагрузки на поверхностные воды их токсичное «цветение» распространено практически повсеместно.

Воронежское водохранилище является проточно-русловым водоемом, существующим в нижнем течении р. Воронеж, примерно в 4 км от ее впадения в р. Дон. Оно расположено внутри имеющей интенсивное хозяйственное и промышленное освоение территории крупного областного центра – г. Воронеж, который определяет экологическое состояние водосбора и воздействует на качество вод. Заполнение водохранилища произошло в 1972 году. Целенаправленные исследования сообществ фитопланктона проводятся нами с 1988 года, когда впервые сложились экологические условия, способствующие «цветению» вод. В статье рассматриваются гидрохимические и температурные параметры вод и их экологическое состояние. Загрязнение водохранилища тяжелыми металлами, нефтепродуктами и другими веществами осложнено загрязнением микроцистинами (цианотоксинами), которые вырабатываются цианобактериями, обуславливающими «цветение» вод. Для восстановления их экологического качества может быть рекомендован биотехнологический метод альголизации.

## Материалы и методы

Статья в основном опирается на материалы исследований Воронежского водохранилища 2016–2022 годов, но при этом учтены и данные наблюдений 2010–2016 годов.

Гидрохимическая оценка состояния водохранилища осуществлялась с использованием архивных помесечных данных за период наблюдений в четырех точках – у Чертовицкого моста, в районе сброса сточных вод шинного завода, на левобережье и правобережье в приплотинной части [1]. Всего за шестилетний период наблюдений было отобрано 288 проб воды.

Количественный химический анализ проводился путем определения содержания загрязняющих веществ, общее количество которых составило 31 наименование. Всего было сделано 8928 измерений. По ряду веществ согласно общепринятой методике был рассчитан суммарный показатель загрязнения (СПЗ) воды по формуле

$$\text{СПЗ} = \sum_{j=1}^{15} K_k - (n - 1),$$

где  $K_k$  – коэффициент концентрации, определяемый через отношение  $\frac{C_i}{C_{\text{пдк}_j}}$ , здесь  $C_j$  – концентрация  $j$ -го загрязняющего вещества;  $C_{\text{пдк}_j}$  – предельно допустимая концентрация  $j$ -го загрязняющего вещества,  $n$  – количество загрязняющих веществ.

В 2017 году в Воронежском водохранилище проводилось изучение токсичности водной



среды, связанной с цианотоксинами, продуцируемыми при «цветении» вод цианобактериями. Одновременно проводились гидрохимический и гидробиологический (по фитопланктону) анализы. Изучение микроцистинов (другие виды цианотоксинов не определялись) проводилось на кафедре органической химии химического факультета МГУ на специальной установке под руководством В. С. Петросяна. Полученные результаты предельно допустимых концентраций (ПДК) микроцистинов сравнивались с нормативом Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) для вод разного назначения. Суммарная концентрация микроцистинов для питьевых вод, уровень их ПДК, составляет 1 мкг/л, для водоемов рекреационной зоны – 4 мкг/л [2, 3].

На основе анализа космических изображений по материалам съемок радиометра ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), находящегося на борту спутника «Terra», проведена оценка относительного распространения взвесей и температуры. Дневные снимки были получены 29 июля 2016 года и 5 апреля 2022 года; ночные термальные снимки сделаны 15 июля 2016 года и 2 июля 2022 года соответственно [4].

Оценивались доступные в архиве EarthExplorer дневные изображения видимого и ближнего инфракрасного диапазона (VNIR), имеющие спектральный охват 0,52–0,86 мкм и пространственное разрешение 15 м, а также ночные термальные инфракрасные изображения (TIRS) со спектральным охватом 8,125–11,65 мкм и пространственным разрешением 90 м.

С использованием каналов ASTER VNIR с помощью выражения, описанного в [4, 5]

$$Turb = \frac{(Band3 \cdot Band2)}{Band1},$$

на акватории водохранилища проведена оценка качественного распространения взвесей, мутности (Turbidity, Turb).

### Результаты и их обсуждение

Гидрохимический анализ качества воды, который проводился в марте и сентябре 2017 года путем нормирования на величины ПДК, показал их превышение по следующим показателям: ХПК (до 1,64 ПДК), БПК<sub>5</sub> (1,5 ПДК), аммоний-ион (2,6 ПДК), нитрит-ион (до 4,25 ПДК), фосфат-ион (до 7 ПДК), цветность (до 2,4 ПДК); содержание растворенного кислорода в воде в марте до 6 раз ниже нормы и в сентябре на границе ПДК; превышение ПДК таких показателей, как ХПК, БПК<sub>5</sub> и нитрит-ион сезонное; превышение ПДК по фосфат-иону и цветности наблюдается как в холодное время года, так и в теплое.

Анализ значений СПЗ показал, что ведущими поллютантами являются тяжелые металлы:

медь, цинк, хром общий, железо общее, а также взвешенные вещества (табл. 1).

Динамика изменения суммарного показателя загрязнения за период с 2016 по 2021 год показывает, что происходит направленное увеличение его значения.

Низкие его значения (например, 1,4; 2,3) в верховьях водохранилища характерны для проб, в которых определение содержания тяжелых металлов не производилось.

Описание пространственной динамики изменения суммарного показателя загрязнения показывает, что наиболее загрязненной является акватория нижнего участка, наименее загрязнены воды в верховьях водохранилища, у Чертовичского моста.

Согласно полученным данным состояние Воронежского водохранилища в эколого-гидрохимическом отношении характеризуется как экологическое бедствие [6]. Наиболее значимыми поллютантами, вносящими основной вклад в значение СПЗ, являются тяжелые металлы: медь, цинк, хром общий и общее железо. По меди (II) до 5700 ПДК, по цинку (II) до 600 ПДК, по общему хрому до 150 ПДК.

Отмечено, что с ростом температуры вод и открытием навигации на акватории Воронежского водохранилища закономерно происходит увеличение концентрации взвешенных веществ и тяжелых металлов, депонируемых в донных отложениях. Сведения об источниках поступления указанных поллютантов приведены в работе Г. С. Сейдалиева и И. И. Косиновой [7].

Процесс глобальных климатических изменений общепризнан, в частности, он резко проявился на примере аномально высоких летних температур воздуха и вод в 2010–2012 годах [8]. Экстремальные температурные условия предопределили более продолжительное время вегетации цианобактерий, где-то с середины июня и до середины – двадцатых чисел – сентября. Ранее это происходило с середины июля до середины – конца августа. Объяснение тому связано с разложением большого объема органического вещества, аккумулирующегося в донных осадках, которое сопровождается выделением тепловой энергии.

В водоеме сложились условия, предопределившие неконтролируемое «цветение» вод цианобактериями. Это вызывает образование повышенного объема численности и биомассы цианобактерий, а также с началом понижения температуры вод – их массовое отмирание и разложение. Данный процесс сопровождается выделением специфических веществ в атмосферный воздух и, что представляет еще большую опасность, – в водную среду и донные отложения [9, 10].

Исследования состояния Воронежского водохранилища, которые проводятся нами начиная с 1988 года и продолжаются по настоящее



Таблица 1

**Значения суммарного показателя загрязнения (СПЗ) по точкам наблюдения Воронежского водохранилища с 2016 по 2021 год**

Год	Верховья		Нижний участок	
	Чернавский мост	Шинный завод	Плотина (левобережье)	Плотина (правобережье)
2016	21,6/4300,0	3732,9/6346,2	274,8/6596,6	2861/5213,4
2017	2,3/3194,7	1,75/7774,9	2400,0/5293,9	2271,2/5753,4
2018	1,4/5791,5	4589,7/9283,9	133,1/5034,9	2292,2/2985,3
2019	259,7/7195,6	4864,0/8275,9	811,4/5542,6	2483,9/5072,3
2020	263,9/4644,1	5283,6/8224,9	2398,2/5221,9	2492,8/4286,9
2021	93,43/3687,5	3534,4/6837,4	2294,6/4870,3	2375,0/4294,1
2016–2021 годы: минимальное и максимальное значения по СПЗ точкам наблюдения	1,4/7195,6	1,75/9283,9	133,1/6596,6	2271,2/5753,4

Примечание. Значения СПЗ: в числителе – минимальное, в знаменателе – максимальное.

время, позволяют достаточно адекватно оценить экологическую ситуацию и представить сценарий дальнейшего развития этой водной экосистемы в условиях глобальных климатических изменений. Эколого-санитарное состояние Воронежского водохранилища в последние годы определяется интенсивным «цветением» вод цианобактериями. Причем наиболее четко неблагоприятные экологические условия проявляются в Масловском затоне на левобережье нижнего участка водохранилища, где располагается очаг мощного неконтролируемого «цветения» вод, которое зафиксировано от плотины до моста ВОГРЭС и прослеживается выше по течению, до Северного моста и далее, до железнодорожного моста. Тяжелый неприятный землистый и канализационный запах определяется массовым развитием видов загрязненных местообитаний, таких как *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. и его форм, а также других. Из очага массового развития широко распространен вид *Microcystis ichthyoblabe* Kütz. Данные виды также наблюдаются в русле р. Воронеж ниже плотины водохранилища в виде мощных дерновин и скоплений [9, 11]. В вегетационный сезон

2022 года уже в конце мая – начале июня наблюдалось «цветение» вод.

К настоящему времени накоплен обширный фактический материал, который позволяет сделать вывод о том, что экосистема водохранилища по степени кризисности процессов самоочищения вод находится в неустойчивом состоянии. Степень кризисности водохранилища на верхнем участке акватории, расположенном выше железнодорожного моста и до его верховьев, находится в стадии обратимых изменений. Далее следует пороговая стадия, которая переходит в стадию необратимых изменений, что и наблюдается в пределах среднего и особенно нижнего приплотинного участка акватории.

В водной экосистеме происходит направленное снижение качества вод и увеличение их токсичности, в частности, в результате накопления цианотоксинов (табл. 2) [2, 3].

В соответствии с установленными ВОЗ нормативами для водоемов рекреационной зоны по суммарному количеству микроцистинов в водах Воронежского водохранилища нормативу соответствует только проба 1 (железнодорожный мост), в которой обнаружено лишь следовые количество микроцистина MC-LR. Нормативам

Таблица 2

**Результаты анализа микроцистинов LR, RR, YR в водных пробах с показателями концентраций (нг/м) (Воронежское водохранилище, 2017 год [3])**

Номер пробы	MC-LR	MC-RR	MC-YR	Общая концентрация
	Концентрация			
1 (железнодорожный мост)	Следы	0	0	Следы
2 (Чернавский мост)	27,48	15,71	9,00	52,19
3 (правобережье ниже моста ВОГРЭС)	33,36	25,12	21,67	80,15
4 (Масловский затон)	32,79	34,07	21,82	88,68
5 (плотина, водовыпуск)	8,62	7,50	3,60	19,73



ВОЗ не соответствует качество вод в пробах 2–5 [1, 3].

Сложность экологической ситуации, характерной в настоящее время для водохранилища, была подтверждена Е. В. Беспаловой на основе графического анализа таксономического состава сообществ фитопланктона, изученных нами для вегетационных сезонов 2013–2016 годов (рис. 1) [12].

В расположении трендов трансформации сообществ наблюдается хаотичность. Отсутствие общего центра происходит вследствие значительных негативных нагрузок на водоем и свидетельствует о нарушении целостности экосистемы, что и позволило Е. В. Беспаловой [12] подтвердить, что состояние водной экосистемы соответствует экологическому регрессу.

Прогноз трансформации качества вод неблагоприятен, поскольку она сопровождается направленным экологическим регрессом экосистемы водохранилища и подчеркивается интенсивным «цветением» вод. Для Воронежского водохранилища может быть рекомендовано проведение реабилитации вод с помощью экологически безопасного биотехнологического метода альголизаци.

Положительный опыт реабилитации подобных вод методом альголизаци получен более чем на пятистах водоемах России, в том числе это Матырское водохранилище (Липецкая область) и водоем-приемник сточных вод Челябинского металлургического комбината (Челябинская область) [13–15].

Для акватории Воронежского водохранилища была проведена оценка относительного распространения взвесей, температуры воды на основе анализа космических изображений ASTER [5]. Подобные исследования ранее проводились нами для Белгородского и Старооскольского водохранилищ [14].

Композитные изображения на дневных и ночных снимках позволяют оценить распределение гидро- и аэрозольей, а также характер подстилающей поверхности. Композитное изображение RGB321 (рис. 2), рассчитанное для исследуемых водных объектов, применяется также для изучения распространения городской застройки, почв и сельскохозяйственных культур и позволяет оценить границы водных объектов и береговые линии [16, 17].

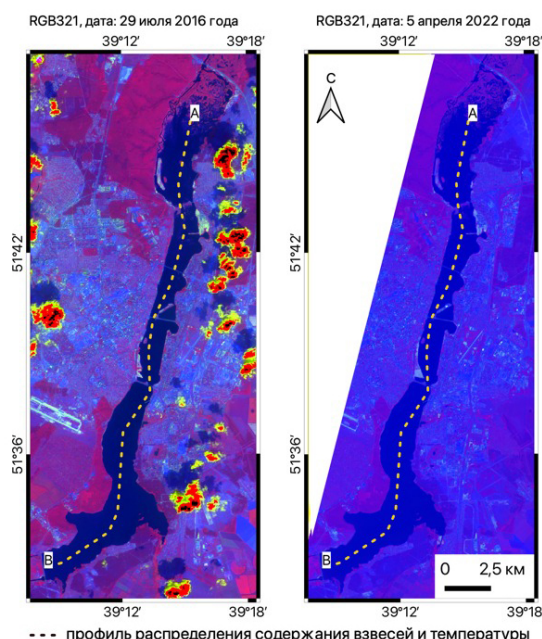


Рис. 2. Композитное изображение ASTER RGB321 для Воронежского водохранилища. Даты съемки 29.07.2016 г. и 05.04.2022 г.: А – начало профиля; В – конец профиля (цвет онлайн)

Анализ композитных изображений спектральных отражений RGB321 для изучаемого водного объекта (см. рис. 2) показывает, что на пространстве, прилегающем к Воронежскому

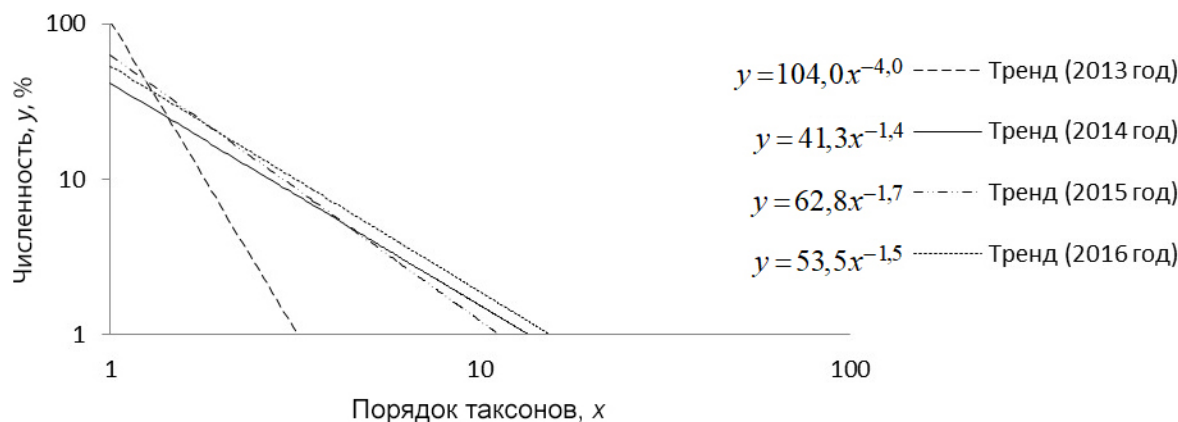


Рис. 1. Трансформация сообществ микроводорослей и цианобактерий Масловского затона (логарифмическая система координат  $0,80 < R2 < 0,98$ ) [12]



водохранилищу, в среднем и нижнем течении доминируют урбанизированные территории, побережья в верховьях водохранилища залесены.

Полученный нами результат носит качественный характер, так, мутность воды вызвана разными причинами, и для получения количественного результата необходимы выполнение многократных наблюдений in-situ и подбор регрессионных коэффициентов [4].

Расчет показателя мутности позволил построить изображения его распределения и профили изменения по течению (рис. 3).

Анализ изображения и профиля распределения мутности на акватории водохранилища показывает, что она распределена неравномерно. В верховьях водохранилища мутность относительно повышена, что в летнее время, вероятно, связано с проявлением плоскостного смыва. По направлению к нижнему участку она постепенно снижается. Возможно, невысокое значение показателя мутности вдоль основной протяженности побережья связано с урбанизированностью территории. Заметная разница в изображениях лета 2016 года и весны 2022 года связана с сезонным «цветением» вод и уменьшением их прозрачности в теплое время года (см. рис. 3).

На основе анализа термальных инфракрасных снимков ASTER акватории установлено распределение температуры на акватории (рис. 4).

Видно, что температура изменяется по акватории незначительно (изображение части водохранилища перед дамбой для снимка 2 июля

2022 года недоступно), резкие пики связаны с наличием мостов и гидротехнических сооружений. Интересно наличие вдоль высокого правого берега полосы более холодных вод (температуры на 1–2°C ниже). Вероятно, это связано с дренированием подземных вод и плоскостным стоком.

Анализ температурных данных 1973–2021 годов [18] показал стабильный рост наибольшей температуры воды на нижнем участке акватории Чернавский мост – плотина. Среднее значение за весь период составляет 27,0°C, наибольшее значение – 30,5°C – отмечалось в 2011 году, а с 2011 по 2021 год температура воды не опускалась ниже 26°C.

Динамика средних за год значений температур по всей акватории водоема показывает их незначительное уменьшение и составляет 14,5°C, что обусловлено морфометрическими характеристиками водоема и переходом через 0,2°C в осенне – зимний период. В июле 2016 года и 2022 года изменение температуры вод наблюдается в диапазоне от 16 до 24°C. Следует отметить, что среднегодовые значения температуры за весь период не опускаются ниже 11,0°C.

Высокие температуры вод в пределах нижнего участка и акватории водоема в целом способствуют началу «цветения» вод в более ранние сроки вегетации и его большей продолжительности. Эти особенности способствуют еще большему ухудшению экологической ситуации в водохранилище.

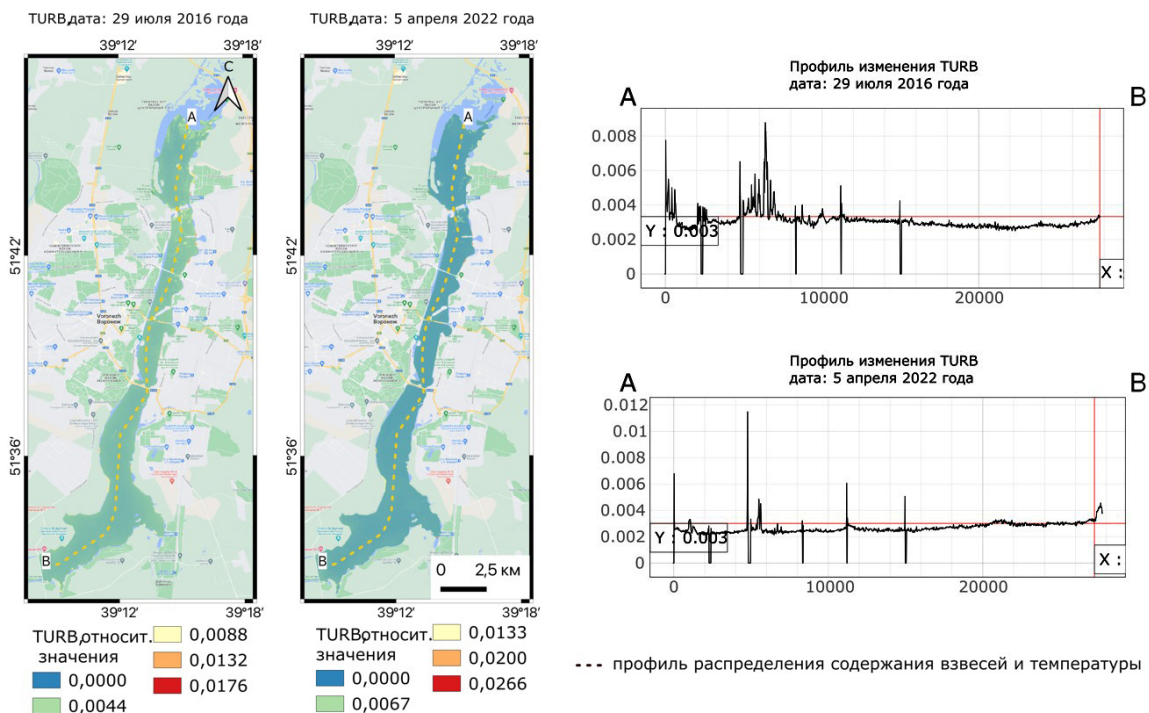


Рис. 3. Распределение показателя мутности на акватории Воронежского водохранилища. Даты съемки 29.07.2016 г. и 05.04.2022 г. (цвет онлайн)

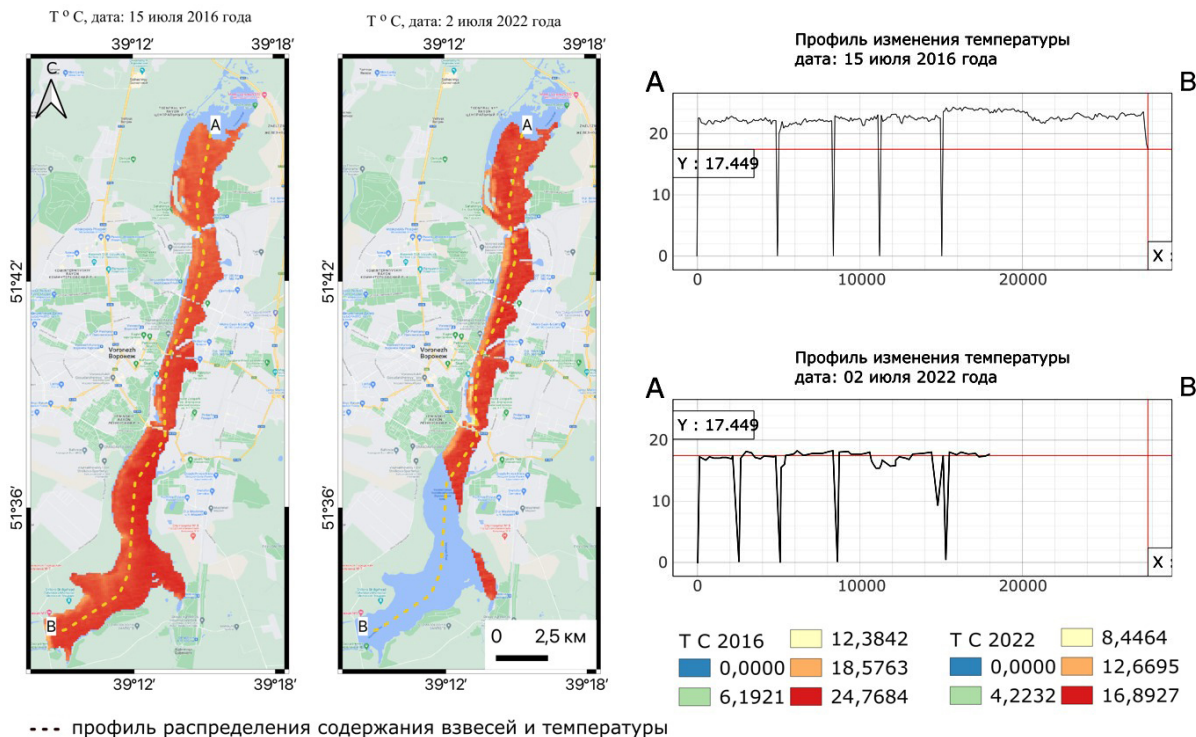


Рис. 4. Распределение температуры, рассчитанной по данным ASTER на акватории Воронежского водохранилища для 15.07.2016 года и 02.07.2022 года (цвет онлайн)

## Заключение

В условиях глобальных климатических изменений на фоне высоких летних температур воздуха и воды происходит направленное ухудшение эколого-санитарного качества вод.

В условиях антропогенного (техногенного) воздействия загрязнение Воронежского водохранилища тяжелыми металлами, нефтепродуктами и другими веществами осложнено загрязнением микроцистинами (цианотоксинами) вследствие «цветения» вод цианобактериями. Подобный процесс развития экологической ситуации достоверно прогнозируется на последующие годы. Положительный опыт реабилитации подобных вод методом альголизации может быть рекомендован для Воронежского водохранилища.

Проблема качества вод Воронежского водохранилища, пополняющего неоген-четвертичный водоносный комплекс, который используется для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения населения и предприятий г. Воронежа, стоит чрезвычайно остро. Ее разрешение возможно в первую очередь на основе применения экологически безопасного биотехнологического метода альголизации вод [19–21], а также соблюдения очистки стоков, поступающих в водохранилище.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## Библиографический список

1. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодное издание ФГБУ «Гидрохимический институт». Москва. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/ezhegodniki/> (дата обращения: 09.12.2022).
2. Петросян В. С. Химическая безопасность и альголизация водоемов // Приоритетные направления экологической реабилитации Воронежского водохранилища: материалы Всероссийской конференции. Воронеж : Научная книга, 2012. С. 311–319.
3. Петросян В. С., Анциферова Г. А., Акимов Л. М., Кульнев В. В., Шевырев С. Л., Акимов Е. Л. Оценка и прогноз эколого-санитарного состояния Воронежского водохранилища на 2018–2019 годы // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23, № 7. С. 52–56. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-7-52-56>, EDN: FHVNRR
4. Abdelmalik K. W. Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2016. № 21. P. 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.002>
5. Шевырев С. Л., Борискина Н. Г., Шевырева М. Ж., Горобейко Е. В. Распаковка и предварительная обработка дистанционной основы формата HDF в PYTHON (на примере данных TERRA ASTER) // Успехи современного естествознания. 2022. № 10. С. 93–99. <https://doi.org/10.17513/use.37914>, EDN: VTLUDU
6. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Инженерная геология и экологическая экология: теоретико-методологические основы и взаимоотношение. Москва : Издательство Московского университета, 1999. 119 с.



7. Сейдалиев Г. С., Косинова И. И. Геоэкологический мониторинг акватории Воронежского водохранилища // Экология урбанизированных территорий. Москва, 2015. Вып. 3. С. 97–102. EDN: UNXXOV
8. Акимов Л. М., Задорожная Т. Н. Особенности распределения трендов температуры воздуха на европейской территории России и сопредельных государств // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : География. Геоэкология. 2018. № 4. С. 5–14. EDN: YRVSLZ
9. Анциферова Г. А., Кульнев В. В., Шевырев С. Л., Беспалова Е. В., Русова Н. И., Скозарь А. Е. Искусственные водные объекты бассейна реки Воронеж и альгобиотехнология в управлении качеством вод // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 8. С. 50–54. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-8-50-54>, EDN: MSUYPK
10. Фрактальный анализ биологической реабилитации водных объектов методом коррекции альгоценоза / А. Н. Насонов, И. В. Цветков, В. В. Кульнев [и др.] // Проблемы управления водными и земельными ресурсами: материалы международного научного форума: в 3 частях. Москва : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2015. Ч. 1. С. 165–180. EDN: ZRVKFFV
11. Анциферова Г. А. Экологическая ситуация в Масловском затоне летом 2013 года – фрагмент сценария неблагоприятного развития ЭГС Воронежского водохранилища // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: материалы Третьей международной научно-практической конференции. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2013. С. 78–79.
12. Беспалова Е. В. Методика комплексной геоэкологической оценки трансформаций водных экосистем (озер и водохранилищ): автореферат диссертации ... кандидата географических наук. Воронеж, 2018. 28 с.
13. Анциферова Г. А., Русова Н. И., Хотак М. Ю., Кульнев В. В. Альголизация как метод очистки сточных вод металлургического производства (на примере Баландинского технологического пруда г. Челябинск) // Комплексные проблемы техносферной безопасности: материалы VI международной научно-практической конференции: в 3 частях. Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. Ч. 1. С. 436–441. EDN: NDGXBR
14. Анциферова Г. А., Шевырев С. Л., Биломар Е. Е., Галкина Е. С., Кульнев В. В., Хотак М. Ю. Биоиндикация состояния Белгородского и Старооскольского водохранилищ по фитопланктону (Белгородская область, Россия) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 2. С. 89–101. <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9314>, EDN: IAFYXY
15. Петросян В. С., Шувалова Е. А., Лухтанов В. Т., Кульнев В. В. Предотвращение загрязнения природных водоемов цианотоксинами с помощью микроводоросли *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 // Экология и промышленность России. 2015. № 4. С. 36–41. EDN: TMITPB
16. Abrams M., Hook S., Ramachandran B. ASTER user handbook. Ver. 2. URL: [https://lpdaac.usgs.gov/documents/262/ASTER\\_User\\_Handbook\\_v2.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/documents/262/ASTER_User_Handbook_v2.pdf) (дата обращения: 20.02.2022).
17. Nematollahi M. J., Alavipanah S. K., Zehtabian Gh. R., Jafari M., Janfaza E., Matinfar H. R. Assessment of ASTER Data for Soils Investigation Using Field // Data and GIS in Damghan Playa. 2012. Vol. 17. P. 241–248. <https://dx.doi.org/10.22059/jdesert.2013.35188>
18. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации. Мировой центр данных. Обнинск. URL: <https://www.meteo.ru/data> (дата обращения: 09.12.2022).
19. Кульнев В. В., Богданов Н. И., Лухтанов В. Т. Биологическая реабилитация водоемов путем структурной перестройки фитопланктонного сообщества // Аквакультура России: вклад молодых: материалы конференции молодых ученых и специалистов. Тюмень : Государственный научно-производственный центр рыбного хозяйства, 2012. С. 51–56. EDN: VXRKTJ
20. Лухтанов В. Т., Кульнев В. В. Биологическая реабилитация водоемов посредством структурной перестройки фитопланктонного сообщества // Труды географического общества Республики Дагестан. 2013. № 41. С. 140–143. EDN: RTLNEF
21. Анциферова Г. А., Кульнев В. В., Шевырев С. Л., Биломар Е. Е., Межова Л. А., Русова Н. И., Хотак М. Ю. Геоэкологическая оценка состояния искусственных водоемов зоны влияния металлургических предприятий // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 1. С. 4–12. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-1-4-12>, EDN: IAFYXY

Поступила в редакцию 25.04.2022; одобрена после рецензирования 10.06.2023; принята к публикации 28.07.2023  
The article was submitted 25.04.2022; approved after reviewing 10.06.2023; accepted for publication 28.07.2023