

## Биоиндикация состояния Белгородского и Старооскольского водохранилищ по фитопланктону (Белгородская область, Россия)

Г. А. Анциферова<sup>1</sup> ✉, С. Л. Шевырев<sup>2</sup>, Е. Е. Биломар<sup>3</sup>,  
Е. С. Галкина<sup>1</sup>, В. В. Кульнев<sup>4</sup>, М. Ю. Хотак<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет, Российская Федерация  
(394068, г. Воронеж, ул. Хользунова, 40)

<sup>2</sup>Дальневосточный геологический институт» Дальневосточного отделения  
Российской академии наук, Российская Федерация  
(690022, г. Владивосток, просп. 100-летия Владивостоку, 159)

<sup>3</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Донтрейд», Российская Федерация  
(394026, г. Воронеж, ул. Электросигнальная, 20)

<sup>4</sup>Центрально-Черноземное межрегиональное управление Федеральной службы  
по надзору в сфере природопользования, Российская Федерация  
(394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, 105)

**Аннотация:** Цель – охарактеризовать искусственные водные объекты территории Курской магнитной аномалии (КМА) в пределах Белгородской области для обоснования критериев по выявлению экологического состояния поверхностных вод в условиях техногенной нагрузки.

**Материалы и методы.** Оценка экологического состояния Белгородского и Старооскольского водохранилищ проводилась с помощью методов биоиндикации расчетом индекса сапробности и сопоставления таксономического и экологического составов сообществ фитопланктона. Анализ космических снимков TerraASTER применялся для составления на их основе карт фактического материала.

**Результаты и обсуждение.** Состояние водных экосистем формируется в условиях техногенного воздействия водосборной территории, которое обуславливает состав сообществ микроводорослей и цианобактерий. Экологическое качество вод вызывает распространение видов цианобактерий, характерных для загрязненных местообитаний. На основе анализа космических изображений ASTER проведена оценка пространственного распространения взвесей и мутности вод для акваторий Белгородского и Старооскольского водохранилищ [11].

**Выводы.** Проведенные исследования использованы для определения качества вод по фитопланктону в условиях техногенной нагрузки. Результаты анализа распространения взвесей и мутности необходимы для обоснования критериев выявления экологического состояния водных объектов. Они могут быть использованы в качестве фоновых значений в случаях развития «цветения» вод.

**Ключевые слова:** биоиндикация, водные экосистемы, водохранилище, микроводоросли, поверхностные воды, фитопланктон, цианобактерии, экологическое состояние.

**Источник финансирования:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00779.

**Для цитирования:** 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. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9314>



## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования экологического состояния поверхностных вод Белгородской области определяется тем, что данный регион центральной России относится к Курской магнитной аномалии (КМА), представляющей крупнейшее в мире железорудное месторождение. В Белгородской области развиты горнодобывающая и металлургическая промышленность, отрасли агропромышленного производства, транспортные коммуникации, и осуществляется постоянная антропогенная (техногенная) нагрузка на поверхностные воды.

Вследствие взаимообусловленности процессов, происходящих в геосистеме «водоем – водосборная территория», загрязнение водных объектов осуществляется в результате поступления коммунально-бытовых стоков, хозяйственно-промышленной и сельскохозяйственной деятельности, от транспортных и энергетических коммуникаций, от различных промышленных предприятий, поверхностного стока с промышленных площадок, за счет рассеянного стока с водосборной территории, атмосферного массопереноса загрязняющих веществ.

На территории области, расположенной в лесостепной географической зоне, лесистость составляет до 10 % при распаханности до 80 %. Природные ландшафты сохранились фрагментарно, например, это выходы на дневную поверхность отложений белого пещего мела.

Изъятие минеральных ресурсов – железной руды, мела, глин, песка – сопровождается карьерными выемками, при работе горно-обогатительных комбинатов (ГОК) формируются отвалы вскрышных горных пород, хвостохранилища, шламохранилища и другие техногенные формы рельефа [5, 7, 8, 9].

Исследование экологического состояния поверхностных вод проведено на примере Белгородского и Старооскольского водохранилищ.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Целью работы является рассмотрение общей характеристики Белгородского и Старооскольского водохранилищ и оценка эколого-биологического качества их вод. Критерием качества вод являются методы биоиндикации по сообществам микроводорослей и цианобактерий. В основу положен расчет индекса сапробности и анализ таксономического и экологического составов сообществ фитопланктона.

Проведенные исследования дополняются сбором и анализом материалов космических съемок радиометра ASTER, находящегося на борту

спутника Terra. На основе изображения видимого и ближнего инфракрасного диапазона (VNIR), прослежено и оценено относительное распространение гидро- и аэрозолей, а также характер подстилающей поверхности [11]. Это позволяет представлять состояние мутности вод числовыми значениями. Данный аналитический подход позволяет определять качество вод и направленность трансформаций, происходящих в водоемах техногенно нагруженных и урбанизированных территорий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Белгородское водохранилище** – долинного типа, имеет линейно-вытянутые очертания [2]. Оно расположено на реке Северский Донец южнее города Белгорода. Водохранилище создано в 1985 году.

Экологическое состояние водной среды водохранилища в основном формируется за счет поступления сточных вод с очистных сооружений города Белгорода, а также с рассеянным стоком с водосборной территории. Значимым источником поступления загрязненных стоков непосредственно в водоем являются село Пристенъ и поселок Маслова Пристань, который располагается на побережье в низовьях водохранилища [8, 9]. При увеличении объемов поступающих в водоем загрязняющих веществ возможно распространение «цветения» вод и изменение их эколого-биологического состояния по сценарию, который реализуется на примере Воронежского водохранилища [6].

Современное состояние качества вод водохранилища прослежено по сообществам фитопланктона, изученного в пробах, отобранных в сентябре 2020 года и июле 2021 года. Анализ таксономического состава сообществ микроводорослей, и особенно цианобактерий, позволяет судить о степени загрязненности водоема и выявлять направленность происходящих в нем антропогенных преобразований.

В составе фитопланктона среди микроводорослей и цианобактерий насчитывается 32–37 видов, принадлежащих 21–26 родам. Доминируют цианобактерии, зеленые и диатомовые водоросли. В отдельных пробах встречаются эвгленовые, золотистые и пиррифитовые водоросли (рис. 1).

Сообщества фитопланктона представлены цианобактериями, диатомовыми и зелеными водорослями.

Среди диатомовых водорослей вид *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim. и его разновидность *Aulacoseira italica var. tenuissima* (Grin.) Sim. имеют оценку обилия «нередко» – «часто». Виды *Cyclotella me-*

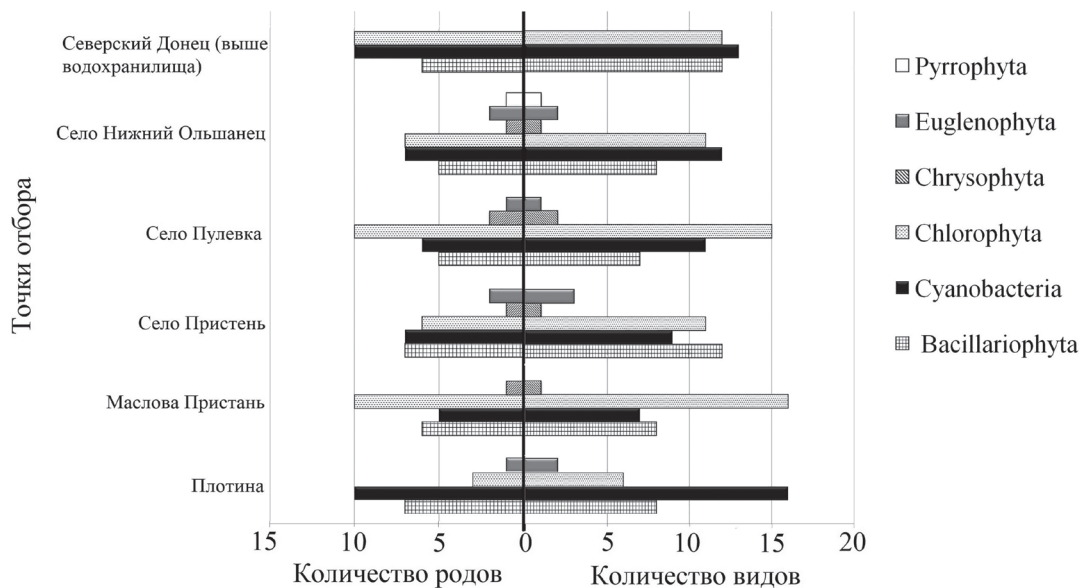


Рис. 1. Общий таксономический состав фитопланктона (микроводоросли и цианобактерии) Белгородского водохранилища (06 сентября 2020 года)

Условные обозначения: □ – пирофитовые, ■ – эвгленовые, ▨ – золотистые, ▩ – зеленые, ■ – цианобактерии, ▤ – диатомовые

[Fig. 1. General taxonomic assemblage of phytoplankton (microalgae and Cyanobacteria) of Belgorod reservoir (06 September 2020).

Legend: □ – pyrophytic, ■ – euglenoids, ▨ – golden, ▩ – green, ■ – cyanobacteria, ▤ – diatom]

Река Северский Донец, левобережье (ул. Песчанка, выше водохранилища).  
Seversky Donets River, left bank (Peschanka Street, above the reservoir).

*neginiana* Kütz., *Stephanodiscus rotula* (Ehr.) Hendey и *Fragilaria construens* (Ehr.) Grun. встречаются с оценкой обилия «редко». Другие таксоны наблюдаются с оценкой обилия «единично». Разнообразные зеленые микроводоросли наблюдаются с оценками обилия «единично», и лишь *Actinastrum hantzschii* Lagerh. и *Chlorella* sp. встречаются «часто» и *Coelastrum microporum* Näg. – «нередко».

Загрязнение вод подчеркивается распространением среди цианобактерий видов *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. – с оценкой обилия «очень часто», *Coelosphaerium kützingianum* Näg., *Phormidium tenue* (Menegh.) Gom., *Ostillatoria putrida* Schmidle и *Ostillatoria limnetica* Lemm. – «нередко», *Anabaena constricta* (Staf.) Geitl., *Ostillatoria granulate* Kütz., *Ostillatoria lautenbornii* Schmidle и *Woronichinia naegiana* (Ung.) Elenk. – «единично». Развитие видов *Aphanothece stagnina* (Spreng.) B.-Peters. et Geitl., а также *Aphanothece clatrata* W. et G.S. West с оценкой обилия «очень часто» свидетельствует, что процессы самоочищения вод протекают интенсивно. Загрязненные воды, судя по расположению средней линии сапробности на графике эколого-биологического качества, восстанавливаются до уровня олигосапробных (рис. 2).

Таксономический и экологический состав сообществ фитопланктона в пределах акватории водохранилища от верховьев (с. Нижний Ольшанец) до Плотины достаточно однородный. Диатомовые водоросли в основном встречаются с оценкой обилия «единично», такие виды как *Cyclotella comensis* Hust., *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim., *Aulacoseira italica* var. *tenuissima* (Grun.) Sim., *Aulacoseira islandica* ssp. *helvetica* (O.Müll.) Sim., *Fragilaria vermicularis* (Kütz.) Boye P. и *Nitzschia acicularis* W. Sm. имеют оценку обилия «редко» и «нередко».

Среди цианобактерий загрязненных местообитаний вид *Ostillatoria putrida* Ag. имеет оценку обилия «в массе», вид *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. наблюдается с оценками обилия «часто» и «редко», виды *Ostillatoria lautenbornii* Schmidle и *Ostillatoria limnetica* Lemm. – «редко», *Ostillatoria granulate* Kütz., *Phormidium tenue* (Menegh.) Gom. и *Woronichinia naegiana* (Ung.) Elenk. – «единично».

Средняя численность фитопланктона, изученного у населенных пунктов Маслова пристань и Пулевка, близка и составляет 1,02 и 1,03 миллионов клеток (колоний) на литр (млн. кл./л.). Показатели средней биомассы – 1,91 и 2,10 мг/л соответственно. Значения индексов сапробности 2,56 и 2,55 позволя-

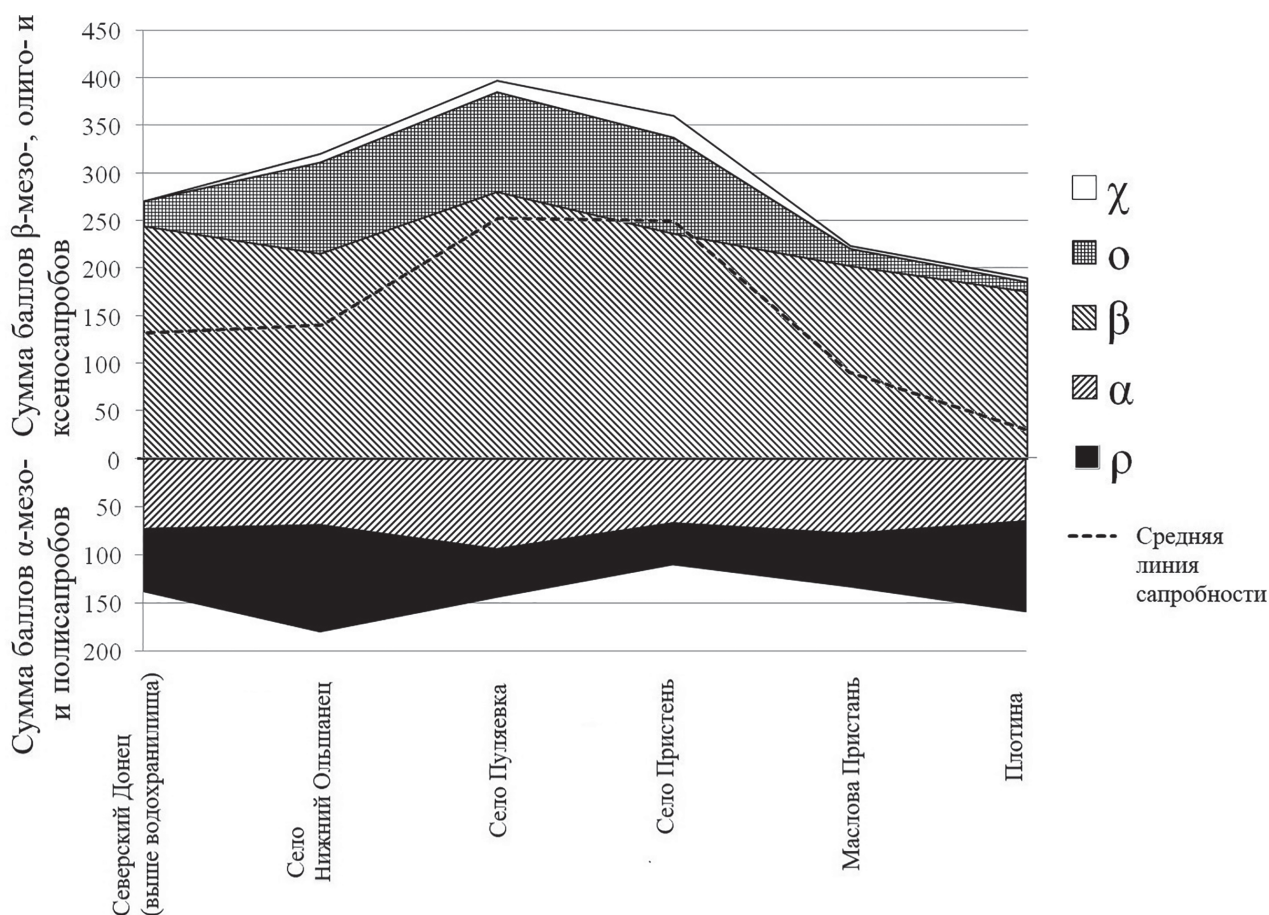


Рис. 2. Эколого-биологическое качество вод Белгородского водохранилища (06.09.2020)  
 Условные обозначения: зоны сапробности вод –  $\chi$  – ксеносапробная,  $o$  – олигосапробная,  $\beta$  – бета-мезосапробная,  $\alpha$  – альфа-мезосапробная,  $\rho$  – полисапробная  
 [Fig. 2. Ecological-biological quality of waters of Belgorod water reservoir (06.09.2020)  
 Legend: zones of saprobic waters –  $\chi$  – xenosaprobic,  $o$  – oligosaprobic,  $\beta$  – beta-mesosaprobic,  $\alpha$  – alpha-mesosaprobic,  $\rho$  – polysaprobic]

ют отнести воды к IV классу «Загрязненные», которые по разряду качества относятся к 4а «Умеренно загрязненные». Наблюдаемые значения численности и биомассы свидетельствуют об интенсивно протекающих процессах окисления и минерализации органического вещества в водоемах.

Показатели средней численности (млн. кл./л) и средней биомассы (мг/л), значения индекса сапробности с указанием разряда качества вод приведены в таблице.

Средняя численность фитопланктона, изученного в Белгородском водохранилище имеет низкие значения в диапазоне 0,71–1,04 млн. кл./л. Показатели средней биомассы невысокие, составляют 2,16–1,90 мг/л и 2,57 мг/л соответственно. Наблюдаемые значения численности и биомассы свидетельствуют об интенсивно протекающих процессах окисления и минерализации органического вещества в водоемах.

Значения индексов сапробности располагаются в градации 2,25–1,95 и 1,90, что позволяет отнести воды к III классу качества «Умеренно (слабо) загрязненные». Значения индекса в пределах 1,51–2,00 в пробах фитопланктона у села Пристен и у села Нижний Ольшанец свидетельствует, что по разряду качества воды относятся к 3а «Достаточно чистые»; а значения индекса в пределах 2,01–2,50 в пробах фитопланктона в р. Северский Донец, левобережье, выше водохранилища и у Плотины свидетельствует, что по разряду качества воды переходят в 3б «Слабо загрязненные».

Значения индексов сапробности у населенных пунктов Пуляевка, правобережье, и Маслово Пристань, левобережье относятся к градации 2,51–3,50, что определяет класс качества вод IV «Загрязненные». При этом, поскольку значения индекса располагаются в пределах 2,51–3,00, то по разряду качества воды относятся к 4а «Умеренно загрязненные».

Средние значения численности, биомассы, класс и разряд качества вод Белгородского водохранилища  
[Table Average values of abundance, biomass, water quality class and grade of the Belgorod reservoir]

Место отбора пробы фитопланктона / Place of phytoplankton sampling	Численность млн. кл./л / Abundance mln. cl./l.	Биомасса мг/л / Biomass mg/l /	Коэфф. Пантле-Букка в модификации В. Сладечека / Coeff. Pantle-Bucca in the modification of W. Sladeczek	Класс вод / Water class	Разряд качества вод / Water quality grade
Северский Донец, залив, левобережье (улица Песчанка) / Seversky Donets, bay, left bank (Peschanka street)	0,97	1,09	2,19	III Умеренно (слабо) загрязненные	3б Слабо загрязненные
село Нижний Ольшанец / Nyzhny Olshanets village	1,04	2,57	1,90		3а Достаточно чистые
село Пуляевка / Pulyaevka village	1,02	2,10	2,55	IV Загрязненные	4а Умеренно загрязненные
село Пристенъ / Pristen' village	1,00	1,90	1,95	III Умеренно (слабо) загрязненные	3а Достаточно чистые
Маслова пристань / Maslov's Wharf	1,03	1,91	2,56	IV Загрязненные	4а Умеренно загрязненные
Плотина / Dam	0,71	2,16	2,25	III Умеренно (слабо) загрязненные	3б Слабо загрязненные

Экосистема Белгородского водохранилища, судя по показателям численности и биомассы, классу и разряду качества вод, положению средней линии сапробности на графике эколого-биологического качества (см. рис. 2) по состоянию процессов самоочищения находится на стадии обратимых изменений.

**Старооскольское водохранилище** – водоем долинного типа, располагается в долине реки Оскол, крупного притока реки Северский Донец. Водохранилище введено в эксплуатацию в 1977 году [1, 3, 4, 7].

В Старооскольском округе источники поступления загрязняющих веществ представлены предприятиями добывающей и перерабатывающей промышленности, такими как ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат», ОАО «Стойленский обогатительный комбинат», ЗАО

«СОАТЭ», ОАО «ОЗММ» и др. [7, 8, 9].

Состояние качества водной среды водохранилища прослежено по сообществам фитопланктона, изученного в пробах, отобранных в сентябре 2020 года. Анализ таксономического и экологического состава сообществ микроводорослей и цианобактерий, в том числе виды индикаторы качества вод позволяют восстановить эколого-биологическое состояние водной среды [6].

Таксономическое разнообразие сообществ фитопланктона представлено на рисунке 3.

В целом по водоему в составе фитопланктона насчитывается от 34–36 видов, принадлежащих 22–23 родам и до 50 видов, принадлежащих 28 родам. В общем составе доминируют диатомовые водоросли (12–16 родов и 24–26 видов), цианобактерии (3–8 родов и 5–14 видов). Зеленые водоросли представлены 1 видом – 1 родом, и лишь

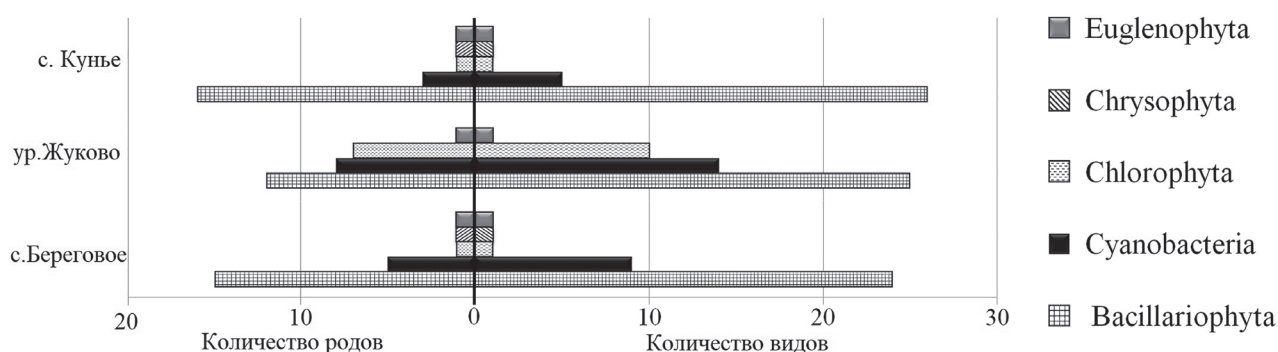


Рис. 3. Общий таксономический состав фитопланктона (микроводоросли и цианобактерии) Старооскольского водохранилища (06 сентября 2020 года)

Условные обозначения: □ – пиррофитовые, ■ – эвгленовые, ▨ – золотистые, ▩ – зеленые, ■ – цианобактерии, ▤ – диатомовые

[Fig. 3. General taxonomic assemblage of phytoplankton (microalgae and Cyanobacteria) of Stary Oskol reservoir (6 september 2020).

Legend: □ – pyrophytic, ■ – euglenoids, ▨ – golden, ▩ – green, ■ – cyanobacteria, ▤ – diatom]

в пробе 4 насчитывают 10 видов, принадлежащих 7 родам. Эвгленовые и золотистые водоросли повсеместно представляют 1 род – 1 вид.

Среди диатомовых водорослей с оценками обилия «единично» – «очень часто» в планктоне развиваются виды *Melosira varians* Ag., *Cyclotella comensis* Hust., виды рода *Stephanodiscus* Ehr. и другие, характерные для зарослей высшей водной растительности с оценками обилия «часто» – «очень часто» *Fragilaria construens* (Ehr.) Grun. и *Fragilaria capucina* Desm. *Diatoma vulgare* Bory, *Cocconeis pediculus* Ehr., *Cocconeis placentula* Ehr., *Epithemia sorex* Kütz. и другие.

Среди других типов микроводорослей с оценками обилия «единично» – «очень редко» наблюдаются зеленые водоросли видов *Actinastrum hantzschii* Lagerh., *Closterium kützingii* Breb, *Coelastrum microporum* Näg., *Crucigenia tetrapedia* (Kirchn.) W. et G. S. West, *Scenedesmus acuminatum* (Lagerh.) Chod., *Scenedesmus communis* Hegew., *Scenedesmus denticulatus* Lagerh., *Scenedesmus opoliensis* P. Richt., *Tetraëdron minimum* (A. Br.) Hansg., *Volvox globator* (L.) Ehr.; золотистые водоросли видов *Mallomonas acaroids* Perty и *Synura petersenii* Korsch.; эвгленовые водоросли видов *Euglena acus* (Ehr.) Lemm., *Trachelomonas hispida* (Perty) Stein. em. Defl. и *Trachelomonas oblonga* Lemm.

Сообщества цианобактерий по таксономическому составу аналогичны Белгородскому водохранилищу, они наблюдаются с оценками обилия «единично», в том числе и виды загрязненных местообитаний. С оценками обилия «часто» – «нередко» наблюдаются виды, которые подчеркивают интенсивность процессов самоочищения вод. Загрязнен-

ные воды, судя по расположению средней линии сапробности на графике эколого-биологического качества, в результате самоочищения восстанавливаются до уровня бета-мезосапробных (рис. 4).

Значения индексов Пантле-Букка в модификации В. Сладечека, рассчитанные по видам-индикаторам сапробности, представлены в диапазоне 1,51–2,00, и составляют от 1,54 до 1,89. Это является показателем того, что водная среда по качеству относится к III классу – «Умеренно (слабо) загрязненные».

В целом водная экосистема Старооскольского водохранилища, судя по показателям численности и биомассы, классу и разряду качества вод, положению средней линии сапробности на графике Эколого-биологического качества (см. рис. 4) по состоянию процессов самоочищения находится на стадии обратимых изменений, однако в состоянии более напряженном, чем в Белгородском водохранилище (см. рис. 2).

**Оценка относительного распространения взвесей на основе анализа космических изображений ASTER**, полученных для акваторий Белгородского и Старооскольского водохранилищ.

В дополнение к данным полевых наблюдений и анализа фитопланктона для определения экологического состояния вод Белгородского и Старооскольского водохранилищ для данных водных объектов и прилегающих водосборных территорий был проведен сбор и анализ материалов космических съемок. Эти съемки осуществлялись с помощью радиометра ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), находящегося на борту спутника Terra. Оценивались

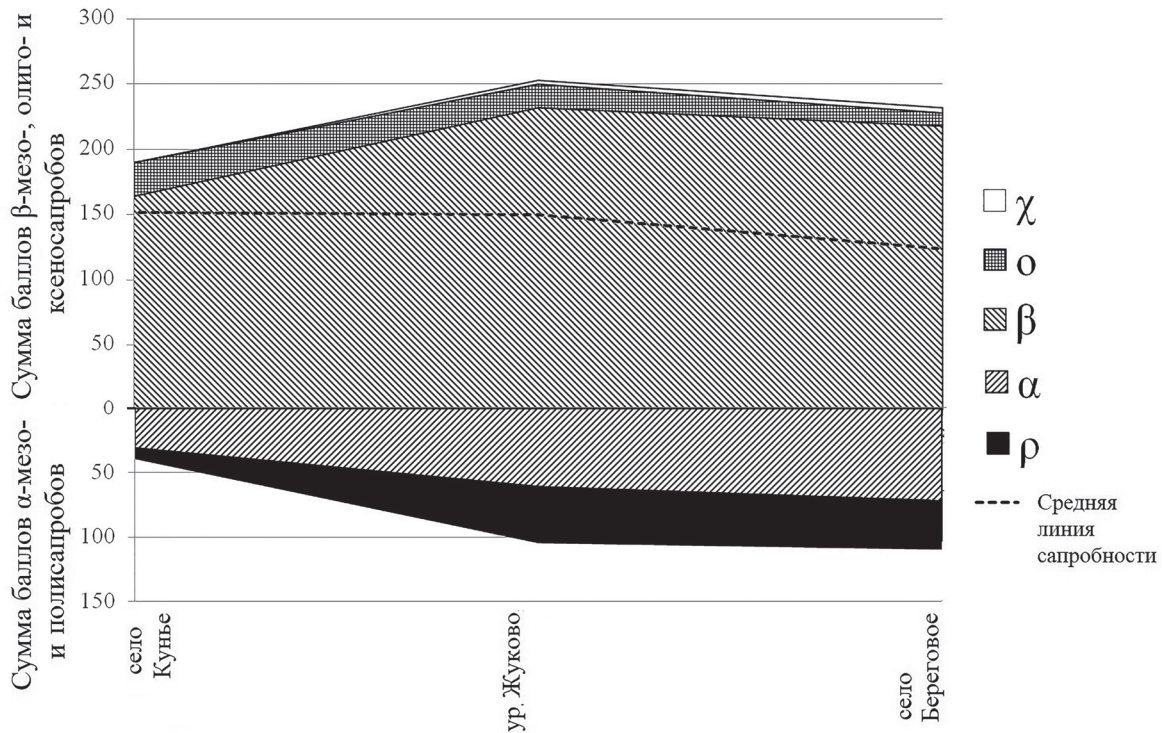
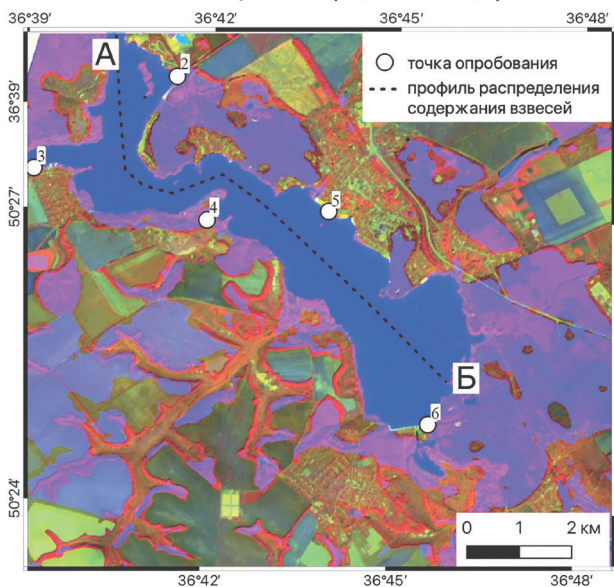


Рис. 4. Эколого-биологическое качество вод Старооскольского водохранилища (06.09.2020)  
 Условные обозначения: зоны сапробности вод –  $\chi$  – ксеносапробная,  $o$  – олигосапробная,  $\beta$  – бета-мезосапробная,  $\alpha$  – альфа-мезосапробная,  $\rho$  – полисапробная  
 [Fig. 4. Ecological-biological quality of waters of Stary Oskol water reservoir (06.09.2020)  
 Legend: zones of saprobic waters –  $\chi$  – xenosaprobic,  $o$  – oligosaprobic,  $\beta$  – beta-mesosaprobic,  $\alpha$  – alpha-mesosaprobic,  $\rho$  – polysaprobic]

изображения видимого и ближнего инфракрасного диапазона (VNIR), имеющие спектральный охват 0,52–0,86 мкм, а также пространственное разрешение RGB321, Белгородское вдхр.



ние 15 м, дата съемки 09 сентября 2021 года [10].

Анализ композитных изображений в этом диапазоне, а также отношения каналов позволяют

RGB321, Старооскольское вдхр.

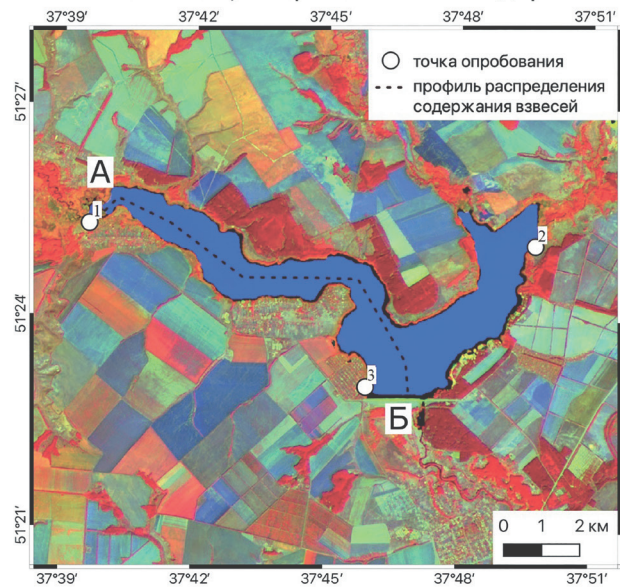


Рис. 5. Композитное изображение RGB321 для Белгородского и Старооскольского водохранилищ.

Дата съемки: 09.09.2021

[Fig. 5. Composite RGB321 image for Belgorod and Stary Oskol reservoirs.

Acquisitiondate: 09.09.2021

оценить распределение взвесей гидро- и аэрозолей, а также характер подстилающей поверхности. Композитное изображение RGB321 (рис. 5), рассчитанное для исследуемых водных объектов, применяется для изучения распространения почв и сельскохозяйственных культур и позволяет оценить границы водных объектов и береговые линии [12]. Сравнительный анализ композитных изображений спектральных отражений RGB321 для изучаемых водных объектов показывает, что на территории, прилегающей к Белгородскому водохранилищу, доминируют открытые почвы (распаханные поля), тогда как поля на снимке территории, окружающей Старооскольское водохранилище, не распаханы.

Оценка качественного распространения взвесей, мутности (показатель *Turb*, от англ. «*Turbidity*» – мутность) на акватории водных объектов с

помощью каналов ASTERNIR производилась с помощью выражения, описанного [10]:

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

Следует отметить, что получаемый нами результат носит качественный характер, так как мутность воды вызвана различными причинами и для получения количественного результата необходимо выполнения многократных наблюдений *in-situ* и подбор регрессионных коэффициентов [10].

Расчет показателя мутности (*Turb*) позволил построить изображения и профили его изменения (рис. 6, 7).

Анализ изображения и профиля распределения *Turb* на акватории Белгородского водохранилища (см. рис. 6) показывает, что мутность воды распределена на территории неравномерно, а именно,

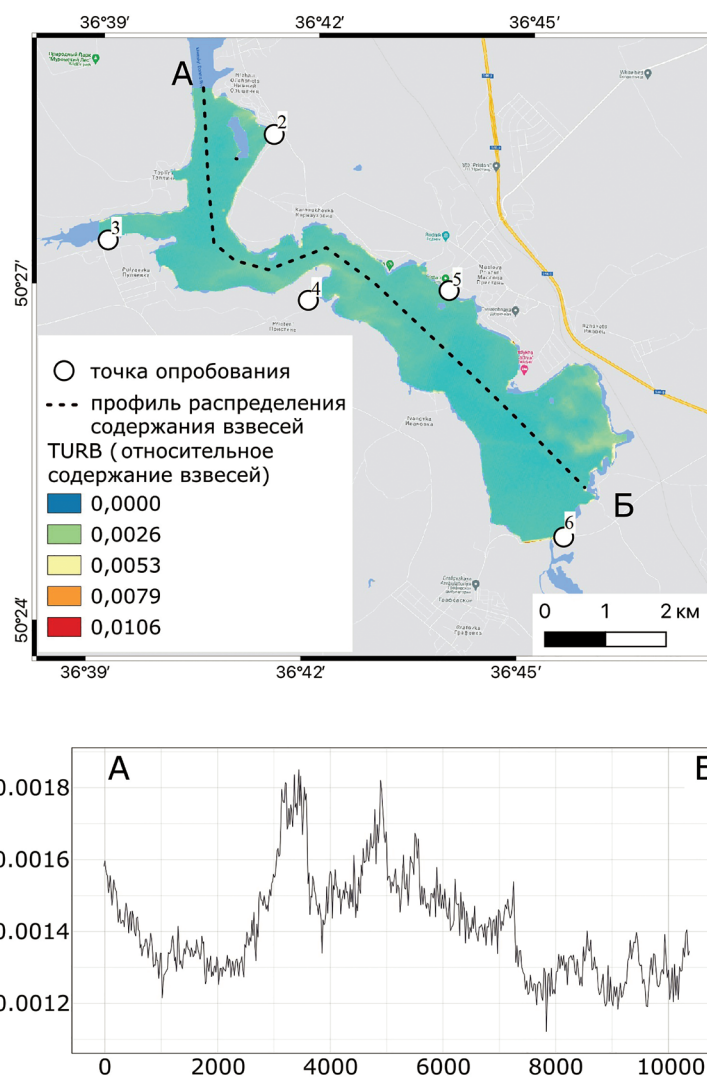


Рис. 6. Распределение показателя мутности (TURB) на акватории Белгородского водохранилища и его профиль (А-Б)

[Fig. 6. Distribution of turbidity index (TURB) on water area of Belgorod reservoir and its profile (A-B)]



мутность, невысокая в верховьях водохранилища, постепенно повышается в районе точки наблюдения у села Пристень, а затем опять снижается по направлению к плотине. Возможно, в увеличении показателя Turb играют роль хозяйственная деятельность человека и плоскостной смыв частиц почвы с распаханых полей.

Для акватории Старооскольского водохранилища наличие мутности нехарактерно. Практически незаметное в изображении, на профиле отмечается некоторое уменьшение мутности при движении от верховий в сторону плотины. Возможно, незначительная мутность воды в Старооскольском водохранилище связана с отсутствием распашки полей и открытого грунта на прилегающей территории.

Оценка относительного распространения взвесей и анализ космических изображений ASTER показывает невысокую мутность вод Белгородского и Старооскольского водохранилищ, которая фиксируется во время проведения съемки (09.09.2021) в рассматриваемом спектральном диапазоне (0,52–0,86 мкм) [11]. Исследование водных объектов в сентябре 2021 года, в условиях отсутствия «цветения» вод, показало низкую численность и биомассу фитопланктона (см. табл.). Небольшое относительное повышение мутности воды в Белгородском водохранилище, вероятно, связано с наличием распаханых полей на прилегающих к нему площадях. Они могут быть использованы как эталонные для сравнения параметров мутности вод в случаях развития «цветения» вод, которое характерно для

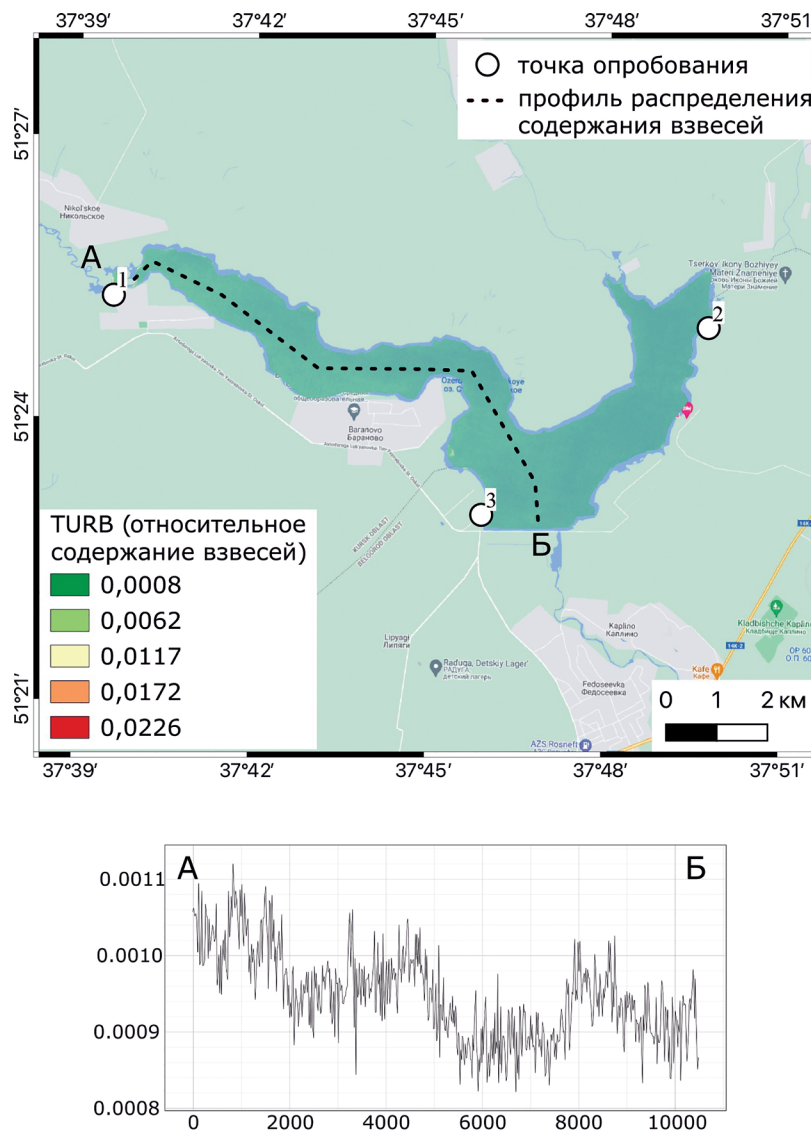


Рис. 7. Распределение показателя мутности (TURB) на акватории Старооскольского водохранилища и его профиль (А-Б)

[Fig. 7. Distribution of turbidity index (TURB) on water area of Stary Oskol reservoir and its profile (A-B)]

загрязненных водоемов при установлении стабильных температур вод от 23–25 °С и выше, что обычно для середины лета (июль – август).

Это позволит в дальнейшем использовать данные наблюдения в качестве фоновых для оценки уровня и направленности процесса общего загрязнения вод.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования искусственных водных объектов на примере Белгородского и Старооскольского водохранилищ позволили четко обозначить эталонные критерии для выявления степени загрязнения и направленности изменений экологического состояния поверхностных вод региона. Оценка относительного распространения взвесей и мутности, проведенная на основе анализа космических изображений ASTER, в дальнейшем также может быть использована в качестве эталонной при определении уровня и направленности процессов общего загрязнения вод.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анциферова Г.А., Хотак М.Ю. Общая характеристика Старооскольского водохранилища и эколого-биологическое состояние водной среды // *Региональный анализ состояния окружающей среды и экологические риски для населения*, 2021, с. 29–34.
2. Белгородское водохранилище в России. – URL: <https://gotonature.ru/545-belgorodskoe-vodohranilische.html> (дата обращения: 12.02.2022). – Текст: электронный.
3. «Вода России» – Старооскольское водохранилище. – URL: <http://water-rf.ru> (дата обращения: 19.02.2021). – Текст: электронный.
4. Доклад об экологической обстановке на территории Старооскольского городского округа. – URL: [oskolregion.ru/media/site\\_platform\\_media/...](http://oskolregion.ru/media/site_platform_media/) (дата обращения: 19.02.2021). – Текст: электронный.
5. Общее эколого-биологическое качество поверхностных вод в пределах горнодобывающих районов КМА / Г.А. Анциферова, М.Ю. Хотак, В.В. Куль-

нев, Н.И. Русова // *Материалы международной научно-практической конференции «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов»*, 2020, с. 6–10.

6. Оценка и прогноз эколого-санитарного состояния Воронежского водохранилища на 2018–2019 гг. / В.С. Петросян, Г.А. Анциферова, Л.М. Акимов и др. // *Экология и промышленность России*, 2019, т. 23, № 7, с. 52–56. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-7-52-56>.

7. *Природные ресурсы и окружающая среда Белгородской области* / П.В. Авраменко, П.Г. Акулов, Ю.Г. Атанов и др. Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. 556 с.

8. Чендев Ю.Г., Петин А.Н. *Естественные изменения и техногенная трансформация компонентов окружающей среды староосвоенных регионов (на примере Белгородской области)*. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 123 с.

9. *Экологическая ситуация в районах размещения горнодобывающих предприятий региона Курской магнитной аномалии: монография* / А.Г. Корнилов, Е.В. Кичигин, С.Н. Колмыков и др. Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2015. 157 с.

10. Abdelmalik K.W. Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 21 (2018), pp. 193–200. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.002>

11. 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) (accessed 20.02.2022). – Text: electronic.

12. Nematollahi M.J. and Alavipanah S.K. and Zehtabian Gh.R. and Jafari M. and Janfaza E. and Matinfar H.R. // *Assessment of ASTER Data for Soils Investigation Using Field Data and GIS in Damghan Playa*, vol. 17 (3), 2012, pp. 241–248. DOI: <https://dx.doi.org/10.22059/jdesert.2013.35188>.

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

Поступила в редакцию 15.03.2022

Принята к публикации 30.05.2022

## Bioindication of Belgorod and Stary Oskol Reservoirs State With Phytoplankton (Belgorod Oblast, Russia)

G. A. Antsiferova<sup>1</sup> ✉, S. L. Shevyrev<sup>2</sup>, E. E. Bilomar<sup>3</sup>,  
E. S. Galkina<sup>1</sup>, V. V. Kulnev<sup>4</sup>, M. Yu. Khotak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University, Russian Federation  
(1, Universitetskaya pl., Voronezh, 394018)

<sup>2</sup>Far East Geological Institute (FEGI FEB RAS), Russian Federation  
(159, Prospekt 100-letiya, Vladivostok, 690022)

<sup>3</sup>LLC «Dontreid», Russian Federation

(20, Elektrosignal'naya st., Voronezh, 394026)

<sup>4</sup>Central Black Earth Interregional Department Federal Service  
for Supervision Natural Resources Management, Russian Federation  
(105, Lomonosova str., Voronezh, 394087)

**Annotation:** The aim of present article is description of the artificial water bodies of Kursk Magnetic Anomaly (KMA) within Belgorod oblast for justifying criteria of assessment of ecological state of surficial waters under technogenic stress.

**Methods.** Assessment of ecological state of Belgorod and Stary Oskol reservoirs was conducted by computation of saprobic index and correlation between taxonomic and ecological assemblages of phytoplankton. Analysis of spaceborne images of Terra ASTER was applied for composing maps of actual material.

**Results and discussion.** State of water ecological systems is dependent on technogenic influence of water sheds, which predefines assemblages of microalgae and Cyanobacteria. Ecological quality of waters emerges distribution of species of Cyanobacteria related for polluted environments. Spatial analysis of spaceborne images of water suspensions and turbidity was done for water areas of Belgorod and Stary Oskol reservoirs.

**Conclusions.** Conducted research was used for detecting of water quality with phytoplankton under technogenic tension. Derived distributions of suspensions and turbidity are necessary for justification of criteria of assessment of water bodies ecological state. They could be used as reference background data in case of water bloom.

**Keywords:** bioindication, water ecosystems, water storage reservoir, microalgae, surface waters, phytoplankton, cyanobacteria, ecological state.

**Funding:** The reported study was funded by RFBR, project number 20-05-00779.

**For citation:** Antsiferova G. A., Shevyrev S. L., Bilomar E. E., Galkina E. S., Kulnev V. V., Khotak M. Yu. Bioindication of Belgorod and Stary Oskol Reservoirs State With Phytoplankton (Belgorod Oblast, Russia). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologiya*, 2022, no. 2, pp. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9314>

### REFERENCES

1. Antsiferova G. A., Khotak M. Yu. Obshchaya harakteristika Staroskol'skogo vodohranilishcha i ekologo-biologicheskoe sostoyanie vodnoj sredy [General characteristics of the Stary Oskol Reservoir and the ecological and biological state of the aquatic environment].

*Regional'nyj analiz sostoyaniya okruzhayushchej sredy i ekologicheskie riski dlya naseleniya*, 2021, pp. 29–34. (In Russ.)

2. *Belgorod water reservoir in Russia*. – URL: <https://gotonature.ru/545-belgorodskoe-vodohranilische.html> (accessed 12.02.2022). – Text: electronic.



3. "Water of Russia" – Stary Oskol water reservoir. – URL: <http://water-rf.ru> Vodnye ... Starooskol'skoe\_vodohranilishche (accessed 19.02.2021). – Text: electronic.

4. Report on the environmental situation on the territory of the Starooskolsky urban district. – URL: [oskolregion.ru/media/site\\_platform\\_media](http://oskolregion.ru/media/site_platform_media) (accessed 19.02.2021). – Text: electronic.

5. Obshchee ekologo-biologicheskoe kachestvo poverhnostnykh vod v predelakh gornodobyvayushchih rajonov KMA [General ecological and biological quality of surface waters within the KMA mining areas] / G. A. Antsiferova, M. Yu. Hotak, V. V. Kul'nev i dr. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Zakonomernosti transformacii ekologicheskikh funktsij geosfer krupnykh gornopromyshlennykh regionov»*, 2020, pp. 6–10. (In Russ.)

6. Ocenka i prognoz ekologo-sanitarnogo sostoyaniya Voronezhskogo vodohranilishcha na 2018–2019 gg [Assessment and forecast of the ecological-sanitary condition of the Voronezh Reservoir for 2018–2019] / V. S. Petrosyan, G. A. Antsiferova, L. M. Akimov i dr. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2019, v. 23, no. 7, pp. 52–56. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-7-52-56>

7. Prirodnye resursy i okruzhayushchaya sreda [Natural resources and the environment] / P. V. Avramenko, P. G. Akulov, Yu. G. Atanov i dr. Belgorod: Izdatel'stvo Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta, 2007. 556 p. (In Russ.)

8. Chendev Y. G., Petin A. N. *Estestvennye izmeneniya i tekhnogennaya transformatsiya komponentov okruzhayushchej sredy staroosvoennykh regionov (na primere Belgorodskoj oblasti)* [Natural changes and anthropogenic trans-

formation of environmental components in old-developed regions (case study of the Belgorod Oblast)]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. M. V. Lomomnosa, 2006. 123 p. (In Russ.)

9. *Ekologicheskaya situatsiya v rajonakh razmeshcheniya gornodobyvayushchih predpriyatij regiona Kurskoj magnitnoj anomalii: monografiya* [Environmental situation in mining areas of the Kursk Magnetic Anomaly region: a monograph] / A. G. Kornilov, E. V. Kichigin, S. N. Kolmykov i dr. Belgorod: ID «Belgorod» NIU «BelGU», 2015. 157 p. (In Russ.)

10. Abdelmalik K. W. Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 21(2018), pp. 193–200. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.002>

11. 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) (accessed 20.02.2022). – Text: electronic.

12. Nematollahi M. J. and Alavipanah S. K. and Zehtabian Gh. R. and Jafari M. and Janfaza E. and Matinfar H. R. *Assessment of ASTER Data for Soils Investigation Using Field Data and GIS in Damghan Playa*, vol. 17 (3), 2012, pp. 241–248. DOI: <https://dx.doi.org/10.22059/jdesert.2013.35188>.

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 15.03.2022

Accepted: 30.05.2022

Анциферова Галина Аркадьевна

доктор географических наук, профессор кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма, Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-0040-6564, e-mail: [g\\_antsiferova@mail.ru](mailto:g_antsiferova@mail.ru)

Шевырев Сергей Леонидович

кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН (ДВГИ ДВО АН), г. Владивосток, Российская Федерация, e-mail: [shevyrev@mail.ru](mailto:shevyrev@mail.ru)

Биломар Елена Евгеньевна

кандидат биологических наук, технолог ООО «Донтрейд», Воронеж, Российская Федерация, e-mail: [elena.bilomar@agrostrazh.ru](mailto:elena.bilomar@agrostrazh.ru)

Галкина Екатерина Станиславовна

аспирант кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-9384-4020, e-mail: [korotkova.es@gmail.com](mailto:korotkova.es@gmail.com)

Кульнев Вадим Вячеславович

кандидат географических наук, ведущий специалист-эксперт отдела государственного экологического надзора по Воронежской области Центрально-Чер-

Galina A. Antsiferova

Dr. (Geogr.) Sci., Professor of the chair of management of nature, department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, ORCID: 0000-0003-0040-6564, e-mail: [g\\_antsiferova@mail.ru](mailto:g_antsiferova@mail.ru)

Sergey L. Shevyrev

PhD, «Far East Geological Institute» (FEGI FEBRAS), Vladivostok, e-mail: [shevyrev@mail.ru](mailto:shevyrev@mail.ru)

Elena E. Bilomar

Cand. (Biol.) Sci., technologist LLC «Dontreid», Voronezh, Russian Federation, e-mail: [elena.bilomar@agrostrazh.ru](mailto:elena.bilomar@agrostrazh.ru)

Ekaterina S. Galkina

Post-graduate of the chair of management of nature, department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, ORCID: 0000-0002-9384-4020, e-mail: [korotkova.es@gmail.com](mailto:korotkova.es@gmail.com)

Vadim V. Kulnev

Cand. (Geogr.) Sci., leading specialist-expert of the Voronezh Region State Environmental Supervision Department of the Central Black Soil Interregional Direc-

ноземного межрегионального управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-1646-9183, e-mail: kulnev@rpn36.ru

Хотак Мохаммад Юсаф

аспирант кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-1240-3520, e-mail: mohammadyousafhotaki@yahoo.com

torate of the Federal Service for Supervision of Natural Resources, ORCID: 0000-0002-1646-9183, e-mail: kulnev@rpn36.ru

Mohammad Yu. Hotak

Post-graduate of the chair of management of nature, department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, ORCID: 0000-0003-1240-3520, e-mail: mohammadyousafhotaki@yahoo.com