



ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ЭКОЛОГО-САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ВОРОНЕЖСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА 2018–2019 ГГ.

В.С. Петросян, Г.А. Анциферова, Л.М. Акимов, В.В. Кульнев, С.Л. Шевырев, Е.Л. Акимов

МГУ имени М.В. Ломоносова, Воронежский государственный университет, Управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Воронежской области, г. Воронеж, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Рассмотрены проблемы изменения качества воды Воронежского водохранилища вследствие ее загрязнения цианотоксинами. Дается прогноз эколого-санитарного состояния водной среды и предлагаются превентивные природоохранные мероприятия.

Ключевые слова: альголизация, аборигенная альгофлора, поллютанты, природоохранные мероприятия, хлорелла, цианотоксины, эколого-гидробиологический мониторинг

Valuation and Prognosis of Ecologic-Sanitary State for the Voronezh Water Basin in 2018–2019

V.S. Petrosyan, G.A. Antsiferova, L.M. Akimov, V.V. Kulnev, S.L. Shevyrev, E.L. Akimov

M.V. Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia, Voronezh State University, 394018 Voronezh, Russia, Supervision Department of the Federal Service for Supervision of Nature Management in the Voronezh Region, 394087 Voronezh, Russia, Far East Geological Institute, 690022 Vladivostok, Russia

The paper considers the issue of changing the quality of water in the Voronezh reservoir due to its contamination with cyanotoxins. The authors give a forecast of the ecological and sanitary state of the aquatic environment and propose preventive environmental measures.

Key words: algolization, native algal flora, pollutants, nature conservation measures, chlorella, cyanotoxins, ecological and hydrobiological monitoring

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-52-56

Эколого-санитарное состояние Воронежского водохранилища в последние годы вызывает большую тревогу, поскольку сопровождается интенсивным "цветением" вод цианобактериями (синезелеными водорослями). Их массовое распространение зафиксировано от плотины до моста ВОГРЭС и прослеживается выше по течению, вплоть до Северного моста. Тяжелый неприятный землистый и ка-

нализационный запах определяется массовым развитием различных видов цианобактерий загрязненных местообитаний, как, например, *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. и его форм, а также других видов. Из очага массового развития широко распространился вид *Microcystis ichthyoblabe* Kütz. — Микроцистис рыбозаморный, который в 2013 г. выявлен в приустьевой части р. Тавровка и в Масловском

затоне. В мае-июне 2014 г. этот вид фиксировался повсеместно с оценками обилия "в массе" — "очень часто" в пробах фитопланктона, в массовом количестве, наряду с *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. и его формами, данный вид также наблюдается в русле р. Воронеж ниже плотины водохранилища в виде мощных дерновин и скоплений [4]. Очевидно, подобного опасного для экологического состояния го-

рода явления следует ожидать и в будущем.

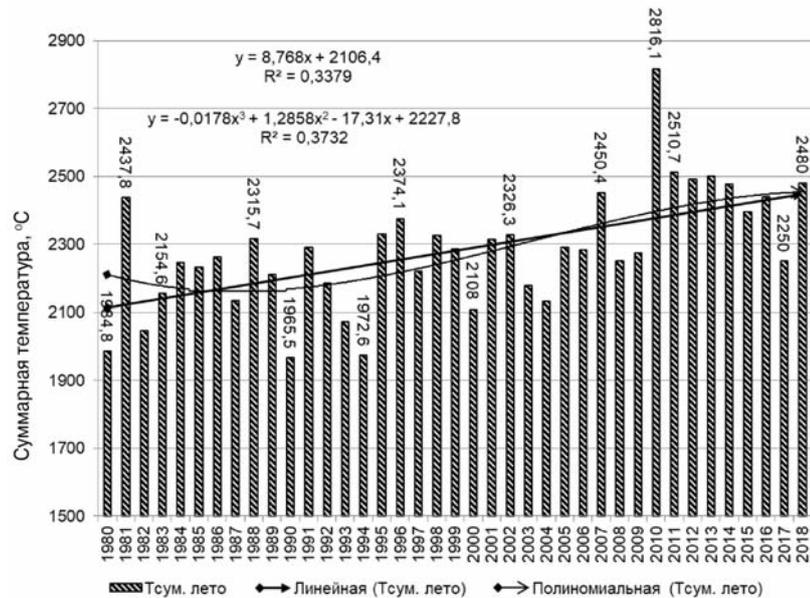
Лето — начало осени 2018 г. отличалось повышенным температурным режимом, предопределившим большую продолжительность активного вегетационного сезона. Это вызвало не только образование повышенных значений численности и биомассы цианобактерий, но и массовое их отмирание и разложение с началом понижения температуры вод. Данный процесс сопровождался выделением специфических веществ не только в атмосферный воздух, но и в водную среду и донные отложения, что представляет еще большую опасность [3].

В данный момент происходит реализация сценария развития кризисной экологической ситуации, спровоцированной массовым развитием в акватории Воронежского водохранилища представителей цианобактерий, которые являются признанными в мире источниками цианотоксинов. Особо следует учитывать, что острота экологической проблемы подчеркивается гидравлической связью водохранилища с неоген-четвертичным водоносным комплексом, который используется для водоснабжения населения г. Воронежа. Водоносный комплекс более чем на 80 % пополняется водами Воронежского водохранилища, и в этом заключается главная опасность "цветения" вод цианобактериями [5].

Материал и методы исследований

Для выявления наметившихся тенденций распространения цианобактерий на акватории Воронежского водохранилища наряду с мониторингом состояния водного бассейна с использованием методов биоиндикации проводился мониторинг состояния атмосферы с помощью оценки термического режима г. Воронежа.

Мониторинг температуры атмосферного воздуха на тер-



Временное изменение суммарной температуры территории г. Воронежа за летний период с 1980 по 2018 гг.

Temporary change in the total temperature of the territory of the city of Voronezh over the summer period from 1980 to 2018

ритории региона осуществляет Воронежский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Воронежский ЦГМС) — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения "Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды".

В исследовании использовались результаты анализа ежедневных наблюдений за температурой воздуха на станции Воронеж в период с 1980 по 2018 гг. Объем выборки составил более 6500 случаев.

Инициативные исследования эколого-биологического состояния Воронежского водохранилища проводились начиная с 1988 г., в том числе в 2013–2018 гг. Они позволяют

достаточно адекватно оценить экологическую ситуацию, представить сценарий дальнейшего его развития в условиях глобальных климатических изменений и сделать вывод, что экосистема Воронежского водохранилища находится в состоянии экологической деградации [4, 6].

Результаты и их обсуждение

Анализ термического режима атмосферного воздуха проводился на основе суммарной температуры летнего периода (с мая по август включительно) для каждого года исследуемого периода с 1980 по 2018 гг. Результаты анализа представлены на рисунке.

Из рисунка видно, что в период с 1980 по 2018 гг. в Воро-

Таблица 1. Суммарные температуры летнего сезона с мая по август за период с 1980 по 2018 гг.

Table 1. Total temperatures of the summer season from May to August for the period from 1980 to 2018

Период	Температура	
	Суммарная средняя, °С	Изменение, °С/год
1980–1989	2201,7	–
1990–1999	2201,6	-0,01
2000–2009	2259,9	5,83
2010–2018	2484,2	22,43

Таблица 2. Отклонение среднемесячной температуры от нормы
Table 2. Deviation of the average monthly temperature from the norm

Год	Отклонение от нормы среднемесячной температуры, °С*			
	Май/14,9 °С	Июнь/18,5 °С	Июль/20,5 °С	Август/18,4 °С
2010	2,4	3,9	6,7 Рекорд!	7,1 Рекорд!
2011	2,2	2,1	3,2	1,0
2012	3,5	1,6	1,6	1,1
2013	4,6	2,7	-0,4	1,3
2014	3,6	-0,5	1,8	2,6
2015	1,4	2,2	0,6	0,6
2016	0,3	1,1	2,1	2,7
2017	-0,9	-1,3	-0,1	2,4
2018	3,3	0,5	1,5	2,2
Среднее	2,3	1,4	1,9	2,3

*В числителе – месяц, в знаменателе – величина климатической нормы температуры за период 1961–1990 гг.

неже наблюдался рост суммарной температуры в летний сезон, на что указывает линия тренда. Тренд роста суммарной температуры с 1980 по 2018 гг. составил 85 °С/10 лет. Рост суммарной температуры в многолетнем ходе имел особенности, на что указывает полиномиальная кривая третьего порядка. Для удобства анализа в табл. 1 представлены суммарные значения температуры за десятилетним периодам.

Из табл. 1 видно, что в первые два десятилетия конца XX в. (с 1980 по 1989 гг. и с 1990 по 1999 гг.) роста суммарной температуры в Воронеже не наблюдалось. В общем ходе суммарной температуры наблюдалось незначительное понижение общего фона суммарной температуры. В этот период значение суммарной температуры за десятилетие составляло 2201,74–2201,59 °С, а ее изменение за год — минус 0,01 °С. Наименьшие значения суммарной температуры наблюдались в 1980 г. (1984,8 °С), 1990 г. (1965,5 °С) и 1994 г. (1972,6 °С). Наибольшее значение суммарной температуры в этот период наблюдалось в 1981 г. (2437,8 °С).

В 2000–2009 гг. происходило резкое увеличение суммар-

ной температуры в летний период, которое достигло величины 2259,9 °С, с ежегодным трендом суммарной температуры 5,83 °С. Наименьшие значения суммарной температуры в этот десятилетний период не опускались ниже 2108 °С (2000 г.).

Существенное увеличение суммарной температуры в летний период продолжилось и в следующем десятилетии. Величина изменения суммарной температуры в год составила 22,43 °С, а среднее суммарное значение температуры за летний период с мая по август достигло 2484,2 °С. Наибольшее значение суммарной температуры — 2816,1 °С — наблюдалось в 2010 г., при этом наименьшие значения не опускались ниже 2250,0 °С в 2017 г.

Анализ результатов табл. 1 показал, что наибольший рост суммарной температуры за летний период наблюдался с 2010 по 2018 гг. В связи с этим представляет интерес анализ отклонения среднемесячной температуры от нормы в каждом календарном месяце исследуемого периода, результаты которого представлены в табл. 2.

Полученные результаты анализа термического режима

г. Воронежа свидетельствуют о значительном повышении температуры в летний период, что до начала XXI в. не наблюдалось [1–3].

Для вегетации цианобактерий благоприятна температура воды 23–25 °С и более. Обычно это середина июля — середина августа. Аномально высокие летние температуры воздуха 2010–2012 гг. предопределили более продолжительное время вегетации, где-то до 15–20 сентября. В эти годы, а также в дальнейшем (например, в 2013–2014 гг.) цианобактерии обусловили бурное летне-осеннее "цветение" вод акватории водохранилища.

В 2017 г. на Воронежском водохранилище изучали токсичность водной среды, связанную с цианотоксинами. В марте были отобраны пробы для гидрохимического анализа, в сентябре — для гидрохимических, гидробиологических исследований и для анализа микроцистинов. Была использована точечная схема отбора проб с интервалом в 5 км. Пробы отбирались с помощью батометра, на месте определялись глубина отбора, температура воды, рН и растворенный кислород. Всего отобрано 20 проб в пяти точках.

Определение микроцистинов (другие виды цианотоксинов не определялись) проводилось на кафедре органической химии химического факультета МГУ с помощью хроматомасс-спектрометрии*. В табл. 3 представлены общие результаты количественного и качественного определения всех микроцистинов в пяти отобранных пробах. Для более точных результатов каждая из отобранных проб анализировалась дважды. Концентрация микроцистинов вычислялась по средним значениям хроматографических площадей пиков. Микроцистины идентифицировались во всех исследуемых пробах — от следовых количеств до десятков нг/мл. Поскольку в России микроцистины пока не нормируются,

*Авторы выражают благодарность кандидатам химических наук С.С. Жохову и Е.А. Шуваловой за помощь в получении этих данных.

в данном случае мы будем сравнивать полученные результаты с нормативом Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроцистинов (суммарные количества) для вод различного назначения (по данным ВОЗ) следующие: питьевая вода — 1 мкг/л; водоемы рекреационной зоны — 4 мкг/л.

Уровень 1–1,5 мкг/л принят в качестве нормативного для микроцистинов (микроцистина-LR) в законодательствах различных стран Европы, Южной Америки и Тихоокеанского бассейна.

В соответствии с установленными ВОЗ нормативами для водоемов рекреационной зоны, по суммарному количеству микроцистинов в водах Воронежского водохранилища нормативу соответствует только проба 1, в которой обнаружены лишь следовые количества микроцистина-LR. Нормативам ВОЗ не соответствует качество вод в пробах № 2–5. Так, наибольшее суммарное количество микроцистинов (88,68 нг/мл) было обнаружено в пробе № 4, а наименьшее (19,73 нг/мл) — в пробе № 5.

Заключение

Наблюдения 2013–2018 гг. позволяют достаточно адекватно оценить остроту экологической ситуации в условиях глобальных климатических изменений. Эколого-санитарное состояние Воронежского водохранилища в последние годы определяется интенсивным "цветением" вод цианобактериями. Токсичность "цветения" вод определена видами, которые являются признанными продуцентами цианотоксинов. В соответствии с данными, полученными по пробам, отобраным в

Таблица 3. Результаты ВЭЖХ-МС-МС анализа микроцистинов MC-LR, MC-RR, MC-YR в пяти водных пробах с показателями концентраций
Table 3. Results of HPLC-MS-MS analysis of microcystins MC-LR, MC-RR, MC-YR in five water samples with concentration values

Номер и место отбора пробы	Концентрация, нг/мл			
	MC-LR	MC-RR	MC-YR	Суммарная
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

2017 г., по суммарному количеству микроцистинов в водах Воронежского водохранилища нормативам ВОЗ соответствует только содержание микроцистина-LR в одной пробе из пяти. При том, что в соответствии с установленными ВОЗ нормативами, уровень содержания микроцистинов (M-LR) для водоемов рекреационной зоны составляет 1–1,5 мкг/л.

Для подтверждения зависимости высокого уровня "цветения" вод от температурных условий региона на территории Воронежа прослежен рост суммарной температуры в летние сезоны периода с 1980 по 2018 гг.

В 2018 г. летние температуры воздуха были выше средне-статистических температур для Воронежской области. В результате "цветение" вод, начавшееся при достижении температуры воды 23–25 °С и более, продолжалось в течение всего вегетационного сезона, что визуально и органолептически (например, по запаху) фиксировалось в сентябре и даже в октябре месяце. И подобный сценарий развития экологической ситуации достоверно прогнозируется на последующие годы, поскольку в Воронежском водохранилище, по сути, запущен механизм химической реакции, направленной на производство цианотоксинов. В ней находит отражение из-

вестная закономерность, согласно которой скорость химической реакции при повышении температуры на 10 °С возрастает в 2–3 раза.

Токсичное "цветение" вод при современном уровне техногенной нагрузки на поверхностные воды распространено повсеместно. Экосистема Воронежского водохранилища требует внимания, целенаправленных комплексных исследований для выработки мероприятий, связанных, в первую очередь, с ограничением, контролем и регулированием "цветения" вод. Это возможно при применении метода биотехнологии, основанного на искусственной альголизации вод планктонным штаммом зеленой микроводоросли хлореллы [7, 9].

Данной биотехнологией обладает ООО НПО "Альгобиотехнология", территориально находящееся в г. Нововоронеж. К настоящему времени накоплен обширный опыт многолетних совместных работ в оценке санитарно-экологического состояния и трансформации качества вод искусственных водных объектов (пруды и водохранилища) Московской области, Новой Москвы, Свердловской и Челябинской областей, Краснодарского края и других регионов, в которых широко используется метод альголизации вод [8, 10–12].

Литература

1. Акимов Л.М. Пространственно-временные закономерности атмосферных засух на территории Воронежской области в вегетационный период. Аридные экосистемы. 2013. Т. 19. №2 (55). С. 15–20.

References

1. Akimov L.M. Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti atmosferynykh zasukh na territorii Voronezhskoi oblasti v vegetatsionnyi period. Aridnye ekosistemy. 2013. T. 19. №2 (55). S. 15–20.

2. **Акимов Л.М., Акимов Е.Л.** Пространственное распределение метеорологических параметров, влияющих на жизнедеятельность человека на территории Центрального Черноземья. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2014. №2. С. 17–23.

3. **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.

4. **Анциферова Г.А., Беспалова Е.В.** Состояние водной среды Воронежского водохранилища в связи с ситуацией в Масловском затоне. Вестник Воронежского университета. Серия: География. Геоэкология. 2016. № 2. С. 91–100.

5. **Анциферова Г.А., Кульнев В.В.** Эколого-гидробиологический мониторинг состояния водной среды Воронежского водохранилища. Матер. междунар. науч.-практ. конф. "Комплексные проблемы техносферной безопасности". Воронеж, Изд-во ВГТУ, 2016. Ч. VIII. С. 84–93.

6. **Анциферова Г.А., Кульнев В.В., Шевырев С.Л., Беспалова Е.В., Русова Н.И., Скосарь 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.

7. **Богданов Н.И.** Биологическая реабилитация водоемов. Пенза, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. 126 с.

8. **Лухтанов В.Т., Кульнев В.В.** Биологическая реабилитация водоемов посредством структурной перестройки фитопланктонного сообщества. Труды Географического общества Республики Дагестан. Махачкала. 2013. № 41. С. 140–143.

9. **Пат. № 2585523 РФ.** Богданов Н.И. Планктонный штамм *Chlorella kessleri* для предотвращения "цветения" водоемов синезелеными водорослями. Оpubl. 27.05.2016. Бюл. № 15. 6 с.

10. **Петросян В.С.** Химическая безопасность и альголизация водоемов. Матер. Всерос. конф. "Приоритетные направления экологической реабилитации Воронежского водохранилища". Воронеж, Научная книга, 2012. С. 311–319.

11. **Петросян В.С., Бутакова 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. Т. 19. № 4. С. 36–41.

12. **Попов А.Н., Бутакова Е.А., Павлюк Т.Е.** Об изучении механизма взаимодействия штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 с сообществами синезеленых водорослей поверхностных водоемов в окрестностях Екатеринбурга. Матер. Всерос. конф. "Приоритетные направления экологической реабилитации Воронежского водохранилища". Воронеж, Научная книга, 2012.

2. **Akimov L.M., Akimov E.L.** Prostranstvennoe raspredelenie meteorologicheskikh parametrov, vliyayushchikh na zhiznedeyatel'nost' cheloveka na territorii Tsentral'nogo Chernozem'ya. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2014. №2. S. 17–23.

3. **Akimov L.M., Zadorozhnaya T.N.** Osobennosti raspredeleniya trendov temperatury vozdukha na evropeiskoi territorii Rossii i sopredel'nykh gosudarstv. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2018. № 4. S. 5–14.

4. **Antsiferova G.A., Bepalova E.V.** Sostoyanie vodnoi sredy Voronezhskogo vodokhranilishcha v svyazi s situatsiei v Maslovskom zatone. Vestnik Voronezhskogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2016. № 2. S. 91–100.

5. **Antsiferova G.A., Kul'nev V.V.** Ekologo-gidrobiologicheskii monitoring sostoyaniya vodnoi sredy Voronezhskogo vodokhranilishcha. Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Kompleksnyye problemy tekhnosfernoi bezopasnosti". Voronezh, Izd-vo VGTU, 2016. Ch. VIII. S. 84–93.

6. **Antsiferova G.A., Kul'nev V.V., Shevyrev S.L., Bepalova E.V., Rusova N.I., Skosar' A.E.** Iskusstvennyye vodnye ob'ekty basseina reki Voronezh i al'gobiotekhnologiya v upravlenii kachestvom vod. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2018. T. 22. № 8. S. 50–54.

7. **Bogdanov N.I.** Biologicheskaya reabilitatsiya vodoemov. Penza, Penzenskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya, 2008. 126 s.

8. **Lukhtanov V.T., Kul'nev V.V.** Biologicheskaya reabilitatsiya vodoemov posredstvom strukturnoi perestroiki fitoplanktonnogo soobshchestva. Trudy Geograficheskogo obshchestva Respubliki Dagestan. Makhachkala. 2013. № 41. S. 140–143.

9. **Pat. № 2585523 RF.** Bogdanov N.I. Planktonnyi shtamm *Chlorella kessleri* dlya predotvrashcheniya "tsveteniya" vodoemov sinezelenymi vodoroslyami. Opubl. 27.05.2016. Byul. № 15. 6 s.

10. **Petrosyan V.S.** Khimicheskaya bezopasnost' i al'golizatsiya vodoemov. Mater. Vseros. konf. "Prioritetnyye napravleniya ekologicheskoi reabilitatsii Voronezhskogo vodokhranilishcha". Voronezh, Nauchnaya kniga, 2012. S. 311–319.

11. **Petrosyan V.S., Butakova E.A., Lukhtanov V.T., Kul'nev V.V.** Predotvrashchenie zagryazneniya prirodnykh vodoemov tsianotoksinami s pomoshch'yu mikrovodorosli *Chlorella vulgaris* IFR №S-111. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2015. T. 19. № 4. S. 36–41.

12. **Popov A.N., Butakova E.A., Pavlyuk T.E.** Ob izuchenii mekhanizma vzaimodeistviya shtamma *Chlorella vulgaris* IFR № S-111 s soobshchestvami sinezelenykh vodoroslei poverkhnostnykh vodoemov v okrestnostyakh Ekaterinburga. Mater. Vseross. konf. "Prioritetnyye napravleniya ekologicheskoi reabilitatsii Voronezhskogo vodokhranilishcha". Voronezh, Nauchnaya kniga, 2012.

В.С. Петросян – д-р хим. наук, заслуженный профессор МГУ, МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991 Россия, Ленинские горы 1, e-mail: valpetros@mail.ru • Г.А. Анциферова – д-р геогр. наук, профессор, Воронежский государственный университет, 394018 Россия, г. Воронеж, Университетская площадь 1, e-mail: g.antsiferova@mail.ru • Л.М. Акимов – канд. геогр. наук, зав. кафедрой, e-mail: ak163@bk.ru, root@geogr.vsu.ru • В.В. Кульнев – канд. геогр. наук, исполняющий обязанности специалиста-эксперта отдела надзора Управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Воронежской области, 394087 Россия, г. Воронеж, ул. Ломоносова 105, e-mail: kulneff.vadim@yandex.ru • С.Л. Шевырев – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотрудник, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690022 Россия, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку 159, e-mail: shevirev@mail.ru • Е.Л. Акимов – аспирант, Воронежский государственный университет, 394018 Россия, г. Воронеж, Университетская площадь 1, e-mail: akimovvsu@gmail.com

V.S. Petrosyan – D. Sci. (Eng.), Distinguished Professor, M.V. Lomonosov Moscow State University, 119991 Russia, Moscow, Leninsky Gory 1, e-mail: valpetros@mail.ru • G.A. Antsiferova – Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Voronezh State University, 394018 Russia, Voronezh, Universitetskaya pl. 1, e-mail: g.antsiferova@mail.ru • L.M. Akimov – Cand. Sci. (Geogr.), Head of Department, e-mail: ak163@bk.ru • V.V. Kulnev – Cand. Sci. (Geogr.), Acting Specialist Expert of the Supervision Department of the Federal Service for Supervision of Nature Management in the Voronezh Region, 394087 Russia, Voronezh, Lomonosov Str. 105, e-mail: kulneff.vadim@yandex.ru • S.L. Shevyrev – Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher, Far East Geological Institute, 690022 Russia, Vladivostok, Prospekt 100-letiya 159, e-mail: shevirev@mail.ru • E.L. Akimov – Post-graduate Student, Voronezh State University, 394018 Russia, Voronezh, Universitetskaya pl. 1, e-mail: akimovvsu@gmail.com