

А.В. СЕЛЕЗНЕВА
К.В. БЕСПАЛОВА
В.А. СЕЛЕЗНЕВ

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ ИСТОЧНИКЕ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

ESTIMATION OF SEASONAL VARIABILITY OF WATER QUALITY IN A SURFACE SOURCE
OF DRINKING WATER SUPPLY

Представлены результаты мониторинга качества воды Саратовского водохранилища за период 2000-2016 гг. Наблюдения проводились ежемесячно на стационарном пункте, расположенном в нижнем бьефе Жигулевской ГЭС. Установлено, что качество воды в источнике водоснабжения характеризуется существенной сезонной изменчивостью. В период массового развития водорослей органическое загрязнение водохранилища увеличивается, а концентрация биогенных веществ уменьшается. Чрезмерное содержание органических веществ в летнюю межень затрудняет технологические процессы очистки воды. Сделан вывод, что лимитирующим показателем, сдерживающим массовое развитие водорослей, являются фосфаты, концентрация которых в пик «цветения» воды понижается практически до нуля.

Ключевые слова: водохранилище, источник водоснабжения, мониторинг, антропогенное эвтрофирование, качество воды, сезонная изменчивость, органическое загрязнение, биогенные вещества, регулирование нагрузки

По мере роста биогенной нагрузки и глобального потепления климата проблема качества воды поверхностных источников водоснабжения, находящихся в условиях антропогенного эвтрофирования, становится всё более актуальной [1–3].

Экологическое состояние водохранилищ Волжско-Камского каскада, которые являются безальтернативными источниками водоснабжения крупных городов, ухудшается в период летней межени. Особенно остро эта проблема стоит на водохранилищах Нижней Волги (Куйбышевское, Саратовское и Волгоградское), где в период летней межени наблюдается массовое развитие водорослей, или «цветение» воды. Резкое увеличение численности и биомассы водорослей обуславливает снижение качества воды на водохранилищах по ряду показателей: численность и биомасса фитопланктона; запах; цветность; органические и токсические вещества, растворенный кислород; водородный показатель рН; окислительно-восстановительный потенциал Eh [4, 5].

Снижение качества воды в источнике водоснабжения создает значительные трудности при очистке воды на водопроводных очистных сооружениях. При

The results of water quality monitoring of the Saratov reservoir for the period 2000-2016 are presented. Observations were carried out monthly at a stationary station located in the lower tail of the Zhigulevskaya HPP. It is established that the quality of water in the source of water supply is characterized by significant seasonal variability. During the mass development of algae the organic contamination of the reservoir increases and the concentration of nutrients decreases. Excessive content of organic substances in the summer low water complicates the technological processes of water purification. It is concluded that phosphate is the limiting factor restraining the mass development of algae, the concentration of which in the peak of “flowering” of water is reduced to almost zero.

Key words: reservoir, source of water supply, monitoring, anthropogenic eutrophication, water quality, seasonal variability, organic pollution, nutrients, load regulation

этом применяемые в волжских городах технологии водоподготовки не позволяют довести подаваемую населению воду до нормативного качества.

При использовании водохранилища, как источника питьевого водоснабжения, важно знать особенности процесса «цветения» воды в нем, а также те количественные показатели качества воды, которые могут существенно снижать ее потребительские свойства и затруднять очистку.

Целью исследования является оценка сезонных изменений качества волжской воды по органическим показателям и биогенным веществам в условиях антропогенного эвтрофирования поверхностного источника питьевого водоснабжения. В качестве объекта выбрано Саратовское водохранилище.

Материалы и методы исследования

Гидрохимические наблюдения проводились на р. Волге в 2,5 км ниже по течению Жигулевской плотины. Выше по течению от плотины расположено Куйбышевское, а ниже – Саратовское водохранилище. Отбор проб воды осуществлялся ежемесячно в период 2000-2016 гг. батометром Молчанова ГР-18

с глубины 0,5 м в соответствии с действующими нормативными документами (ГОСТ 2761-84. Источники хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб). Пробы воды фильтровались через мембранный фильтр. Фильтрованная вода переливалась в бутылки из химически стойкого стекла с притертыми пробками. Перед этим бутылки дважды ополаскивались водой, подлежащей анализу, и заполнялись ею доверху.

Химический анализ проб воды осуществлялся в лаборатории Института экологии Волжского бассейна РАН по органическим показателям: перманганатная окисляемость (ПО), химическое потребление кислорода (ХПК) и биогенным веществам: нитраты (NO_3^-), фосфаты (PO_4^{3-}). Измерение концентрации ПО и ХПК выполнялось титриметрическим [6, 7], а концентрации нитратов и фосфатов – фотометрическим [8, 9] методами. Диапазоны измеряемых концентраций веществ и показатели точности измерений (границы погрешности при вероятности $P = 0,95$) представлены в соответствии с действующими нормативными документами (табл. 1).

Полученные данные химического анализа формировались в ряды, которые подвергались статистической обработке с использованием программы Statistica v 6.0. По каждому показателю качества воды для каждого месяца формировались выборки из 17 членов ряда (2000-2016 гг.), по которым определялись: средняя (C_{cp}), максимальная (C_{max}) и минимальная (C_{min}) концентрации и среднее квадратичное отклонение (σ).

Результаты и их обсуждение

Качество воды Саратовского водохранилища в основном формируется в Куйбышевском водохранилище, которое расположено выше по течению в Волжско-Камском каскаде. Средний годовой расход воды, поступающей в Саратовское водохранилище через плотину Жигулевской ГЭС, составляет 5500 м³/с, а расход бокового притока – 203-230 м³/с (4 %).

В Куйбышевском водохранилище ежегодно в период летней межени наблюдается массовое развитие водорослей («цветение» воды). Его интенсивность и продолжительность зависят от биогенной

нагрузки, режима регулирования водного стока и гидрометеорологических условий конкретного года.

Процесс «цветения» воды характеризуется существенной пространственной неоднородностью. В пойменных частях водохранилища, заливах, зонах подпора притоков, где небольшая глубина и течение практически отсутствует, «цветение» воды проходит более активно, чем в русле. Наиболее интенсивно процесс развивается в самом большом и мелководном Черемшанском заливе, а также на приплотинных плесах, где формируются обширные зоны «цветения» (толщина слоя водорослей на поверхности водоема достигает нескольких сантиметров).

Анализ состава фитопланктона водохранилища показал, что преобладающими являются: сине-зеленые, диатомовые, зеленые [10]. При этом именно сине-зеленые водоросли вызывают цветение воды в летний период. Такие виды сине-зеленых водорослей, как *Microcystis*, *Anabaena* и *Aphanizomenon* способны к продуцированию токсинов (микроцистины). В настоящее время известно более 70 структурных вариантов микроцистинов, наиболее токсичным является микроцистин-LR. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, его допустимая концентрация в воде составляет 1 мкг/дм³.

С ростом биомассы водорослей в водохранилище увеличивается концентрация хлорофилла *a*, а также рН (до 9–9,5), цветность воды (до 40–50 град.), запах (до 3–4 баллов) и уменьшается Eh (до 230–250 мВ). В поверхностном слое водоема наблюдается избыток кислорода (200–300 %), а в придонном слое – его дефицит. Увеличивается содержание в воде взвешенных и растворенных органических веществ, при этом концентрация NO_3^- и PO_4^{3-} уменьшается. Содержание PO_4^{3-} может упасть до нуля, и тогда процесс развития водорослей временно прекращается [11,12].

Особую тревогу вызывает органическое загрязнение воды по интегральным показателям – БПК, перманганатной окисляемости и ХПК в период летней межени. Повышение концентрации перманганатной окисляемости летом связано с увеличением количества автохтонного органического вещества за счет интенсивного развития фитопланктона. Даже в створе Жигулевской ГЭС, где наблюдается хорошее перемешивание и аэрация, волжская вода не соот-

Таблица 1

Диапазон и точность измерения показателей качества воды

Показатель	Диапазон измерений	Руководящий документ	Показатель точности
ПО	2,0-100 мгО/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.154-99	±10 %
ХПК	10,0-80,0 мгО/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.100-97	±24 %
NO_3^-	0,1- 3,0 мгN/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4-95	±0,18X мгN/дм ³
PO_4^{3-}	0,01-0,2 мгP/дм ³	РД 52.24.382-2006	±0,002+0,092X мгP/дм ³

Примечание. X – концентрация вещества

ветствует нормативным требованиям по перманганатной окисляемости и ХПК в течение всего года и по БПК в период «цветения» воды [13]. Данные по содержанию органических веществ за 2000–2016 гг. приведены в табл. 2.

Среднее годовое значение перманганатной окисляемости в воде Саратовского водохранилища составляет 7,4 мгО/дм³. Средние месячные значения (C_{cp}) изменяются в пределах 7,0–8,6 мг/дм³, максимальные (C_{max}) – 8,6–13,8 мг/дм³, минимальные (C_{min}) – 4,1–7,1 мг/дм³. Внутригодовые изменения концентрации ПО имеют ярко выраженный сезонный ход (рис. 1). Наибольшие средние месячные значения (C_{cp}) наблюдаются в летнюю межень (июль), в пик цветения воды, а наименьшие – в зимнюю межень. За счет цветения воды перманганатная окисляемость увеличивается на 10–15 %.

Среднее годовое значение ХПК составляет 25,3 мг/дм³. Средние месячные значения (C_{cp}) изменяются в пределах 22,9–27,3 мг/дм³, максимальные – 28,9–38,7 мг/дм³, минимальные – 9,5–16,9 мг/дм³. Временные изменения концентрации ХПК имеют ярко выраженный сезонный ход (рис. 2). Наибольшие средние месячные значения наблюдаются в летнюю межень (июль), в пик цветения воды, наименьшие – в зимнюю межень. За счет цветения воды ХПК увеличивается на 6–8 %.

Серьезные последствия увеличения концентрации органического вещества в воде источника водоснабжения связаны с образованием токсических органических загрязнений при подготовке питьевой воды. Повышенное содержание органических веществ может существенно затруднять технологические процессы очистки воды, в частности процесс флокуляции.

Таблица 2

Статистические характеристики концентрации ПО и ХПК по многолетним рядам

Показатель	Значения показателей по месяцам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ПО, мгО/дм ³												
C_{cp}	7,5	7,1	7,8	7,5	7,5	7,8	8,6	7,9	7,4	7,1	7,0	7,0
σ	1,4	1,4	1,3	1,1	1,2	1,0	1,5	1,3	1,0	1,1	0,8	0,9
C_{max}	9,8	13,8	10,7	10,5	9,4	10	12,1	9,8	9,7	9,8	8,6	8,6
C_{min}	5,5	4,1	5,2	5,4	5,8	5,5	7,1	6,5	6,2	5,9	6,0	5,3
ХПК, мгО/дм ³												
C_{cp}	23	24	25	25	24	27	27	27	27	26	25	25
σ	7	7	6	6	8	6	5	5	5	5	4	5
C_{max}	39	36	35	33	31	35	36	35	34	32	29	33
C_{min}	12	13	15	14	10	15	17	14	16	15	17	13

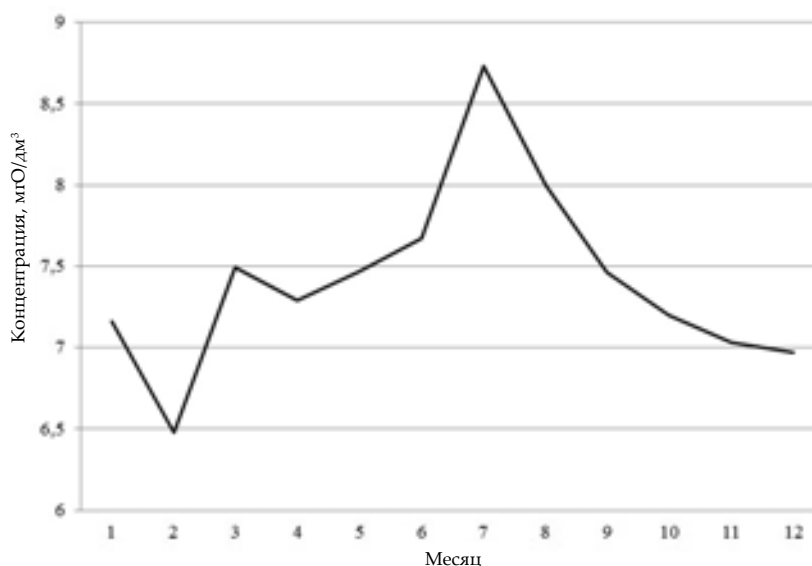


Рис.1. Внутригодовые изменения концентрации ПО

Процесс цветения воды оказывает сильное влияние на сезонное содержание биогенных веществ, при этом особый интерес (с точки зрения борьбы с процессом цветения воды) представляют фосфаты и нитраты.

За период 2000-2016 гг. средняя годовая концентрация нитратов составила 0,75 мг/дм³. Средние месячные значения (C_{cp}) изменяются в пределах 0,41–1,26 мг/дм³, максимальные (C_{max}) – 1,13–2,37, минимальные (C_{min}) – 0,2–0,52 (табл. 3).

Наибольшие концентрации нитратов наблюдаются перед началом весеннего половодья. В период половодья концентрация нитратов падает, достигая минимальных значений в июле, в летне-осеннюю межень (июнь–сентябрь) – стабильна, а затем начинает медленно повышаться в период зимней межени (рис. 3).

Средняя годовая концентрация фосфатов составляет 0,065 мг/дм³. В течение года средние месячные значения (C_{cp}) изменяются в пределах 0,029–0,095 мг/дм³, максимальные – 0,052–0,149 мг/дм³, мини-

мальные – 0,01–0,058 мг/дм³. Наибольшая концентрация фосфатов наблюдается в осеннюю межень, наименьшая – в летнюю межень, в период массового развития водорослей (рис. 4).

Проведенные наблюдения показывают, что в результате активного потребления фитопланктоном нитратов и фосфатов концентрация этих веществ в воде водохранилища в летний период резко снижается. При этом содержание фосфатов уменьшается до минимума, в то время как концентрация нитратов остается достаточно высокой. В пойменных частях водохранилища, где численность и биомасса фитопланктона в пик цветения воды намного больше, чем в русле, концентрация фосфатов практически равна нулю. Следовательно, наличие фосфатов в воде водохранилища является сдерживающим фактором развития фитопланктона в летний период.

Наличие фосфатов лимитирует развитие сине-зеленых водорослей, снижая интенсивность и продолжительность процесса цветения воды.

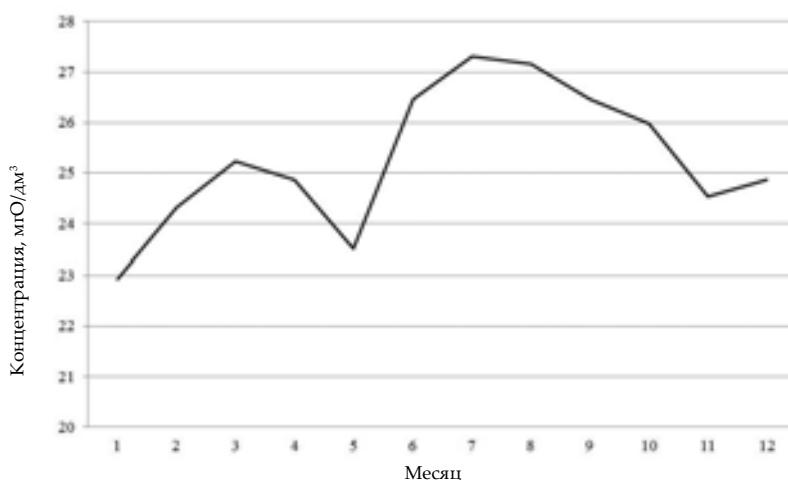


Рис. 2. Внутригодовые изменения концентрации ХПК

Таблица 3

Статистические характеристики концентрации NO_3^- и PO_4^{3-} по многолетним рядам

Показатель	Значения показателей по месяцам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Нитраты, мгN/дм ³												
C_{cp}	0,80	1,00	1,21	1,26	1,10	0,72	0,54	0,58	0,44	0,47	0,41	0,51
σ	0,37	0,40	0,44	0,52	0,38	0,31	0,38	0,57	0,36	0,42	0,25	0,26
C_{max}	1,76	1,89	2,37	2,35	1,96	1,33	1,24	1,92	1,46	1,28	1,13	1,28
C_{min}	0,42	0,42	0,52	0,42	0,47	0,21	0,11	0,14	0,12	0,12	0,20	0,26
Фосфаты, мкгP/дм ³												
C_{cp}	75	74	74	61	47	29	31	50	66	89	95	84
σ	15	01	15	17	25	11	14	29	23	25	22	17
C_{max}	113	95	107	87	122	52	56	149	109	146	136	107
C_{min}	37	58	52	12	10	11	10	25	17	42	47	40

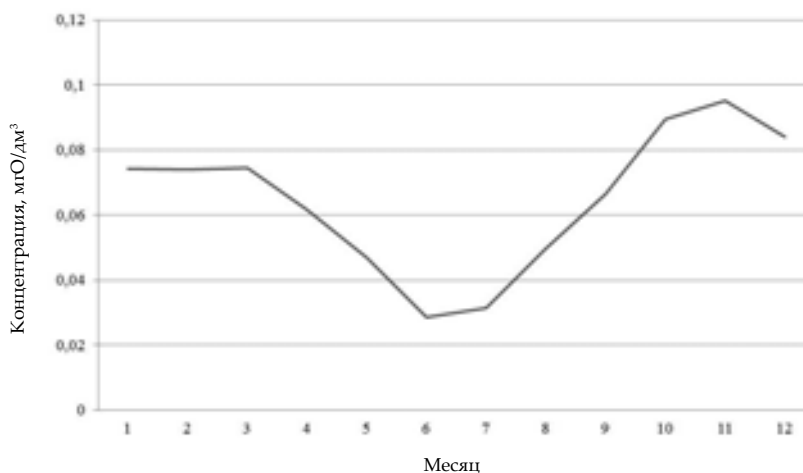


Рис. 3. Внутригодовые изменения концентрации нитратов

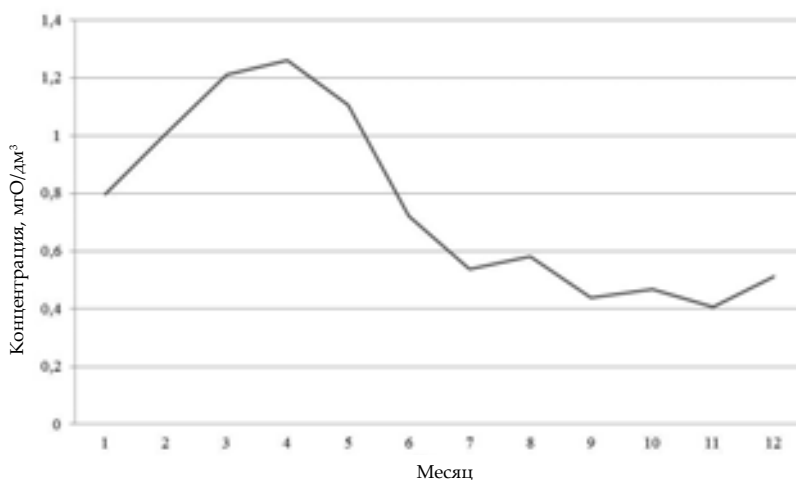


Рис. 4. Внутригодовые изменения концентрации фосфатов

Для уменьшения нагрузки по фосфору, восстановления экологического состояния водохранилища и повышения качества воды необходимо разрабатывать и внедрять региональные нормативы качества, которые учитывали бы природные особенности водохранилища по естественному содержанию биогенных веществ в воде.

Уменьшение количества биогенных веществ в воде, особенно фосфатов, будет способствовать снижению интенсивности и сокращению периода цветения. Несмотря на то что концентрация фосфатов и нитратов в воде ниже нормы, именно они провоцируют цветение и снижение качества воды. Поэтому для восстановления нормального состояния водохранилища необходимо, прежде всего, снижать содержание биогенных веществ. Этому способствуют разработка и внедрение региональных нормативов качества воды, учитывающих природные особенности водного объекта.

Одна из главных причин «цветения» и снижения качества воды – чрезмерная биогенная нагрузка, которая стала возможной из-за несовершенства системы нормирования. Критериями при нормировании качества воды водных объектов являются предельно допустимые концентрации, которые одинаковы для всей территории РФ и зависят только от вида водопользования без учета природных особенностей водных экосистем. В результате устанавливаются ошибочные приоритеты управления антропогенной нагрузкой на водные объекты, которые являются источниками питьевого водоснабжения. Для снижения биогенной нагрузки на водохранилище необходимо приступить к разработке и внедрению региональных нормативов качества воды, учитывающих природные особенности водоемов [14,15].

Выводы. 1. Качество воды в Саратовском водохранилище по органическим показателям (ПО, ХПК) и биогенным веществам (нитраты, фосфаты)

характеризуется значительной сезонной изменчивостью. В летний период содержание органических веществ увеличивается, а концентрация биогенных веществ наоборот уменьшается. Амплитуда сезонных изменений ПО составляет 7,1–13,8 мгО/дм³ и не соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к источникам питьевого водоснабжения.

2. Чрезмерное содержание в летний период органических веществ в воде Саратовского водохранилища обусловлено массовым развитием водорослей. За счет цветения воды перманганатная окисляемость в период «цветения» воды увеличивается на 10–15 %.

3. Саратовское водохранилище, как поверхностный источник водоснабжения, относится ко второму классу. Однако существующую технологию очистки воды необходимо совершенствовать с целью обеспечения населения питьевой водой нормативного качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беспалова К.В. Состояние источников водоснабжения в условиях антропогенного эвтрофирования водохранилищ // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 7–16.
2. Селезнев В.А., Селезнева А.В., Беспалова К.В. Антропогенное эвтрофирование крупных водохранилищ Нижней и Средней Волги в условиях глобального потепления климата // Глобальное распространение процессов антропогенного эвтрофирования водных объектов: проблемы и пути решения (8–19 мая 2017 г., Казань, Россия): материалы Международной научно-практической конференции. Казань: Приволжский федеральный университет, 2017. С. 151–156.
3. Селезнева А.В., Селезнев В.А., Беспалова К.В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья // Поволжский экологический журнал. 2014. № 1. С. 88–96.
4. Даценко Ю. С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-геохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.
5. Никитин О.В., Латыпова В.З., Степанова Н.Ю. Мониторинг цианоакриальных токсинов в водных объектах Республики Татарстан (2011–2016 гг.) // Глобальное распространение процессов антропогенного эвтрофирования водных объектов: проблемы и пути решения (8–19 мая 2017 г., Казань, Россия): материалы Международной научно-практической конференции. Казань: Приволжский федеральный университет, 2017. С. 51–62.
6. ПНД Ф 14.1:2:4.154-99. Методика измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом. М., 2012. 11 с.
7. ПНД Ф 14.1:2.100-97. Методика выполнения измерений химического потребления кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом. М., 2004. 13 с.
8. ПНД Ф 14.1:2.4-95. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрат-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой титриметрическим методом. М., 2012. 12 с.
9. РД 52.24.382-2006. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерения фотометрическим способом. Ростов-н/Д, 2006. 26 с.
10. Герасимова Н. А. Фитопланктон Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Тольятти, 1996. 200 с.
11. Беспалова К. В., Селезнева А. В., Селезнев В. А. Устойчивое водоснабжение городского населения в условиях «цветения» воды на водохранилищах Волги (на примере г. о. Тольятти) // Водоочистка. 2016. № 6. С. 19–24.
12. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. / пер. с фр. СПб.: Новый журнал, 2007. 775 с.
13. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Введ. Постановлением гл. гос. санит. врача РФ 30.04.2003, №7 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 19.04.2018).
14. Селезнева А. В. Разработка превентивных мер борьбы с цветением воды на крупных водохранилищах // Экология и промышленность России. 2010, июль. С. 38–43.
15. Селезнев В. А., Селезнева А. В., Беспалова К. В. Нормирование сброса биогенных веществ в поверхностные водные объекты // Градостроительство и архитектура. 2014. № 2. С. 49–53. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.02.9.

Об авторах:

СЕЛЕЗНЕВА Александра Васильевна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Институт экологии Волжского бассейна РАН
445004, Россия, г. Тольятти, ул. Комзина, 10
E-mail: aleks.selezneva@mail.ru

SELEZNEVA Alexandra V.

PhD in Engineering Science, Senior Researcher
Institute of Ecology of the Volga Basin
of the Russian Academy of Sciences
445004, Russia, Togliatti, Komzina str., 10
E-mail: aleks.selezneva@mail.ru

БЕСПАЛОВА Ксения Владимировна

кандидат химических наук, младший научный сотрудник
Институт экологии Волжского бассейна РАН
445004, Россия, г. Тольятти, ул. Комзина, 10
старший преподаватель
Тольяттинский государственный университет
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14
E-mail: kvbespalova@yandex.ru

BESPALOVA Ksenia V.

PhD in Chemistry, Junior Researcher
Institute of Ecology of the Volga Basin
of the Russian Academy of Sciences
445004, Russia, Togliatti, Komzina str., 10
Senior Lecturer
Togliatti State University
445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14
E-mail: kvbespalova@yandex.ru

СЕЛЕЗНЕВ Владимир Анатольевич

кандидат географических наук, доктор технических наук,
профессор, заведующий лабораторией
Институт экологии Волжского бассейна РАН
445004, Россия, г. Тольятти, ул. Комзина, 10
Тольяттинский государственный университет
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14
E-mail: seleznev53@mail.ru

SELEZNEV Vladimir A.

Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Laboratory
Institute of Ecology of the Volga Basin
of the Russian Academy of Sciences
445004, Russia, Togliatti, Komzina str., 10
Togliatti State University
445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14
E-mail: seleznev53@mail.ru

Для цитирования: Селезнева А.В., Беспалова К.В., Селезнев В.А. Оценка сезонной изменчивости качества воды в поверхностном источнике питьевого водоснабжения // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №2. С. 20-26. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.4.

For citation: Selezneva A.V., Bespalova K.V., Selezneva V.A. Estimation of Seasonal Variability of Water Quality in a Surface Source of Drinking Water Supply // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, 2. Pp. 20-26. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.4.