

УДК 911:556.5:543.3

КУПАНИЕ КАК ВИД РЕКРЕАЦИОННОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОЕМОВ ЦФО РОССИИ

Чекмарева Е.А.

*Иваньковская НИС – филиал ФГБУН Институт водных проблем РАН,
Конаково, Тверская область, e-mail: s_taya@list.ru*

Рекреационное водопользование в центральной части России связано с различными видами досуга (отдыха) вблизи (либо на) водных объектов. Этот вид водопользования оказывает антропогенное влияние на качество воды в водном объекте, в то время как сам объект представляет химическую и микробиологическую угрозу для здоровья человека. Целью исследования было изучить качество воды ряда водоемов и выявить: как изменяется химический состав воды при купании, какие показатели (ПДКв или фоновые значения) позволяют эффективно оценить качество воды в местах рекреационного водопользования. Объектами исследования являлись водоемы, расположенные в ЦФО: Иваньковское водохранилище, Большой Люберецкий карьер, Константиновский карьер и оз. Чистое. Отбор проб воды проводили из поверхностного горизонта или в трех точках: урез, 0,8 м, 2 м; или в одной: с глубины 0,4–0,5 м в местах рекреационного водопользования. Химический анализ воды включал: физико-химические показатели (температура, pH, мутность), главные ионы (HCO_3 , Ca, Mg, SO_4 , Cl, Na и K), биогенные элементы (Fe, Si, соединения N и P), показатели содержания органических соединений (БПК₅, цветность). Исследования проведены в летний период 2018 г. Подтверждены выводы, сделанные ранее: высокая рекреационная нагрузка на водоемы может приводить к увеличению вблизи берега концентраций ионов аммония, нитритов, нитратов и фосфора общего в воде. Для оценки качества воды в водоеме при рекреационном водопользовании рекомендовано использовать данные по качеству воды фоновых водоемов.

Ключевые слова: качество воды, водоемы, ЦФО, рекреация, купание, химический анализ

BATHING AS A KIND RECREATIONAL WATER USE OF RESERVOIRS OF THE CENTRAL FEDERAL DISTRICT OF RUSSIA

Chekmareva E.A.

*Ivankovskaya Research Station the Department of Water Problems
Institute of Russian Academy of Science, Konakovo, Tver region, e-mail: s_taya@list.ru*

Recreational water use in the central part of Russia is associated with various types of leisure (recreation) near (on) the reservoirs. This type of water use has an anthropogenic effect on water quality in a reservoir. The reservoirs also pose a chemical and microbiological threat to human health. The purpose of the study was to study the water quality of reservoirs and to identify: how the chemical composition of water changes during bathing, which indicators make it possible to effectively assess the quality of water in places of recreational water use. The objects of study are: Ivankovo reservoir, Big Lyuberetsky quarry, Konstantinovskiy quarry and lake Clean. Water was sampled from the surface horizon or at three points: the edge of the shore, 0.8 m, 2 m; or in one: from a depth of 0.4–0.5 m in places of recreational water use. Chemical analysis of water quality was carried out by physicochemical parameters (temperature, pH, turbidity), macro component composition (HCO_3 , Ca, Mg, SO_4 , Cl, Na and K), biogenic elements (Fe, Si, compounds N and P), indicators of the content of organic compounds (BOD_5 , chromaticity). The studies were conducted in the summer of 2018. Author confirmed conclusions drawn earlier: high load on recreational waters may lead to an increase in near shore concentrations of ammonium, nitrite, nitrate and total phosphorus in the water. To assess the quality of water in the reservoir at recreational water recommended to use data on the quality of background water reservoirs.

Keywords: water quality, reservoir, Central Federal District, recreation, bathing, chemical analysis

Исследования были проведены в Центральном федеральном округе (ЦФО), занимающем площадь 650,2 тыс. км². Население ЦФО составляет 39,3 млн человек, из них в г. Москва – 12,5 млн чел., Московской области – 7,5 млн чел. (за 2018 г.), по [1]. В ЦФО насчитывается 31 тыс. водотоков, 49,9 тыс. озер и искусственных водоемов общей площадью 9250 км², по [2]. Несмотря на обилие водоемов, в округе существует проблема доступных для рекреации водоемов, что связано с высокой плотностью населения.

Под «рекреационным водопользованием» обычно понимают использование во-

дных объектов, включая береговую полосу, для удовлетворения потребностей населения в досуге (отдыхе) [3, 4]. Рекреационное водопользование оказывает прямое или косвенное (опосредованное) воздействие на качество воды и экосистемы водных объектов [4], и является потенциальным источником химической и микробиологической опасности для здоровья человека.

Основную нагрузку на водоем оказывают купание, рыболовство и отдых с использованием маломерных судов [5]. Под купанием мы понимаем погружение человека в поверхностные воды. Этот вид рекреационного водопользования оказывает микро-

биологическое и химическое воздействие на водоем, которое выражается в смыве с тела человека и выделении в воду продуктов жизнедеятельности. В течение 10-минутного купания в воду попадают свыше 3 млрд сапрофитовых бактерий, от 100 тыс. до 20 млн кишечных палочек; при однократном выделении продуктов жизнедеятельности в воду – 2,3 г хлора, 0,55 г оксида фосфора, 0,136 г аммиака, 0,073 г мочевины, 5,5 г мочевины, 45,5 г аминокислот, 0,021–0,051 г фенолов, сульфатов и других веществ, по [5–7].

Цель исследования: изучить изменение качества воды водоемов при купании в периоды высокой рекреационной нагрузки, выяснить, какие показатели (ПДКв или фоновые значения) позволяют эффективно оценить качество воды в местах рекреационного водопользования.

Материалы и методы исследования

Для исследования были выбраны водоемы Московской и Тверской областей, используемые в рекреационных целях: Ивановское водохранилище, Большой

Люберецкий карьер, Константиновский карьер и оз. Чистое.

Для оценки нагрузки от купания на водоемы в районе городского пляжа г. Конаково на Ивановском водохранилище и пляжной зоны у центрального моста на р. Донховка (рис. 1, а) использовали методику забора воды с поверхностного слоя по горизонтальному профилю: у уреза, на глубине 0,8 м и ~2 м [5, 7]. Отбор проб воды по данной методике проводили в июне-июле 2010–2011, 2016 и 2018 гг., всего отобрано 106 проб воды.

В Большом Люберецком и Константиновском карьерах (рис. 1, б, в) исследования проведены впервые, пробы воды отбирали однократно в летний период 2018 г. Это связано со спецификой исследования: определить качество воды в водоемах в данный момент времени, в местах рекреационного водопользования. Отбор проб воды в озере Чистое (рис. 1, г) проводили летом 2016–2018 гг., для выявления межгодовых изменений качества воды в период высокой рекреационной нагрузки. Пробы воды отбирали согласно ГОСТ 31861-2012 [8] с глубины 0,4–0,5 м.

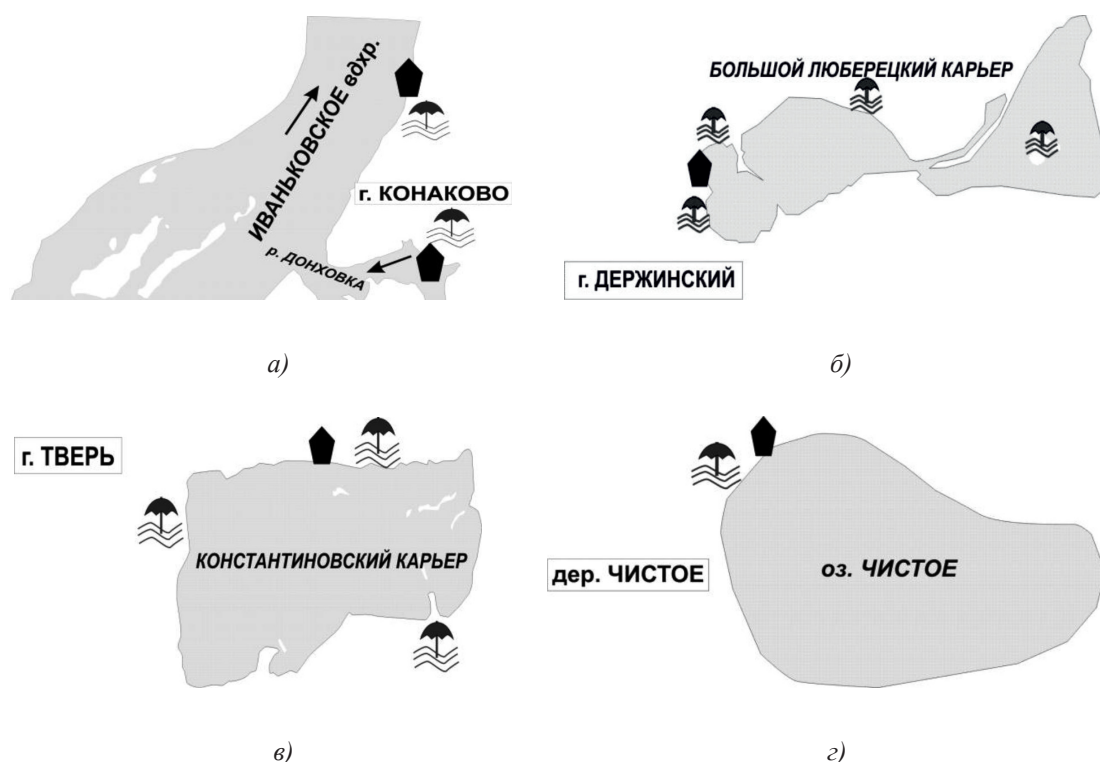


Рис. 1. Карта-схема объектов исследования: а) Ивановское вдхр. и р. Донховка, б) Большой Люберецкий карьер, в) Константиновский карьер, г) оз. Чистое (фон).

■ – место отбора проб воды, 🏖 – пляжная зона

Иваньковское водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока. Оно является мелководным, акватории с глубинами менее 2 м занимают 48%. Полный объем при нормальном подпорном уровне (НПУ – 124 м) составляет 1120 млн м³, площадь водного зеркала – 327 км², длина береговой линии – 520 км, средняя глубина – 3,4 м, по [9]. Река Донховка является правобережным притоком Иваньковского водохранилища. Ее длина составляет 27 км, а водосборная площадь – 158 км² [10].

Большой Люберецкий карьер – искусственный водоем, занимающий дно бывшего карьера площадью 0,38 км². Он находится в г. Держинский (Московская область), плотность населения которого составляет 3555 чел/км². Пляж в западной части Большого Люберецкого карьера (вдоль ул. Угрешская, г. Держинский) – живописное место, вода визуально привлекает отдыхающих, прозрачная, хорошо прогревается в зоне купания. Для рекреационного отдыха на берегах карьера организована пляжная зона, отдельно присутствует зона туалетов, зона питания, зона активного (виндсёрфинг, аттракционы и другое) и пассивного (беседки) отдыха.

Константиновский карьер площадью 0,38 км² расположен в окрестностях г. Твери (плотностью населения – 2763 чел/км²), вдоль Савватьевского шоссе. Это одно из самых популярных мест отдыха у воды в г. Твери, вокруг водоема сосновый бор, берег песчаный, вода в карьере прозрачная. Еще один водоем (фоновый) – оз. Чистое с площадью акватории 1,8 км², находится в Тверской области, в Торопецком районе (д. Чистое), где плотность населения составляет 5 чел/км². Водоем живописный, прозрачность воды достигает 3 м, есть причал, небольшой заход в водоем, кабинки для переодевания.

Пробы проанализированы в химической лаборатории ИВНИС ИВП РАН по аттестованным методикам (аттестат аккредитации RA.RU.21АН36 от 21.11.2016 г.). Химический анализ качества воды проводили по физико-химическим показателям (темпера-

тура, pH, мутность), главным ионам (НСО₃, Са, Mg, SO₄, Cl, Na и К), биогенным элементам (Fe, Si, соединения N и P), показателям содержания органических соединений (БПК₅, цветность).

Оценку качества воды проводили в сравнении с ПДКв, используемой для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [11], и с фоновыми значениями концентрации химических элементов. Фоновый водоем – оз. Чистое, расположен в одном регионе со всеми изучаемыми объектами, плотность населения водосборной территории небольшая для ЦФО (5 чел/км²), рекреационная нагрузка на водоем невысокая, химический состав воды отличается низким содержанием главных и биогенных элементов, органических показателей.

Метеопараметры измерялись портативной метеостанцией Kestrel 5000 (США).

Результаты исследования и их обсуждение

В период отбора (июль 2018 г.) по горизонтальному профилю (урез, 0,8 м, ~2 м) погодные условия способствовали увеличению нагрузки на исследуемые пляжи (на Иваньковском вдхр. и р. Донховка в г. Конаково). Было жарко и довольно ветрено: температура воздуха изменялась в пределах от 27,1 до 29,4°С, средняя скорость ветра составила 2,8 м/с, влажность – 57,1%. Средняя температура воды составила 24,3°С. В середине дня количество отдыхающих было 554 человека (городской пляж г. Конаково), из них купалось 106 человек. Максимальная рекреационная нагрузка за период наблюдения на городском пляже г. Конаково отмечена в 2010 г. и составляет 1067 человек в середине дня (с 14 до 15 часов) при температуре воды – 25,3°С и средней температуре воздуха в июле – 24,9°С [5].

Выявлено, что концентрации сульфатов, натрия и калия, аммонийного иона, нитратов, нитритов, фосфора общего и БПК₅ в воде не имеют четкого распределения по горизонтальному профилю (табл. 1).

Таблица 1

Распределение концентраций некоторых химических элементов по горизонтальному профилю пляжа г. Конаково, дм/мг³ (кр. Р_{общ.вал.} – мгР/дм³), июль 2010, 2011, 2016, 2018 гг.

Глубина, м	SO ₄			Na + K		NH ₄				P _{общ.}		
	2011	2016	2018	2010	2018	2010	2011	2016	2018	2010	2011	2018
ур.	10,7	9,4	16,0	4,5	13,3	0,32	0,30	0,15	0,11	0,133	0,104	0,061
0,8	9,9	8,6	16,4	5,5	14,8	0,31	0,39	0,17	0,09	0,099	0,126	0,074
~2	10,1	13,4	16,0	5,3	16,0	0,32	0,42	0,12	0,06	0,164	0,140	0,061

Исследования 2010 [5] и 2018 гг. позволяют отметить, что в водоемах с замедленным водообменном, в периоды высокой рекреационной нагрузки, у уреза воды концентрации соединений азота и фосфора выше, чем на глубине, на $0,14 \text{ дм/мг}^3$ (NH_4), $0,012 \text{ дм/мг}^3$ (NO_2), $0,12 \text{ дм/мг}^3$ (NO_3), $0,021 \text{ дм/мг}^3$ ($\text{P}_{\text{общ}}$). Анализ данных 28 горизонтальных профилей выявил, что вероятность (P) накопления высоких концентраций соединений азота и фосфора у уреза водоема невысока ($P = 57\%$). Для использования методики отбора по горизонтальному профилю в местах высокой рекреационной нагрузки необходимо учитывать множество факторов: водообмен, температуру воды и воздуха, количество отдыхающих и другое.

Ранее было установлено, что под воздействием массового купания наблюдается увеличение концентраций сульфатов, аммонийного иона, нитратов и нитритов, общего фосфора, БПК₅ [5, 7].

В 2018 г. по всем показателям превышения ПДКв [11] не зафиксировано.

Следующим этапом исследования было выявление водоемов со схожими условиями формирования природного качества воды и разными уровнями рекреационных нагрузок. Рекреационные нагрузки оценивали в зависимости от плотности населения вблизи водоемов.

Проведен сравнительный анализ качества воды Большого Люберецкого и Константиновского карьеров, оз. Чистое в июле 2018 г.

Воды исследуемых водоемов гидрокарбонатные (по О.А. Алекину), с низкой и средней минерализацией ($0,1\text{--}0,4 \text{ г/дм}^3$), слабощелочные (рН изменяется в диапазоне $7,85\text{--}8,26$ ед. рН), малоцветные ($8\text{--}10$ градусов Pt-Co шкалы), с низким показателем БПК₅ ($1\text{--}1,6 \text{ мгО/дм}^3$), низкой мутностью (менее 10 мг/дм^3), невысоким содержанием гидрокарбонатов ($54,9\text{--}11,9 \text{ мг/дм}^3$), железа общего ($0,03\text{--}0,06 \text{ мг/дм}^3$), марганца ($0,02\text{--}0,05 \text{ мг/дм}^3$), кремния ($0,17\text{--}0,39 \text{ мг/дм}^3$). По показателю жесткости вода в водоемах: «мягкая» в оз. Чистое и Константиновском карьере (менее 2 мг-экв/дм^3) и средней жесткости ($4,75 \text{ мг-экв./дм}^3$) в Большом

Люберецком карьере. Концентрации ионов аммония выше в Большом Люберецком карьере ($0,41 \text{ мг/дм}^3$), концентрации нитратов – в оз. Чистое и Константиновском карьере ($0,48$ и $1,0 \text{ мг/дм}^3$ соответственно), концентрации фосфора общего валового изменяются в воде водоемов от $0,036$ до $0,059 \text{ мгР/дм}^3$.

Превышения ПДКв [11] ни по одному показателю в воде исследуемых водоемов не было выявлено, поэтому оценку качества воды водоемов проводили в сравнении с фоновыми значениями (оз. Чистое). Озеро Чистое характеризуется низкими концентрациями химических элементов в воде (табл. 2), поэтому подходит в качестве фонового водоема.

В результате сравнения данных химического анализа воды Большого Люберецкого и Константиновского карьеров с оз. Чистое мы получили наибольшие концентрации сульфатов – $179,8 \text{ мг/дм}^3$ (выше в 45 раз фоновых значений), концентрации хлоридов – $36,5 \text{ мг/дм}^3$ (в 11 раз выше фоновых значений), концентрации натрия и калия – $22,8 \text{ мг/дм}^3$ (в 4 раза выше фоновых значений) отмечены в Большом Люберецком карьере (рис. 2, в).

Купание оказывает положительное воздействие на физическое и психологическое состояние человека. Тем не менее в водоемах ЦФО все чаще можно видеть таблички с запретом на купание. Это связано с качеством воды водоемов центральной части России. За последние десятилетия вода в водных объектах ЦФО характеризуется классами качества от «загрязненной» до «грязной», за исключением некоторых единичных озер и участков рек, водохранилищ. Неудовлетворительное качество воды часто связывают со сбросом коммунально-бытовых и промышленных сточных вод, наличием урбанизированных территорий, в том числе с высокой плотностью населения.

Наблюдая за качеством воды различных водоемов и водотоков ЦФО, мы не всегда видим зависимость концентрации сульфатов и хлоридов, соединений азота и фосфора (рис. 3) от плотности населения. Это связано с особенностями формирования качества воды в каждом водном объекте.

Таблица 2

Диапазон концентраций некоторых химических элементов в воде оз. Чистое, дм/мг^3 (кр. БПК₅-мгО/дм³), июль 2016–2018 гг.

HCO_3	Cl	SO_4	Na + K	NH_4	NO_3	PO_4	БПК ₅
67,1–103,7	1,3–3,4	3,8–4	0,3–7,3	0,05–0,32	0,38–0,50	0,012–0,132	1–1,4

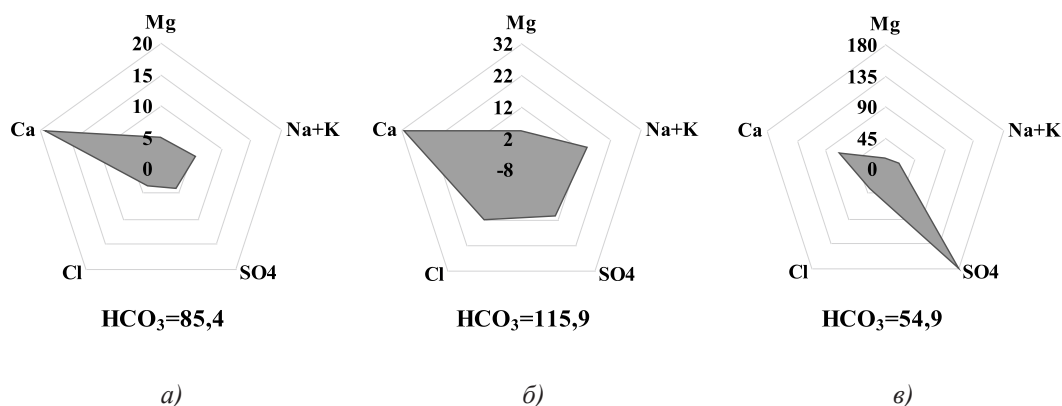


Рис. 2. Диаграмма-роза. Концентрации главных ионов, мг/дм³, июль 2018 г.: а) оз. Чистое (фон), б) Константиновский карьер, в) Большой Люберецкий карьер

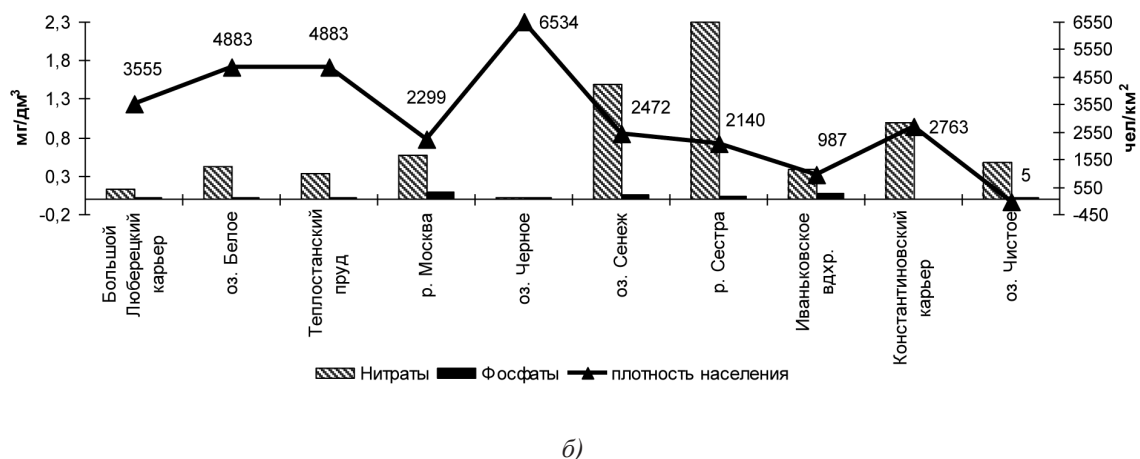
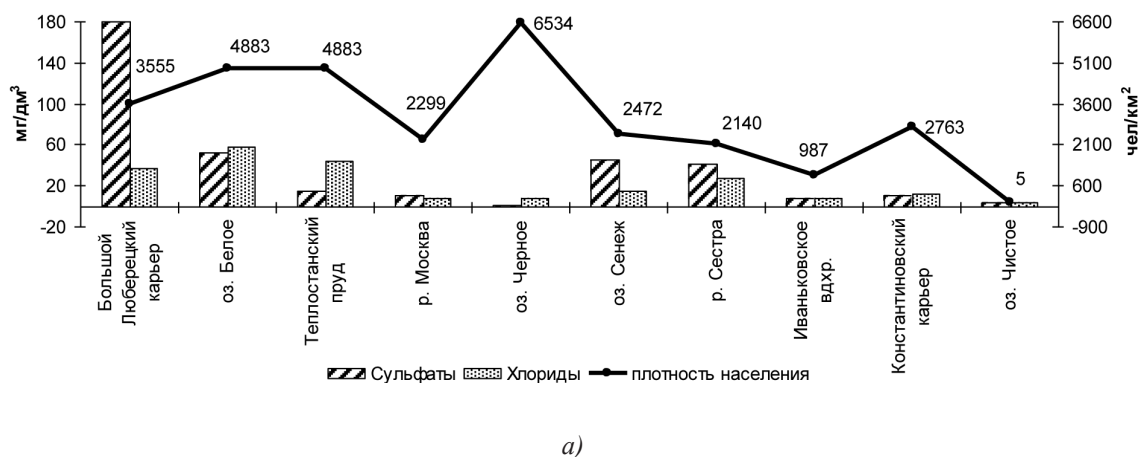


Рис. 3. Изменение концентраций сульфатов, хлоридов (а) и нитратов, фосфатов (б) водоемов и водотоков ЦФО в зависимости от плотности населения, 2018 г.

Следовательно, в городской черте можно иногда встретить водный объект с удовлетворительным для купания качеством воды.

Выводы

В водоемах с замедленным водообменом, в периоды высокой рекреационной на-

грузки концентрации у уреза воды выше, чем на глубине, по следующим элементам: ионы аммония (на 0,14 дм/мг³), нитриты (на 0,012 дм/мг³), нитраты (на 0,12 дм/мг³), фосфор общий (на 0,021 дм/мг³). При этом вероятность распределения концентраций соединений азота и фосфора по горизонтальному профилю (урез, 0,8 м, ~2 м) невысока (57%).

Наши исследования показали, что для оценки качества при рекреационном водопользовании наиболее эффективно использовать сравнение с фоновыми значениями. Так, в Большом Люберецком карьере (г. Держинский, Московская область) выше фоновых значений (оз. Чистое, Тверская область) были концентрации: сульфатов (в 45 раз), хлоридов (в 11 раз), натрия и калия (в 4 раза)

Не выявлено тесной зависимости между концентрациями сульфатов, хлоридов, соединений азота и фосфора в воде водоемов и водотоков ЦФО и плотностью населения на их водосборах. На плотно заселенных территориях можно встретить водный объект с удовлетворительным для рекреационного водопользования качеством воды.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00609 мол_а.

Список литературы / References

1. Численность населения РФ по муниципальным на 1 января 2018 г. // Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce (дата обращения: 13.03.2019).
2. The number of the Russian population in the municipality January 1, 2018 // Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. [Electronic resource]. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce (date of access: 13.03.2019) (in Russian).
3. Центральный федеральный округ // Научно-популярная энциклопедия «Вода России». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.water-rf.ru> (дата обращения: 13.03.2019).
4. Демин А.П. Водопользование // Научно-популярная энциклопедия «Вода России». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.water-rf.ru> (дата обращения: 13.03.2019).
5. Demin A.P. Water use // Popular scientific encyclopedia «Water of Russia». [Electronic resource] URL: <http://www.water-rf.ru> (date of access: 13.03.2019) (in Russian).
6. Авакян А.Б., Бойченко В.К., Салтанкин В.П. Рекреационное использование водных объектов Московской области (состояние, проблемы, перспективы) // Водные ресурсы. 1983. № 4. С. 125–133.
7. Avakyan A.B., Boychenko V.K., Saltankin V.P. Recreational use of water bodies of the Moscow region (state, problem and prospects) // Vodny'e resursy. 1983. № 4. P. 125–133 (in Russian).
8. Григорьева И.Л., Чекмарева Е.А. Влияние рекреационного водопользования на качество воды Ивановского водохранилища // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 3. С. 63–70. DOI: 10.15356/0373-2444-2013-3-63-70.
9. Grigorieva I.L., Chekmareva E.A. The Influence of the Recreation on Water Quality of the Ivankovo Reservoir // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2013. № 3. P. 63–70 (in Russian).
10. Соловьева Т.А. Купание как причина загрязнения воды // Гигиена и санитария. 1953. № 3. С. 55–58.
11. Solovyova T.A. Bathing as a cause of water pollution // Gigena i sanitariya. 1953. № 3. P. 55–58 (in Russian).
12. Ланцова И.В. Рекреационное водопользование как фактор формирования качества воды // Вода: Химия и экология. 2009. № 2. С. 2–7.
13. Lanczova I.V. Recreational use of water as a factor to control water quality // Voda: Ximiya i ekologiya. 2009. № 2. P. 2–7 (in Russian).
14. ГОСТ 3161-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.
15. Салтанкин В.П., Григорьева И.Л. Ивановское водохранилище // Научно-популярная энциклопедия «Вода России». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.water-rf.ru/> (дата обращения: 13.03.2019).
16. Saltankin V.P., Grigorieva I.L. Ivankovskoye reservoir // Nauchno-populyarnaya enciklopediya «Voda Rossii». [Electronic resource]. URL: <http://www.water-rf.ru/> (date of access: 13.03.2019) (in Russian).
17. Государственный водный реестр // Федеральное агентство водных ресурсов. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.textual.ru> (дата обращения: 13.03.2019).
18. State Water Registry. [Electronic resource]. URL: <http://www.textual.ru> (date of access: 13.03.2019) (in Russian).
19. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод, дата введения: 01.01.2001 г. М.: Стандартинформ, 2000. 18 с.