



УДК 504.4.062.2

DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-3-443-451

Водоснабжение мегаполиса Москвы: источники и подготовка

Чевель К.А., Кочуров Б.И.

Институт географии Российской академии наук (РАН)
Россия, 119017, Москва, Старомонетный переулок, 29
E-mail: kira.chv@gmail.com, b.i.kochurov@igras.ru

Аннотация. Современные сети водоснабжения представляют собой важную инфраструктуру для предоставления услуг населению мегаполиса. Водопроводная система Москвы является самой разветвлённой в мире. С момента основания в начале XVII века город постоянно находился в поисках чистых и надёжных источников воды. Основу питания города водой составляют естественные водные ресурсы, которые формируются на территории Московской, Смоленской и Тверской областей, имеющие общую ёмкость более 2,0 млрд куб. м. воды. Подача воды составляет около 3,8 млн куб. м. в сутки для 20 млн жителей столичного мегаполиса и почти миллиона посещающих город туристов. Москва является экономическим и административным центром России, выполняющим функции столицы, глобального города и агломерации, который имеет свои особенности, связанные с обеспечением жителей города качественной водой. Особое положение занимают системы водоподготовки и водоснабжения, но прежде всего сами поверхностные водные объекты, являющиеся основными источниками водоснабжения.

Ключевые слова: водоснабжение, геоэкология, водные объекты, мегаполис, очистка, водоподготовка, питьевая вода, снабжение

Благодарность: Работа выполнена по теме государственного задания (FMGE – 2019 – 0007, АААА – А19 – 119021990093 – 8) «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования».

Для цитирования: Чевель К.А., Кочуров Б.И. 2023. Водоснабжение мегаполиса Москвы: источники и подготовка. Региональные геосистемы, 47(3): 443–451. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-3-443-451

Water Supply of the Metropolis of Moscow: Sources and Preparation

Kira A. Chavel, Boris I. Kochurov

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (RAS)
29 Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia
E-mail: kira.chv@gmail.com, b.i.kochurov@igras.ru

Abstract. Modern water supply networks represent an important infrastructure for providing water supply services to the population of the metropolis. Currently, the population growth in Moscow is constantly increasing, and the demand for clean water is multiplying and becoming more noticeable. The Moscow water supply system is the most extensive in the world. Since its founding in the early 17th century the city is constantly in search of clean and reliable sources of water. The city's water supply is based on natural water resources, which are formed on the territory of the Moscow, Smolensk and Tver regions, the volume of which is more than 2.0 billion cubic meters of water. The water supply is about 3.8 million cubic meters per day for 20 million residents of the capitals and almost millions of



visited tourist cities. Moscow is an economic and administrative region of Russia, performing the functions of a capital, a global city and an agglomeration, which have their own characteristics associated with providing city residents with high-quality water. A special place in this aspect is occupied by the system of water treatment and water supply, as well as the sources of water supply themselves. In general, this review showed that the high level of urbanization, together with population growth, puts pressure on the existing water supply source and the existing water distribution system, which requires a specific water management strategy for the city.

Key words: water supply, geoecology, water objects, metropolis, purification, water treatment, drinking water, supply

Благодарность: The work was carried out on the topic of the state assignment (FMGE - 2019 - 0007, AAAA - A19 - 119021990093 - 8) “Assessment of physiographic, hydrological and biotic changes in the environment and their consequences for creation of foundations related to sustainable environmental management”.

For citation: Chavel K.A., Kochurov B.I. 2023. Water Supply of the Metropolis of Moscow: Sources and Preparation. Regional Geosystems, 47(3): 443–451. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-3-443-451

Введение

Вода поступает к Москве и городам Московской области из поверхностных и подземных источников по самотечным трубам, каналам и напорно-регулирующим сооружениям. Из поверхностных источников вода транспортируется из двух основных речных систем – Москвы-реки и Волги, и далее через каскад водохранилищ водные системы (Москворецкая и канал им. Москвы) соединяют эти резервуары в распределительные сети (коллекторы, туннели). В Москве коллекторское хозяйство одно из крупнейших в мире, такой разветвлённой сети нет ни в одном другом мегаполисе мира [Нестерук, 1950; Калицун и др., 1980; Мкртчян, 2015]. Тоннели скрывают десятки тысяч километров кабелей и труб. В составе 11 административных округов (САО, ЦАО, СВАО, ВАО, ЮВАО, ЮАД, СЗАО, ЗАО, СЗАО, Зеленоградский автономный округ и ТиНАО) город имеет сеть водных путей общей протяжённостью почти 12,847 тыс. км с диаметром труб от 30 мм до 500 мм [Эдельштейн и др., 1993], из них:

- стальной трубопровод – 60 %;
- чугунный – 15,9 %;
- чугун с графитом – 19,9 %;
- полиэтилен – 3 %;
- ПВХ – 1 %;
- тасбестоцементные трубы и железобетонные – 0,1 %.

На сегодняшний день, население Московской агломерации составляет порядка 20 млн чел. (по данным переписи 2020 года). Это один из крупнейших мегаполисов мира. Из-за высокой численности населения спрос на такие ресурсы, как вода, в Москве особенно высок [Харченко, 2009; Антипин, Ижгузина, 2017]. Жители потребляют десятки миллионов куб. м. питьевой воды в день. Кроме того, почти такие же объёмы воды необходимы для промышленных процессов. Несмотря на высокий спрос на чистую воду, городу удалось развить одну из самых обширных городских систем водоснабжения в мире (рис. 1) [Озерова, 2010].

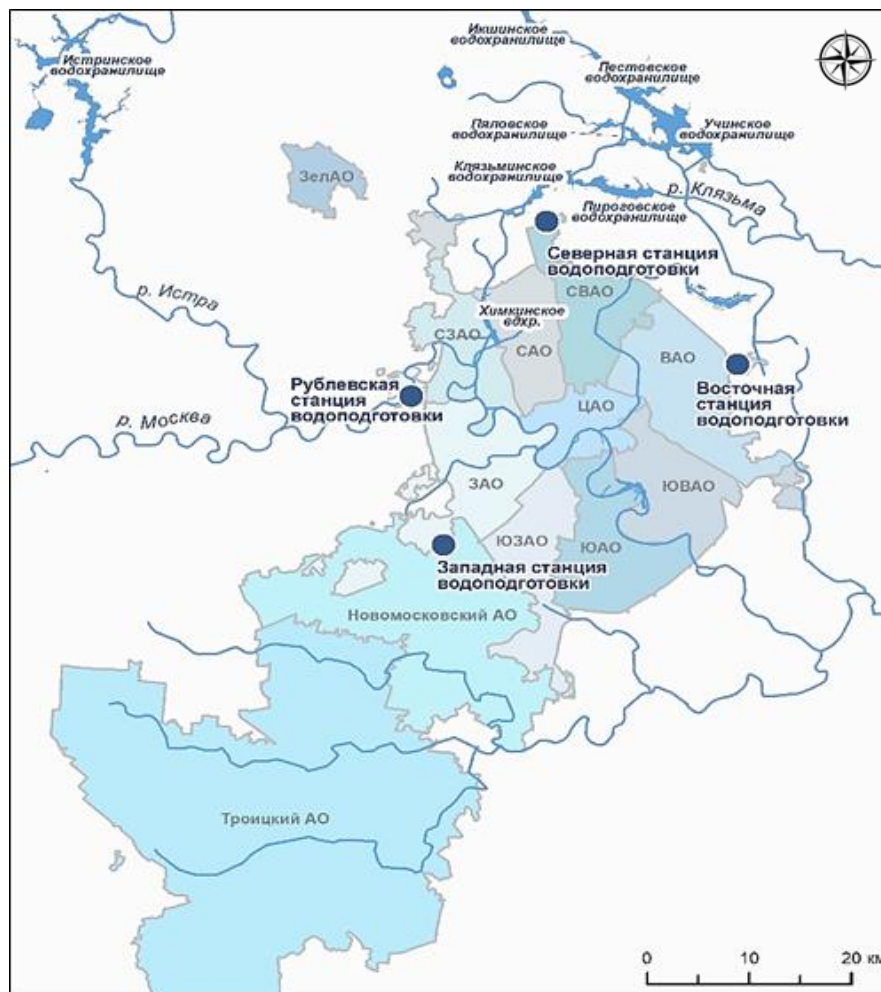


Рис. 1. Картосхема водоснабжения г. Москвы
Fig. 1. Moscow water supply map

Объекты и методы исследования

Водоснабжение мегаполиса Москвы (внешнее)

Как уже было сказано, водоснабжение Москвы осуществляется за счёт двух поверхностных источников и большого количества подземных резервуаров. Старейшей системой водоснабжения столичного региона является Москворецко-Вазузская система, расположенная на территории Тверской, Смоленской и Московской областей, включающая озёра, реки, каналы, бассейны рек Москвы и Волги, и сети водохранилищ. На Руси (X–XVIII век), до постройки систем снабжения, жители города получали воду из колодцев, близлежащих прудов и ручьёв [Ильин, 2016]. Сегодня её не рекомендуется пить из-за сильного загрязнения и неудовлетворительного санитарного состояния водоёмов. В конце XVIII века начала действовать Москворецко-Вазузская система, превратившись из Мытищенского водопровода (снабжающего город 40000 вёдер воды) в мощную Вазузскую гидротехническую систему, дающую сегодня городу до 6 млн куб. м. воды [Карпенко, Ломакин, 2020]. Вода проходит многоступенчатую систему очистки через две станции водоподготовки, это Рублёвская и Западная. После чего чистая вода поступает в районы города, расположенные на Северо-Западе, Западе и Юго-Западе города. Распределительная система, в виде гидротехнических сооружений, представляет собой судоходные плотины и каналы, а также водозаборные сооружения водопроводов, которые распределяют воду на системы питьевого и технического снабжения. Далее вода поступает водопотребителю по водораспределительным системам и трубопроводам. Строительство Москворецко-



Вазузской системы было завершено в 1977 г. На сегодняшний день она обеспечивает около 40 % общей потребности города в воде за счёт системы водохранилищ: Истринского, Можайского (1960 г.), Химкинского, Рузского (1964 г.), Озернинского (1967 г.), Верхне-Рузского (1977 г.). В бассейне реки Москвы (табл. 1) созданы 6 водохранилищ с площадью зеркала более 3 км² [Калицун и др., 1980].

Таблица 1
 Table 1

Характеристика водохранилищ, обеспечивающих мегаполис Москва водой
 Characteristics of the reservoirs that provide the metropolis of Moscow with water

Название водохранилища	Год создания водоёма	Длина, км	Наибольшая глубина (НПУ), м	Объём воды, куб.м.	Общая площадь водосбора водоёма, км ²	Площадь зеркала, км ²
Истринское	1935	22,2	19,0	183,0	991	33,6
Химкинское	1937	9,0	17,0	29,2	50	3,5
Можайское	1961	28,0	22,6	135,2	1360	30,7
Рузское	1966	32,8	21,2	219,8	1146	32,7
Озернинское	1967	19,2	20,5	143,8	738	21,3
Верхне-Рузское	1988	22,8	8,0	22,0	–	9,4

В 20-е годы XX века стало очевидным, что у столицы, помимо недостаточного водоснабжения, есть ещё одна проблема: трудности с навигацией. И вторым основным компонентом водоснабжения города Москвы становится Волжский водоисточник (канал имени Москвы). Строительство канала имени Москвы было завершено в 1937 году. Это была самая крупная из двух систем водоснабжения. Около 50 % всей необходимой воды жителям города подаётся по этому каналу и сети водохранилищ. Волжская вода обеспечивает водой районы, расположенные в Северном, Восточном и Юго-Восточном округах [Эдельштейн и др., 1992]. Канал имени Москвы состоит из восьми шлюзовых сооружений, обеспечивающих водообмен между каналом и связанными с ним водохранилищами: Иваньковским, Яхровским, Икшинским, Пестовским, Акуловским (Учинским), Пироговским, Клязьминским и Химковским. В гидросистему канала входят: водоканал, насосно-очистная станция и специальные санитарно-гигиенические помещения. Интересным фактом является то, что между рекой Волгой и Москвой расположена Клинско-Дмитровская гряда – область невысоких холмов, сохранившийся как часть уходящего на север ледника. Используя многоуровневую систему бьефов, вода направляется вверх, а затем, огибая участок хребта, направляется вниз. Самый высокий бассейн (участок канала, примыкающий к гидротехническому сооружению) называется водораздельным. В связи с чем вода доставляется в Москву по водозаборным сооружениям, насосным станциям и трубопроводам, а затем подаётся на очистные сооружения четырёх станций водоподготовки (рис. 2) [Гладков, Моргунов, 2019].

Общая сумма подачи воды Москворецко-Вазузской и Волжской систем составляет не менее 126 куб.м/с (обеспеченность этого расхода – 97 %). Это составляет около 11 млн куб.м/сут. Эти гидросистемы включают в себя 15 основных резервуаров с общим полезным объёмом 2,3 млрд куб. м воды [Схема водоснабжения, 2015].



Рис. 2. Основные источники водоснабжения г. Москвы (речная сеть и водохранилища)
Fig. 2. The main sources of water supply in Moscow (river network and reservoirs)

Водоснабжение г. Москвы

Вода, поступающая в город из системы наружного снабжения, приходит через четыре станции водоподготовки и одиннадцать водопроводных регулирующих узлов: девяти насосных станций (кроме станций водоснабжения и направляющих узлов), а также объектов, подающих воду в отдельные дома, жилые группы или кварталы (насосные станции, центральные тепловые пункты и индивидуальные тепловые пункты) [Махрова и др. 2012].

В столичном регионе на основе поверхностных источников работают две основные системы водоснабжения:

- система питьевого водоснабжения (питьевая вода);
- система производственного водоснабжения (техническая вода).

Более 20 млн чел., проживающих в 11 административных округах Москвы, получают питьевую воду из московского водопровода. Подготовка питьевой воды надлежащего качества осуществляется на четырёх станциях водоподготовки (Рублёвская, Западная, Северная и Восточная). После очистки вода от насосных станций по водопроводам подаётся в магистральные и направляющие сети города, а затем к потребителям. А вот техническую воду обеспечивают 3 станции производственного водоснабжения: Черкизовская, Кунцевская и Крымская. Протяжённость инженерных коммуникаций превышает 220 км. Источниками воды для систем промышленного водоснабжения являются Москва-река и Клязьминское водохранилище [Схема водоснабжения, 2015]. Одновременно с увеличением мощности источников водоснабжения г. Москвы расширяются объекты водоснабжения, обеспечивающие население водой надлежащего качества.

Техническая модернизация самой крупной Рублёвской гидростанции началась в 1950-х гг. Паровые насосы были заменены электрическими. А с 1960 года на станции вве-



дено предварительное хлорирование воды. В 1970-х гг. для очистки использовали активированный уголь и фторирование. Интересен тот факт, что в 1975 году на станции Восточная с помощью технологической системы водоподготовки впервые в СССР было внедрено озонирование воды. До этого воду очищали с помощью пескоуловителей, но это приводило лишь к механической очистке без дополнительной дезинфекции. В 1952 году свою работу начала Северная водоочистная станция, т. к. в Москву пришла волжская вода [Эдельштейн и др., 1993].

В настоящее время на водоочистных сооружениях вода проходит основную схему очистки – двухступенчатую технологию очистки, включающую химическую обработку воды с последующим отстаиванием и фильтрацией. Эта схема включает следующие основные этапы: коагуляцию и осветление, озонирование в сочетании с сорбцией на активированном угле и мембранную фильтрацию. С 2012 года ввиду токсичности было прекращено использование хлора на водоочистных сооружениях Москвы и теперь для обеззараживания воды на станциях применяется новый реагент – гипохлорит натрия. В настоящее время около 40 % питьевой воды очищается с использованием новых технологий [Водоснабжение и канализация, 2008].

В 1964 году была открыта станция Западная, которая сегодня также снабжает новый регион ТиАНО (Троицкий и Новомосковский административный округ) высококачественной водой [Кеврина и др., 2021]. В 1986 году была открыта Ново-Западная станция. Эти две станции в настоящее время составляют единый комплекс водопровода на Западе, а источниками для этого являются бассейны реки Москвы и гидротехнический узел Вазуский. После модернизации системы подачи и транспортировки на станциях Северная и Западная для дренажа были внедрены полиэтиленовые трубы, система хранения и подачи коагулянта, обработка активированным углем и т. д. А после подключения в 1998 году подсистемы управления хлораторной станции стали полностью автономными, тем самым утвердив статус крупнейшего предприятия такого рода в России. Помимо значения потребителей качественной питьевой воды, есть, в свою очередь, теплотехнические зоны центрального отопления – это Центральная зона г. Москвы и ТиАНО. Районы разделены на операционные зоны, например, 11 внутригородских ТЭЦ и 2 районные теплоэлектростанции № 22 и 27 (ОАО «Мосэнерго»); 7 тепловых электростанций (РТТЭ), одна мини-теплоэлектростанция, 36 тепловых электростанций (РТС), 20 тепловых электростанций (КТС) и 99 малых котельных (МК); 4 ТЭЦ ЗИЛ, Международная ТЭЦ, газотурбинная электростанция Щербинка и парогазовая тепловая электростанция Терёшково; примерно 690 котельных, принадлежащих различным ведомствам. Тепловая энергия от энергоисточников подаётся на централизованные или локальные тепловые пункты, где осуществляется подогрев воды [Схема водоснабжения, 2015].

Распределительная сеть является конечным звеном в системе водоснабжения и распределения [Перцик, 1991; 2009]. В настоящее время общий объём воды в системе трубопровода в черте старой Москвы составляет примерно 2 млн куб. м, что обусловлено существующими нормами проектирования: 110 л/с – наружное пожаротушение; и 2,5–70 л/с – внутреннее пожаротушение. В результате при существующем объёме трубопроводов и сниженном водопотреблении скорость движения воды уменьшилась, что привело к проблеме сохранения качества воды при её транспортировке к потребителю. При транспортировке воды по трубам наблюдается изменение мутности и содержания железа по сравнению с качеством воды на выходе из очистных сооружений. На сегодняшний день стальные трубы исчерпали свой потенциал на 78 %, что составляет 61 % от общей длины всего трубопровода города. Протяжённость труб из серого чугуна с истекшим сроком службы в настоящее время составляет примерно 1148 км (60 %) [Водоснабжение и канализация, 2015].

Гарантия высокого качества и необходимого объёма воды, подаваемой для водопотребления, были и остаются актуальными вопросами для изучения систем водного хозяй-

ства [Ивашкина, Кочуров 2018]. В отличие от проблем объёма воды, проблемы качества постоянно привлекают к себе внимание, так как, во-первых, от качества исходной воды (также для гидротехнического обслуживания) в значительной степени зависит технологический режим и затраты на водоподготовку, а во-вторых, нарастающее влияние диффузного стока в различных природных условиях, которые невозможно регулировать на водозаборе поверхностных источниках [Berglund et al., 2023; Herschan et al., 2023]. К примеру, на сегодня прогноз ожидаемого водопотребления по зонам влияния водопроводных станций представлен в табл. 2 [Схема водоснабжения, 2015].

Таблица 2
Table 2

Ожидаемый сценарий водопотребления населением Москвы в период до 2025 года
Expected scenario of water consumption by the population of Moscow in the period up to 2025

Водопроводная станция	Единицы измерения	до 2025 года	
		Среднесуточная	Максимальная
Всего подача воды московским городским водопроводом	тыс. м ³	4300	4945
Северная		940	1080
Восточная		860	990
Западная		1210	1390
Рублёвская		1290	1485

Заключение

Москва является крупным экономическим центром России и выполняет функции столицы, города-космополита и агломерации, которые имеют свои особенности, связанные с обеспечением населения качественной водой. Особое положение занимают системы водоподготовки и водоснабжения и прежде всего сами источники водоснабжения.

Динамика потребления воды жителями Москвы является весьма показательной. Если в конце 1970-х гг. водопотребление увеличивалось (1,5–3,5 % в год), то в настоящее время оно сократилось на 26 % по сравнению с уровнем 1995 года, и эта тенденция сохраняется, что связано с масштабными мероприятиями по экономии воды, благодаря комплексному подходу, внедрению ресурсно-сберегающих технологий и индивидуальных приборов учета расхода воды.

В настоящее время в связи с уменьшением водопотребления важное значение приобретает поддержка этих сооружений на соответствующем технологическом и экологическом уровне. Ввиду огромного разнообразия источников и схем водоснабжения, состояние современных систем водоподготовки и технологических линий водоснабжения требуют их всестороннего геоэкологического изучения и контроля.

Список источников

- Водоснабжение и канализация. 2008. М., СПб., ДИЛЯ, 151 с.
Калицун В.И., Кедров В.С., Ласков Ю.М., Сафонов П.В. 1980. Гидравлика, водоснабжение и канализация. М., Стройиздат, 359 с.
Перцик Е.Н. 1991. География городов (геоурбанистика). М., Высшая школа, 360 с.
Схемы водоснабжения и водоотведения города Москвы до 2025 года. 2015. М., Том I: 15–34.



Список литературы

- Антипин И.А., Ижгузина Н.Р. 2017. Городские агломерации: от градостроительной концепции к вопросам управления. Экономика и предпринимательство, 9–1 (86), 444–449.
- Гладков Г.Л., Моргунов К.П. 2019. Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей. Сборник научных трудов IV международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 29 мая – 01 июня 2019. Санкт-Петербург, Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, Вып. 4, 384 с.
- Ивашкина И.В., Кочуров Б.И. 2018. Урбоэкодиагностика и сбалансированное развитие Москвы. М., ИНФРА-М, 202 с.
- Ильин А.Ю. 2016. Возникновение и развитие систем водоснабжения российских провинциальных центров в XVIII – XX вв. Социально-экономические явления и процессы, 11(10): 28–34.
- Карпенко Н.П., Ломакин И.М. 2020. Гидрогеологический анализ состояния качества подземных вод Московского региона. Природообустройство, 4: 128–136. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-4-128-136
- Кевбрина М.В., Гаврилин А.М., Пронин А.А. 2021. Внедрение современных технологий при строительстве и реконструкции очистных сооружений АО «Мосводоканал». Водоснабжение и санитарная техника, 6: 36–45. DOI: 10.35776/VST.2021.06.04
- Махрова А.Г., Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. 2012. Пространственные тенденции социально-экономического развития Московской агломерации. Территория и планирование, 4(40): 18–32.
- Мкртчян Н.В. 2015. Миграция в Москве и Московской области: задействованные и структурные особенности. Региональные исследования, 3(49): 107–116.
- Нестерук Ф.Я. 1950. Водное строительство Москвы. М., Издательство Министерства речного флота СССР, 335 с.
- Озерова Н.А. 2010. К истории водоснабжения Москвы: «изыскания новых источников» в 1913–1930 гг. Вопросы истории естествознания и техники, 31(1): 75–94.
- Перцик Е.Н. 2009. Крупные городские агломерации: развитие, проблемы, проектирование. В кн.: Проблемы развития агломераций России. М., Крассанд: 34–46.
- Харченко К.В. 2009. Проблемы управления развитием городских агломераций: взгляд из г. Белгорода. Муниципальный мир, 1–2: 49–57.
- Эдельштейн К.К., Заславская М.Б., Немальцев А.С. 1992. Экологические проблемы источников водоснабжения г. Москвы. В кн.: Экологические исследования в г. Москве и Московской области. Состояние водных систем. М., ИВП, 277 с.
- Эдельштейн К.К., Белова С.Л., Заславская М.Б., Новикова Е.В. 1993. Гидролого-гидрохимические аспекты формирования качества воды в водохранилищах питьевого и рекреационного назначения. Водные ресурсы, 20(5): 565–574.
- Berglund E.Z., Skarbek M., Kanta L. 2023. A Sociotechnical Framework to Characterize Tipping Points in Water Supply Systems. Sustainable Cities and Society, 97: 104739. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104739
- Herschman J., Pond K., Malcolm R. 2023. Regulatory-Driven Risk Assessment to Improve Drinking-Water Quality: A Case Study of Private Water Supplies in England and Wales. Environmental Science and Policy, 140: 1–11. DOI: 10.1016/j.envsci.2022.11.011

References

- Antipin I.A., Izhguzina N.R. 2017. City Agglomerations: from Urban Planning to Management. Journal of Economy and entrepreneurship, 9–1 (86): 444–449 (in Russian).
- Gladkov G.L., Morgunov K.P. 2019. Vodnyye puti i ruslovyye protsessy. Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya vodnykh putey [Waterways and Channel Processes. Hydraulic Structures of Waterways] Collection of Scientific Works of the IV International Scientific and Practical Conference. St. Petersburg, 29 May – 1 June 2019. St. Petersburg, Publ. Gosudarstvennyy universitet morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova, Is. 4, 384 p.
- Ivashkina I.V., Kochurov B.I. 2018. Urboecodiagnosics And sustainable Urban Development of Moscow. Moscow, Publ. INFRA-M, 202 p. (in Russian).



- Ilyin A.Yu. 2016. Emergence and Development of Systems of Water Supply of the Russian Provincial Centers in the XVIII-XX Centuries. *Social economic phenomena and processes*, 11(10): 28–34 (in Russian).
- Karpenko N.P., Lomakin I.M. 2020. Hydrogeological Analysis of the Current State of the Groundwater Quality in the Moscow Region. *Environmental Engineering*, 4: 128–136 (in Russian). DOI: 10.26897/1997-6011/2020-4-128-136
- Kevbrina M.V., Gavrilin A.M., Pronin A.A. 2021. Introduction of Advanced Technologies During the Construction and Upgrade of the Wastewater Treatment Facilities Operated by Mosvodokanal JSC. *Water Supply and Sanitary Technique*, 6: 36–45 (in Russian). DOI: 10.35776/VST.2021.06.04
- Makhrova A.G., Nefedova T.G., Treyvish A.I. 2012. Prostranstvennyye tendentsii sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Moskovskoy aglomeratsii [Spatial Measurements of Socio-Economy Development of the Moscow Agglomeration]. *Territoriya i planirovaniye*, 4(40): 18–32.
- Mkrtychyan N.V. 2015. Migration in Moscow and Moscow Region: Regional and Structural Peculiarities. *Regional Studies*, 3(49): 107–116 (in Russian).
- Nesteruk F.Ya. 1950. *Vodnoye stroitelstvo Moskvy [Water Construction in Moscow]*. Moscow, Publ. Ministerstvo rechnogo flota SSSR, 335 p.
- Ozerova N.A. 2010. The History of Moscow's Water Supply: "Prospecting for New Sources", 1913 to the 1930s. *Studies in the History of Science and Technology*, 31(1): 75–94 (in Russian).
- Pertsik E.N. 2009. Krupnyye gorodskiyeglomeratsii: razvitiye. problemyproyektirovaniye [Large Urban Agglomerations: Development, Design Problems]. In: *Problemy razvitiya aglomeratsiy Rossii [Problems of Development of Russian Agglomerations]*. Moscow, Publ. Krassand: 34–46.
- Kharchenko K.V. 2009. Problemy upravleniya razvitiyem gorodskikh aglomeratsiy: vzglyad iz g. Belgoroda [Problems of Urban Agglomeration Development Management: a View from Belgorod]. *Munitsipalnyy mir*, 1–2: 49–57.
- Edelstein K.K., Zaslavskaya M.B., Nemaltsev A.S. 1992. *Ekologicheskiye problemy istochnikov vodosnabzheniya g. Moskvy [Ecological Problems of Water Supply Sources in Moscow]*. In: *Ekologicheskiye issledovaniya v g. Moskve i Moskovskoy oblasti. Sostoyaniye vodnykh sistem [Ecological Research in Moscow and the Moscow Region. The State of Water Systems]*. Moscow, Publ. IVP, 277 p.
- Edelstein K.K., Belova S.L., Zaslavskaya M.B., Novikova E.V. 1993. *Gidrologo-gidrokhimicheskiye aspekty formirovaniya kachestva vody v vodokhranilishchakh pityevogo i rekreatsionnogo naznacheniya [Hydrological and Hydrochemical Aspects of the Formation of Water Quality in Reservoirs for Drinking and Recreation Purposes]*. *Vodnyye resursy*, 20(5): 565–574.
- Berglund E.Z., Skarbek M., Kanta L. 2023. A Sociotechnical Framework to Characterize Tipping Points in Water Supply Systems. *Sustainable Cities and Society*, 97: 104739. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104739
- Herschman J., Pond K., Malcolm R. 2023. Regulatory-Driven Risk Assessment to Improve Drinking-Water Quality: A Case Study of Private Water Supplies in England and Wales. *Environmental Science and Policy*, 140: 1–11. DOI: 10.1016/j.envsci.2022.11.011

*Поступила в редакцию 25.05.2023;
поступила после рецензирования 17.08.2023;
принята к публикации 09.09.2023*

*Received May 25, 2023;
Revised August 17, 2023;
Accepted September 09, 2023*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чевель Кира Анатольевна, аспирант,
Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Кочуров Борис Иванович, доктор
географических наук, ведущий научный
сотрудник, Институт географии РАН,
г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kira A. Chavel, Postgraduate Student of the
Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

Boris I. Kochurov, Doctor of Geography,
Leading Researcher of Institute of Geography
RAS, Moscow, Russia