



**Снижение экологических рисков при реализации мероприятий
по реконструкции системы водоотведения на территории центральной
экологической зоны оз. Байкал**

© Ольга Леонидовна Лавыгина¹, Оксана Александровна Гребнева^{1,2},
Александр Владимирович Алексеев²

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

²Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лавыгина Ольга Леонидовна, olgakot81@mail.ru

Аннотация. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью снижения экологических рисков при эксплуатации коммунальных систем на Байкальской природной территории. Одним из основных факторов, позволяющих реализовать снижение наносимого ущерба при эксплуатации систем водоотведения, является минимизация риска возникновения аварийных ситуаций с залповым сбросом сточных вод. Целью данной работы является оценка возможного экологического ущерба при наступлении аварийных ситуаций на коллекторах системы водоотведения в связи с высокой степенью их износа и недостаточной пропускной способностью. В работе произведен расчет предотвращенного экологического ущерба при реконструкции коллекторов системы водоотведения на территории г. Иркутска. В проведенных численных исследованиях приняты технические показатели действующих коллекторов, учтена их пропускная способность, а также природно-климатические факторы Байкальской природной территории. Результаты расчета показали, что суммарный показатель предотвращенного эколого-экономического ущерба при реконструкции коллекторов системы водоотведения составит 273,24337 тыс. руб. (в ценах на 2022 г.). Реконструкция коллекторов на территории г. Иркутска приведет к снижению объемов сбросов загрязненных сточных вод в водные объекты Байкальской природной территории.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, реконструкция системы водоотведения, экологический риск, Байкальская природная территория

Благодарности: Исследования выполнены в рамках государственного задания № FWEU-2021-0002 (Пер. № AAAA-A21-121012090012-1) Программы фундаментальных исследований РФ на 2021–2025 годы.

Для цитирования: Лавыгина О. Л., Гребнева О. А., Алексеев А. В. Снижение экологических рисков при реализации мероприятий по реконструкции системы водоотведения на территории центральной экологической зоны оз. Байкал // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 62–69. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69>.

Original article

**Environmental risk prevention during the reconstruction of the sewerage system
in the Lake Baikal central ecological zone**

Olga L. Lavygina¹, Oksana A. Grebneva^{1,2}, Aleksander V. Alekseev²

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Olga L. Lavygina, olgakot81@mail.ru

Abstract. Reduction of environmental risks involved with the operation of public utilities in the Baikal natural territory presents a relevant research task. The safety operation of sewerage systems can be ensured by minimising the risk of emergencies related to the volley of sewage. In this study, we assess the rate of possible environmental damage from emergencies in sewerage systems as a result of their

high wear and insufficient capacity. We provide a calculation of the prevented environmental damage during the reconstruction of the sewerage system in the territory of Irkutsk. In the conducted numerical investigations, technical indices of the operating sewers are accepted taking into account their capacity and natural-climatic factors of the Baikal natural territory. According to the results obtained, the total indicator of the prevented environmental and economic damage during the reconstruction of the sewerage system comprises 273.24337 thousand roubles (in prices for 2022). The reconstruction of sewers in the territory of Irkutsk will lead to a decrease in the volume of sewage discharges into the water bodies of the Baikal natural territory.

Keywords: housing and communal services, environmental technology, protection of atmospheric air, Baikal natural territory pellets, emissions

Acknowledgments: The research was carried out within the framework of the state task No. FWEU-2021-0002 (Reg. No. AAAA-A21-121012090012-1) of the Basic Research Program of the Russian Federation for 2021-2025.

For citation: Lavygina O. L., Grebneva O. A., Alekseev A. V. Environmental risk prevention during the reconstruction of the sewerage system in the Lake Baikal central ecological zone. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):62-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69>.

Введение

В настоящее время учет экологического фактора является обязательным при разработке проектов и программ модернизации объектов в городском строительстве и хозяйстве, неотъемлемой частью которых являются и системы водоотведения [1–9].

В рамках целевой программы «Чистая вода» разработана Схема водоснабжения и водоотведения г. Иркутска до 2025 года¹, которая предусматривает как новое строительство, так и реконструкцию уже имеющихся объектов санитарной очистки города.

Приоритетной задачей реконструкции системы водоотведения является не только решение социальных задач в виде бесперебойной работы систем водоотведения, но и снижение экономических потерь, связанных с экологическими рисками. Котловина озера Байкал и прилегающие к нему территории представляют собой уникальную экологическую систему, озеро Байкал является природным объектом всемирного наследия ЮНЕСКО², что обуславливает необходимость полного предотвращения риска возникновения аварийных ситуаций в системах жизнеобеспечения. Программой по реконструкции системы водоотведения предусматриваются такие виды работ, как строительство напорных трубопроводов, самотечных коллекторов,

разгрузочных коллекторов, реконструкция канализационно-очистных станций (КОС) и т.д.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью оценки предотвращенного экологического ущерба при наступлении аварийных ситуаций на коллекторах системы водоотведения в связи с высокой степенью их износа и недостаточной пропускной способностью.

В контексте данной работы наступающие при возникновении аварии экологические риски рассмотрены в качестве предотвращенного эколого-экономического ущерба.

Объектом исследования в данной статье являются предлагаемые к реконструкции коллекторы системы отведения стоков на территории г. Иркутска. При анализе пропускной способности существующей сети водоотведения на территории города выявлены коллекторы, в которых наполнение превышает допустимое значение, и коллекторы, в которых скорости движения стоков превышают максимально допустимое значение. Аварийные ситуации, которые могут возникать на данных объектах, неизбежно приводят к поступлению загрязненных стоков в окружающую среду. Существенный износ коллекторов и недостаточная их пропускная способность являются факторами риска возникновения аварийной ситуации, последствия ко-

¹Об утверждении Схем водоснабжения и водоотведения г. Иркутска на 2015, 2020 и 2025 годы: Постановление администрации города Иркутска от 12 марта 2014 г. N 031-06-249/14.

²5 декабря – день включения оз. Байкал в список всемирного наследия ЮНЕСКО // Росприроднадзор. URL: https://rpn.gov.ru/regions/38/news/5_dekabrya_den_vklyucheniya_oz_baykal_v_spisok_vsemirnogo_naslediya_yunesko-64440.html (01.02.2022).

торой нанесут экологический ущерб окружающей среде.

Исходные положения, постановка задачи исследования и методика решения

Ключевым аспектом, обуславливающим степень загрязнения окружающей среды, является качественный и количественный состав отводимых сточных вод. При этом размер экологического ущерба оценивается по методике, рекомендованной Министерством природных ресурсов РФ³.

Масса загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступивших на территорию водосборной площади за время аварийной ситуации, определяется по формуле:

$$M = Q \cdot (C_{\phi i} - C_{oi}) \cdot T \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где i – загрязняющее вещество, в отношении которого осуществляется расчет экологического ущерба (взвешенные вещества, показатель биохимического потребления кислорода (БПК), нефтепродукты, цинк, медь, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), железо, алюминий, аммоний); Q – расход сточных вод, содержащих i -е загрязняющие вещества; $C_{\phi i}$ – средняя фактическая концентрация i -го загрязняющего вещества в сточных водах за определенный временной промежуток T ; C_{oi} – допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества.

Расход сточных вод для рассматриваемых участков системы водоотведения:

$$Q = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{бок}} + Q_{\text{тр}} + Q_{\text{соср}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{пол}}$ – попутный расход жидкости, которая поступает с площади стока на расчетный участок сети водоотведения; $Q_{\text{тр}}$ – транзитный расход жидкости, которая поступает на расчетный участок сети водоотведения с вышерасположенного участка, ориентированного в том же направлении, что и расчетный; $Q_{\text{бок}}$ – боковой расход жидкости, которая поступает на расчетный участок с вышерасположенного под углом к расчетному; $Q_{\text{соср}}$ – сосредоточенный расход от производственного или коммунального предприятия, поступающий в начальную точку расчетного участка сети.

Исчисление размера вреда, причиненного водному объекту сбросом вредных (загрязня-

ющих) веществ в составе сточных вод, осуществляется по формуле:

$$Y = K_{\text{эз}} \cdot K_{\text{г}} \cdot K_{\text{ин}} \cdot \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \cdot K_{\text{из}}, \quad (3)$$

где Y – размер экологического ущерба в денежном эквиваленте, тыс. руб.; $K_{\text{эз}}$ – коэффициент, позволяющий учесть природно-климатические условия; $K_{\text{г}}$ – коэффициент, позволяющий учесть экологическое состояние водного объекта; $K_{\text{ин}}$ – коэффициент индексации, позволяющий учесть уровень инфляции на определенный временной промежуток; H_i – такса для определения размера вреда от сброса i -го загрязняющего вещества в конкретный водный объект, тыс. руб./т; M_i – масса сброшенного i -го загрязняющего вещества, определяется для каждого загрязняющего вещества как разница между его фактическим и нормативным содержанием⁴, т; $K_{\text{из}}$ – коэффициент, позволяющий учесть интенсивность негативного воздействия вредных веществ на водный объект.

При расчете размера ущерба по формуле (3) принимались следующие значения:

- $K_{\text{эз}} = 1,15$ (принят для зимнего времени);
- $K_{\text{г}} = 1,36$ (принят для бассейна р. Енисей);
- $K_{\text{ин}} = 2,94$ (определен в соответствии с

разъяснениями Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации⁵ по состоянию на 2022 г.);

- $K_{\text{из}} = 1$ (принят при превышениях до 10 раз).

Результаты и их обсуждение

В данной работе проведен анализ возможных последствий аварий на системах водоотведения с целью определения возможного экологического ущерба на территории г. Иркутска. При этом учтены все коллекторы (рис. 1), подлежащие реконструкции в рамках реализации новой схемы водоснабжения и водоотведения⁶.

Перечень реконструируемых коллекторов при реализации схемы водоотведения Иркутского района включает 35 объектов в Октябрьском, Правобережном, Свердловском и Ленин-

³Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: Приказ Минприроды России от 13 апреля 2009 г. N 87 (с изм. и доп.).

⁴Об утверждении нормативов состава сточных вод на территории города Иркутска и отмене Постановления администрации города Иркутска от 11 декабря 2018 года N 031-06-1111/8: Постановление администрации города Иркутска от 30 октября 2020 года N 031-06-676/0.

⁵О коэффициенте $K_{\text{ин}}$ при расчете размера вреда: Письмо Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 25 января 2019 года N РН-03-02-31/2865.

⁶Об утверждении Схем водоснабжения и водоотведения г. Иркутска на 2015, 2020 и 2025 годы: Постановление администрации города Иркутска от 12 марта 2014 г. N 031-06-249/14.

ском районах: в Октябрьском районе – 9 коллекторов (по ул. 1-я Красноказахья, Лыткина, Байкальская, Пискунова, Красных Мадьяр, Аэрофлотская, Трилиссера); в Правобережном – 10 коллекторов (по ул. Лызина, 1-я Красноказахья, Ямская, Франк-Каменецкого, Фридриха Энгельса, Нижняя Набережная, Наполь-

ная, Каховского); в Свердловском – 11 коллекторов (в м-не Юбилейный, по ул. Геологов, Старокузьмихинская, Баженова, Боткина, Ломоносова, Белинского, Профсоюзная, Сергеева, Бульвар Рябикова); в Ленинском – 5 коллекторов (по ул. Р. Люксембург).

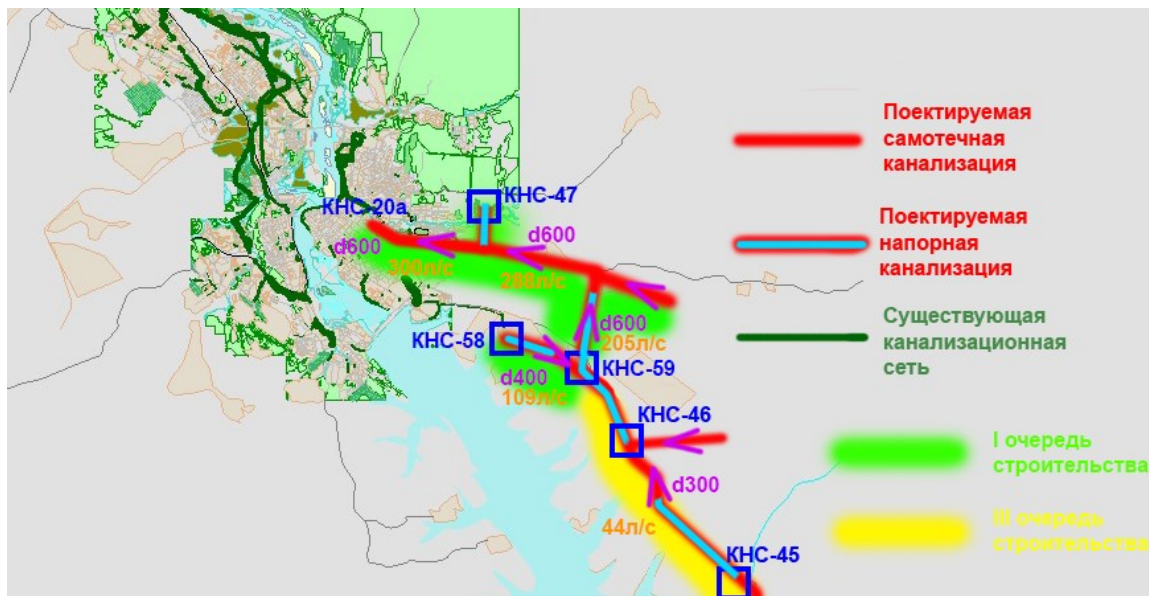


Рис. 1. Фрагмент перспективной схемы водоотведения г. Иркутска [10]

Fig. 1. Fragment of the perspective scheme of water disposal in Irkutsk [10]

Расчеты проведены для аварийной ситуации продолжительностью один час ($t = 1$ час) для того, чтобы при необходимости можно было интерпретировать результаты исследований для чрезвычайных ситуаций любой продолжительности. В работе принято, что авария имеет каскадный характер и связана с выходом из строя последовательно всех принятых к реконструкции коллекторов водоотведения.

В проведенных численных исследованиях приняты технические показатели действующих коллекторов, учтена их пропускная способность, а также природно-климатические факторы Байкальской природной территории. Суммарная длина коллекторов составляет 11 635 м. Суммарный расход сточной воды – 15 031,94 куб.м/час.

Нормативы загрязняющих веществ приняты в соответствии с Постановлением администрации г. Иркутска⁷.

По результатам расчета масса загрязняющих веществ (M), поступивших на территорию водосборной площади за время аварии, состав-

вила 1,4778 тонн (рис. 2).

Следует отметить, что при построении данной гистограммы в исходные параметры заложена продолжительность залпового сброса, равная одному часу.

Однако при возникновении описанной выше ситуации при каскадном выходе из строя коллекторов время локализации существенно превышает один час. Допустим, время локализации возникшей аварийной ситуации до 12 часов, тогда гистограмма будет иметь следующий вид (рис. 3). На рис. 4 приведены результаты расчета возможного экологического ущерба с увеличением продолжительности аварийной ситуации от 1 до 12 часов (при последовательном выходе из строя коллекторов: каждые три часа полностью выходят из строя коллекторы одного из перечисленных выше районов). Расчет часовой аварийной ситуации показал, что в результате возникновения на территории г. Иркутска аварийных ситуаций в системе водоотведения, сопряженной с разливом сточной воды, экологический ущерб вод-

⁷Об утверждении нормативов состава сточных вод на территории города Иркутска и отмене Постановления администрации города Иркутска от 11 декабря 2018 года N 031-06-1111/8: Постановление администрации города Иркутска от 30 октября 2020 года N 031-06-676/0.

ным объектам составит 273,24337 тыс. рублей.

Размер возможного экологического ущерба, возникшего в результате сбросов сточных вод ввиду возникновения аварийных ситуаций про-

должительностью 12 часов на коллекторах Октябрьского, Правобережного, Свердловского и Ленинского районов г. Иркутска, составит уже 2 560,5 тыс. рублей.

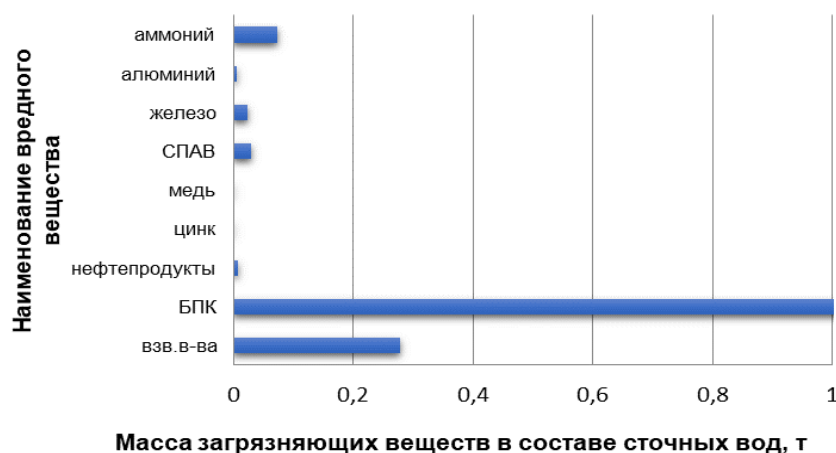


Рис. 2. Масса загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступивших на территорию водосборной площади за 1 час

Fig. 2. The mass of pollutants in the composition of wastewater that entered the territory of the catchment area for 1 hour

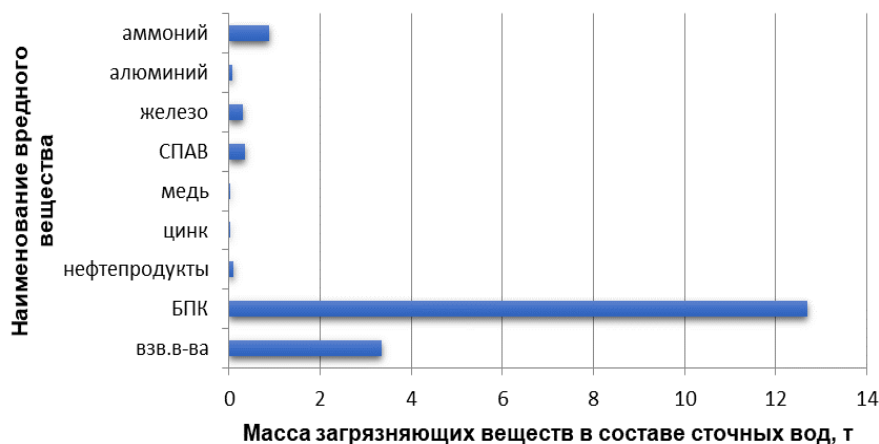


Рис. 3. Масса загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступивших на территорию водосборной площади за 12 часов

Fig. 3. The mass of pollutants in the composition of wastewater that entered the territory of the catchment area in 12 hours

Построенная полиномиальная линия тренда (уравнение полинома 2 степени) с величиной достоверности аппроксимации, равной 0,9997, позволяет оценить прогнозируемый размер ущерба на последующие часы аварийной ситуации (красная линия).

Реконструкция системы водоотведения позволит значительно снизить количество аварийных ситуаций и объемы утечек сточной во-

ды, а также существенно повысить качество очистки сточных вод⁸ [1, 10, 11], что благоприятно отразится на экологическом состоянии территории г. Иркутска и Иркутской области, а также прилегающих к ним акваторий.

Реконструкция коллекторов на территории г. Иркутска приведет к снижению объемов сбросов загрязненных сточных вод в водные объекты Байкальской природной территории.

⁸Чупин Р. В. Модели и методы развития и реконструкции систем водоотведения в условиях вариативности перспективного отведения сточных вод: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.04. Пенза, 2020. 44 с.

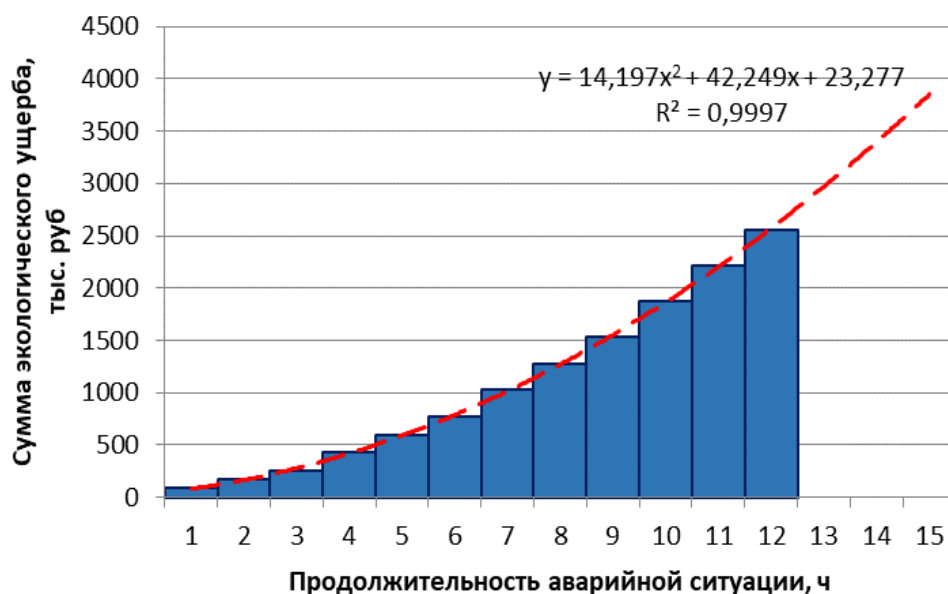


Рис. 4. Размер возможного экологического ущерба при длительности аварийной ситуации от 1 до 12 часов с прогнозом

Fig. 4. The size of possible environmental damage with the duration of an emergency from 1 to 12 hours with a forecast

Заключение

Высокая степень износа инженерно-коммунальных систем приводит к риску возникновения аварийных ситуаций. В частности, аварии на коллекторах системы водоотведения становятся причиной поступления сточной воды в грунт или на рельеф водосборной площади. В рамках разработанной Схемы водоснабжения и водоотведения г. Иркутска на 2025 год предусматривается реконструкция 35 объектов в Октябрьском, Правобережном, Свердловском и Ленинском

районах с суммарным расходом сточной воды 15 031,94 куб.м/час. Увеличение пропускной способности коллекторов и замена изношенных элементов при их реконструкции позволит снизить риски возникновения аварийных ситуаций, и, как следствие, предотвратить экологический ущерб. Так, при расчете выявлено, что при реконструкции коллекторов системы водоотведения сумма предотвращенного экологического ущерба составит 273,24337 тыс. рублей за час.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Макотрина Л. В. Состояние систем водоотведения в Иркутской области и перспективы их развития в соответствии с государственными программами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 1. С. 69–76.
2. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. 706 с.
3. Воронов Ю. В., Казаков В. Д., Толстой М. Ю. Струйная аэрация. Научное издание. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. 216 с.
4. Чупин В. Р., Майзель И. В. Оптимальное управление развитием систем водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С. 180–192.
5. Chupin R., Pham N. M., Chupin V. Optimization of the sewerage systems scheme of cities and populated areas // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 667 (1). p. 012018.
6. Чупин В. Р., Фам Нгок Минь. Оптимизация вариантов развития систем водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 3 (18). С. 101–113.
7. Lavygina O, Grebneva O, Maizel I. Environmental aspects for the reconstruction of housing and communal services in the village Listvyanka of Irkutsk region // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 667. p. 012056. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012056>.
8. Grebneva O., Lavygina O. Study of the possibility for reducing of environmental damage

when the transition to alternative sources of heat supply systems in housing and communal services // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 880 (1). p. 012043.

9. Лавыгина О. Л., Гребнева О. А. Природоохранные технологии в системах жилищно-коммунального хозяйства на Байкальской природной территории // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2019. Т. 9. № 4 (31). С. 726–733.

<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-726-733>.

10. Алексеев А. В., Новицкий Н. Н., Чупин Р. В., Чупин В. Р. Перспективная схема развития систем водоснабжения и водоотведения г. Иркутска и Иркутского района // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2017. № 11. С. 26–35.

11. Чупин Р. В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Иркутск: ИрГТУ, 2015. 418 с.

REFERENCES

1. Makotrina LV. Condition of water disposal systems in Irkutsk region and perspectives of their development in accordance with state programs. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2017;7(1):69-76. (In Russ.).

2. Voronov YuV. Drainage and wastewater treatment. Moscow: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov; 2009. 706 p. (In Russ.).

3. Voronov YuV, Kazakov VD, Tolstoi MYu. Jet aeration. Scientific publication. Moscow: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov; 2007. 216 p. (In Russ.).

4. Chupin VR, Maizel IV. Optimal management of the development of water disposal systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2016;2(17):180-192. (In Russ.).

5. Chupin R, Pham NM, Chupin V. Optimization of the sewerage systems scheme of cities and populated areas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 667 (1). p. 012018.

6. Chupin RV, Pham Ngoc Minh. Optimization of development variation of water disposal systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2016;3(18):101-112. (In Russ.).

7. Lavygina O, Grebneva O, Maizel I. Environmental aspects for the reconstruction of housing

and communal services in the village Listvyanka of Irkutsk region. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019;667:012056. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012056>.

8. Grebneva O, Lavygina O. Study of the possibility for reducing of environmental damage when the transition to alternative sources of heat supply systems in housing and communal services. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;880(1):012043.

9. Lavygina OL, Grebneva OA. Prirodookhrannye tekhnologii v sistemakh zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva na Baikal'skoi prirodnoi territorii. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2019;9(4):726-733. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-726-733>. (In Russ.).

10. Alekseev AV, Novitskii NN, Chupin RV, Chupin VR. Prospective development scheme of the water supply and wastewater disposal systems in the city of Irkutsk and Irkutsk area. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2017;11:26-36. (In Russ.).

11. Chupin RV. Optimization of developing wastewater systems. Irkutsk: ISTU; 2015. 418 p. (In Russ.).

Информация об авторах

О. Л. Лавыгина,

кандидат технических наук,
доцент кафедры городского
строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: olgakot81@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>

Information about the authors

Olga L. Lavygina,

Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department of Urban
Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: olgakot81@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>

О. А. Гребнева,

кандидат технических наук,
доцент кафедры городского
строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
старший научный сотрудник,
Институт систем энергетики
им. Л. А. Мелентьева СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130,
Россия,
e-mail: oksana@isem.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1492-5552>

Oksana A. Grebneva,

Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department of Urban
Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
Senior Researcher,
Energy Systems Institute SB RAS,
130 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia,
e-mail: oksana@isem.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1492-5552>

А. В. Алексеев,

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт систем энергетики
им. Л. А. Мелентьева СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130,
Россия,
e-mail: alexeev@isem.irk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4051-8245>

Aleksander V. Alekseev,

Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher,
Energy Systems Institute SB RAS,
130 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia,
e-mail: alexeev@isem.irk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4051-8245>

Вклад авторов

Лавыгина О. Л., Гребнева О. А.,
Алексеев А. В. имеют равные авторские
права. Лавыгина О. Л. несет ответственность
за плагиат.

Contribution of the authors

Lavygina O. L., Grebneva O. A., Alekseev A. V.
have equal copyrights. Lavygina O. L. bears the
responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 03.02.2022.
Одобрена после рецензирования 28.02.2022.
Принята к публикации 01.03.2022.

Conflict of interests

The authors declare about no conflict of inter-
ests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and ap-
proved by all the co-authors.

The article was submitted 03.02.2022.
Approved after reviewing 28.02.2022.
Accepted for publication 01.03.2022.