

Острой проблемой сохранения Байкала является очистка и утилизация сточных вод поселков, городов и туристических баз, расположенных по берегам озера и в его центральной экологической зоне. Из-за жестких законодательных требований по сбросу очищенных сточных вод в Байкал и отсутствия доступных технологий их очистки до нормативов эта проблема не решается уже многие годы. Отсутствие системы водоотведения и невозможность очистки сточных вод до нормативов сдерживают развитие на Байкале селитебных территорий, строительство санаторно-курортных комплексов и др. Предлагается комплексный подход, включающий минимизацию поступления сточных вод в озеро и их повторное использование для промывки унитазов, выращивания сельскохозяйственной продукции и лесных насаждений, а при невозможности этого – их переброску в другие водоразделы. Рассматриваются логистические и технологические аспекты такого подхода.

Ключевые слова: Байкал; сточные воды; экосистема озера; очистные сооружения; водоотведение. /

A pressing issue in the preservation of Lake Baikal is the treatment and disposal of wastewater from settlements, cities, and tourist centers located along the lake's shores and in its central ecological zone. Due to strict legal requirements for the discharge of treated wastewater into Lake Baikal and the lack of available technologies for its purification according to regulatory standards, this problem has not been resolved for many years. The absence of a wastewater treatment system and the inability to purify wastewater according to regulatory standards hinder the development of residential areas, the construction of resort complexes, and other activities on Lake Baikal. The authors propose a comprehensive approach, which includes minimizing the flow of wastewater into the lake and reusing it for flushing toilets, growing agricultural products and forest plantations, and, if this is not possible, transferring it to other water basins. The logistical and technological aspects of this approach are considered.

Keywords: Lake Baikal; wastewater; lake ecosystem; wastewater treatment plants; water disposal.

Водоотведение на Байкале: проблемы и пути решения / Water disposal on Lake Baikal: Problems and solutions

текст

Юрий Сколубович

Новосибирский
государственный
архитектурно-
строительный университет;
РААСН

Виктор Чупин

Иркутский национальный
исследовательский
технический университет;
РААСН

Виктор Бобер

Иркутский национальный
исследовательский
технический университет

text

Yuri Skolubovich

Novosibirsk State University
of Architecture and Civil
Engineering; RAACS

Victor Chupin

Irkutsk National Research
Technical University; RAACS

Victor Bober

Irkutsk National Research
Technical University

Проблемы водоотведения на Байкале

Озеро Байкал – уникальная природная экосистема и хранилище более 20% всемирного запаса поверхностных пресных вод питьевого качества. Озеро является всемирным наследием ЮНЕСКО, единственным природным объектом в нашей стране, статус которого обеспечен Федеральным законом РФ № 94-ФЗ от 1 мая 1999 года «Об охране озера Байкал».

Уникальность озера состоит в следующем:

- возраст, предположительно, 25 млн лет;
- образовалось в результате тектонического разлома, возраст современной береговой линии – 8 тыс. лет, глубоководной части – 150 тыс. лет;
- самое глубокое озеро на планете (глубина – 1642 м, в разломе – до 11 км);
- возобновляемый объем воды – 23615 км³;
- в озеро впадает 336 рек, из них Селенга дает 50% притока в Байкал; ежегодно в озеро поступает 61 км³; вытекает одна река – Ангара, среднемноголетний объем годового стока из озера – 60 км³;
- озеро расширяется примерно на 2–3 см в год.

Байкал – мощный резервуар, в котором вода отстает сотни и миллионы лет, о чем свидетельствуют исследования донных отложений [1]. Все растворенные и взвешенные вещества, которые выносятся в озеро 336 реками, оседают на дно. При этом происходит физико-химическое превращение и распад на более простые элементы. Фильтрации воды способствуют планктонные рачки – эпишура, которых в озере по биомассе 80%. Вода в озере отличается от других пресных водоемов низким содержанием минеральных веществ (около 0,1 г/л при требовании к питьевой воде 1 г/л, морская вода – 35 г/л), самой большой прозрачностью (40 м) и высоким содержанием кислорода (до 14 мг/л). Известно также, что Байкал сам себя защищает от загрязнений, спирогира поедает фосфаты, различные микроорганизмы питаются нефтепродуктами, тяжелыми металлами, рачки уничтожают водоросли и др. Может, эти защитники Байкала смогут справиться и с нашими, человеческими отходами? Но этот вопрос пока открыт и требует изучения.

Вода в Байкале по гидрохимическим показателям относится к слабоминерализованной, в ней очень мало

растворенных веществ, она почти дистиллированная. Поэтому употреблять ее постоянно не рекомендуется.

За последние 50 лет хозяйственная деятельность людей существенно повлияла на экосистему Байкала:

- в связи со строительством Иркутской ГЭС многолетний уровень воды в озере увеличился на 85 см, Иркутское водохранилище и Байкал стали единой регулирующей емкостью для Иркутской ГЭС;
- построенные в 1980 годы тепловые электрические станции в Иркутске, Ангарске, Шелехове, Усолье-Сибирском имеют направления дымовых факелов на Байкал и длительное время загрязняют флору и фауну вредными веществами (окись азота, диоксид серы, кадмий, ванадий, бензопирен и др.);
- возросло количество хозяйственно-бытовых сточных вод от населения и туристических баз, что привело к увеличению количества микроэлементов (фосфаты, нитраты, азот и др.) в прибрежной зоне озера;
- развитие автомобильного транспорта и сети автомобильных дорог без заградительных систем ливневой канализации способствует попаданию в воды Байкала нефтепродуктов, свинца, цинка и других вредных веществ;
- наличие вблизи озера Восточно-Сибирской железной дороги. Длина участка, который проходит вдоль береговой линии, – почти 250 км (Кругобайкальская железная дорога (89 км), участки Северобайкальск – Нижнеангарск (22 км), Култук – Посольская (200 км)).

В зависимости от состава и количества перевозимого груза в озеро попадают сотни тонн природных и промышленных загрязнений (об этом свидетельствуют данные «Государственного доклада о состоянии окружающей среды Иркутской области за 2025 г.»);

- в большинстве населенных пунктов и на туристических базах отсутствуют хозяйственно-бытовые и ливневые канализационные очистные сооружения (КОС).

На сегодняшний день из 29 очистных сооружений на побережье Байкала ни одно не соответствует требованиям Приказа Минприроды РФ № 83 от 21.02.2020 (далее Приказ № 83) по качественным показателям очищенных сточных вод.

Несмотря на то что биохимические процессы и жизнедеятельность флоры и фауны Байкала остаются недо-

статочны изученными (активные исследования ведут академические институты, вузы и другие организации), Минприроды России установило для озера особые требования к сбросу очищенных сточных вод. Эти нормативы, закрепленные в Приказе № 83, в десятки и сотни раз жестче, чем для рыбохозяйственных водоемов. Фактически это означает, что качество сбрасываемой после очистки воды должно соответствовать качеству воды, забираемой из Байкала.

Для проектировщиков существует справочник «ИТС-10-2019. Наилучшие доступные технологии очистки сточных вод поселений и городских округов», который ежегодно пополняется и редактируется. При этом технологии рассматриваются с позиции их доступности для населения через тариф. В этом справочнике на сегодняшний день нет таких технологий для оз. Байкал [2, 3], хотя получить дистиллированную воду из сточной жидкости несложно, например путем многоступенчатой технологии очистки: механическая → биологическая → физико-химическая → ультрафильтрация с использованием мембран или выпаривание.

Объемы загрязнения

Автомобильные дороги. Воспользуемся средними показателями попадания нефтепродуктов на поверхность дороги в нашей стране – 0,1 г на 1 м² в сутки (данные совпадают с исследованиями, проведенными в 2020 году на дороге Р-258 (М-55) «Байкал» (218-й км, пос. Танхой Кабанского района Республики Бурятия). Следовательно, для четырех полос дороги в 1 км – 292 кг/год. Только в южной и восточной частях Байкала вблизи береговой линии проходят автомагистрали протяженностью 350 км, на которых за год накапливается 105 т нефтепродуктов. С поверхности автодороги сточная вода попадает напрямую в Байкал с концентрацией нефтепродуктов 0,14–1,9 мг/л (согласно Приказу № 83, нефтепродукты не должны превышать 0,05 мг/л). Превышение составляет почти 30 раз.

Хозяйственно-бытовые системы водоотведения. В центральной экологической зоне (ЦЭЗ) проживает 105 тыс. чел. в 87 населенных пунктах, в южной – 45 тыс. чел., в средней – 30 тыс. чел. в северной – 30 тыс. чел. Функционирует 640 туристических объектов вместимостью 38 тыс. чел. Объем формируемых хозяйственно-бытовых сточных вод составляет 18,5 тыс. м³ в сутки, от населения – 11,3 тыс. м³ в сутки, туристических баз – 5,2 тыс. м³ в сутки. Зарегистрировано 300 габаритных и 10 тыс. маломерных судов. Сточные воды в объеме 6,75 млн м³ в год приносят в Байкал 666 т взвешенных веществ, 664 т сульфатов, 6,2 т цинка и других загрязнителей. В Иркутской области имеются канализационные очистные сооружения (КОС) в Байкальске, Слюдянке, поселках Листвянка, Култук и Ангасолка. Данные сооружения не обеспечивают очистку сточных вод до требований Приказа № 83. Очистные сооружения Слюдянского района уже почти 65 лет сбрасывают недостаточно очищенные сточные воды в Байкал. Следует отметить, что в настоящее время сооружаются КОС в Северобайкальске (население 24,3 тыс. чел.) мощностью 5 тыс. м³ в сутки. В технологической схеме применена система мембранных биореакторов, которая, согласно проектной документации, позволит очищать сточные воды до требований Приказа № 83. Данный проект рассматривается как пилотный, и, если в результате эксплуатации подтвердятся проектные показатели, эта схема будет применена и при строительстве и реконструкции очистных сооружений в других населенных пунктах.

Централизованные системы водоотведения имеются в Северобайкальске, Байкальске, Слюдянке. Системы водоотведения выполнены из стальных и чугунных трубопроводов, работающих в самотечном режиме по разветвленной схеме в виде дерева. Проведенный анализ

работы этих систем показал, что их надежность неудовлетворительная, трубопроводы имеют 100%-ный износ, отличаются значительной аварийностью [4, 5]. В результате закупорок и засоров сточные воды поднимаются в смотровых колодцах и попадают на поверхность земли и далее в Байкал. Для перечисленных городов количество таких сточных вод за год составляет 150 тыс. м³. Ежегодный расчетный ущерб для озера – более 5 млрд рублей. Требуется безотлагательные меры по повышению надежности централизованных систем водоотведения за счет протяжки полиэтиленовых труб в заменяемых трубопроводах, организации временного и структурного резервирования сетей и сооружений.

Проведенные Лимнологическим институтом СО РАН [1] исследования свидетельствуют об уменьшении биомассы планктонных рачков – защитников чистоты Байкала в его южной части, но после закрытия в 2011 году Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) экосистема постепенно восстанавливается.

Пути решения

В 2016 году по заданию правительства Иркутской области была разработана концепция водоотведения в ЦЭЗ оз. Байкал в границах Иркутской области [2, 6–8]. В этой концепции были рассмотрены следующие варианты решения проблемы водоотведения на Байкале:

- отведение сточных вод за пределы водосборного бассейна озера Байкал;
- оптимизация схем сбора, транспортировки, очистки сточных вод, переработки осадка без сброса очищенных вод в озеро;
- развитие оборотной системы использования воды в жилищном, промышленном секторах и в сельском хозяйстве.

В части замкнутого цикла сточные воды и осадки после очистки можно использовать для полива и удобрения в сельском хозяйстве, повторно использовать при промыве унитазов и др.

В работе предлагается концепция, основанная на минимизации поступления очищенных сточных вод в Байкал и отведении их в другие, не связанные с озером водоемы, с последующей очисткой до нормативных требований для данного водоема.

Следует отметить, что проблема очистки сточных вод и сброса их в Байкал приобрела актуальность в связи со строительством в 1961 году БЦБК и до сих пор является главной проблемой сохранения озера. В 1980 году, в эпоху развитого социализма и централизованной системы управления экономикой страны, был выбран путь отвода сточных вод за пределы водосборного бассейна Байкала. В частности, Центральный комитет КПСС, Совет министров СССР постановили (Постановление от 13 апреля 1987 года № 434 «О мерах по обеспечению охраны и рационального использования природных ресурсов бассейна озера Байкал в 1987–1995 годах») обеспечить в 1988 году отведение очищенных сточных вод БЦБК в реку Иркут. Институт «Союзгипроводхоз» разработал такой проект, и в 1987 году началась его реализация, но в связи с перестройкой (1985–1991) он так и не был осуществлен. В 2016 году правительством Иркутской области была разработана и утверждена концепция водоотведения на Байкале, основанная на принципе минимизации сброса очищенных и неочищенных сточных вод в поверхностные воды озера. При этом показано, что экономически выгодным является вариант отведения сточных вод за пределы водосборного бассейна озера.

Для реализации этой концепции разработаны следующие методы математического моделирования и оптимизации:

- моделирование движения сточных вод в безнапорных трубопроводных системах на основе метода «частиц»;

> Рис. 1. Схема водоотведения и очистки сточных вод на острове Ольхон

> Рис. 2. Схема водоотведения и очистки сточных вод в Ольхонском районе



- обоснование вида и определение радиуса действия транспортировки сточных вод автомобильным, железнодорожным, водным транспортом;
- разработка методики оптимизации структуры и параметров районных систем водоотведения;
- повышение надежности транспортировки сточных вод в безнапорных трубопроводных системах.

Эти методы изложены в публикациях [4, 8–13].

Остров Ольхон. Остров является самым привлекательным для туризма местом на Байкале. Здесь постоянно проживает 1,7 тыс. чел. Имеется почти 100 туристических баз с 4,5 тыс. койко-мест. Очистные сооружения отсутствуют. Жители пользуются надворными туалетами, а туристические базы оснащены выгребными ямами, сточные воды из которых вывозятся автомобильным транспортом на материковую зону через паромную переправу на полигон захоронения жидких бытовых отходов в местечке Эмел-Кутул. Предлагается для туристических баз применять систему оборотного использования воды для промывки унитазов с устройством локальных очистных сооружений. Такая технология позволит существенно сократить объемы сточных вод, для утилизации которой рассмотрены два варианта:

- сбор сточных вод от населения и туристических баз осуществляется автомобильным транспортом и доставляется в котловину высохшего озера в центральной части острова, где сточная вода очищается и сбрасывается в пруды-испарители (рис. 1);
- сбор сточных вод от населения и туристических баз производится автомобильным транспортом и доставляется на материковую зону в котловину высохшего озера в Тажеранских степях, где сточная вода очищается и сбрасывается в пруды-испарители (рис. 2).

В центральной части Байкала предлагается вдоль Байкальского тракта, начиная от пос. Листвянка, построить самотечно-напорный коллектор до Иркутска на КОС правого берега. От ближайших поселков на берегу Байкала сточные воды будут доставляться в Листвянку водным транспортом. Перекачка сточных вод до Иркутска будет осуществляться с помощью семи канализационных насосных станций. Предусматривается сбор сточных вод от всех населенных пунктов и садоводческих участков в общий коллектор. Такой проект уже реализуется, и КОС

правобережной части Иркутска расширяются до производительности 270 тыс. м³ в сутки и реконструируются за счет средств программы «Защита оз. Байкал» (вложено 14 млрд руб).

Для южной территории оз. Байкал предлагаются следующие варианты:

1. Сточные воды из населенных пунктов и туристических баз доставляются автомобильным транспортом в Байкальск, Слюдянку, Култук. От Байкальска и Слюдянки сточные воды транспортируются в Култук трубопроводным транспортом. Предусматриваются три канализационные насосные станции и напорные трубопроводы (две трубы диаметром 500 мм и две – 630 мм), трасса которых проходит вблизи железной дороги по отметкам 470–475 м. В Култуке предполагаются КОС, где производится очистка сточных вод до нормативных требований их сброса в р. Быструю. Далее очищенные сточные воды напорными трубопроводами (две трубы диаметром 630 мм) доставляются в реку Большая Быстрая, впадающую в Иркут, который несет воды в Ангара (трасса проходит вблизи автомобильной дороги) (рис. 3).

2. Сточные воды из населенных пунктов и туристических баз доставляются автомобильным транспортом в Байкальск, Слюдянку, Култук. Там осуществляется строительство КОС, в которых производится очистка стоков до требований Приказа № 83 с использованием многоступенчатой схемы очистки сточных вод. Далее очищенные стоки сбрасываются в р. Солзан в Байкальске, р. Пахабиху в Слюдянке, р. Култушную в Култуке – в зоне 500 м от озера Байкал. Профиль трассы напорных трубопроводов в две нити представлен на рис. 4.

Стоимость переброски сточных вод в речку Быструю составляет 9200 млн руб., годовые эксплуатационные затраты – 493 млн руб.

Стоимость второго варианта очистки сточных вод и сброса их в озеро Байкал составляет 13302 млн руб., годовые эксплуатационные затраты – 364 млн руб.

Утилизация ливневых сточных вод. В настоящее время магистральные автомобильные дороги, проходящие по берегу Байкала, практически не имеют ливневой канализации, и ежегодно нефтепродукты в количестве 105 т попадают в озеро. За последние два-три года в результате реконструкции этих дорог установлены резерву-



^ Рис. 3. Схема водоотведения и очистки сточных вод от Листвянки до Иркутска



^ Рис. 4. Варианты организации системы водоотведения в южной части побережья озера Байкал

ары-накопители с кассетными фильтрами. Однако надлежащая их эксплуатация не осуществляется и ливневые стоки не доставляются на очистные сооружения. В этом отношении как железные, так и автомобильные дороги являются основными загрязнителями озера. Следует отметить, что ни в одном из населенных пунктов, расположенных на берегах Байкала, нет ливневой канализации. К сожалению, в планах развития поселений отсутствуют схемы ливневой канализации, но без этих важных для Байкала систем не могут развиваться туристические зоны и города. При этом ливневая канализация должна соответствовать всем требованиям для ЦЗ озера Байкал. Ливневые стоки должны собираться, очищаться до требований Приказа № 83, либо перебрасываться в водоемы, не связанные с Байкалом, либо также повторно и многократно использоваться в жилищном хозяйстве, промышленности и при поливе насаждений.

Для сбора, накопления, транспортировки и очистки ливневых вод предлагается вдоль дорог создание напорных трубопроводов и емкостей накопителей, из которых сточные воды будут перекачиваться насосными станциями. Для Южного Байкала схема такой ливневой канализации представлена на рис 5. Согласно этой схеме, ливневые сточные воды с дорожного полотна собираются в резервуары-накопители, с которых насосными станциями (всего их 18) по двум напорным трубопроводам протяженностью 200 км будут перекачиваться в Култук, где возводятся локальные очистные сооружения, в которых отделяются нефтепродукты. Далее сточная вода поступает на хозяйственно-бытовые очистные сооружения и затем по общему трубопроводу в две нитки перебрасывается в речку Быструю.

Общие выводы

– Максимально использовать возможность сброса очищенных сточных вод в водные объекты, не имеющие связь с оз. Байкал.



в Рис. 6. Схема трубопроводов ливневой канализации магистральных автомобильных дорог южной части озера Байкал



- Провести исследования влияние антропогенной нагрузки от неочищенных сточных вод, попадающих в Байкал, на планктонные и бентосные сообщества, ихтиофауну и др.

- Разработать доступную технологию очистки сточных вод до нормативов приказа Минприроды № 83 и методические рекомендации для применения данного приказа при сбросе сточных вод в водоемы, имеющие гидравлическую связь с оз. Байкал.

- Разработать общую для Байкала концепцию водопользования с учетом развития территорий, туризма и водного транспорта.

При строительстве КОС и организации системы водоотведения в ЦЭЗ оз. Байкал решения должны приниматься не только муниципальными и региональными органами власти, но и научными советами, общественными организациями, специальными компетентными органами.

Литература

1. 31-й Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2024 г.». – Москва : Минприроды РФ, 2025. – 350 с.
2. Пукемо, М. М., Данилович, Д. А. Недостижимые нормы для очистных сооружений озера Байкал // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22, № 7. – С. 26–32.
3. Пупырев, Е. И., Самбурский, Г. А. Системы водоотведения в природной зоне Байкала // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22, № 7. – С. 4–10.

< Рис. 5. Профиль трассы напорных трубопроводов протяженностью 56 км от Байкальска до реки Быстрой

4. Чупин, Р. В., Ярыгин, Р. Н., Бобер, В. А. Повышение надежности систем водоотведения за счет использования аккумулярующей способности самотечных коллекторов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 4 (784). – С. 137–152.
5. Чупин, Р. В., Бобер, В. А. Структурное резервирование централизованных систем водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2025. – № 6. – С. 46–56.
6. Пупырев, Е. И., Чупин, Р. В., Гогина, Е. С., Макиша, Н. А., Нечаев, И. А., Пукемо, М. М. Разработка региональной концепции развития системы водоотведения центральной экологической зоны Байкальской природной территории // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 466–474.
7. Чупин, Р. В., Пукемо, М. М., Мелехов, Е. С., Чупин, В. Р. Совершенствование методики оптимизации и разработка предложений по созданию единой схемы водоотведения центральной экологической зоны байкальской природной территории на примере Слюдянского района Иркутской области // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. – Т. 9, № 1(28). – С. 144–157. – DOI: 10.21285/2227-2917-2019-1-144
8. Пешков, В. В., Чупин, Р. В., Бобёр, В. А. Водоотведение в центральной экологической зоне оз. Байкал. Проблемы и пути решения // Известия вузов. Строительство. – 2021. – № 5. – С. 59–70.
9. Чупин, В. Р. Обоснование области применения автомобильного транспорта в районных системах водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2022. – Т. 12, № 2 (41). – С. 232–239.
10. Ярыгин, Р. Н., Чупин, Р. В., Мелехов, Е. С. Минимизация рисков при разработке перспективных схем водоснабжения и водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – № 1 (48). – С. 149–160.
11. Чупин В. Р., Кульков, В. Н., Ярыгин, Р. Н., Чупин, Р. В., Лавыгина, О. Л. Системы водоотведения на особо охраняемых территориях, проблемы и пути решения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2025. – Т. 15, № 3 (54). – С. 550–559. DOI: 10.21285/2227-2917-2025-3-550-559
12. Лавыгина, О. Л., Ярыгин, Р. Н., Дударев, В. И., Гребнева, О. А., Полторыхин, С. А., Кульков, В. Н. Эколого-экономические аспекты сброса хозяйственно-бытовых сточных вод на Байкальской природной территории // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2025. – Т. 15, № 4 (54). – С. 711–720.
13. Чупин, В. Р., Абросимова, И. А., Ярыгин, Р. Н. Минимизация рисков при обосновании структуры и параметров перспективных систем подачи и распределения воды // Вестник МГСУ. – 2026. – Т. 21, № 6 (56). – С. 991–1000.

References

- Chupin, V. R. (2022). Application of truck transport in district wastewater discharge systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost*, 12(2), 232–239.
- Chupin, V. R., Abrosimova, I. A., & Yarygin, R. N. (2026). Risks-Based Justification of the Structure and Parameters of Advanced Water Supply and Distribution Systems. *Vestnik MGSU*, 21(6), 991–1000.
- Chupin, R. V., & Bober, V. A. (2025). Structural redundancy of public wastewater disposal systems. *Water Supply and Sanitary Technique*, (6), 46–56.
- Chupin, V. R., Kulkov, V. N., Yarygin, R. N., Chupin, R. V., & Lavygina, O. L. (2025). Wastewater disposal systems in specially protected areas, problems and solutions. *Izvestiya Vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost*, 15(3), 550–559. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-3-550-559>
- Chupin, R. V., Pukemo, M. M., Melekhov, E. S., & Chupin, V. R. (2019). Unified wastewater disposal scheme for the central Baikal ecological zone on the example of the Slyudyansky District of the Irkutsk Region: Methodological optimization and design proposal. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost*, 9(1(28)), 144–157. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-1-144>
- Chupin, R. V., Yarygin, R. N., & Bober, V. A. (2024). Increasing the reliability of drainage systems through the use of the accumulating capacity of gravity collectors. *News of Higher Educational Institutions. Construction*, 4(784), 137–152. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2024-784-4-137-152>
- Lavygina, O. L., Yarygin, R. N., Dudarev, V. I., Grebneva, O. A., Poltorikhin, S. A., & Kulkov, V. N. (2025). Ecological and economic aspects of the discharge of domestic wastewater in the Baikal natural area. *Izvestiya Vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost*, 15(4), 711–740.
- Ministry of Natural Resources of the Russian Federation. (2025). *31st State Report: "On the State of Lake Baikal and Measures for Its Protection in 2024"*.
- Peshkov, V. V., Chupin, R. V., & Bober, V. A. (2021). Water discharge in the central ecological zone of Lake Baikal: Problems and ways of solution. *News of Higher Educational Institutions. Construction*, (5), 59–70.
- Pukemo, M. M., & Danilovich, D. A. (2018). Unattainable Standards for Treatment Facilities of Lake Baikal. *Ecology and Industry of Russia*, 22(7), 26–32.
- Pupyrev, E. I., Chupin, R. V., Gogina, E. S., Makisha, N. A., Nechaev, I. A., & Pukemo, M. M. (2020). Elaboration of a regional concept for developing a water disposal system for the central ecological zone of the Baikal natural territory. *Vodnye resursy*, 47(4), 466–474.
- Pupyrev, E. I., & Sambursky, G. A. (2018). Water Disposal System in the Coastal Zone of Lake Baikal. *Ecology and Industry of Russia*, 22(7), 4–10.
- Yarygin, R. N., Chupin, R. V., & Melekhov, E. S. (2024). Minimizing risks in the development of prospective water supply and wastewater discharge schemes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost*, 14(1), 149–160.