

Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Научная статья

УДК 628.247.12, 628.247.12

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-2/121-135>

М.Н. Шевцов, Д.В. Мишкин, В.А. Яровиков

ШЕВЦОВ МИХАИЛ НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., профессор, заслуженный эколог России, исполняющий обязанности заведующего кафедрой, 000458@pnu.edu.ru

МИШКИН ДЕНИС ВЛАДИМИРОВИЧ – аспирант, преподаватель кафедры, 944664@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3457-1066>

ЯРОВИКОВ ВАДИМ АЛЕКСЕЕВИЧ – бакалавр, 2019103982@pnu.edu.ru

Кафедра инженерных систем и техносферной безопасности

Тихоокеанский государственный университет

Хабаровск, Россия

Обеспечение геоэкологической безопасности систем водоотведения г. Хабаровск с учетом инженерно-геологических условий

Аннотация. Научная статья посвящена проблемам обеспечения геоэкологической безопасности при эксплуатации систем водоотведения города Хабаровска. Авторы дают оценку инженерно-геологическим условиям, влияющим на безопасность и эффективность функционирования систем водоотведения: геологическим процессам, которые могут привести к разрушению инженерных сооружений, включая сейсмические, гидрологические и погодные явления; возможные загрязнения сточных вод и грунтовых вод в окрестностях города. Представлены рекомендации по управлению системами водоотведения, которые помогут снизить риски для окружающей среды и обеспечат надежность работы инженерных сооружений в соответствии с инженерно-геологическими условиями региона. Цель данной статьи - определить и описать инженерно-геологические условия региона, в которых функционируют системы водоотведения, а также представить рекомендации по обеспечению их безопасности и эффективности. В качестве основных методов использованы: геологическое и гидрогеологическое исследование территорий, на которых расположены системы водоотведения города Хабаровска, анализ данных и статистических материалов о состоянии систем водоотведения и их эффективности, методы моделирования и симуляции работы систем водоотведения с использованием ПО с целью выявления возможных проблем в работе системы и эффективности ее работы. Результаты исследования: разработка методов мониторинга систем водоотведения, позволяющих выявить проблемы и рассчитать эффективность их работы при изменении инженерно-геологических условий, определение возможных рисков и проблем в работе систем водоотведения города Хабаровска, разработка конкретных рекомендаций по созданию и применению средств обеспечения безопасности систем водоотведения, их эффективности и соответствию инженерно-геологическим условиям региона.

Ключевые слова: канализация, геология, грунты основания, техносферная безопасность, инженерные системы, коллектор

Для цитирования: Шевцов М.Н., Мишкин Д.В., Яровиков В.А. Обеспечение геоэкологической безопасности систем водоотведения г. Хабаровск с учетом инженерно-геологических условий // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 2(55). С. 121–135.

Введение

Функционирование подземных инженерных сетей, в частности системы водоотведения, тесно связано с инженерно-геологическими условиями местности: региональными

особенностями грунтов, геодинамическими процессами. Учёт инженерно-геологических условий и опасных геологических процессов является неотъемлемой частью проектирования коммуникаций. Функционирование систем водоотведения в штатном режиме во многом зависит от состояния грунтов основания, которое оказывает непосредственное влияние на режим работы инженерных сетей. Для этой цели авторами проведено исследование инженерно-геологических условий Хабаровска.

1. Особенности инженерно-геологических условий г. Хабаровск и экзогенные геологические процессы (ЭГП), влияющие на безопасность систем водоотведения

В геоморфологическом плане Среднеамурская впадина, в пределах которой находится Хабаровск, представляет собой однообразную плоскую заболоченную поверхность. Город расположен на высоком правом берегу р. Амур, где высота обрывов составляет 3–5 м, а местами 30–60 м.

В пределах города выделяются несколько геоморфологических типов рельефа (рис. 1):

- 1) денудационно-эрозионный (холмисто-увалистый рельеф и скульптурный мелкосолоник);
- 2) денудационно-аккумулятивный (полого-волнистая слабо-увалистая поверхность на эллювиально-делювиальных отложениях коры выветривания);
- 3) аккумулятивный (поверхность выравнивания озёрной равнины четвёртой надпойменной террасы и полого-наклонная озёрно-аллювиальная равнина - третья надпойменная терраса).

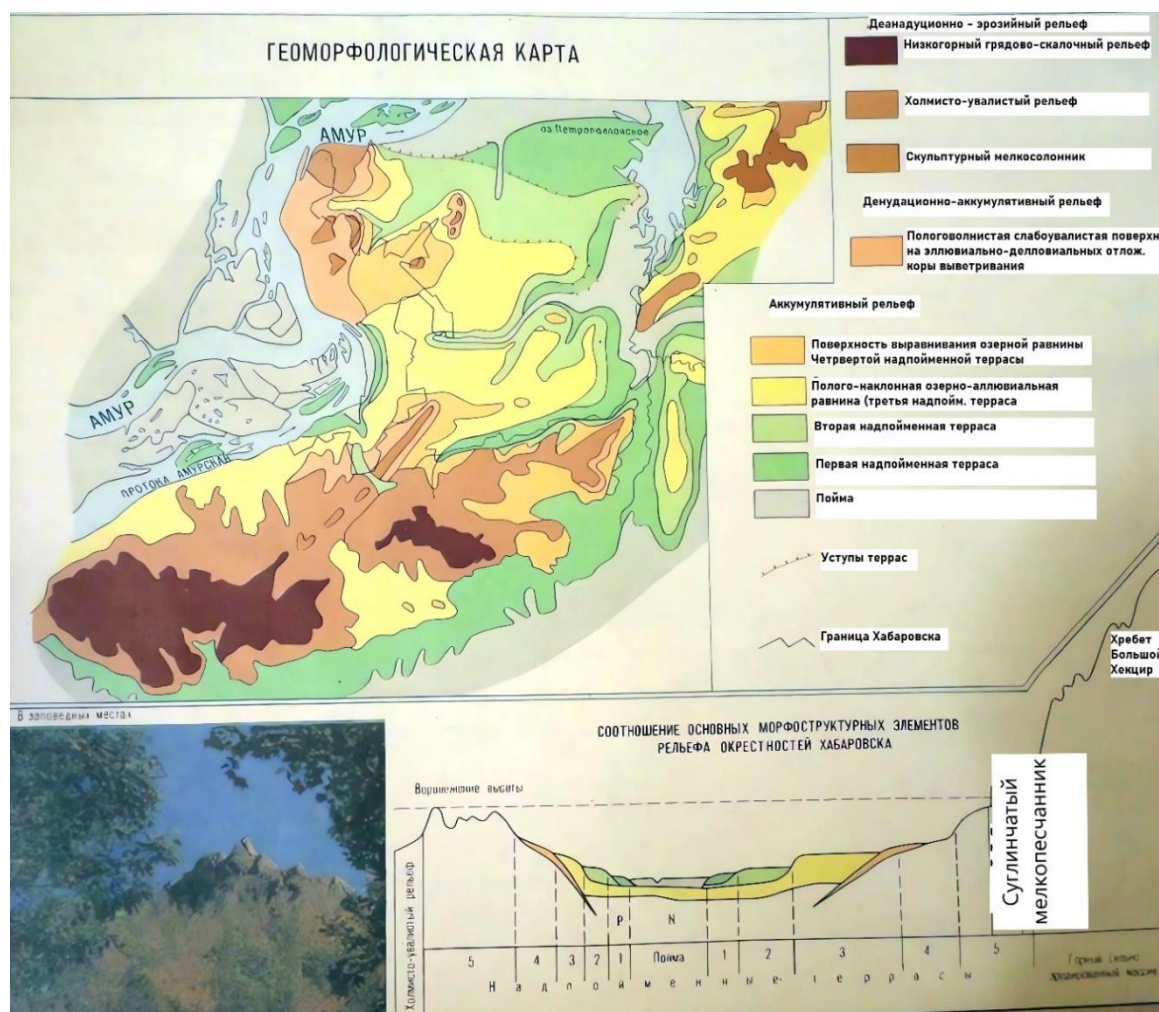


Рис. 1. Геоморфологическая карта г. Хабаровск

Исходя из геоморфологических типов рельефа авторами в пределах Хабаровска были выделены два типа грунтов: 1) коренные породы; 2) поверхностные отложения.

Коренные породы - в основном прочные скальники: сланцы, песчаники, туфы и др., перекрытые преимущественно обломочными грунтами.

Поверхностные отложения: пески, глины, галечники, алевриты мощностью до десятков метров. Прочностные характеристики грунтов в пределах Хабаровска отличаются неоднородностью, и это следует учитывать при проектировании подземных инженерных сетей.

Согласно методике Т.И. Подгорной [11] территорию Хабаровска с учетом особенностей проявления опасных геологических процессов можно разделить на три района (рис. 2):

район I – террасированная аллювиальная равнина долины р. Амур, сложенная комплексом озерно-речных отложений. Распространены оползни, речная и овражная эрозии, подтопление и заболачивание;

район II – холмисто-увалистая поверхность, скульптурный мелкосопочник, сложенные комплексом делювиально-пролювиальных, элювиальных отложений и осадочных пород палеозойского и мезозойского возраста. Подвержен воздействию овражной и речной эрозии, оползнеобразованию, процессам выветривания;

район III – глубокие кайнозойские ложбины (грабены) в породах палеозоя и мезозоя. Развита осыпь, овражная и речная эрозии.

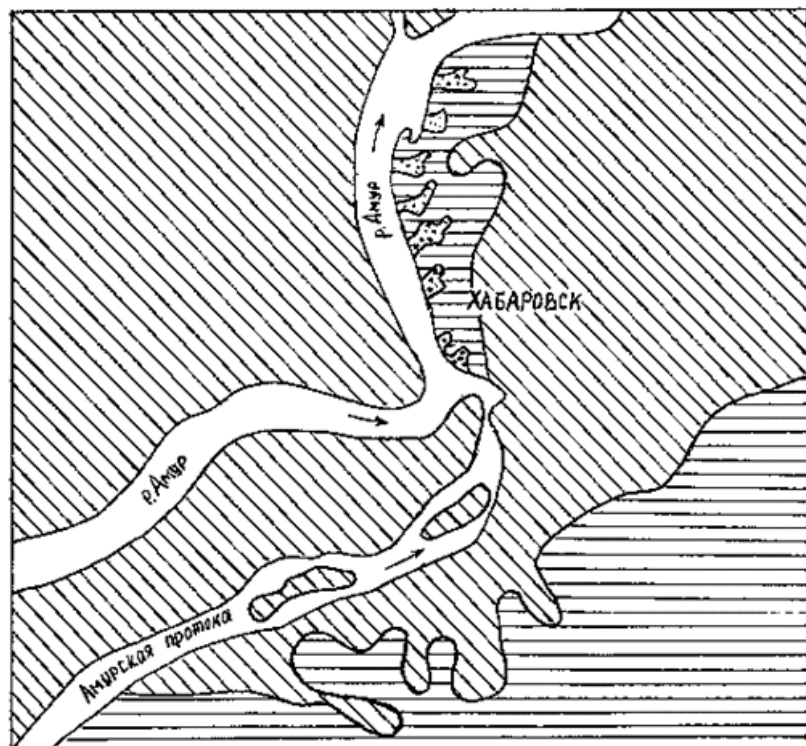

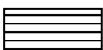
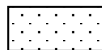


Рис. 2. Схема инженерно-геологического районирования территории г. Хабаровск и его окрестностей [11]:

I – террасированная аллювиальная равнина; II – холмисто-увалистая поверхность; III – глубокие кайнозойские ложбины (грабены) в породах палеозоя и мезозоя

 - I;  - II;  - III.

Таким образом, было установлено, что в пределах Хабаровска широко распространены следующие опасные геологические процессы: подтопление и заболачивание, овражная и речная эрозия, оползни и осыпи (рис. 3).

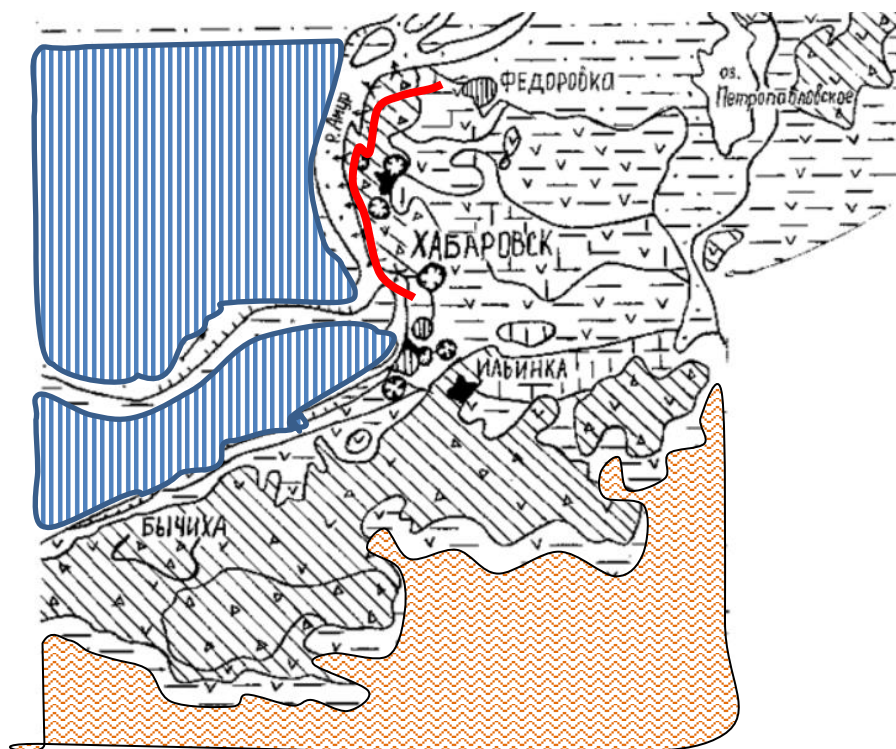


Рис. 3. Схема размещения опасных геологических процессов в г. Хабаровск и его окрестностях [11]:

I – оползни и осыпи в горизонтально развивающихся слоях; II – овражная и речная эрозия; I II – заболачивания и подтопления

■ - I; ■ - II; ■ - III.

2. Влияние инженерно-геологических условий г. Хабаровск на строительство и эксплуатацию подземных трубопроводов систем водоотведения

Согласно данным сайта Федерального агентства по недропользованию geomonitoring.ru, суммарная поражённость территории Хабаровска экзогенными геологическими процессами составляет 10–25 %.

Оползни и осыпи развиты вдоль берега Амура. Наиболее опасны и распространены оползни – огромные блоки земляных масс, сползающие по увлажнённым глинистым прослоям в толще аллювия и делювия (см. рис. 3). Ширина оползней может достигать 100–150 м. Высокий риск проявления оползнеобразования отмечается в микрорайоне Красная Речка [5].

В.Г. Варнавский обозначил инженерно-геологические характеристики для оползневых районов (табл. 1). Для каждого района выделяются типичные геологические разрезы (рис. 4).

Таблица 1

Инженерно-геологическая характеристика оползневых районов [1]

Инженерно-геологические условия района	I район	II район	III район
Геоморфологические условия	Террасированная равнина надпойменных террас р. Амур и Амурской протоки	Пологоволнистая холмисто-увалистая поверхность Воронежских, Львовских, Хабаровских высот	Глубокие ложбины, приуроченные к прогибам и тектоническим нарушениям в эрозионном уступе на правом берегу р. Амур

<p>Инженерно-геологический комплекс пород. Гидрогеологические условия</p>	<p>Аллювиально-озерные и аллювиально-пролювиальные глинистые породы твердой, полутвердой и мягкопластичной консистенции с прослоями песчаных и крупно-обломочных пород. Плотные, водонасыщенные. Горизонтальное и слабонаклонное залегание. Спорадическое распространение верховодки на глубине 0–3 м; водоносный горизонт плиоцен-четвертичных отложений на глубине от 3–5 до 20 м. Разгрузка в береговом склоне.</p>	<p>Делювиальные четвертичные отложения, элювий палеозойских и мезозойских пород. Глинистые породы с примесью дресвы и щебня; дресвяно-щебенистые породы; плотные водонасыщенные. Наклонное залегание. Спорадическое распространение верховодки на глубине 0–10 м; трещинные воды палеозойских пород на глубине от 7 до 35–36 м. Разгрузка на склонах оврагов и в береговых обрывах.</p>	<p>Аллювиальные, делювиальные, техногенные, аллювиально-пролювиальные отложения. Элювий палеозойских и мезозойских пород. Глинистые породы с включениями дресвы и щебня; плотные, водонасыщенные. Залегание наклонное. Спорадическое распространение верховодки и техногенного водонасыщенного горизонта на глубине 0–10 м, водоносные горизонты аллювиальных четвертичных и палеоген-неогеновых отложений на глубине 10–25 м. Разгрузка в береговом склоне и оползнях.</p>
<p>Типы оползней</p>	<p>Структурные, структурно-пластические, пластические</p>	<p>Структурные, структурно-пластические, пластические</p>	<p>Структурные, структурно-пластические</p>
<p>Размеры оползней: площадь S, m^2 объем V, m^3</p>	<p>100–12 000 100–85 000</p>	<p>200–4000 200–25 000</p>	<p>9000–34 000 70 000–400 000</p>

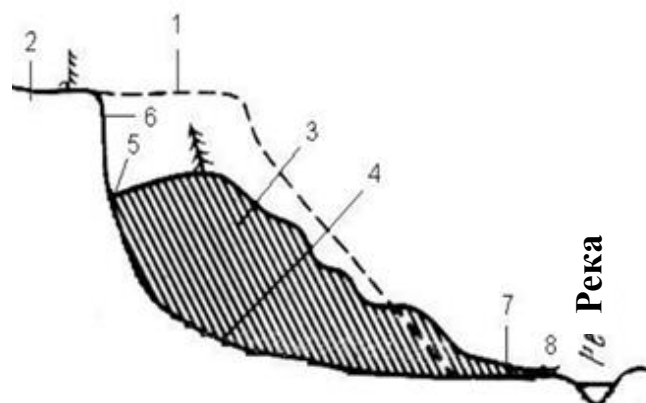


Рис. 4. Схема оползневого склона:
1 – первоначальное положение склона; 2 – ненарушенный склон; 3 – оползневое тело;
4 – поверхность скольжения; 5 – тыловой шов; 6 – надоползневый уступ;
7 – подошва оползня; 8 – источник

Прокладка подземных коммуникаций на территориях, где развит оползневой процесс, связана с большими рисками и требует дополнительных противооползневых мероприятий: перехват и отвод грунтовых вод и поверхностных вод, устройство подпорных стенок, габионов, укрепление склона анкерами, торкретирование, использование бетонного полотна Concrete Canvas и др., что значительно удорожает строительство. В настоящее время для защиты трубопроводов от оползней предлагается новая технология закрепления труб подпорками из свай и пластин: сваи забиваются в устойчивый грунт, закрепляются анкерами, к свае приваривается пластина, к которой прикрепляется ремень, удерживающий трубу (рис. 6) [7].

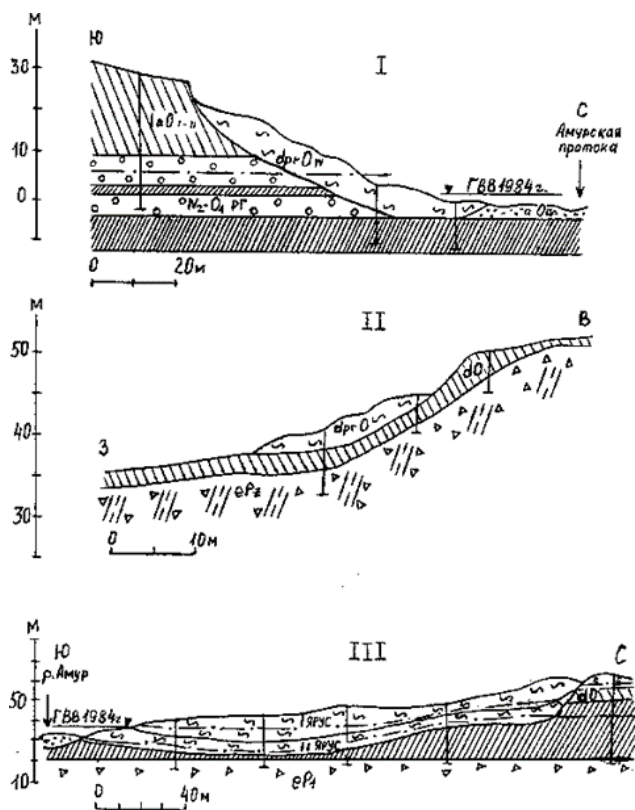


Рис. 5. Типичные геологические разрезы оползней

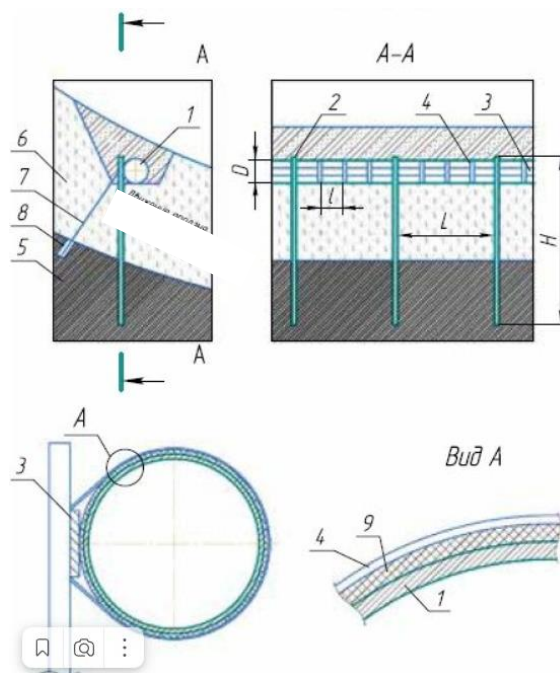


Рис. 6. Схема устройства для защиты трубопровода от оползня [7]:

D – диаметр трубопровода; H – высота свай; L – шаг опор; l – расстояние между ремнями;
 1 – трубопровод; 2 – свая; 3 – пластина; 4 – ремни; 5 – устойчивый грунт;
 6 – оползневый грунт; 7 – трос анкерный; 8 – анкер; 9 – пористая прокладка.

Утечки вод из системы водоотведения могут активизировать оползневой процесс, увлажняя плоскость скольжения и провоцируя тем самым движение земляных масс. Укрепление грунтов от осей производится с помощью геосеток, геотканей, сооружения подпорных стенок и др.

Подтопление и заболачивание часто фиксируется вдоль берега Амура, где уровень грунтовых вод залегает всего на 1–3 м. Большая часть территории Хабаровска характеризуется развитием данных процессов (см. рис. 2), наиболее часто подтопление происходит в пойме Амура и его надпойменных террас, в Краснофлотском, Центральном, Кировском районах, где имеются плоские или блюдцеобразные участки. Развитие подтопления связано с многими факторами: обильными атмосферными осадками, паводками, наличием глинистых слабопроницаемых грунтов, особенностями рельефа, техногенным нарушением поверхностного стока, инфильтрацией вод из котлованов, *утечками из коммуникаций*. Застаивание вод приводит к заболачиванию, зачехлению территорий, торфообразованию. Подтопление вызывает коррозию трубопроводов, выщелачивание бетона, морозное пучение грунтов.

Согласно ст. 67.1 Водного кодекса РФ в границах зон подтопления запрещено капитальное строительство без обеспечения инженерной защиты. В качестве средств инженерной защиты территорий следует рассматривать обвалование, искусственное повышение поверхности территории, устройство сооружений по регулированию и отводу поверхностного стока, систем дренирования и других защитных объектов.

В пределах города широко развита овражная эрозия. Образование оврагов связано со смывом грунта временными потоками и инженерной деятельностью человека. Суммарная длина оврагов в черте Хабаровска свыше 376 км. Процесс эрозии наиболее развит в районе Воронежских, Львовских, Хабаровских и Краснореченских высот.

Речная эрозия на территории Хабаровска развивается довольно активно. Сильные паводки на Амуре с достижением и превышением опасных отметок уровня воды имеют повторяемость один раз в 12–15 лет [17]. В период паводков скорость течения значительно увеличивается и более активно происходит размыв берегов. Особенно сильно подвержены эрозии берега, сложенные песчаными и глинистыми породами, а также склоны со слабой растительностью. На территории Хабаровска для предотвращения размыва берегов имеются набережная и защитные сооружения.

Укладка подземных инженерных сетей на участках, подверженных эрозии, требует разработки специальных мероприятий: укрепление почвенного покрова (с использованием биомата), объёмное упрочнение грунта (с помощью георешёток, геоячеек), устройство грунтовых отбойных валов (берм), организация поверхностного водоотвода (использование дренажных канав, лотков) [15].

Взаимодействие коммуникаций с подземными водами

Подземные воды определенного химического состава могут быть агрессивными, оказывая разрушающее воздействие на бетонные и металлические конструкции, подземные коммуникации, что необходимо учитывать при проектировании сооружений.

По отношению к бетону и металлу различают следующие виды агрессивности:

- 1) углекислая – разрушение бетона вследствие растворения CaCO_3 под действием угольной кислоты;
- 2) выщелачивающая – происходит в результате растворения CaCO_3 и вымывания из бетона несвязанной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
- 3) общекислотная – обусловлена высоким содержанием ионов водорода, проявляется при $\text{pH} < 5,0$;
- 4) сульфатная – проявляется при высоком содержании SO_4^- (>250 мг/л, для сульфатостойких цементов – >4000 мг/л), при кристаллизации образуются соли, провоцирующие резкое увеличение объема, вспучивание и разрушение бетона;
- 5) магнезиальная – возникает при содержании Mg^{++} более 750 мг/л в зависимости от сорта цемента;
- 6) кислородная – происходит из-за содержащегося в воде растворенного кислорода и влияет в основном на металл. Кислород действует активнее в присутствии углекислоты.

Металл разъедают сильнощелочные воды с $pH > 9,0$ и сильнокислые с $pH < 4,5$. Повышенная температура грунтовых вод, большая скорость течения, электрические блуждающие токи также способствуют разрушению [6]. Мягкая вода (общая жесткость менее 3,0 мг-экв/л) считается более агрессивной.

На территории Хабаровска наиболее обводнёнными являются современные аллювиальные отложения. Подземные воды имеют минерализацию до 0,15 мг/л, по составу гидрокарбонатные кальциевые или кальциево-натриевые, обладают выщелачивающей и общекислотной агрессивностью по отношению к бетону [2]. Специальные защитные добавки и пропитки для бетонов помогают снизить негативное воздействие, применяются как на стадии строительства, так и в процессе эксплуатации коммуникаций.

Утечки из систем канализации могут приводить к серьёзному загрязнению подземных вод. Содержание макро- и микроэлементов в канализационных стоках значительно превышают ПДК (Pb, Cr, Fe, NO_x , фенолы, Cd, Na, нефтепродукты и др.). Загрязнение вод характеризуется большим содержанием органических примесей, наличием многочисленных микроорганизмов (сапрофитных бактерий, патогенных микробов, кишечной палочки и др.). Технологические процессы в водоносном горизонте сопровождаются усилением агрессивных свойств подземных вод [4]. Фильтрационные свойства пород влияют на скорость распространения загрязнения.

Крупные разломы, оконтуривающие Среднеамурскую впадину, продолжают свое развитие и являются сейсмоопасными. По данным исследований учёных РАН и GPS-наблюдения и высокоточного нивелирования, в 2003–2006 гг. в пределах Среднеамурской впадины выявлена обстановка растяжения и опускания территории со скоростью 1,1–4,0 мм/год. Развитие заболоченных равнин, расширение поймы Амура с образованием озёр и проток также указывает на процесс интенсивного прогибания впадины [8].

Территория Хабаровска относится к сейсмическому району с интенсивностью землетрясений в среднем 4–5 баллов. В 2014 г. на территории районов города организован Хабаровский геофизический полигон, который фиксирует сильные землетрясения. По прогнозным данным, в будущем магнитуды землетрясений на юге Хабаровского края могут оказаться не менее 7.0 (СП 104.13330.2016 Инженерная защита территории от затопления и подтопления.) Однако в СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы указывается на то, что сейсмичность Хабаровского края по российской шкале равна 9 баллам, но пересмотр степени сейсмичности города до сих пор не производится.



Рис. 7. Сайт Геомониторинг

Согласно СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы, учитывая сейсмическое воздействие при проектировании линейной части трубопроводов необходимо в районах с сейсмичностью свыше 6 баллов для надземных и свыше 8 баллов для подземных трубопроводов. Таким образом, на территории Хабаровска прокладка инженерных коммуникаций может осуществляться без учёта сейсмической активности.

3. Анализ безопасности проектных решений, направленных на устройство нового подземного железобетонного коллектора на ул. Пионерской в г. Хабаровск

В ходе натурных исследований со специалистами МУП «Водоканал» авторы установили, что преимущественно по центру проезжей части ул. Павла Морозова проходит самотечный канализационный коллектор. Коллектор выполнен из железобетонных труб Ø 1500 мм, глубина заложения – 6700 мм. Трубы соединяются между собой раструбами, направление движения стоков – к насосной №5 (в сторону центра города). Во время паводков на р. Амур в 2013, 2018, 2020 гг. из-за обводнения территории микрорайона случилось вымывание основания трубопровода.

Под действием избыточного насыщения влагой произошло частичное смещение грунтов, что вызвало просадку трубопровода коллектора на участке протяженностью 18 м, в 45 м от смотрового колодца № 12941. При этом весь участок до следующего колодца № 12944 составляет 85 м. Железобетонные трубы просели до половины рабочего диаметра. Это было установлено камерой видеофиксации изнутри коллектора. Кроме того, трубы на этом участке разошлись в местах стыков между собой. Из этого можно заключить, что вымывание грунта в дальнейшем происходит сточной жидкостью, в том числе из коллектора. Не исключается и факт попадания грунта непосредственно в коллектор.

Согласно проектной документации, самотечный канализационный коллектор был построен в 1972 г. из железобетонных труб Ø1500 мм. Жилой массив начал осваиваться в 60-е годы XX в. Аварийный участок автомобильной дороги, согласно данным инженерно-геологической службы, пересекает засыпанное палеорусло притока ручья Амура. Улица Павла Морозова, являющаяся одним из звеньев, связывающих центр города, Южный микрорайон и микрорайон Красная речка в месте просадки грунтов характеризуются интенсивным движением как легковых, так и грузовых автомобилей.

Как было установлено посредством видеосъёмки (рис. 8), внутренняя поверхность трубопроводов под воздействием агрессивной среды раскрошилась. Нарушен защитный слой арматуры. Видны участки с повреждением арматуры коррозией до 100%. Такие повреждения чреваты разрушением самих труб под давлением грунта и нагрузки на грунт (дорожное полотно и автотранспорт).



Рис. 8. Кадр видеосъёмки коллектора изнутри

Анализ информации показал, что причиной просадки самотечного канализационного коллектора стало отсутствие подготовки грунтов основания. Кроме того, для просадочных грунтов обязательное условие – устройство трубопроводов в футлярах (СП 129.13330.2019 Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации), которое в данном случае не было соблюдено, для грунтов III просадочной группы (с просадкой более 20 см) обязательным условием является укладка в футляре.

По результатам натурного исследования были выявлены следующие повреждения конструкций: разрушения и истончения бетонного слоя, оголение арматуры до 100% поверхности, просадка конструкции до 500 мм. Далее по данным табл. 2 необходимо определить техническое состояние подземного сооружения. По оценке специалистов, данное сооружение может быть отнесено к 5-й категории. Исходя из табл. 3 техническое состояние относится к 5-й категории, так как $\varepsilon=0,35$, это означает, что самотечный канализационный коллектор находится в аварийном состоянии. Повреждения конструкций свидетельствуют о возможности их обрушения. Требуется немедленная разгрузка конструкции и устройство временных креплений, стоек, подпорок, ограждений опасной зоны. Ремонт в основном проводится с заменой аварийных конструкций.

Таблица 2

Оценка технического состояния железобетонных емкостных сооружений по внешним признакам

Категория технического состояния сооружения	Признаки силовых воздействий	Признаки воздействия внешней среды
2	Трещины в растянутой зоне бетона до 0,3 мм	Следы коррозии распределительной арматуры. Выщелачивание и частичное разрушение бетона в уровне жидкости. Отдельные механические повреждения бетона, не превышающие 5 %. Частичное разрушение антикоррозионного покрытия стальных закладных деталей и конструкций, на отдельных участках коррозия отдельными пятнами с поражением до 5 % сечения. Разрушение отмосток вокруг сооружения.
3	Трещины в растянутой зоне бетона до 0,5 мм	Образование продольных трещин вдоль арматуры от ее коррозии, местами обнажение арматуры из-за разрушения бетона, разрушение бетона на глубине защитного слоя бетона. Пластинчатая ржавчина на стержнях оголенной арматуры в зоне продольных трещин в бетоне вдоль арматурных стержней или на закладных деталях, металлоконструкциях (коррозия стали до 10 %) стен. Снижение прочности бетона, днища покрытия до 20 % и до 30 % в прочих конструкциях. Разрушение бетона отдельных стыков сборных стен.
4	Наличие трещин шириной более 0,5 мм в стенах, днищах и покрытии. Разрушение второстепенных конструкций: проходных мостиков, лотков и т.п. Неравномерные осадки и крен сооружения заметные на глаз.	Отслоение и разрушение защитного слоя стены с оголением арматуры. Снижение прочности бетона стен и покрытия до 30 %. Коррозия арматуры до 15 % сечения. Коррозия закладных деталей до 25 % сечения Потеря герметичности покрытия и стен

	Расстройство стыков сборных элементов покрытия со взаимным их смещением	
5	Ширина раскрытия нормальных трещин в стенах, днище и покрытии более 1 мм. Выпучивание арматуры и смятие бетона в колоннах. Разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне и хомутов. Прогибы изгибаемых элементов покрытия и стен более 1/50 пролета при наличии трещин в растянутой зоне	Коррозия арматуры стен и покрытий более 15 % сечения. Оголение всего диаметра рабочей арматуры изгибаемых элементов стен и покрытий. Снижение прочности бетона более 30 %. Коррозия стальных несущих закладных деталей более 30 %

Таблица 3

Категории технического состояния

Категория технического состояния	Описание технического состояния	$J=y/y_0$	$\varepsilon = 1-J$	С. %
1	Нормальное состояние. Отсутствуют видимые повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности. Необходимости в ремонтных работах нет	1	0	0
2	Удовлетворительное состояние Незначительное снижение несущей способности и долговечности конструкций требуется устройство антикоррозионного покрытия, затирка трещин и т.п.	0.95	0.05	0–11
3	Не совсем удовлетворительное состояние Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности конструкции. Требуется текущий ремонт	0.85	0.15	12–36
4	Неудовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к эксплуатации конструкции. Требуется капитальный ремонт с усилением конструкций. До проведения усиления необходимо ограничение нагрузок	0.75	0.25	37–90
5	Аварийное состояние. Требуется немедленная разгрузка конструкции и устройство временных креплений, замена аварийных конструкций	0.65	0.35	91–120

Далее расчетным методом (рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам разработаны к.т.н. А.Н. Добромысловым и др.) было установлено, что ремонт самотечного канализационного коллектора нецелесообразен, так как он исчерпал свой эксплуатационный ресурс и находится в аварийном состоянии.

Учитывая это обстоятельство, а также фактическую невозможность перекрытия ул. Павла Морозова для сколь-либо продолжительного ремонта, на заседании комиссии по ГО и ЧС администрации г. Хабаровск было принято решение построить новый самотечный железобетонный коллектор методом микротуннелирования.

Технология микротуннелирования хорошо себя зарекомендовала. Вместе с тем, по мнению авторов, основания грунтов так и остались подверженными обводнению и, как следствие,

их «плывучести», что в дальнейшем может негативно сказаться на работе канализационного коллектора.

В качестве мониторинга состояния предлагается использовать георадары – устройство, которое позволяет не просто обнаруживать предметы под землёй, но и буквально видеть их контуры, а также глубину залегания. Это современный неразрушающий метод изучения состояния подземной среды. Принцип действия прибора [9]: проходя сквозь изучаемую среду, волны частично отражаются от границ раздела между материалами с разными электрофизическими свойствами (от границ между пластами различных грунтов, слоев с разной влажностью, от уровней подземных вод, пустот, металлических или бетонных предметов, валунов и т.д.) и в ослабленном виде возвращаются к поверхности, где улавливаются приемной антенной, преобразуются в цифру, обрабатываются и запоминаются (рис. 9).

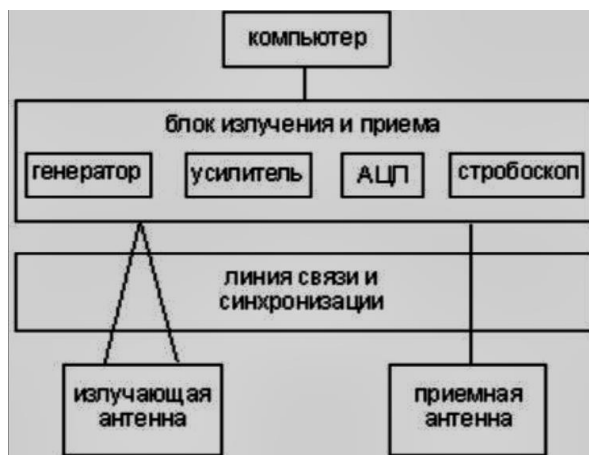


Рис. 9. Блок-схема одного из типов современных георадаров

При перемещении георадара, оснащенного датчиком перемещений и измерителем пути по поверхности (или над поверхностью) исследуемой среды, формируется совокупная запись принятых сигналов – георадиолокационный профиль, или георадарограмма. При этом в системе обработки данных с помощью специального программного обеспечения отфильтровываются все ненужные сигналы (прямые и другие волны) и помехи (рис. 10), а для отраженных волн определяется время между излучением импульсов передающей антенной и приходом сигналов к приемной антенне (называемое также временем запаздывания принятых сигналов).



Рис. 10. Основные типы волн, улавливаемые приемной антенной, большая часть которых отфильтровывается при обработке исходных данных с использованием современного программного обеспечения

Таким образом, используя современное оборудование, можно на ранних стадиях выявлять обводнение грунтов в районе пролегания таких сложных инженерных конструкций, как самотечные канализационные коллекторы, и оперативно реагировать на возникающие угрозы, принимая меры по исключению обводнения грунтов.

Заключение

В ходе проведенного исследования было выполнено следующее:

- установлено фактическое инженерно-геологическое строение грунтов в г. Хабаровск;
- оценено влияние экзогенных процессов на подземные сооружения, в частности канализационные коллекторы;
- определено техническое состояние действующего самотечного канализационного коллектора на ул. Павла Морозова в г. Хабаровск;
- предложены мероприятия для мониторинга сетей водоотведения методами неразрушающего контроля.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Геологическое строение и гидрогеологические условия Хабаровска и его окрестностей / В.Г. Варнавский, А.Э. Даммер, И.М. Тюрин и др. Хабаровск: Изд-во ИВЭП, 1991. 112 с.
2. Гидрогеология СССР. Т. XXIII, Хабаровский край и Амурская область. Москва: Недра, 1971. 504 с.
3. Горская В.А. Ретроспективный анализ специфики освоения территории для оценки инженерно-геологических условий подземного пространства мегаполисов (на примере Санкт-Петербурга) // Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства: Материалы IV международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. аграр. ун-та, 2022. С. 325–335.
4. Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. Источники загрязнения подземных вод в зоне активного водообмена // Восточно-европейский научный журнал. 2018. №. 2–2(30). С. 4–16.
5. Краткая информация о состоянии подземных вод в районе г. Хабаровск. URL: <https://geomonitoring.ru> (дата обращения: 12.01.2023).
6. Мулюков Э. И. Классификация видов воды в приповерхностном слое земной коры и агрессивность подземных вод // Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19, № 3. С. 54–58.
7. Айткулов М.Т., Султанмагомедов Т.С., Глазков А.С. Новый метод по защите склонов от оползневых процессов // Neftegaz.RU. 2021. № 6(114). С. 94–99.
8. Овсяченко А.Н., Трофименко С.В., Новиков С.С., Диденко А.Н., Имаев В.С. Задачи прогноза сейсмической опасности территории Нижнего Приамурья: палеосейсмологический и сейсмологический аспекты // Тихоокеанская геология. 2018. Т. 37, № 2. С. 59–75.
9. Основные принципы и применение георадиолокации. URL <https://geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/osnovnye-principyu-i-primenenie-georadiolokacii-43128.shtml> (дата обращения: 27.02.2023).
10. Перминов Н.А. Анализ технического состояния и методы защиты длительно-эксплуатируемых в сложных инженерно-геологических условиях подземных сооружений водоотведения при возрастающих техногенных воздействиях // Политранспортные системы: Материалы XI международной научно-технической конференции. Новосибирск: Изд-во Сиб. гос ун-та путей сообщения, 2020. С. 71–77.
11. Подгорная Т.И. Комплект инженерно-геологических карт г. Хабаровска, масштаб 1:25000. Хабаровск: Изд. ВКФ, 1992. 4 карты.
12. Подлипский И.И. Инновационный комплекс методов эколого-геологического мониторинга и оценки состояния геологической среды на объектах накопленного экологического ущерба // Сергеевские чтения: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии / под ред. В.И. Осипова и др. Пермь, 2019. Вып. 21.

13. Попова В.В., Троценко И.А., Колесниченко С. С. Геоэкологическое обоснование системы водоотводных каналов застроенных территорий агломераций // Геология, география и глобальная энергия. 2019. № 4. С. 183–190.
14. Сейсмическая активность Хабаровского края недооценивается.
URL: <https://есорportal.su/news/view/64169.html> (дата обращения: 23.01.2023).
15. Скапинцев А.Е., Потапов А.Д., Лаврусевич А.А. Инженерная защита трубопроводов от эрозийных процессов // Вестник МГСУ. 2013. № 7. С. 140–151.
16. Кезина Т.В., Трутнева Н.В., Елманова В.В. Экзогенные процессы рельефообразования на территории Амурской области. Оползни / Амурский государственный университет. Благовещенск, 2012. 58 с.
17. Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты / под ред. В.Ю. Георгиевского. Санкт-Петербург: ЭсПэХа, 2015. 171 с.
18. Cho E. et al. Identifying subsurface drainage using satellite Big Data and machine learning via Google Earth Engine. *Water Resources Research*. 2019;55(10):8028-8045.
19. Li J. A data-driven improved fuzzy logic control optimization-simulation tool for reducing flooding volume at downstream urban drainage systems. 2020;732:138931.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2023. N 2/55

Environmental safety of construction and urban economywww.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-2/121-135>

Shevtsov M., Mishkin D., Yarovikov V.

MIKHAIL N. SHEVTSOV, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Honored Ecologist of Russia, Acting Head of the Department, 000458@pnu.edu.ru

DENIS V. MISHKIN, Postgraduate Student, 944664@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-3457-1066>

VADIM A. YAROVIKOV, Bachelor, 2019103982@pnu.edu.ru
Department of Engineering Systems and Technosphere Safety
Pacific State University
Khabarovsk, Russia

Ensuring the geo-ecological safety of wastewater disposal systems in the city of Khabarovsk, taking into account engineering and geological conditions

Abstract. The scientific article is devoted to the problems of ensuring geoecological safety during the operation of wastewater disposal systems in the city of Khabarovsk. The authors assess the engineering and geological conditions affecting the safety and efficiency of wastewater disposal systems: geological processes that can lead to the destruction of engineering structures, including seismic, hydrological and weather phenomena; possible contamination of wastewater and groundwater in the vicinity of the city. The article presents recommendations for the management of wastewater disposal systems that will help reduce risks to the environment and ensure the reliability of engineering structures in accordance with the engineering and geological conditions of the region. The purpose of this article is to identify and describe the engineering and geological conditions of the region in which wastewater disposal systems operate, as well as to provide recommendations for ensuring their safety and effectiveness. The main methods used are: geological and hydrogeological study of the territories where the wastewater disposal systems of the city of Khabarovsk are located, analysis of data and statistical materials on the state of wastewater disposal systems and their effectiveness, methods of modeling and simulation of wastewater disposal systems using software in order to identify possible problems in the operation of the system and its effectiveness. Research results: development of methods for monitoring wastewater disposal systems, allowing to identify problems and calculate the effectiveness of their work when engineering and geological conditions change, identification of possible risks and problems in the operation of wastewater disposal systems in the city of Khabarovsk, development of specific recommendations for the creation and application of means to ensure the safety of wastewater disposal systems, their effectiveness and compliance with engineering and geological conditions of the region.

Keywords: sewerage, geology, foundation soils, technosphere safety, engineering systems, collector

For citation: Shevtsov M., Mishkin D., Yarovikov V. Ensuring the geo-ecological safety of wastewater disposal systems in the city of Khabarovsk, taking into account engineering and geological conditions. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2023;(2):121-135. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflict of interests.

REFERENCES

1. Geological structure and hydrogeological conditions of Khabarovsk and its environs. V.G. Varnavsky, A.E. Dammer, I.M. Tyurin, etc. Khabarovsk, IVEP Publishing House, 1991. 112 p. (In Russ.).
2. Hydrogeology of the USSR. Vol. XXIII. Khabarovsk Territory and Amur region. Moscow, Nedra, 1971. 504 p. (In Russ.).
3. Gorskaya V. A. Retrospective analysis of the specifics of the development of the territory to assess the engineering and geological conditions of the underground space of megacities (on the example of St. Petersburg). *Actual problems of land management, cadastre and environmental management materials for the IV scientific and practical international conference of the Faculty of Land Management and Cadastre of the VGPU. Voronezh*, 2022. (In Russ.).
4. Zlobina V. L., Medovar Yu. A., Yushmanov I. O. Sources of groundwater pollution in the zone of active water exchange. *Eastern-European Scientific Journal*. 2018;(2):4-16. (In Russ.).
5. Brief information on the state of groundwater in the Khabarovsk region. URL: <https://geomonitoring.ru> – 12.01.2023. (In Russ.).
6. Mulyukov E.I. Classification of water types in the near-surface layer of the Earth's crust and the aggressiveness of groundwater. *Bashkir Chemical Journal*. 2012;19(3):54-58. (In Russ.).
7. Aitkulov M.T., Sultanmagomedov T.S., Glazkov A.S. A new method for protecting slopes from landslide processes. *Neftegaz.RU*. 2021;(6):94-99. (In Russ.).
8. Ovsyuchenko A.N., Trofimenko S.V., Novikov S.S., Didenko A.N., Imaev V.S. Tasks of forecasting seismic hazard in the Lower Amur region: paleoseismological and seismological aspects. *Pacific Geology*. 2018;37(2):59-75. (In Russ.).
9. Basic principles and application of georadiolocation. URL: <https://geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/osnovnye-principy-i-primeneniye-georadiolokacii-43128.shtml> – 27.02.2023 (In Russ.).
10. Perminov N.A. Analysis of the technical condition and methods of protection of long-term operated in complex engineering and geological conditions of underground wastewater disposal facilities with increasing anthropogenic impacts. *Polytransport systems. Materials of the XI International Scientific and Technical Conference*. Novosibirsk, 2020. P. 71–77. (In Russ.).
11. Podgornaya T.I. Set of engineering-geological maps of Khabarovsk, scale 1:25000. Khabarovsk, Izd. VKF, 1992. 4 maps. (In Russ.).
12. Podlipsky I.I. Innovative complex of methods of ecological and geological monitoring and assessment of the state of the geological environment at the objects of accumulated environmental damage. *Sergeyev readings. Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology*. Ed. by V.I. Osipov et al. Perm, 2019. Iss. 21. P. 595-598. (In Russ.).
13. Popova V.V., Trotsenko I.A., Kolesnichenko S.S. Geoecological justification of the system of drainage channels of built-up areas of agglomerations. *Geology, geography and global energy*. 2019;(4):183-190. (In Russ.).
14. The seismic activity of the Khabarovsk Territory is underestimated. URL: <https://ecoportal.su/news/view/64169.html> – 23.01.2023. (In Russ.).
15. Skapintsev A.E., Potapov A.D., Lavrusevich A.A. Engineering protection of pipelines from erosion processes. *Vestnik MGSU*. 2013;(7):140-151. (In Russ.).
16. Kezina T.V., Trutneva N.V., Elmanova V.V. Exogenous processes of relief formation on the territory of the Amur region. *Landslides*. Amur State University. Blagoveshchensk, 2012. 58 p. (In Russ.).
17. Extreme floods in the Amur basin: hydrological aspects. Ed. V.Yu. Georgievsky. St. Petersburg, Especha, 2015. 171 p. (In Russ.).
18. Cho E. et al. Determination of underground drainage using large satellite data and machine learning using Google Earth Engine. *Water resources research*. 2019;55(10):8028-8045.
19. Lee J. An improved data-driven optimization and management simulation tool for reducing flooding in urban drainage systems located downstream. 2020;732:138931.