

УДК 624.131

DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4771

Шифр специальности ВАК: 1.6.7

Природные и антропогенные факторы, обуславливающие активность геологических процессов территории Абаканской агломерации

Л.А. Строкова¹✉, Д.Ю. Сагалаков^{1,2}

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

² Общество с ограниченной ответственностью «Экспертиза Недвижимости», Россия, г. Абакан

✉sla@tpu.ru

Аннотация. Актуальность. В результате строительства и эксплуатации зданий и сооружений в пределах Абаканской агломерации происходит активизация существующих и образование новых инженерно-геологических процессов, сопровождаемых аварийными разрушениями сооружений. Для минимизации экономических и социально-экологических ущербов необходима своевременная разработка научно обоснованных градостроительных и архитектурно-планировочных решений, в которых бы учитывались результаты проектных проработок инженерной защиты территории от опасных проявлений инженерно-геологических процессов. Обобщение имеющихся результатов изысканий с целью типизации инженерно-геологических условий городской территории позволит оптимизировать строительное освоение городских территорий, разработать надежные схемы инженерной защиты от проявлений опасных инженерно-геологических процессов. **Целью** работы является установление природных и антропогенных факторов, обуславливающих активность опасных геологических процессов территории Абаканской агломерации. **Методы.** Сбор, систематизация и анализ имеющихся территориальных геологических, гидрологических, гидрогеологических, экологических сведений, результатов инженерных изысканий. **Результаты и выводы.** На качественно новом уровне составлен комплект карт по факторам, обуславливающим развитие опасных геологических процессов. Проведен ГИС-анализ морфометрических показателей рельефа территории агломерации: построены карты крутизны и экспозиции склонов. Анализ собранных данных позволил установить региональные особенности компонентов геологической среды и предложить схему зонирования территории для ее строительного освоения и инженерной защиты. При зонировании выделено четыре таксона: территории благоприятные для строительства, не требующие значительных работ по инженерной подготовке; территории условно благоприятные для строительства, требующие предварительной инженерной подготовки; территории условно неблагоприятные для строительства, требующие значительных затрат на инженерную подготовку; территории неблагоприятные для строительства. Границы таксонов проведены на основе анализа геоморфологических особенностей территории. Проведенное исследование выполнено для территории агломерации впервые.

Ключевые слова: инженерно-геологическое районирование, картографирование, опасные инженерно-геологические процессы, оползни, подтопление, оврагообразование, заболачивание

Для цитирования: Строкова Л.А., Сагалаков Д.Ю. Природные и антропогенные факторы, обуславливающие активность геологических процессов территории Абаканской агломерации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 9. – С. 94–106. DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4771

UDC 624.131

DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4771

Natural and anthropogenic factors that determine the activity of geological processes of the Abakan agglomeration

L.A. Strokova^{1✉}, D.Yu. Sagalakov^{1,2}

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

² Limited Liability Company "Real Estate Expertise", Abakan, Russian Federation

✉sla@tpu.ru

Abstract. Relevance. As a result of the construction and operation of buildings and structures within the Abakan agglomeration, there is an activation of existing and the formation of new engineering and geological processes accompanied by accidental destruction of constructions. In order to minimize economic and socio-environmental damage, timely development of scientifically sound urban planning and architectural planning solutions is necessary. It would take into account the results of design studies of engineering protection of the territory from dangerous manifestations of engineering and geological processes. Generalization of the available survey results in order to typify the engineering and geological conditions of the urban area will optimize the construction development of urban areas, develop reliable schemes of engineering protection against the manifestations of dangerous engineering and geological processes. **Aim.** To establish natural and anthropogenic factors that determine the activity of dangerous geological processes in the territory of the Abakan agglomeration. **Methods.** Collection, systematization and analysis of available territorial geological, hydrological, hydrogeological, environmental information, results of engineering surveys. **Results and conclusions.** At a qualitatively new level, a set of maps has been compiled on the factors that determine the development of dangerous geological processes. The authors have carried out a GIS analysis of morphometric indicators of the relief of the agglomeration territory: maps of the steepness and exposure of the slopes were constructed. The analysis of the collected data made it possible to establish the regional characteristics of the components of the geological environment and propose a zoning scheme for the territory for its construction development and engineering protection. The authors identified four taxa during zoning: territories favorable for construction that do not require significant engineering training; territories conditionally favorable for construction, requiring preliminary engineering training; territories conditionally unfavorable for construction, requiring significant costs for engineering training; territories unfavorable for construction. The boundaries of the taxa are based on the analysis of the geomorphological features of the territory. The conducted research was performed for the agglomeration territory for the first time.

Keywords: engineering-geological zoning, mapping, hazardous engineering-geological processes, landslide, water logging, gully erosion, swamping

For citation: Strokova L.A., Sagalakov D.Yu. Natural and anthropogenic factors that determine the activity of geological processes of the Abakan agglomeration. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 9, pp. 94–106. DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4771

Введение

Развитие территорий сопровождается необходимостью установления зон вероятной активизации опасных геологических процессов (ОГП). Изучению ОГП на территории городов уделяется внимание в работах [1–13]. Виды, интенсивность и размещение ОГП определяются геологическими, геоморфологическими, сейсмическими, гидрологическими и антропогенными факторами.

Цель данного исследования охарактеризовать факторы, обуславливающие формирование и ак-

тивность ОГП на территории Абаканской агломерации, что станет научной основой для их мониторинга и управления.

Исследование проведено весной 2024 г. в отделении геологии Томского политехнического университета (ТПУ), оно включало анализ литературных и фондовых материалов, полученных при инженерно-геологических изысканиях, выполненных различными проектными организациями г. Абакана в последние 20 лет, их обобщение и районирование. Научная значимость исследования состоит в

том, что получены новые результаты (новые знания) о пространственной дифференциации геологических процессов региона, представлены пространственные особенности компонентов геологической среды. Практическая значимость заключается в использовании результатов для строительного освоения территории.

Основные факторы, определяющие активность ОГП

Территория исследования находится в центральной части Южно-Минусинской впадины. Район экономически развит. Помимо предприятий тяжелой и легкой промышленности здесь представлена горнодобывающая отрасль – угольные разрезы и шахты. Города Черногорск, Абакан и Минусинск образуют крупную Абаканскую агломерацию. Абаканская (Абакано-Минусинская, Южно-Сибирская) агломерация – полицентрическая, имеет численность населения от 350 до 700 тыс. жителей. Одна из немногих в стране агломерация имеет своей особенностью межрегиональность, так как включает поселения из Красноярского края (г. Минусинск, пос. Зелёный Бор, пос. Селиваниха и др.) и республики Хакасия (г. Абакан, г. Черногорск, пгт. Усть-Абакан, п. Белый Яр, село Подсинее и др.). Населенные пункты связаны сетью автомобильных и железных дорог, соединяющих Хакасию с Красноярским краем, Иркутской и Кемеровской областями и Республикой Тыва [14].

Природные условия Южно-Минусинской котловины определяются горно-котловинным рельефом и расположением в центральной части материка. Для территории характерно разнообразие природно-климатических условий, отличающихся резко континентальным климатом с недостаточным увлажнением [15].

Рельеф территории котловины имеет форму чаши. На юге и юго-востоке она ограничена северными склонами Западного Саяна, на западе – Абаканским хребтом и отрогами Кузнецкого Алатау, на востоке и северо-востоке – отрогами Восточного Саяна. На севере граница котловины проходит по невысоким субширотным хребтам левобережья: Косинский (Азыртал), Оглахты и Подкунинские и правобережья (Байтакский), отделяющим Южно-Минусинскую котловину от Сыдо-Ербирской. Общая площадь котловины составляет 19000 км², максимальная длина – 210 км, ширина – 100 км. Абсолютные высоты котловины колеблются от 250 м над ур. м. в северной части до 350 м над ур. м. в южной – Койбальская степь, на периферии достигают 500–600 м над ур. м. В целом рельеф котловины неровный, осложненный холмами и грядами, создающими мелкосопочный и куэстово-грядовый облик.

Территория Южно-Минусинской впадины в современное время представляет собой эрозионно-денудационное плато. Глубина расчленения – от 50 до 200 м.

Гидрография Южно-Минусинской котловины представлена речным бассейном Енисея, текущим с юга на север, расчленяющим территорию исследования на две примерно равные части: левобережную и правобережную. Крупными правыми притоками в пределах котловины являются реки Туба и Оя, левыми – Абакан, Ташеба. К северу от Абакана располагается Красноярское водохранилище [15]. Для котловины характерны озера, как пресные, так и соленые, которые имеют тектоническое происхождение.

Климат континентальный умеренно холодный, с резкими сменами климатических сезонов и выраженными колебаниями температуры воздуха в течение сезонов, месяцев и суток, небольшим количеством выпадающих осадков (250–300 мм при испаряемости в 450 мм), небольшой влажностью и сильными ветрами. Среднегодовая температура составляет 0,4 °С. Средняя температура января колеблется от минус 18 до 21 °С. Минимальные температуры достигают минус 52 °С. Средние температуры июля не превышают 20 °С, а максимальные поднимаются до 45 °С. Вегетационный период продолжается 155–165 дней, а безморозный – 120–125 дней. Осадки в котловине выпадают преимущественно в июле–августе и носят ливневый характер. Снежный покров обычно ложится на мерзлую почву и достигает своей наибольшей мощности (10–18 см) в феврале. Сухой и рыхлый снег легко сдувается ветром с повышенных элементов рельефа. В степных районах Минусинской котловины разрушение устойчивого снежного покрова происходит в третьей декаде марта. Максимальные запасы снега обычно формируются в степях котловины в феврале, а величина их колеблется от 0 до 30 мм.

Растительность к западу от Енисея степная, к востоку лесостепная. Заметную роль в распределении осадков играет и форма подстилающей поверхности: ее неровности обуславливают неравномерное распределение тепла и осадков на склонах разных экспозиций: теплообеспеченность больше на южных склонах, а влагообеспеченность на северных. Таким образом, климат Минусинских котловин обусловлен их широтным положением, влиянием барьерных горных сооружений Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна, а также особенностями мезо- и микрорельефа [16].

Геологическое строение. Возрастной диапазон стратифицированных образований охватывает период от раннего рифея до голоцена включительно [14].

В пределах района находятся фрагменты четырех крупных структурных единиц Саяно-Алтайской складчатой области: горно-складчатых сооружений Кузнецкого Алатау, Западного и Восточного Саян, сложенных протерозойско-раннепалеозойскими породами, а также Минусинского межгорного прогиба, выполненного отложениями среднего, верхнего палеозоя и кайнозойскими образованиями. Фрагменты горно-складчатых сооружений слагают нижний структурный этаж, фрагменты герцинского Минусинского межгорного прогиба формируют систему впадин, наложенных на складчатое основание нижнего этажа и образующих верхний структурный этаж. Впадины сложены в основном континентальными вулканогенными и терригенными породами, а выше по разрезу – карбонатными, красноцветными и серо-цветными угленосными молассами мощностью 6–7 км, которые дислоцированы и образуют синклинальные прогибы и антиклинальные поднятия мульды и купола.

Начиная с плиоцена и на протяжении всей четвертичной системы на территории существенно проявились движения неотектонического этапа тектогенеза. Широкое развитие, особенно в горных районах, получила разрывная тектоника.

По данным Л.К. Зятковой [17], глубина залегания палеозойских пород не превышает 150 м, а верхняя часть осадочного заполнения впадины представлена олигоцен-миоценовыми глинами, плиоценовыми глинами и суглинками с прослоями торфа, нижнечетвертичными галечниками, песками и глинами, среднечетвертичными лессовидными суглинками и супесями и верхнечетвертичными песчано-галечными отложениями террас.

Минусинская котловина длительное время являлась областью соленых аккумуляций [14]. Процесс соленакопления с различной степенью интенсивности продолжался в течение третичного и четвертичного периодов. В настоящее время на ее территории значительное распространение получили процессы выщелачивания и перераспределения солей.

Характерной особенностью рельефа Южно-Минусинской котловины является наличие большого количества песчаных массивов. Они залегают на террасовом комплексе, на склонах и водоразделах. Выделяются как закрепленные растительностью массивы, так и перевеиваемые пески. Песчаные массивы достигают в длину 60 км при максимальной ширине 10 км.

Покровными отложениями являются золотые лессы, супеси, пески, реже озерно-болотные илы, суглинки, глины. Первый комплекс пород размываем, перевеиваем, возможно образование суффозионных, просадочных воронок. В поймах рек, в предгорных депрессиях отмечается заболачивание.

Гидрогеологические условия. Южно-Минусинский адартезианский бассейн в структурно-тектоническом отношении соответствует Южно-Минусинской палеозойской впадине [14]. Формирование подземных вод бассейна происходит в условиях снижения количества атмосферных осадков, наличия соленосных фаций в составе водосодержащих пород, развития континентального засоления грунтовых вод. Химический состав подземных вод формируется при региональном питании со стороны горного обрамления и местных областей питания.

Водоносный современный аллювиальный горизонт (aQ_n) распространен в поймах крупных речных долин Енисея, Абакана, Тубы, Оя и их притоков. Водовмещающими породами являются гравийно-галечниковые, иногда с отдельными валунами отложения с песчаным, гравийно-песчаным заполнителем, местами с прослоями и слоями супесей и суглинков. Мощность горизонта колеблется от первых метров до 16,5 м, глубина залегания уровня подземных вод до 2–7 м. Подземные воды пресные с минерализацией от 0,2 до 0,5 г/дм³, гидрокарбонатные кальциевые.

Водоносный четвертичный аллювиальный горизонт (aQ) развит на площади речных долин, их надпойменных террас. Водовмещающими породами являются гравийно-галечниковые отложения с песчаным и супесчаным заполнителем. Мощность горизонта от 5 до 35 м. Подземные воды безнапорные, со свободной поверхностью, глубина залегания уровня изменяется от 2,3 до 15,6 м. Фильтрационные свойства высокие, химический состав подземных вод гидрокарбонатный, смешанный по катионам, минерализация 0,3...0,6 г/л.

Водоносный нижнекаменноугольный комплекс (C_1) широко распространен в пределах бассейна, водовмещающими являются трещиноватые песчаники, туфы, алевролиты с прослоями известняков. Вскрытая мощность до 160 м, глубина залегания подземных вод от первых метров до 100–120 м. Воды со свободной поверхностью и напорные. Водообильность пород слабая, химический состав гидрокарбонатный, смешанный по катионам, воды пресные.

Водоносный верхнедевонский горизонт (D_3) приурочен к трещиноватым песчаникам, алевролитам с прослоями и линзами аргиллитов, известняков, конгломератов. Подземные воды вскрываются на глубине до 200 м. Воды напорные. Водообильность отложений по площади крайне неравномерна. Химический состав гидрокарбонатный, смешанный по катионам, минерализация 0,3–0,6 г/л.

Водоносный среднедевонский комплекс (D_2) распространен на юге впадины, в долинах небольших рек и связан с карбонатно-терригенными трещиноватыми известняками и алевролитами с прослоями аргиллитов и конгломератов. Мощность

горизонта определяется глубиной развития трещиноватости и составляет 50–90 м. Глубина залегания от 3 до 115 м. Воды напорные. Водообильность отложений находится в тесной связи с литологическим составом. Химический состав от гидрокарбонатного до сульфатного натриевого и магниевое, минерализация 0,7–2,7 г/л.

К опасным геологическим процессам на территории относятся такие процессы, как подтопление, морозное пучение, просадочность, сейсмичность.

Подтопление. Процесс подтопления имеет широкое распространение. Негативное воздействие процессов выражено в заполнении грунтовой водой погребов, подвалов, заболачивании понижений, приусадебных участков, деформациях дорог и фундаментов домов. Наибольшее площадное распространение имеют процессы подтопления в г. Абакане. Это связано с расположением южной части города на поверхности первой надпойменной террасы и поймы р. Абакан, вблизи устья реки, для которой характерно неглубокое залегание грунтовых вод. Западная и северо-западная часть города расположены на берегу р. Енисей, режим которого существенно изменен в связи с созданием Красноярского водохранилища. Практически вся городская территория находится в зоне подпора грунтовых вод, развитой в связи с заполнением водохранилища. Подтоплению подвержены как старые районы города, так и вновь застраиваемые районы. Глубина залегания подземных вод изменяется от 1 до 5 м (рис. 1, а). Основное питание аллювиальный водоносный горизонт получает от атмосферных осадков. Наряду с выпадением осадков на режим подземных вод значительное влияние оказывают и реки Абакан, Ташеба. Для защиты города от паводков построены инженерные защитные сооружения в виде дамб и дренажных каналов.

Активно развиты процессы подтопления и на территории г. Черногорска. Наблюдения за уровнями грунтовых вод в южной и юго-восточной частях города в 2019 г. проводились по четырем наблюдательным скважинам в северо-западной части города, по ул. Чернышевского и Белинского – по данным обследования колодцев, погребов в частных усадьбах. Общая площадь подтопленной территории города составляла 0,12 км², уровни грунтовых вод залегают на глубине от 1,7 до 5,5 м, в среднем – 2,2 м. Состав горных пород, в которых развиваются процессы подтопления, представлен комплексом четвертичных галечных, галечно-щебнистых отложений с песчаным и суглинистым заполнителем. Несмотря на дефицит осадков, наблюдалось подтопление поселка Солнечный Усть-Абаканского района, вызванное строительством пруда-накопителя УР «Абаканский» в непосредственной близости от населенного пункта [18].

В г. Минусинске уровни грунтовых вод колеблются от 1 до 2,5 м. По данным отдела ГО и ЧС г. Минусинска в 2018 г. было подтоплено более 700 подворий частного сектора, а площадь подтопления достигала 14 км². В 2022 г. в домах по ул. Утро Сентябрьское, Шушенская, Геодезистов, Глушкова, Ойская вода в подпольях отмечалась в апреле–мае, в первой половине июня ушла. Для понижения уровней грунтовых вод в городе проводится строительство коллектора для откачки воды в систему городской канализации.

Морозное пучение. Температура воздуха зимой в Минусинской котловине более низкая, чем в соседних окружающих районах. Район характеризуется продолжительной суровой зимой и коротким, но жарким летом. Нормативная глубина промерзания достигает трех метров. Фронт промерзания местами достигает, а местами проходит ниже уровня подземных вод, что приводит к интенсивной миграции влаги к границе промерзания. Силы морозного пучения развиты наиболее сильно в зонах контакта пылевато-глинистых грунтов и уровня подземных вод, при этом наблюдается напорная миграция влаги к фронту промерзания. Наименьшее воздействие сил морозного пучения наблюдается в районах, в которых пучинистые пылевато-глинистые грунты подстилаются гравийно-галечниковыми грунтами с песчаным заполнителем и кровлей выше уровня подземных вод.

Сейсмичность. Впервые территория вошла в зону 7 баллов и выше в 2000 г. в результате принятия карт общего сейсмического районирования ОСР-97 [19]. Согласно ОСР-2015, г. Абакан, относится к 7-балльной зоне по картам ОСР-2015-А и ОСР-2015-В, но к 8-балльной зоне по карте ОСР-2015-С. Данное изменение повлекло за собой принятие дополнительных антисейсмических мероприятий при проектировании зданий и сооружений. Однако большое количество зданий и сооружений были спроектированы и построены до введения сейсмической зоны 7–8 баллов. К примеру, после сейсмического события 10 февраля 2011 г. магнитудой 5,5 балла здание терапевтического корпуса Республиканской больницы в г. Абакане получило деформации стен в виде трещин, и его пришлось снести в 2013 г. Карта сейсмического микрорайонирования агломерации по настоящее время не разработана.

Просадочность. Для территории характерно распространение просадочных грунтов мощностью не более 1–1,5 м, в связи с этим не возникают сложности при строительном освоении. Данные грунты при строительстве прорезаются фундаментами, или выполняется их замещение.

Оврагообразование характерно для логов и балок, днища которых сложены нелитифицированными кайнозойскими отложениями. Процесс при-

обретает ускорение при распаивании почвенно-растительного закрепляющего слоя. Таковыми являются лога Сухая Чея, Чея, Шишкин Лог, Харасут и др. Высокая активность процессов овражной эрозии наблюдалась в 2019 г. в п. Пригородный Минусинского района [18]. Здесь развиваются три оврага со средней скоростью 2 м/год. На сельскохозяйственных угодьях массива Спартак, в 6 км восточнее окраины п. Мал. Минуса, на протяжении почти 400 м развивалась группа небольших оврагов и промоин. Процесс овражной эрозии был достаточно активным (рис. 1, б). Активное развитие овражной эрозии также наблюдалось на уч. Суходол и уч. Кубеково.

Гравитационные процессы характерны для горных районов. Процессы гравитационно-эрозионного комплекса развиваются в береговых зонах рек и водохранилищ. Активность и масштабы проявлений зависят от гидрологических показателей по-

верхностного водоема – интенсивности паводка, уровня режима водохранилищ [18]. На левом борту р. Абакан, в районе Черногорского водозабора (южная окраина г. Абакан), развиваются гравитационно-эрозионные процессы.

Оползневые процессы зафиксированы в пределах железной и автомобильных дорог, связывающих г. Абакан с Красноярским краем. Так, начиная с 27.09.2003 г. после Алтайского (Чуйского) землетрясения (магнитуда 7,3) начали активизироваться оползневые процессы в районе автодороги Абакан–Минусинск в районе с. Подсинея (рис. 1, в) и автодороги Абакан–Минусинск в районе Колягинских холмов перед Братским мостом. Трасса здесь проходит по левому борту долины р. Енисей, высота которого составляет 15–18 м. Здесь по обе стороны трассы на протяжении более 500 м развиваются оползневые процессы в виде отдельных блоков, оплывин различных размеров (рис. 1, г).

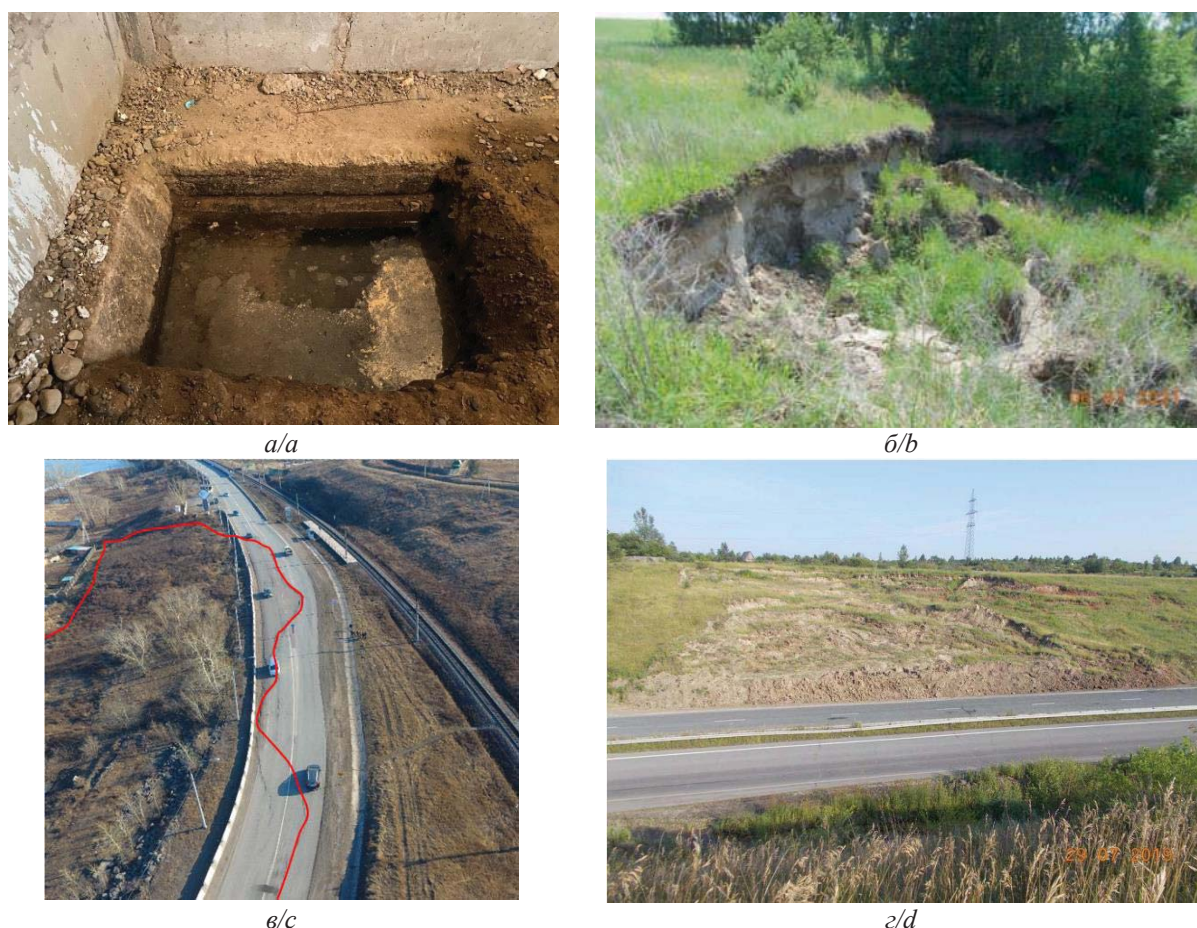


Рис. 1. Проявления геологических процессов: а) подтопление подвала здания Госэкспертизы РХ в г. Абакане (2021 г., Д.Ю. Сагалаков [20]; б) овраг вблизи с. Мал. Минуса; в) оползень на автомобильной дороге Абакан–Подсинея на участке км 7+300 – км 7+600 (2020 г., Д.Ю. Сагалаков, [21]); г) оползень вблизи автомобильной дороги Абакан–Минусинск Р-257 в районе Колягинских холмов [22]

Fig. 1. Manifestations of geological processes: а) flooding of the basement of the State Expertise building in Abakan (2021, D.Yu. Sagalakov [20]; б) a ravine near the village of Mal. Minus; в) landslide on the Abakan–Podsinnee highway on the section km 7+300 – km 7+600 (2020, D.Yu. Sagalakov, [21]); д) landslide near the Abakan–Minusinsk R-257 highway in the area of the Kolyaginsky hills [22]

В 2020 г. были проведены инженерные изыскания в рамках проекта реконструкции участка дороги Абакан–Минусинск в районе с. Подсинее [20]. В ходе данных работ установлено, что по механизму смещения пород оползень можно отнести к оползням сдвига (скольжения). Подтип оползневых процессов консективный (соскальзывающий). Область распространения склонового процесса по площади занимает 5672 м^2 , глубина захвата оползневого тела находится в интервале глубин 1,6–7,4 м. Категория опасности природных воздействий по СП 115.13330.2016 по оползневым процессам – весьма опасные. По результатам проведенного расчета устойчивости склона [21] с учетом фильтрационно-го давления (вызванного наличием подземных вод), сейсмичности площадки изысканий (7 баллов карта А ОСР-2015) установлено, что коэффициент устойчивости (запаса) равен $K_u=0,985<1$. Условие равновесия не выполнено. Основной причиной активации оползневого процесса является наличие ослабленных зон в основании дорожной насыпи, образованных длительным увлажнением грунтов подземными водами. Также на развитие оползневого процесса влияет наклонное залегание слоев природных грунтов. К дополнительным факторам развития оползневого процесса можно отнести постоянные динамические воздействия от железнодорожного транспорта. Линия железной дороги проходит в 20 м от тела оползня. По результатам проведенных проектно-изыскательских, строительно-монтажных работ с геотехническим сопровождением, оползнеопасный участок автомобильной дороги был ликвидирован, однако остался участок вблизи железной дороги с очагами оползневого процесса [21].

Заболачивание приурочено к низким пологим или ровным формам рельефа и связано с отсутствием фильтрации и активного стока поверхностных вод, а также с подпиткой подземными и выклинивающимися грунтовыми водами в основаниях прилегающих склонов. Незначительные по площади низинные болота развиты вдоль берегов крупных озер в урочище Сорокоозерки, в широких поймах рек и мелких речек. Болота ровные, иногда кочковатые, с небольшими буграми. На местах высыхающих болот наблюдается засоление почвы [22].

Процесс активной аккумуляции аллювиальных отложений ярко проявлен на левом берегу р. Абакан, где река имеет широкую пойму, сложное меандрирующее русло и отлагает переносимый терригенный материал в пойме и на низких террасах. Эоловая аккумуляция широко распространена в урочищах Пески–Бюрек, Пески–Алексей Бюрек, локально проявлена в Краснополье, Березовке и Потрошиловской лесной даче, связана с ветровой эрозией.

Техногенез. Первые поселения появились здесь в XII–VIII тысячелетии до н.э. На протяжении веков происходит смена типов хозяйствования. Различный спектр типов хозяйственной деятельности обусловлен природными особенностями и условиями территории. В низкогорьях развивалось яллагное скотоводство, земледелие, добыча и выплавка металла, а на равнинных территориях – ирригационное земледелие, ремесла. В настоящий период идет наиболее интенсивное преобразование территории, характеризующееся изменением отраслевой структуры хозяйства с аграрной на индустриальную. Также увеличилось число населенных пунктов. В 226 населенных пунктах Южно-Минусинской котловины проживает 801706 человек, из которых 74,4 % являются городскими жителями. При этом в правобережной части – 90 населенных пунктов (1 город, 17 поселков, 24 деревни и 48 сел), а в левобережной располагается 136 населенных пунктов, в том числе: 3 города, 10 поселков и поселков городского типа, 44 деревни, 42 села и 37 аалов, в которых проживает 596900 человек.

Горнодобывающие предприятия преимущественно сосредоточены в левобережье, занимаются добычей угля, барита, бентонитовых глин.

Методика исследования

Методика исследования основывается на схемах типологического районирования, разработанных И.В. Поповым, Г.А. Голодковской, В.Т. Трофимовым [23], Г.А. Сулакшиной, Т.Я. Емельяновой, Л.А. Строковой [24]. Технология выполнения типологического районирования включает ряд последовательных операций: определение границы территории (объекта); изучение объекта; выбор классификационных признаков типизации; их ранжирование по степени значимости; разделение рассматриваемой территории (объекта) по принятым признакам; построение итоговой карты районирования территории.

Результаты исследования

Наше исследование включало анализ литературных и фондовых материалов, установление принципов и методики районирования, картографирование. Вначале были собраны и проанализированы имеющиеся опубликованные и фондовые материалы и разработана концепция районирования. В качестве источников информации для составления карты отобраны данные: региональных геологических исследований района, инженерно-геологических изысканий за 2002–2024 гг.

Для создания карты районирования в ArcGIS были построены информационные слои факторов, представленные на рис. 2.

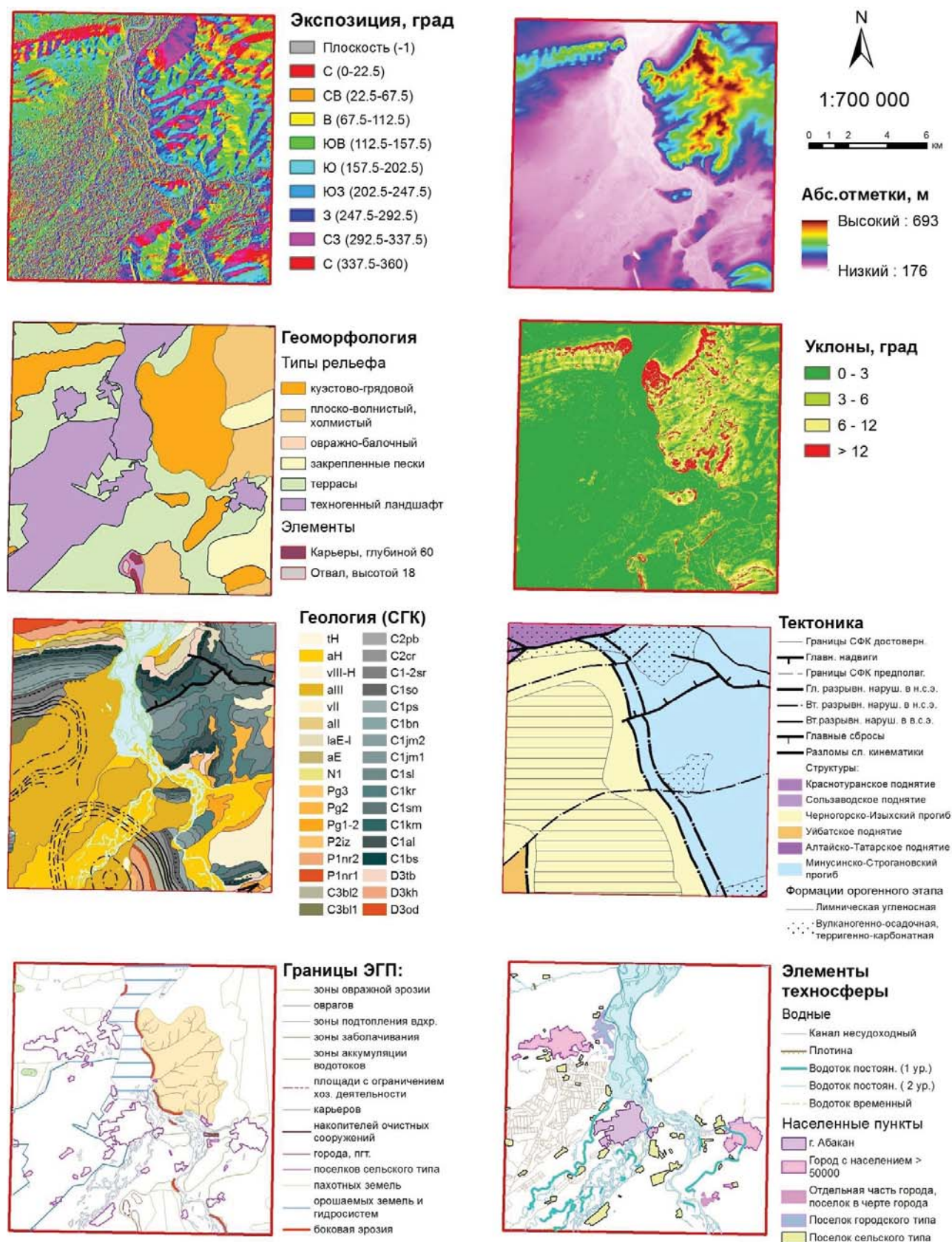


Рис. 2. Факторы и зоны развития геологических процессов
Fig. 2. Factors and zones of development of geological processes

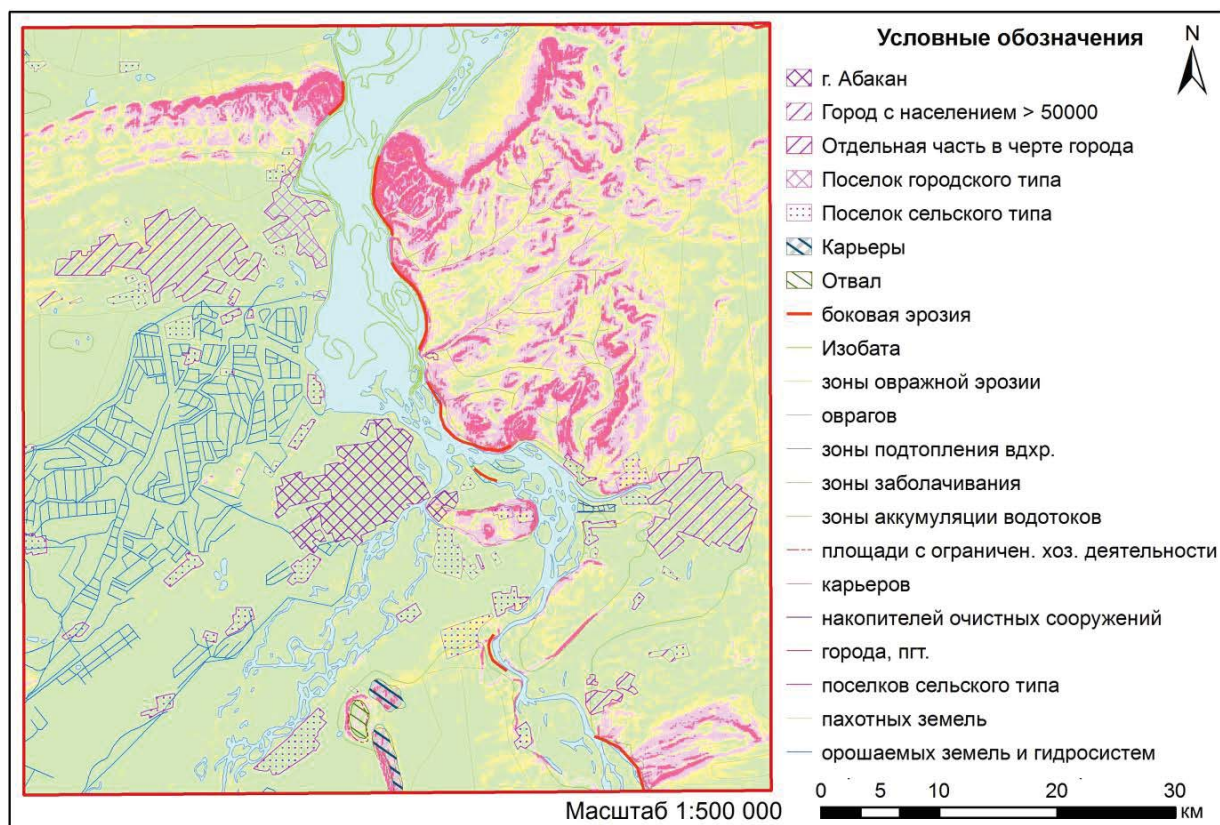


Рис. 3. Схема зонирования территории для строительного освоения
Fig. 3. Zoning scheme of the territory for construction development

Таблица. Характеристика таксонов зонирования
Table. Characteristics of zoning taxa

Таксон Taxon	Состояние объекта Object state	Геоморфологическая позиция Geomorphological position	Геологическое строение Geological structure	Процессы и явления Processes and phenomena
I – благоприятные для строительства, не требующие значительных работ по инженерной подготовке favorable for construction, not requiring significant engineering preparation	Относительно устойчивые Relatively stable	Относительно плоские поверхности до 3° Relatively flat surfaces up to 3°	Участки, сложенные супесью, щебнем, дресвой Areas composed of sandy loam, crushed stone, and gravel	Суффозия, заболачивание, потенциальное подтопление, морозное пучение Suffusion, swamping, potential water logging, frost heaving
II – условно благоприятные для строительства, требующие предварительной инженерной подготовки conditionally favorable for construction, requiring preliminary engineering preparation	Средней устойчивости Medium stable	Склоны крутизной 3–6° Slopes with a steepness of 3–6°	Участки, сложенные песком с прослоями глин, суглинков, супеси Areas composed of sands with interlayers of clays, loams, sandy loam	Потенциальное подтопление, неравномерная осадка грунтов, оползни Potential water logging, uneven soil settlements, landslides
III – условно неблагоприятные для строительства, требующие значительных затрат на инженерную подготовку conditionally unfavorable for construction, requiring significant costs for engineering preparation	Низкой устойчивости Low stable	Склоны крутизной 6–12° Slopes with a steepness of 6–12°	Участки, сложенные супесями, суглинками с щебнем и дресвой Areas composed of sandy loam, loam with crushed stone and gravel	Потенциальное подтопление, морозное пучение, неравномерная осадка грунтов, оползни, овражная эрозия Potential water logging, frost heaving, uneven soil settlements, landslides, gully erosion
IV – неблагоприятные для строительства unfavorable for construction	Неустойчивые Unstable	Склоны крутизной 12–35°, а также низменные участки Slopes with a steepness of 12–35°, as well as low-lying areas	Валунные глины, пески, галечники. Супеси, суглинки со щебнем и дресвой Boulder clays, sands, pebbles. Sandy loams, loams with crushed stone and gravel	Оползни, осыпи, затопление, подтопление, эрозия, заболачивание морозное пучение, неравномерная осадка грунтов Landslides, scree, flooding, swamping, erosion, water logging, frost heaving, uneven soil settlements

По опыту подобных исследований в мире, изложенных в [1, 6–13], выбраны следующие факторы: геоморфологические (уклон склона, экспозиция, абсолютные отметки поверхности, тип рельефа); геологические (стратиграфо-генетические комплексы и тектонические особенности); геодинамические (зоны развития экзогенных геологических процессов) и антропогенные (зоны размещения гидротехнических сооружений, дорог, населенных пунктов и др.).

Далее информационные слои обрабатывались в ArcGIS для получения карты инженерно-геологического районирования (рис. 3). Основным фактором, контролирующим сложность строительного освоения на уровне агломерации, являются геоморфологические особенности территории, а именно уклоны поверхности. По этому признаку и проведены границы таксонов. Детальная характеристика таксонов приведена в таблице.

Обсуждение результатов исследования

Проведенный анализ литературных и фондовых материалов позволил установить, что для территории характерны гравитационно-эрозионные, оползневые процессы и процессы подтопления. Так, процессы гравитационно-эрозионного комплекса развиваются в береговых зонах рек и водохранилищ. Оползневые процессы встречаются в Алтайском, Богградском и Усть-Абаканском районах. Процессам подтопления подвергаются около 30 населенных пунктов, расположенных в степных и предгорных районах. В их число входят гг. Абакан, Черногорск, Минусинск, пгт. Усть-Абакан, сельские населенные пункты Алтайского, Аскизского, Бейского и Таштыпского районов. Практически вся территория г. Абакана находится в зоне подпора грунтовых вод, развитой в связи с заполнением Красноярского водохранилища. Подтоплению подвержены как старые районы города, так и вновь застраиваемые районы.

Использование ГИС-технологий позволило представить пространственные особенности компонентов геологической среды в едином цифровом формате и выполнить зонирование территории агломерации для строительного освоения. Критерием для выделения таксонов выбран уклон поверхности как фактор, контролирующий развитие наиболее распространенных на территории опасных геологических процессов. Всего выделены четыре таксона с разными степенью благоприятности для строительного освоения и требованиями по инженерной защите.

Для защиты территории от опасных геологических процессов рекомендуются следующие мероприятия на подтапливаемых участках: строительство дренажных сооружений, регулирование стока поверхностных вод, регулирование уровня водных объектов; на участках, подверженных гравитационно-эрозионным процессам, необходимо строительство удерживающих сооружений и конструкций, а также строительство новых и ремонт существующих берегозащитных сооружений.

Основное преимущество предложенной схемы состоит в том, что использованы современные материалы об инженерно-геологических условиях территории, данные дистанционного зондирования, представлены пространственные особенности факторов, обуславливающих развитие опасных геологических процессов. В дальнейшем следует составить карты восприимчивости территории к развитию опасных геологических процессов, каждого в отдельности: к овражной эрозии, оползневой опасности, подтоплению и другим. Составление же единой карты к разным геологическим процессам лишено смысла, т. к. факторы, обуславливающие тот или иной процесс, специфичны и разнонаправлены. Также специфичны будут и защитные мероприятия.

Выводы

1. Рассмотрение основных природных компонентов территории: сейсмотектоники; литологии; топографии; гидрологии, гидрогеологии, показало, что в целом инженерно-геологические условия являются достаточно сложными в связи с широким распространением геологических процессов.
2. Основными факторами, контролирующими активность геологических процессов, являются: геологические, геоморфологические, гидрогеологические и антропогенные.
3. Использование ГИС при зонировании раскрывает относительно доступный и быстрый способ определения взаимосвязи природных и антропогенных параметров с проявлениями геологических процессов с высокой точностью. В региональных исследованиях подобная процедура может быть использована для составления карт восприимчивости территории к развитию опасных геологических процессов и разработки мероприятий для снижения опасности от них для населения и окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадина С.В., Бабкин Р.А., Скобеев Н.М. Изменение пространственной уязвимости населения крупных городов к природным и техногенным опасностям под воздействием жилищного строительства // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2023. – Т. 68. – № 2. – С. 357–377.
2. Габараев А.Ф. и др. Влияние геоморфологических условий горного региона на интенсивность проявления опасных геологических процессов // Геология и Геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. – № 4. – С. 198–212.
3. Суздалева А.Л., Слесарев М.Ю., Яковлева И.Ю. Опасные геологические процессы на участках объектов незавершенного строительства // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18. – № 10. – С. 1599–1607.
4. Трофимов В.Т., Королев В.А. Общая классификация геологических процессов для целей инженерной геологии // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2023. – № 4. – С. 99–109.
5. Assessment of the exogeodynamic hazard of catastrophic flash floods on the territory of the Ulaanbaatar Agglomeration / A.A. Rybchenko, E.A. Kozyreva, O.A. Mazaeva, S. Demberel // Geography and Natural Resources. – 2023. – Vol. 44. – Suppl 1. – P. S44–S52.
6. Wu C., Liu W., Deng H. Urbanization and the emerging water crisis: identifying water scarcity and environmental risk with multiple applications in urban agglomerations in Western China // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. – № 17. – P. 12977.
7. Quaioco J. Landslide risk and vulnerability; real issues, thoughts and perspectives // Landslide: Susceptibility, Risk Assessment and Sustainability: Application of Geostatistical and Geospatial Modeling. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. – P. 3–23.
8. Khatibi A., Amiri M., Faghihi M. Integrated analysis of land for the physical development of coastal cities: geotechnical, geological, and environmental perspectives (case study: Bandar Abbas City) // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2024. – Vol. 21. – № 10. – P. 7207–7226.
9. Abdelrahman K., Hazaea S.A., Almadani S.A. Geological-geotechnical investigations of the historical Diriyah urban zone in Riyadh, Saudi Arabia: an integrated approach // Frontiers in Earth Science. – 2023. – Vol. 11. – P. 1202534.
10. Aldemir F., Yilmaz E., Akin M. Examples of geological surveys in urban areas using GIS applications // NEVU Journal of Engineering and Architecture. – 2023. – Vol. 1. – № 1. – С. 19–27.
11. Urban land suitability analysis using geospatial techniques and combined weighting approach in Gabes zone, Southeastern Tunisia / D. Souiss, L. Zouhri, A. Sebei, A. Zghibi, M. Dlala, M. Ghanmi // Geomatics, Natural Hazards and Risk. – 2023. – Vol. 14. – № 1. – P. 2278278.
12. Evaluation of Open Geotechnical Knowledge in Urban Environments for 3D Modelling of the City of Seville (Spain) / C. Soriano-Cuesta, R. Romero-Hernández, E.J. Mascort-Albea, M. Kada, A. Fuls, A. Jaramillo-Morilla // Remote Sensing. – 2023. – Vol. 16. – № 1. – P. 141.
13. Three-dimensional quality assessment of urban underground space resource based on multiple geological environmental factors / Y. Yang, R. Wang, D. Liu, L. Wu, J. Su // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14. – № 10. – P. 4046.
14. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-46 – Абакан. Объяснительная записка / под ред. Е.П. Миронюк. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. – 391 с.
15. Павлова Е.В., Махрова М.Л., Ямских Г.Ю. Экологический каркас Южно-Минусинской котловины // СибСкрипт. – 2015. – № 1–2 (61). – С. 90–98.
16. Макунина Н.И. Степи Минусинских котловин // Turczaninowia. – 2006. – Т. 9. – № 4. – С. 112–144. URL: <http://ssbg.asu.ru/turcz/turcz406-112-144.pdf> (дата обращения 01.07.2024).
17. Зятькова Л.К. Структурная геоморфология Алтае-Саянской горной области. – Новосибирск: Наука, 1977. – 215 с.
18. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Сибирского федерального округа в 2019 г. – Вып. 16. – М.: ФГБУ «Гидроспецгеология», 2020. – 401 с.
19. Шибаева Г.Н., Стародубцева Е.С. Сейсмостойкое строительство в Республике Хакасия // Norwegian Journal of Development of the International Science. – 2018. – № 16-2. – С. 3–7. URL: https://nor-ijournal.com/wp-content/uploads/2023/09/NJD_16_2.pdf (дата обращения 01.07.2024).
20. Капитальный ремонт по доведению параметров автомобильной дороги Абакан–Подсине на участке км 7+300 – км 7+600 в Алтайском районе Республики Хакасия до значений, соответствующих ее фактической технической категории, без изменения границ полосы отвода: технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий. – Абакан: ИП Халимов Олег Закирович, 2020. – 113 с.
21. Халимов О.З., Лыскаева А.А., Сагалаков Д.Ю. Геотехническое сопровождение реконструируемого оползнеопасного участка дороги Абакан–Подсине на всех этапах жизненного цикла объекта // Развитие дорожно-транспортного комплекса Республики Хакасия 2023–2027: материалы научно-практической конференции. – Абакан: ХТИ – филиал СФУ, 2023. – С. 51–57.
22. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2022 г. – Вып. 46. – М.: ФГБУ «Гидроспецгеология», 2022. – 343 с.
23. Трофимов В.Т. Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 348 с.
24. Строчкова Л.А., Надеждина Ю.Ю. Типизация инженерно-геологических условий территории трассы проектируемой железной дороги Элегест–Кызыл–Курагино // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 2. – С. 64–77.

Информация об авторах

Людмила Александровна Строчкова, доктор геолого-минералогических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; sla@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9302-0630>

Дмитрий Юрьевич Сагалаков, аспирант отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; начальник испытательной геостроительной лаборатории Общества с ограниченной ответственностью «Экспертиза Недвижимости», Россия, 655009, г. Абакан, ул. Мартинова, 24; sagalakov_d@mail.ru

Поступила в редакцию: 11.07.2024

Поступила после рецензирования: 30.08.2024

Принята к публикации: 09.09.2024

REFERENCES

1. Baldina S.V., Babkin R.A., Skobeev N.M. Changes in the spatial vulnerability of the population of large cities to natural and man-made hazards under the influence of housing construction. *Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences*, 2023, vol. 68, no. 2, pp. 357–377. (In Russ.)
2. Gabaraev A.F., Melikov D.A., Kortiev A.L., Kozyrev E.N. The influence of geomorphological conditions of a mountainous region on the intensity of dangerous geological processes. *Geology and Geophysics of the South of Russia*, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 198–212. (In Russ.)
3. Suzdaleva A.L., Slesarev M.Yu., Yakovleva I.Yu. Dangerous geological processes at sites of unfinished construction. *Bulletin of the MGSU*, 2023, vol. 18, no. 10, pp. 1599–1607. (In Russ.)
4. Trofimov V.T., Korolev V.A. General classification of geological processes for the purposes of engineering geology. *Bulletin of the Moscow University. Series 4. Geology*, 2023, no. 4, pp. 99–109. (In Russ.)
5. Rybchenko A.A., Kozyreva E.A., Mazaeva O.A., Demberel S. Assessment of the exogeodynamic hazard of catastrophic flash floods on the territory of the Ulaanbaatar Agglomeration. *Geography and Natural Resources*, 2023, vol. 44, pp. 44–52.
6. Wu C., Liu W., Deng H. Urbanization and the emerging water crisis: identifying water scarcity and environmental risk with multiple applications in urban agglomerations in Western China. *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 17, 12977.
7. Quaioco J. Landslide risk and vulnerability; real issues, thoughts and perspectives. *Landslide: Susceptibility, Risk Assessment and Sustainability: Application of Geostatistical and Geospatial Modeling*. Cham, Springer Nature Switzerland, 2024. pp. 3–23.
8. Khatibi A., Amiri M., Faghihi M. Integrated analysis of land for the physical development of coastal cities: geotechnical, geological, and environmental perspectives (case study: Bandar Abbas City). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2024, vol. 21, no.10, pp. 7207–7226.
9. Abdelrahman K., Hazaea S.A., Almadani S.A. Geological-geotechnical investigations of the historical Diriyah urban zone in Riyadh, Saudi Arabia: an integrated approach. *Frontiers in Earth Science*, 2023, vol. 11, 1202534.
10. Aldemir F., Yilmaz E., Akin M. Examples of geological surveys in urban areas using GIS applications. *NEVU Journal of Engineering and Architecture*, 2023, vol. 1, no. 1, pp. 19–27.
11. Souissi D., Zouhri L., Sebei A., Zghibi A., Dlala M., Ghanmi M. Urban land suitability analysis using geospatial techniques and combined weighting approach in Gabes zone, Southeastern Tunisia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2023, vol. 14, no. 1, 2278278.
12. Soriano-Cuesta C., Romero-Hernández R., Mascort-Albea E.J., Kada M., Fuls A., Jaramillo-Morilla A. Evaluation of open geotechnical knowledge in urban environments for 3D Modelling of the City of Seville (Spain). *Remote Sensing*, 2023, vol. 16, no. 1, 141.
13. Yang Y., Wang R., Liu D., Wu L., Su J. Three-dimensional quality assessment of urban underground space resource based on multiple geological environmental factors. *Applied Sciences*, 2024, vol. 14, no. 10, 4046.
14. *The state geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation)*. Ed. by E.P. Mironjuk. Series Altai-Sayan Sheet N-46 – Abakan. Explanatory note. St Petersburg, VSEGEI Publ. house, 2008. 391 p. (In Russ.)
15. Pavlova E.V., Makhrova M.L., Yamskikh G.Yu. Ecological framework of the South Minusinsk depression. *Bulletin of Kemerovo State University*, 2015, vol. 61, no. 1 (2), pp. 90–98 (In Russ.)
16. Makunina N.I. Steppes of the Minusinsk basins. *Turczaninowia*, 2006, vol. 9, no. 4, pp. 112–144. (In Russ.) Available at: <http://ssbg.asu.ru/turcz/turcz406-112-144.pdf> (accessed 1 July 2024).
17. Zyatkova L.K. *Structural geomorphology of the Altai-Sayan mountain region*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 215 p. (In Russ.)
18. *Information bulletin on the state of the subsoil in the territory of the Siberian Federal District in 2019*. Moscow, Federal State Budgetary Institution "Hydrospegeology" Publ., 2020. Vol. 16, 401 p. (In Russ.)
19. Shibaeva G.N., Starodubtseva E.S. Earthquake-resistant construction in the Republic of Khakassia. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, 2018, vol. 16, no. 2, pp. 3–7. (In Russ.)
20. Halimov O.Z. *Major repairs to bring the parameters of the Abakan–Podsineev highway on the section km 7+300 – km 7+600 in the Altai region of the Republic of Khakassia to values corresponding to its actual technical category, without changing the boundaries of the right-of-way: technical report on the results of engineering and geological surveys*. Abakan, Khalimov Publ., 2020. 113 p. (In Russ.)
21. Khalimov O.Z., Lyspakova A.A., Sagalakov D.Yu. Geotechnical support of the reconstructed landslide-prone section of the Abakan–Podsineev road at all stages of the object's life cycle. *Development of the road transport complex of the Republic of Khakassia. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Abakan, HTI – SFU Branch Publ., 2023. pp. 51–57. (In Russ.)
22. *Information bulletin on the state of the subsoil in the territory of the Russian Federation in 2022*. Moscow, Federal State Budgetary Institution "Hydrospegeology" Publ., 2022. Vol. 46, 343 p. (In Russ.)

23. Trofimov V.T. *Zoning of engineering-geological conditions of the earth's continents*. Moscow, Moscow state University Publ., 2002. 348 p. (In Russ.)
24. Strokova L.A. Nadezhdina Yu.Y. Typification of engineering and geological conditions of the territory of the route of the projected railway Eleget–Kyzyl–Kuragino. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, vol. 331, no. 2, pp. 64–77. (In Russ.)

Information about the authors

Ludmila A. Strokova, Dr. Sc., Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; sla@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9302-0630>

Dmitry Yu. Sagalakov, Postgraduate Student, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; Head of the Geo-Construction Testing Laboratory, Limited Liability Company "Real Estate Expertise", 24, Martinova street, Abakan, 655009, Russian Federation; sagalakov_d@mail.ru

Received: 11.07.2024

Revised: 30.08.2024

Accepted: 09.09.2024