ГЕОЭКОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ. ГЕОКРИОЛОГИЯ, 2024, № 6, с. 25–34

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 551.34:624.139

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА УЧАСТКЕ ФЕДЕРАЛЬНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ “АМУР” ЧИТА–ХАБАРОВСК

© 2024 г. А. Н. Хименков[1,*], А. П. Кулаков[1,], А. В. Романов[2], Д. О. Сергеев[1,***]**

[1]Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,
Уланский пер. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия
[2]ФКУ Упрдор “Забайкалье”, ул. Анохина 17, Чита, Забайкальский край, 672039 Россия
**E-mail: a_khimenkov@mail.ru*
***E-mail: cryolithozone@mail.ru*
****E-mail: cryo2@yandex.ru*

Поступила в редакцию 07.06.2024 г.
После доработки 12.07.2024 г.
Принята к публикации 20.07.2024 г.

В работе рассмотрены особенности изменения геокриологических условий на участке 288 км автодороги “Амур” Чита–Хабаровск. Проведен комплексный анализ криогенных процессов и деформаций земляного полотна в условиях формирования и функционирования особой природно-технической системы (ПТС) “автомобильная дорога”. Составлена ландшафтно-геокриологическая карта-схема с границами ПТС и зон влияния. Построен инженерно-геокриологический профиль деформированного участка автодороги на основании семи пробуренных скважин глубиной от 7.5 м до 30 м. Проведены термометрические наблюдения в пяти скважинах с изучением особенностей распределения температур под полотном автодороги и вблизи нее. Исследования показали, что причинами деформаций земляного полотна являются неоднородные, разнонаправленные и неравномерные изменения геокриологических условий в результате пространственно-временного развития взаимообусловленных природных и техногенных процессов в ПТС. Предложен ряд системных организационных мероприятий по контролю изменений геокриологических условий и развития ПТС “автомобильная дорога” на локальных участках.

Ключевые слова: *автомобильная дорога Амур, деформации земляного полотна, криогенные процессы, криолитозона, многолетнемерзлые породы, природно-техническая система*

DOI: 10.31857/S0869780924060036 **EDN:** AMCKXD

ВВЕДЕНИЕ

Организация линейных объектов в условиях многолетнемерзлых пород (ММП) непосредственно влияет на геокриологические условия и создает особую природно-техническую систему (ПТС) со своими функциональными связями и развитием геокриологических процессов. Автодороги протяженностью в сотни и тысячи километров пересекают зоны с различными географо-геологическими и геокриологическими условиями, отличающиеся криогенным строением, льдистостью и температурным режимом горных пород. В результате сооружения земляного полотна меняется теплообмен горных пород, и происходит изменение геокриологических условий. Это влечет за собой резкую активизацию криогенных процессов, вызывающих деформацию самого земляного полотна автодороги.

С момента сдачи в эксплуатацию автомобильной дороги “Амур” в сентябре 2010 г. уже в следующем году 263 км (12.1%) дороги нуждались в капитальном ремонте, а около 400 км (18.5%) – в реконструкции. Основные причины деформации дороги различны: осадки земляного полотна, оползни и сдвиги, широкие трещины и др. Наибольшую опасность представляли осадки земляного полотна. Их количество в 2011 г. составило 68 шт., а уже в 2012 г. увеличились до 327 шт. Отмечается, что затраты на устранение 1 м^2 осадок с каждым годом становятся больше [5].

Другие исследования подтверждают, что существующие проблемы характерны не только для южной границы криолитозоны, где располагается автодорога “Амур”, но и для регионов с низкими температурами ММП. Например, на участке Норильск–Талнах деформации дорог составляют половину их протяженности. Они

связаны преимущественно с осадками полотна, трещинами асфальтового покрытия и обочин, эрозией и оседанием откосов насыпей. На каждые 3 км дороги приходился один участок, небезопасный для движения транспорта [2]. На автодороге “Колыма” 37 км из обследованных 718 км в 2011–2012 гг. оказались в зоне негативного влияния криогенных процессов [3]. К 2000 г. более 60% автодорог Чукотского автономного округа нуждались в реконструкции. Высота их земляного полотна из-за осадок стала в два раза ниже, чем заложенная по проекту, а в 15% находилась уже на “нулевых” отметках и под нагрузкой от автотранспортных средств продолжала погружаться. На севере Западной Сибири наблюдалось быстрое (за 3–4 года) массовое разрушение земляного полотна из высокопрочных, армированных железобетонных плит, рассчитанных на 25-летний безремонтный срок эксплуатации. Основными причинами разрушения стали неравномерные и сверхнормативные осадки дорожных насыпей [1].

Как показывает практика, интенсивные деформации автодорог возобновляются и после проведения ремонтно-восстановительных работ, базирующихся на приведении земляного полотна в исходное состояние без учета нынешних особенностей ландшафтно-геокриологических условий. Причиной повторных деформаций является активизация процессов, соответствующих структурной перестройке во вновь сформированной ПТС. Происходит ее адаптация к измененным геокриологическим условиям, при этом наблюдается потеря устойчивости технического элемента, фиксируется резкое возрастание деформаций земляного полотна. Исследования по изучению изменений геокриологических условий в процессе мониторинга всех компонентов ПТС являются наиболее эффективным направлением в повышении надежности функционирования автодорог.

ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

К территории исследования относится район 288 км автодороги “Амур” Чита–Хабаровск. Для района характерны высокотемпературные ММП (до –1°С), мощностью до 100 м, имеющие сплошное и прерывистое (50–90%) распространение с наличием сквозных и несквозных таликовых зон по днищам долин. Преимущественное распространение имеют четвертичные аллювиальные, озерно-аллювиальные, пролювиальные, делювиальные, коллювиальные и элювиальные песчано-гравийные, суглинистые, супесчаные и щебнистые отложения с выходами меловых песчаников [4]. Рельеф территории низкогорный холмистый и волнисто-увалистый с межгорными котловинами и пенепленами. В районе преобладает резко-континентальный тип климата, а количество осадков в год составляет в среднем 400 мм [4, 7]. Среднегодовые температуры воздуха колеблются от –2.5°С до –3.8°С. В течение апреля амплитуда максимальных и минимальных абсолютных температур воздуха способна достигать 45°С. Мощность снежного покрова в среднем не превышает 35 см [7]. На территории преобладает степная растительность на горно-луговых почвах, в понижениях и западинах появляются лугово-степные формации на дерново-глеевых почвах, в долинах крупных рек доминируют кустарники на аллювиальных почвах, а на склонах северной экспозиции произрастают лиственнично-березовые леса на мерзлотно-таежных почвах. В районе распространены криогенные (в большей степени термокарст, морозобойное растрескивание и повторно-жильное льдообразование, наледеобразование) и эрозионные процессы, а на склонах водоразделов – оползневые процессы [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основу исследования составили дистанционные и полевые работы. Изучены тематические литературные источники и карты по Южному Забайкалью (Государственные геологические карты России масштаба 1 : 200 000, геокриологические и физико-географические карты), проанализированы фондовые инженерно-геологические и отчетные материалы по автодороге “Амур”. Проведено дешифрирование разновременных космических снимков Landsat-8 и Sentinel-2, взятых с USGS, а также снимков с порталов ESRI, Google и Yandex.

В полевых условиях проводились маршрутные исследования с изучением состояния земляного полотна. Отмечалась зона взаимовлияния автодороги и природных геосистем. Проведена съемка местности с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Пробурены пять термометрических и две гидрогеологические скважины от 7.5 м до 30 м с отбором кернов на лабораторный анализ. Изучен состав, строение и инженерно-геокриологические свойства криогенных грунтов. В пяти термометрических скважинах получены данные о распределении температур под полотном автодороги и вблизи нее. На основании полученных данных в программе ArcGIS построен инженерно-геокриологический профиль и составлена ландшафтно-геокриологическая карта-схема по методологическим основам Н.А. Солнцева [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При формировании ПТС “автомобильная дорога” географо-геологические (рельеф, растительность, поверхностный и подземный сток) и геокриологические (свойства ММП, температурный режим, льдистость, сезонно-талый и сезонно-мерзлый слой, несливающаяся мерзлота) условия значительно меняются во времени и пространстве. На участках, непосредственно примыкающих к земляному

полотну, формируется зона влияния, являющаяся важным элементом ПТС. В свою очередь, техногенные объекты земляного полотна (основания и откосы насыпи, выемки, водопропускные сооружения, мосты и т.д.) и природные грунты в их основании претерпевают изменения в результате взаимообусловленных природных и техногенных процессов, развивающихся в зоне влияния ПТС. То есть происходит своего рода взаимная адаптация техногенных и природных элементов ПТС иногда с потерей функций техногенной составляющей. В ПТС создаются неравновесные термодинамические условия, определяющие развитие комплекса теплообменных и массообменных инженерно-геокриологических процессов, приводящих к деформациям земляного полотна.

В результате исследований удалось выявить, что сооружение земляного полотна приводит к значительным изменениям геокриологических условий на прилегающих к полотну участках и вызывает активизацию в их пределах опасных криогенных процессов. Здесь формируется узкая зона интразональных геосистем, отличающихся большей динамикой от территорий, не затронутых техногенным влиянием. Данные геосистемы возникают тогда, когда какой-либо из факторов (в нашем случае ПТС “автомобильная дорога”) настолько сильно выражен, что подавляет влияние других факторов (например, микроклимата). В результате формируется зона производных геосистем, в которых наблюдается трансформация первичной структуры исходной природной геосистемы соответствующего ранга.

В районе исследования 288 км автодороги “Амур” проведены ландшафтно-геокриологические исследования и составлена карта-схема (рис. 1), на которой выделены природные геосистемы на уровне сложных урочищ, а также производные геосистемы, соответствующие зоне влияния ПТС с указанием ведущих процессов.

Анализ ландшафтно-геокриологической структуры позволил выявить пространственную закономерность расположения опасных участков, характеризующихся, в первую очередь, повторяемостью криогенных процессов и частотой деформаций земляного полотна.

Наиболее опасные участки занимают отрицательные формы рельефа и характеризуются натечным водным режимом в условиях слабого дренажа

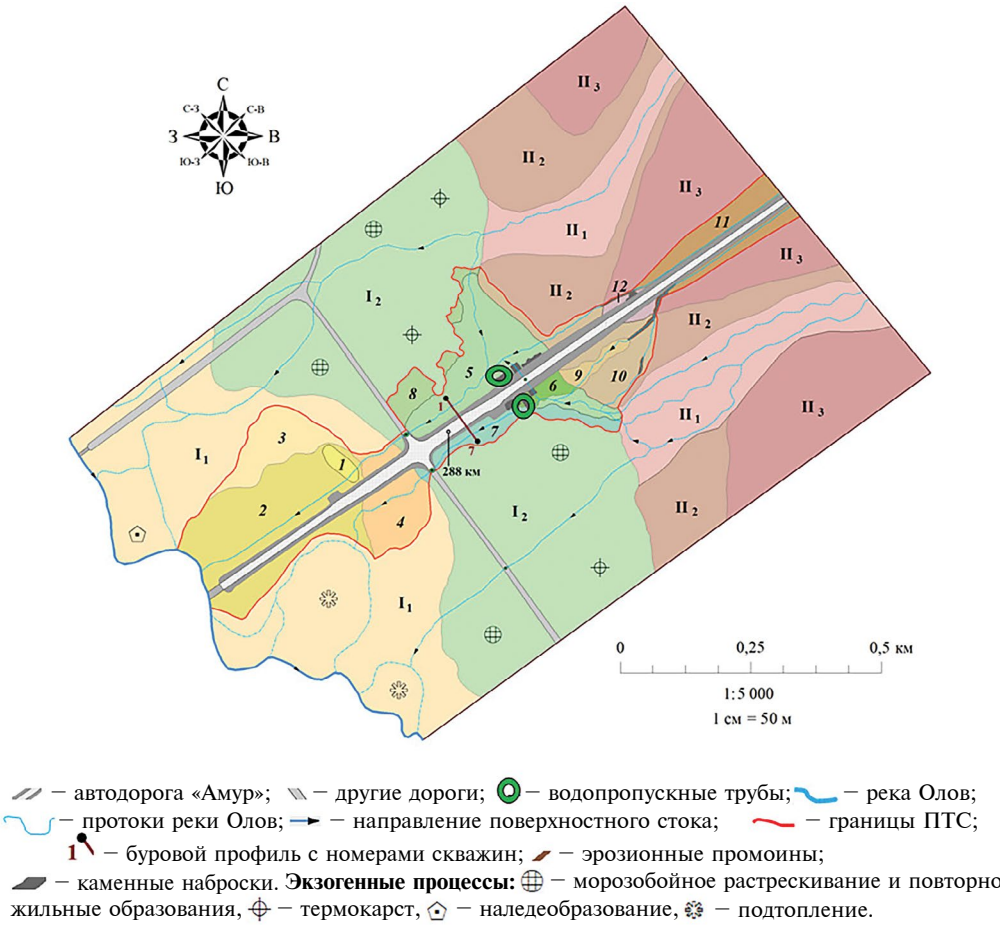

Рис. 1. Ландшафтно-геокриологическая карта-схема района исследования 288 км автодороги “Амур”. Прочие условные обозначения см. табл. 1 (составил А.П. Кулаков).

Таблица 1. Условные обозначения к ландшафтно-геокриологической карте-схеме (см. рис. 1)

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
I. Долина р. Орлов
I_1. Субгоризонтальная пойма. ММП прерывистые. Криотекстура массивная, корковая с объемной льдистостью 0.1–0.3 доли ед. Глубина СТС 1–3 м. Растительность луговая, вдоль русел кустарниковая. Почвы дерново-глеевые мерзлотные и аллювиальные
Производные геосистемы **I_1**
1. Ложбинные (усиление подтопления и заболачивания, активизация термокарста по погребенным льдам)
2. Плоскозападинные (усиление подтопления и заболачивания, криогенного пучения и наледеобразования)
3. Слабоволнистые (усиление подтопления)
4. Плоскобугристые слабовогнутые (усиление поверхностного стока, активизация эрозии)
I_2. Плоскобугристая полигональная надпойменная терраса. ММП сплошные. Криотекстура массивная, порфировидная с объемной льдистостью 0.2–0.4 доли ед. Глубина СТС 2.5–4 м с перелетками до 7 м. Растительность разнотравно-злаковая. Почвы дерново-луговые мерзлотные
Производные геосистемы **I_2**
5. Пологонаклонные и бугристо-западинные (усиление поверхностного стока и заболачивания, морозобойного растрескивания, активизация термокарста по повторно-жильным льдам и эрозии, появление трещин и перелетков ММП)
6. Ложбинные (усиление поверхностного стока, эрозии)
7. Плоскобугристые (усиление поверхностного стока)
8. Бугорковато-западинные (усиление поверхностного стока и заболачивания, активизация термокарста по повторно-жильным льдам, появление трещин и озерков)
II. Коренные склоны долины
II_1. Пологонаклонные днища балок. ММП сплошные. Криотекстура массивная, корковая с объемной льдистостью 0.1–0.3 доли ед. Глубина СТС 2.5–3.5 м. Растительность луговая, местами кустарниковая. Почвы луговые мерзлотные. Экзогенные процессы — эрозия, поверхностный смыв
II_2. Пологие склоны долины. ММП сплошные. Криотекстура корковая, тонкая линзовидная с объемной льдистостью 0.1–0.2 доли ед. Глубина СТС 2.5–3.5 м. Растительность дерновинно-злаковая. Почвы горно-луговые мерзлотные
Производные геосистемы **II_2**
9. Пологосклонные плосколожбинные (усиление поверхностного стока, активизация эрозии, появление конусов выноса)
10. Пологосклонные выпукло-вогнутые (усиление поверхностного стока, активизация эрозии)
II_3. Крутопокатые склоны долины. ММП сплошные. Криотекстура корковая, льдистость 0.1–0.2 доли ед. Глубина сезонно-талого слоя 2.5–3.5 м. Растительность дерновинно-злаковая на освещенных склонах, лугово-лесная на затененных склонах. Почвы горно-луговые и мерзлотно-таежные
Производные геосистемы **II_3**
11. Трапециевидные выемки со склонами 40° (активизация поверхностного стока и эрозии, появление трещин отседания)
12. Покатые склоны (активизация поверхностного стока и эрозии)

подстилаемых суглинистых грунтов. К таким участкам относятся низкие поймы и присклоновые западины надпойменных террас, а также днища ложбин стока и падей. Для них характерно наличие луговых и влаголюбивых травянистых видов растительности, а в почвах отмечаются признаки оглеения и оторфованности. Здесь чаще всего повторяются криогенные процессы в виде морозобойного растрескивания и повторно-жильного льдообразования, криогенного пучения и наледеобразования. На поверхности диагностируются криогенные формы рельефа в виде сезонных бугров пучения, термокарстовых западин, кочек, озерков и морозобойных трещин. Нарушения поверхностного и подземного стока в пределах I надпойменной террасы приводят к активизации термокарста и вытаиванию льдистых горизонтов, наблюдаются осадки земляного полотна (рис. 2).

Ключевой участок исследования 288 км, где проводились основные буровые работы, расположен в пределах I надпойменной террасы левого берега р. Олов. Рельеф участка плоскобугристый, с небольшим уклоном в сторону реки. На поверхности четко выражен полигональный микрорельеф с трещинами и повторно-жильными льдами (ПЖЛ). К северу от дороги поверхность ложбинная, вогнутая, с юга — бугристая, приподнятая. Участок располагается вблизи южной границы криолитозоны и характеризуется высокими отрицательными температурами, не опускающиеся ниже –0.5°С (рис. 3). Мощность сезонно-талого слоя (СТС) на участке достигает 3.5–4 м.

На рис. 4 показано изменение положения верхней границы ММП под дорогой и в непосредственной близости от нее. Под дорогой наблюдается ее общее понижение. В распределении измеренных температур в грунтах под автодорогой наблюдается значительная дифференциация. Под северным склоном насыпи, менее подверженным воздействию солнечных лучей, граница ММП оказалась приподнятой и проходит на глубине около 7 м (см. скв. 3). Под южным склоном наоборот опустилась. По изменению температуры в скв. 4 можно судить, что грунт оттаял более чем на 9 м (см. рис. 3, 4).

Наблюдается значительное различие геокриологических условий на участках, примыкающих к автодороге. Вплотную к северной части дороги сток воды затруднен. Здесь, вдоль дороги, сформировались поверхностные водоемы и увлажненные понижения, начали протаивать повторно-жильные льды (рис. 5). На южном участке, примыкающем к дороге, активизации криогенных процессов не наблюдается (см. рис. 5). Сохраняется первичный растительный покров, отсутствуют выраженные в рельефе термокарстовые западины и отрытые водоемы.

Нарушение поверхностного стока и развитие термокарста отразилось на распределении температур в грунтах. На северном увлажненном участке положительные температуры грунтов прослеживаются на глубину 8–9 м (см. рис. 3, скв. 2, 3). На южном участке оттаивало не более 3–3.5 м (см. рис. 3, скв. 5, 6), т.е. глубина не превышала мощности деятельного слоя.

Рис. 2. Осадки земляного полотна на ключевом участке 288 км автодороги “Амур” (фото Р.Р. Давлетовой).

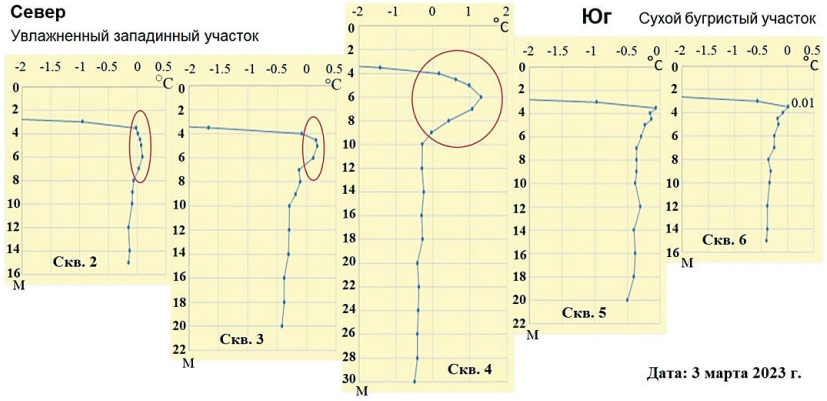

Рис. 3. Распределение температур по глубине в скважинах, пробуренных на ключевом участке 288 км автодороги “Амур”.

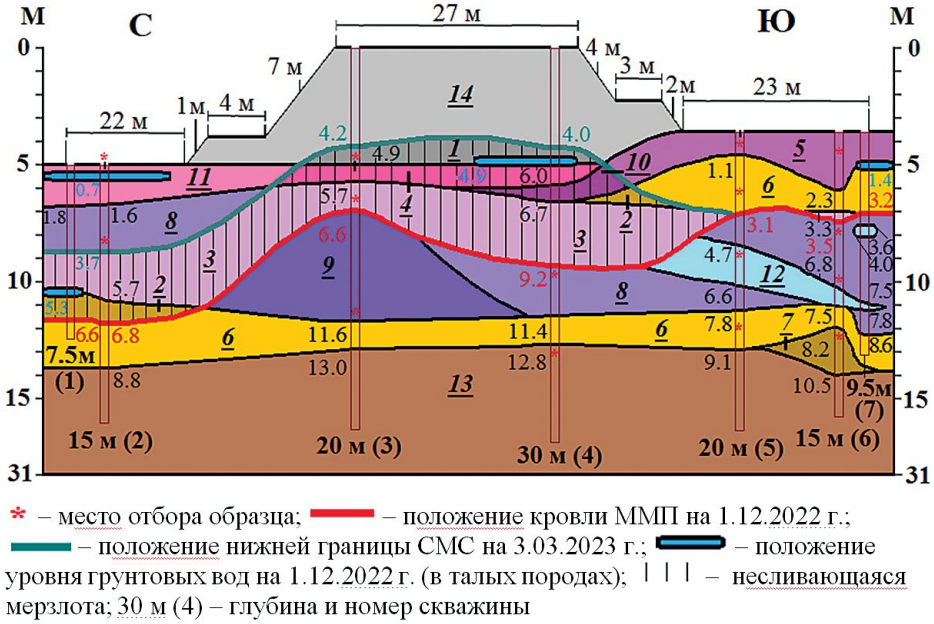

Рис. 4. Инженерно-геокриологический профиль ключевого участка 288 км автодороги “Амур” Прочие условные обозначения см. табл. 2 (составил А.П. Кулаков).

Строительство автодороги коренным образом изменило строение ММП в районе автодороги. В результате превышения мощности оттаявших пород над мощностью промерзающих пород между сезонно-мерзлым слоем (СМС) и ММП сформировался горизонт несливающейся мерзлоты. Даже в зимний период между промерзшим слоем и верхней границей ММП постоянно существует талый горизонт, круглогодично оказывающий отепляющее воздействие на подстилающую кровлю ММП. Кроме того, данный горизонт является каналом перераспределения грунтовых вод, особенно в условиях подстилающей насыпи, сложенной грубозернистым материалом. Обследования проседающих участков автодороги “Амур” выявили, что более чем в 90% случаев имелось наличие воды у оснований откосов земляного полотна. В ряде случаев, течение воды осуществлялось вдоль и внутри проседающих участков, в том числе и с фильтрацией через тело насыпи по ее основанию. Попадание воды через водопроницаемые грунты нижней части насыпи к мерзлому основанию вызывает значительное ослабление прочностных характеристик слагающих его грунтов, особенно пылеватых и глинистых, как в прослойках, так и в мелкоземах заполнителей. При этом постепенно создается нарастающее (сверхнормативное) термокарстовое оттаивание за счет дополнительного привноса тепла с водой. Также возрастает и тиксотропность оттаявших и еще не уплотнившихся грунтов основания, т.е. их способность к разжижению при динамических воздействиях.

При общей тенденции формирования чаши оттаивания под земляным полотном наблюдается

Таблица 2. Условные обозначения на профиле (рис. 4)

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ПРОФИЛЕ
Талые грунты
Технические грунты
1. Дресвяно-щебнистые грунты насыпи
Природные грунты
2. Песок гравелистый водонасыщенный
3. Суглинок песчанистый пластичный
4. Суглинок с органикой пластичный
5. Суглинок песчанистый с органикой твердый
Мерзлые грунты
Природные грунты
6. Песок гравелистый сыпучемерзлый льдистый, при оттаивании водонасыщенный
7. Песок пылеватый твердомерзлый льдистый, при оттаивании водонасыщенный
8. Суглинок песчанистый пластичномерзлый льдистый, при оттаивании текучий
9. Суглинок песчанистый твердомерзлый, при оттаивании твердый
10. Суглинок с органикой твердомерзлый, при оттаивании пластичный
11. Суглинок с органикой пластичномерзлый, при оттаивании текучий
12. Ледогрунт суглинистый, при оттаивании текучий
13. Глина твердомерзлая, при оттаивании твердая
Технические грунты
14. Дресвяно-щебнистые твердомерзлые грунты насыпи, при оттаивании твердые

дифференциация мощности слоя несливающейся мерзлоты. Под северным склоном насыпи, где прогрев грунтов минимален, его верхняя граница поднялась почти до основания насыпи, и мощность слоя несливающейся мерзлоты составляет до 2.4 м. К югу в пределах насыпи она увеличивается до 5.2 м (см. рис. 3, 4)

Оттаивание ММП под насыпью приводит к неравномерным просадкам земляного полотна. Его южная часть деформируется интенсивней северной части. Этому способствует вытаивание льдистого горизонта, залегающего на глубине около 6 м. Его фрагменты на глубинах 5–7 м обнаружены в непосредственной близости под южной частью насыпи (см. рис. 3, скв. 5, 6). В северной части дорожного полотна из-за повышения уровня ММП просадки менее выражены.

Изменение условий теплообмена приводит, в одних случаях, к протаиванию льдистых грунтов и просадкам, в других — может привести к промерзанию талых грунтов и криогенному пучению. Данная разнонаправленность криогенных процессов может реализовываться даже на близлежащих участках, что и было зафиксировано в работе. На северном участке организация земляного полотна привела к концентрации поверхностного стока, здесь наблюдалось обводнение территории и, как следствие, активное развитие термокарста. ММП протаяли до глубины 10 м.

На территории, примыкающей к земляному полотну с юга, обводнения поверхности не произошло. Признаков активизации термокарста не выявлено, хотя, судя по наличию полигонального рельефа, повторно-жильные льды присутствуют. Вследствие лучшей дренированности грунты промерзают на большую глубину и имеют самые низкие температуры, значения которых приближаются к −0.5°С. Вследствие этого, слой несливающейся мерзлоты здесь отсутствует (см. рис. 3, 4).

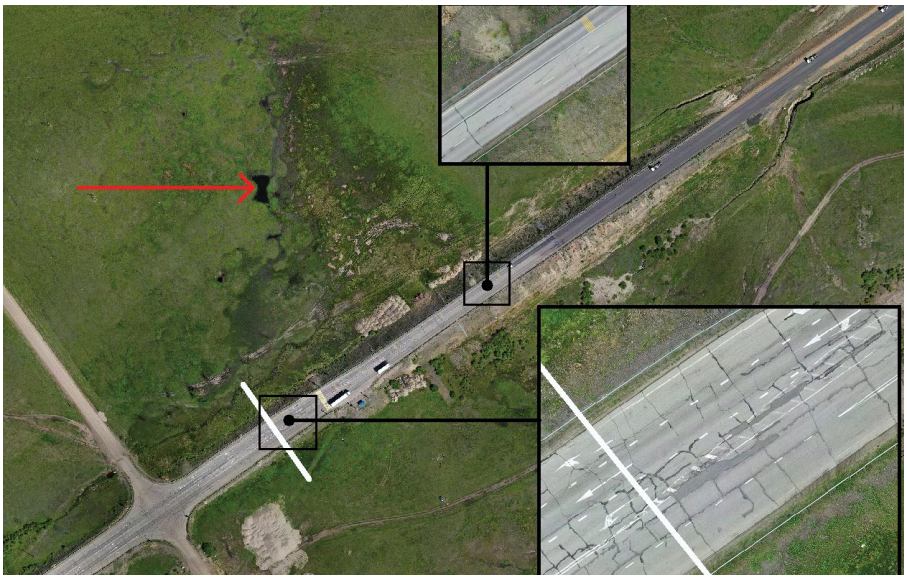

Рис. 5. Распределение трещин на полотне и место развития термокарстового процесса по повторно-жильным льдам (показано стрелкой) вдоль автодороги “Амур” (288 км). Белая линия соответствует положению бурового профиля. Снимок с БПЛА, июнь 2022 г.

На поверхности дорожного покрытия вследствие температурных напряжений и динамических нагрузок от проезжающего транспорта формируется сеть трещин, имеющих довольно равномерное распределение. В местах развития осадок земляного полотна сеть трещин сгущается, расстояния между ними резко уменьшаются (рис. 5). Таким образом, участки сгущения трещин на поверхности полотна автодороги могу являться индикаторами активизации термокарстовых процессов в теле насыпи или подстилающих мерзлых породах.

В целом, на исследуемом участке общая направленность криогенных процессов выражается в поступательном оттаивании ММП. При этом существуют условия для сохранения ММП или ослабления ее деградации.

Рассмотренные выше деформации земляного полотна вызваны развитием не одного, а целого комплекса взаимообусловленных “цепочечных” природных и техногенных процессов. Важный показатель реакции геокриологических условий (и соответственно теплообмена) на техногенные изменения – парагенезис взаимообусловленных природных и техногенных процессов. Он проявляется в том, что в некоторый интервал времени, под воздействием техногенного фактора, одновременно начинают формироваться или резко активизироваться несколько процессов, каждый из которых, создав на определенном этапе своего развития условия для появления другого, сам при этом не завершается. Этого может приводить к резкой дифференциации интенсивности и неравномерности их развития и негативного воздействия на инженерные сооружения. Данное обстоятельство затрудняет прогнозирование изменения инженерно-геокриологических условий в районе эксплуатации автомобильных дорог в области распространения многолетнемерзлых пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что формирование ПТС автомобильных дорог, проложенных на территориях распространения многолетнемерзлых пород, обусловлено взаимодействием многочисленных и порой разнонаправленных процессов. Их различные сочетания могут приводить как к ослаблению воздействия на инженерные сооружения и прилегающие к автомобильной дороге территории, так и к возрастанию интенсивности термоденудации. Комплекс криогенных процессов настолько разнообразен, а синергетические эффекты их взаимодействия настолько велики, что спрогнозировать суммарное деформирующее воздействие на дорожное полотно в пределах локальных участков, в настоящее время, весьма затруднительно. Это осложняет разработку рекомендаций, основанных на традиционных детерминистских подходах, базирующихся на учете теплообменных процессов.

Причинами деформаций земляного полотна на участке 288 км автодороги “Амур” являются неоднородные, разнонаправленные и неравномерные изменения геокриологических условий в результате пространственно-временного развития взаимообусловленных природных и техногенных процессов в ПТС.

Для контроля изменений геокриологических условий и развития ПТС “автомобильная дорога”

предлагается ряд следующих системных организационных мероприятий:

– выявление потенциально опасных участков, выделяемых по наличию деформаций дорожного полотна и развитию комплекса термоденудационных процессов на прилегающих территориях;

– проведение на них дополнительных инженерно-геокриологических исследований по выявлению параметров мерзлых толщ (мощность, льдистость, температура, наличие слоя несливающейся мерзлоты и др.;

– построение ландшафтной карты-схемы с выделением зоны влияния автомобильной дороги и указанием характеристик первичных и нарушенных условий;

– разработка рекомендаций по проведению восстановительных работ на нарушенных участках инженерных сооружений;

– установка контрольной аппаратуры для анализа эффективности проведенных работ.

Рассмотренный комплекс мероприятий может быть использован на разных стадиях жизненного цикла ПТС автомобильных дорог: при проектировании в сложных инженерно-геокриологических условиях, на участках повышенной льдистости или развития опасных геологических процессов; в период эксплуатации на участках проведения ремонтно-восстановительных работ; на участках оборудования стационарных постов мониторинга и др.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме №122022400105-9 “Прогноз, моделирование и мониторинг эндогенных и экзогенных геологических процессов для снижения уровня их негативных последствий”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бедрин Е.А.* Определение направлений по обеспечению устойчивости земляного полотна дорог в зоне вечной мерзлоты // Вестник СибАДИ. 2011. № 2. С. 15–21.
2. *Гребенец В.И., Исаков В.А.* Деформации автомобильных и железных дорог на участке Норильск-Талнах и методы борьбы с ними // Криосфера Земли. 2016. № 2. С. 69–77.
3. *Гулый С.А., Прелль Н.* Анализ источников причин некоторых криогенных явлений на Федеральной трассе Р-504 “Колыма” // Вестник МАДИ. 2013. № 3. С. 72–77.
4. *Кулаков В.С.* География Забайкальского края. Чита: Экспресс издательство, 2009. 224 с.
5. Официальный сайт Федерального дорожного агентства Министерства транспорта Российской Федерации. URL: https://rosavtodor.gov.ru/ (дата обращения: 15.04.2024).
6. *Солнцев Н.А.* Учение о ландшафте. Избранные труды. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 382 с.
7. Специализированные массивы для климатических исследований. URL: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/ (дата обращения: 07.04.2024).

PECULIARITIES IN CHANGES OF GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS ON THE SECTION OF THE FEDERAL HIGHWAY “AMUR” CHITA–KHABAROVSK

A. N. Khimenkov[a,#], A. P. Kulakov[a,##], A. V. Romanov[b], D. O. Sergeev[a,###]

[a]Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per. 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia

[b]FKU Uprdor “Zabaikalia”, ul. Anokhina 17, Chita, Zabaikalskii Kraii, 672039 Russia

[#]E-mail: a_khimenkov@mail.ru

[##]E-mail: cryvolithozone@mail.ru

[###]E-mail: cryo2@yandex.ru

The paper considers the peculiarities of changes in geocryological conditions on the section “288 km” of the “Amur” highway Chita–Khabarovsk. A comprehensive analysis of cryogenic processes and deformations of the roadbed in the conditions of formation and functioning of a special natural-anthropogenic “highway” system has been carried out. A landscape-geocryological schematic map has been compiled with the boundaries of the natural- anthropogenic system and zones of influence outlined. Engineering geocryological profiles of the deformed section of the highway was built on the basis of seven drilled wells with a depth of 7.5 to 30 m. Thermometric observations were carried out in five wells with the study of the peculiarities of temperature distribution under and near the roadbed. Studies have shown that the causes of deformations of the roadbed are heterogeneous, multidirectional and uneven changes in geocryological conditions as a result of the spatiotemporal formation and development of interdependent natural and man-made processes in the natural-technical system. A number of organizational measures have been proposed to control changes in geocryological conditions and the development of the natural-anthropogenic “highway” system in local areas.

Keywords: *Amur highway, deformations of the roadbed, cryogenic processes, cryolithozone, permafrost, natural and anthropogenic system*

REFERENCES

1. Bedrin, E.A. [Determination of directions for ensuring the stability of the roadbed in the permafrost zone]. *Vestnik SibADI*, 2011, no. 2, pp. 15–21. (in Russian)
2. Grebenets, V.I., Isakov, V.A. [Deformations of roads and railways on the Norilsk-Talnakh section and methods of controlling them]. *Kriosfera Zemli*, 2016, no. 2, pp. 69–77. (in Russian)
3. Gulyi, S.A., Prell, N. [Analysis of causes of some cryogenic phenomena on the Federal highway P-504 "Kolyma"]. *Vestnik MADI*, 2013, no. 3, pp. 72–77. (in Russian)
4. Kulakov, V.S. [Geography of the Trans-Baikal Territory]. Chita, Express Publ., 2009, 224 p. (in Russian)
5. The official website of the Federal Road Agency of the Ministry of Transport of the Russian Federation. URL: https://rosavtodor.gov.ru/ (accessed: 15 April 2024). (in Russian)
6. Solntsev, N.A. [The doctrine of the landscape. Selected works]. Moscow, MSU Publ., 2001, 382 p. (in Russian)
7. Specialized arrays for climate research. URL: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/ (accessed: 07 April 2024). (in Russian)