

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ УЧАСТКА 288 КМ АВТОДОРОГИ «АМУР»

А. П. Кулаков

*Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, Уланский пер., д. 13, стр. 2,
101000, г. Москва, Россия, cryolithozone@mail.ru*

В работе представлены результаты инженерно-геокриологического профилирования участка 288 км автодороги «Амур», основанные на полевых и дистанционных исследованиях, в том числе данных бурения 7 поперечных скважин. В работе рассматриваются факторы и закономерности развития инженерно-геокриологических процессов, приводящих к деформациям земляного полотна автодороги. Результаты исследования показали, что разнообразие факторов и условий непосредственно влияет на развитие и скорость инженерно-геокриологических процессов и деформаций на автодороге. Проведение инженерно-геокриологического профилирования предлагается с целью эффективной оценки и прогноза инженерно-геокриологических процессов, а также мониторинга состояния и динамики земляного полотна автодороги и окружающих ландшафтов.

Ключевые слова: автомобильные дороги, земляное полотно, деформации, криолитозона, термокарст, повторно-жильные льды, геокриологические процессы, инженерно-геокриологическое профилирование, многолетнемерзлые породы.

GEOCRYOLOGICAL ENGINEERING PROFILING OF THE AMUR HIGHWAY 288 KM SECTION

A. P. Kulakov

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Ulansky lane, 13-2, 101000, Moscow,
Russia, cryolithozone@mail.ru*

The paper presents the results of engineering geocryological profiling of the Amur highway 288 km section, based on field and remote studies, including data from drilling 7 transverse wells. The paper considers the factors and patterns of development of geocryological engineering processes that lead to deformations of the roadbed. The results of the study showed that a variety of factors and conditions directly affect the development and speed of geocryological engineering processes and deformations on the highway. Engineering geocryological profiling is proposed for the purpose of effective assessment and prediction of engineering geocryological processes, as well as monitoring the condition and dynamics of the roadbed and surrounding landscapes.

Keywords: highways, roadbed, deformations, cryolithozone, thermokarst, ice-wedge, geocryological processes, geocryological engineering profiling, permafrost.

Введение. Опыт эксплуатации автомобильных дорог в условиях распространения многолетнемерзлых пород (ММП) показывает, что развитие инженерно-геокриологических процессов является одной из основных причин деформаций земляного полотна автодороги и их недопустимого транспортно-эксплуатационного состояния.

В условиях растущей эксплуатационной нагрузки и глобального изменения климата на ММП происходит активизация и возникновение новых криогенных процессов. Меняющиеся климатические условия наряду с возрастающей техногенной нагрузкой приводят к деформациям автодорог и непредсказуемым внеплановым ремонтным работам.

Несмотря на длительное изучение проблематики, деформации на автодорогах, построенных на ММП, не прекращаются до сих пор. Цель исследования состоит в изучении причин образования деформаций, особенностей их развития на автодорогах с помощью инженерно-геокриологического профилирования для организации эффективной системы мониторинга, направленной на снижение развития опасных геокриологических процессов, приводящих к деформациям и высоким затратам на обслуживание многочисленных участков автодорог в условиях ММП [1].

Особенность работы заключается в применении инженерно-геокриологического профилирования в качестве базовой основы оценки состояния и прогноза развития геокриологических процессов на автодорогах в условиях ММП, а также выбора ключевых участков для стационарного и мобильного инженерно-геокриологического мониторинга протяженных автодорог (линейных объектов исследования).

Полевыми и дистанционными методами установлено, что повторяемость просадок на разных участках автодорог в разные годы сопряжена с разными ведущими криогенными процессами. Это требует инженерно-геокриологического профилирования ключевых разнородных участков, в котором будет отражаться текущая инженерно-геокриологическая обстановка с типами нарушений земляного полотна. Отражение ситуации на инженерно-геокриологическом профиле будет служить основой для организации инженерно-геокриологического мониторинга, составления прогноза развития опасных геокриологических процессов и выработки стратегии инженерной защиты.

В перечень решаемых задач входят полевые и дистанционные обследования ключевых репрезентативных участков автодорог (на примере 288 км автодороги «Амур»), изучение факторов и закономерностей разви-

тия инженерно-геокриологических процессов, приводящих к деформациям земляного полотна автодороги с помощью геоинформационных технологий (ГИС).

Материалы и методы. Информационной базой исследования служат данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), полевые и фондовые инженерно-геологические материалы.

В работе осуществлялась камеральная обработка первичной информации (космические снимки с сайта Google, ESRI, Yandex, съемочных систем Aster, Landsat, Sentinel, Terra, Spot, данных среднесуточных наблюдений на имеющихся температурных скважинах и гидрометеорологических станциях), применение геоинформационных технологий (ArcGIS 10.5) для построения инженерно-геокриологического профиля на ключевом участке 288 км.

Экспериментальные измерения на ключевых участках осуществлялись с помощью нивелирной съемки, теодолита, измерительной рулетки, инфракрасного термометра, почвенного шупа.

При профилировании и районировании использовались данные ДЗЗ (в том числе цифровые модели рельефа, рассчитанные тепловые и радиолокационные снимки), топографические карты (1:50 000, 1:200 000), тематические карты разного геологического и физико-географического содержания (геологические, геокриологические, геоморфологические, геоботанические и т.п.).

Исследования характеристик состояния грунтов, определение гранулометрического состава проводились экспресс методами в полевых и лабораторных условиях.

Полученная информация позволила составить профиль в ГИС на основании поперечных земляному полотну автодороге 7 пробуренных скважин, глубиной от 7.5 до 30 м.

Результаты инженерно-геокриологического профилирования. Ключевой участок исследования расположен в аккумулятивно-эрозионной долине, в пределах первой надпойменной террасы реки Олов. Участок складывается преимущественно аллювиальными супесчаными и суглинистыми отложениями с намывными делювиальными накоплениями на плоско-западинных и ложбинных формах рельефа. В пределах ключевого участка происходит морозобойное растрескивание и поверхностный смыв, а также термокарст и вытаивание повторно-жильных льдов (рис. 1).

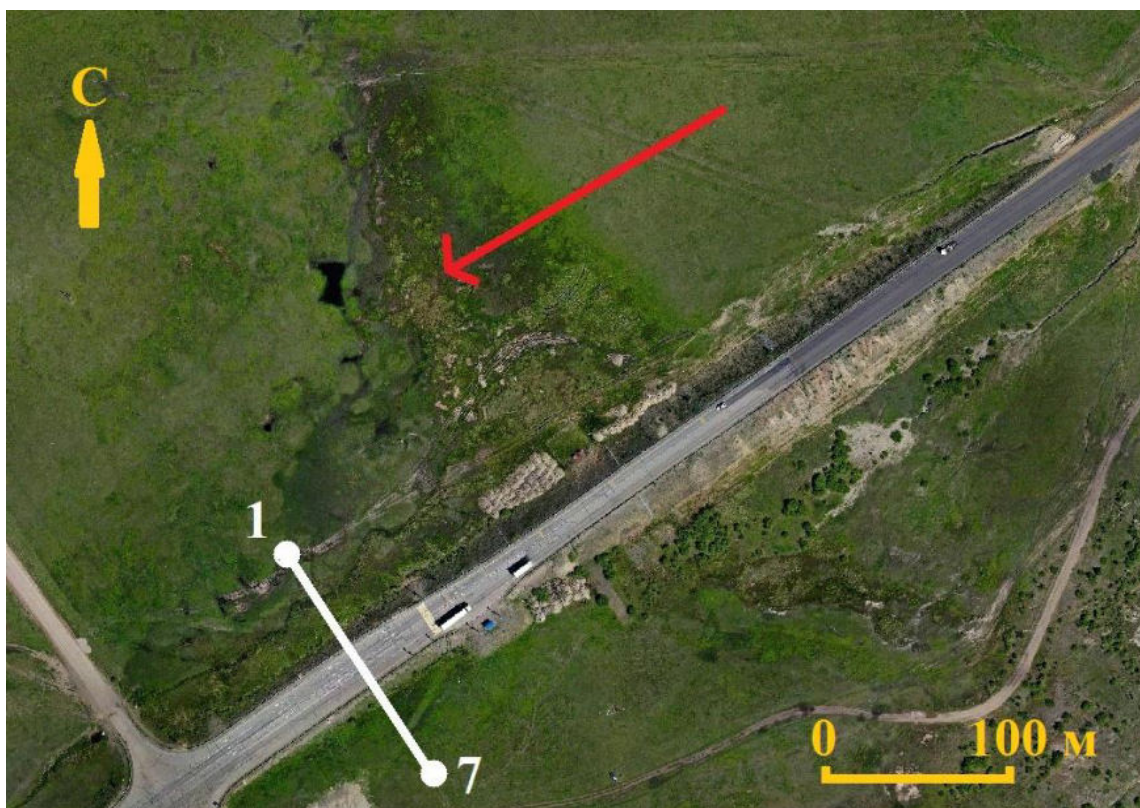


Рис. 1. Вытаивание повторно-жильных льдов и термокарстовые процессы (красная стрелка) вблизи автодороги «Амур» (288 км). Белая линия соответствует положению инженерно-геокриологического профиля (по порядку 1–7 скважина). Снимок с БПЛА, 2022 г.

На пониженных и вогнутых участках нередко происходит подтопление вследствие активной аккумуляции поверхностных и подземных вод с возвышенных участков, заболачивание в замкнутых понижениях и криогенное пучение.

Для ключевого участка автодороги «Амур» (288 км) был построен инженерно-геокриологический профиль (поперечный разрез проблемного участка) на основании проведенного бурения и исследованных образцов грунта (рис. 2).

Участок 288 км автодороги «Амур» лежит в зоне первой надпойменной террасы реки Олов с ярко выраженными мерзлотными формами рельефа в виде морозобойных трещин, термокарстовых западин и повторно-жильных льдов (ПЖЛ). Участок примечателен тем, что волнообразная просадка земляного полотна автодороги произошла с наклоном в южную сторону, несмотря на то, что полоса отвода с другой стороны дороги имеет транзитные понижения в виде подтопленных участков крупной плосковогнутой ложбины с эрозионными бороздами мелких ручьев, примыкающих к откосу насыпи северной экспозиции (справа по профилю). В данном ме-

сте был сформирован шлейф разгрузки стекающих вод и накоплений с водораздела с преимущественной аккумуляций с северной стороны дороги в связи с тем, что с южной стороны (слева по профилю) вода еще перед исследуемым участком перетекает через водопропускную трубу на северную сторону из-за более возвышенного положения и не застаивается.

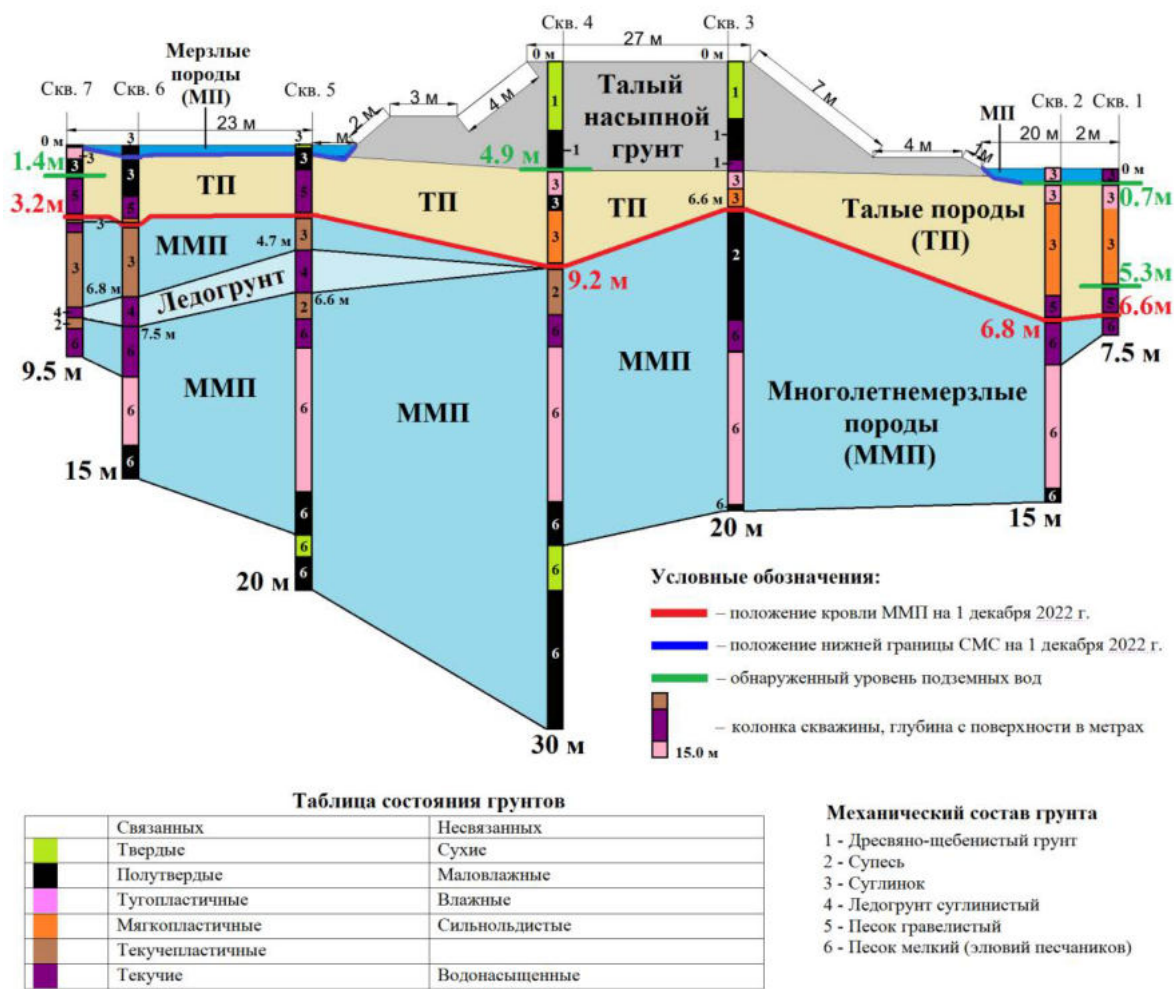


Рис. 2. Инженерно-геокриологический профиль участка 288 км автодороги «Амур»

По профилю обнаруживается, что северный участок в зоне отвода имеет значительную мощность сезонно-талого слоя, в то время как под основанием автодороги с северной стороны СТС имеет те же показатели, что и возвышенная и сухая полоса отвода с южной стороны автодороги. Инсоляция значительно выше у откоса насыпи южной экспозиции, куда солнечные лучи (прямая солнечная радиация) в определенное время попадают под прямым углом в отличие от северной части, где перегревания откосов насыпи практически отсутствует. Несмотря на высокий уровень

СТС и застаивания воды у откоса насыпи северной экспозиции, под основанием южной части дороги уровень СТС выше, чем с северной части, возможно, из-за того, что откос насыпи южной экспозиции непосредственно прогревается солнечными лучами и растепляет имеющиеся льдистые грунты с южной стороны дороги. Это дает предполагать, что, под основанием дороги растепляющее значение солнечной радиации в определенных случаях может быть выше, чем растепление многолетнемерзлых пород образовавшейся застойной водой у откосов насыпи.

Заключение. В пределах первой надпойменной террасы активно развиваются процессы вытаивания повторно-жильных льдов и термокарста, приводящих к проседанию земляного полотна автодороги в результате термокарстовых процессов. Основными факторами, влияющих на активизацию и развитие процессов, являются поверхностный и подземный сток, повышенная инсоляция откосов южной экспозиции, а также физическое и тепловое влияние земляного полотна автодороги на подстилающие грунты.

Библиографические ссылки

1. Особенности организации инженерно-геокриологического мониторинга автомобильных дорог, эксплуатируемых на территориях распространения многолетнемерзлых пород / А. Н. Хименков [и др.] // Арктика и Антарктика. 2023. № 4. С. 125–157.