
ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 551.345; 551.4.042; 624.131.1

РАЗВИТИЕ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГЕ “УДОКАН–НАМИНГА” (СЕВЕРНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2023 г. А. П. Кулаков^{1,*}, Д. О. Сергеев^{1,**}

¹Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,
Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

*E-mail: cryolithozone@mail.ru

**E-mail: sergeevdo@mail.ru

Поступила в редакцию 11.05.2023 г.

После доработки 14.06.2023 г.

Принята к публикации 16.06.2023 г.

В работе рассмотрены экзогенные геологические процессы и явления на автомобильной дороге “Удокан–Наминга” в 2017 г., которые сопоставлены с предыдущими результатами, полученными экспедицией МГУ им. М.В. Ломоносова в 1986 г. Проанализированы инженерно-геологические условия и особенности проявления процессов и явлений. По геологическим признакам выполнена типизация геокриологической обстановки (ТГО) и соответствующих им комплексов инженерно-геологических процессов и явлений. Сравнение результатов за разные годы показало, что характер процессов и явлений, а также их количество изменились незначительно. Наиболее активными и часто встречающимися процессами являются концентрированный вынос мелкозема и временные водопро- явления. Наибольшей деформации подверглись участки дороги, проходящие вдоль подрезанных скло- нов с курумным чехлом. Результаты исследования показывают, что особое внимание необходимо уде- лить именно курумам из-за их широкого распространения вдоль дороги и охлаждающего влияния на среднегодовые температуры окружающих грунтов.

Ключевые слова: автомобильная дорога “Удокан–Наминга”, горная криолитозона, хребет Удокан, Се- верное Забайкалье, экзогенные геологические процессы и явления

DOI: 10.31857/S0869780923040057, **EDN:** FHNCLP

ВВЕДЕНИЕ

Территория исследования расположена в Калар- ском округе Забайкальского края и приравнена к районам Крайнего Севера. Регион богат различными полезными ископаемыми (медные, железные и полиметаллические руды, каменный уголь, редкие и редкоземельные металлы, алюминиевое сырье), поэтому для дальнейшего освоения территории требуются строительство и безаварийная эксплуа- тация подъездных автомобильных дорог к место- рождениям [5].

В физико-географическом отношении терри- тория входит в систему Станового нагорья Юж- но-Сибирских гор, объект исследования — ли- нейный участок автомобильной дороги “Удокан– Наминга” (первые 11 км от пос. Удокан), распо- ложенный в пределах хребта Удокан (рис. 1).

Цель работы — исследование современного со- стояния участка дороги “Удокан–Наминга” и оценка развития экзогенных геологических про- цессов и явлений (ЭГПЯ) в начале ее строительства (1986 г.) и до начала ее реконструкции (2017 г.).

Главная задача состоит в изучении характера и количества ЭГПЯ на дороге “Удокан–Наминга” для сравнения полученной картины с охаракте- ризованной ранее обстановкой, зафиксирован- ной работами экспедиции МГУ им. М.В. Ломо- носова в 1986 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В начале исследования были изучены темати- ческие литературные источники по Северному Забайкалью, а также отчет экспедиции МГУ им. М.В. Ломоносова 1986 г., в котором были описа- ны закономерности развития ЭГПЯ на автомо- бильной дороге. Также использовались и дешиф- рировались современные космические спутнико- вые снимки и снимки, созданные с помощью беспилотного летательного аппарата. Проанали- зированы мерзлотные карты и карты четвертич- ных отложений. Измерены, обработаны и изуче- ны данные по температурам горных пород в сква-

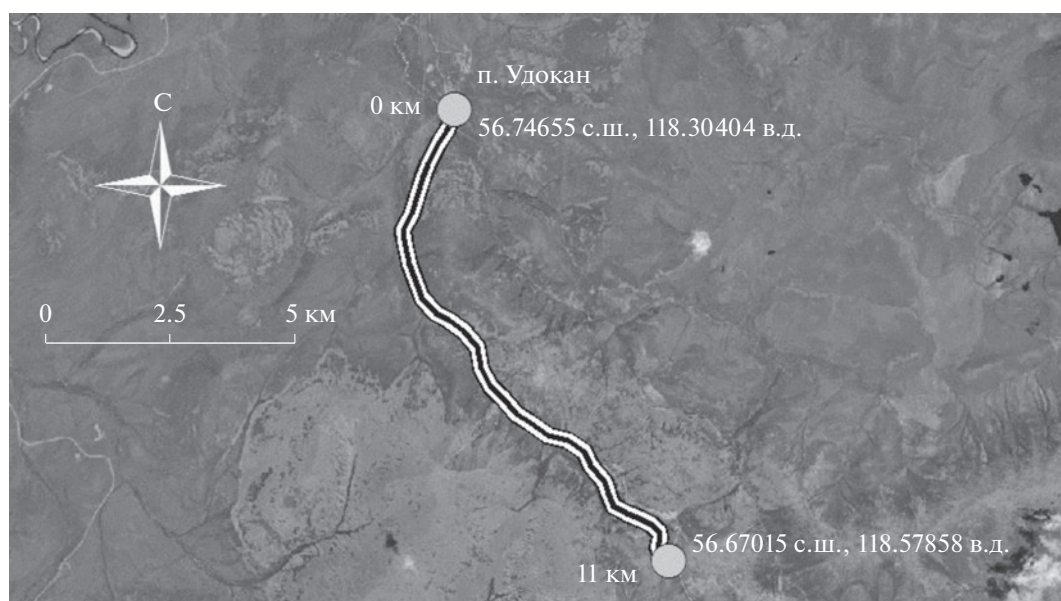


Рис. 1. Скриншот космического снимка ESRI Satellite с выделенным линейным участком автомобильной дороги “Удокан–Наминга” (первые 11 км от пос. Удокан), где исследовались ЭГПЯ в 1986 и 2017 г.

жинах, расположенных в районе исследуемой территории.

На этапе полевых работ выполнялись маршрутные исследования с изучением полотна дороги, откосов, полосы отвода и склонов. Изучалась глубина сезонного оттаивания на отдельных репрезентативных участках. Во время выполнения работ были тщательно зафиксированы, описаны и сфотографированы все проявления ЭГПЯ на самой дороге, а также на прилегающих к дороге склонах, вдоль которых она проходит.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ “УДОКАН–НАМИНГА”

На территории изучаемого района распространены породы нижнего протерозоя, представляющие собой мощный комплекс преимущественно терригенных метаморфизованных образований [3], а также гранитоиды – жильные или интрузивные образования. Широко распространены отложения четвертичного периода, различающиеся как по составу, так и по генезису, формировавшиеся в ледниковое и межледниковое время. На линейном участке дороги преимущественно распространены ледниковые, пролювиальные, десерпционно-солифлюкционные, делювиальные, мерзлотно-болотные и аллювиальные отложения среднего, верхнего неоплейстоцена и голоцена с преобладанием супесчаных, песчаных, валунно-галечниковых и щебнисто-глыбовых фракций [4].

Линейный участок дороги начинается на высоте 800 м над уровнем моря и пересекает пойму и

первую надпойменную террасу р. Левый Нирунгнакан, полого-равнинные, холмисто-западинные участки основной морены сартанского оледенения, аккумулятивные подножья склонов (5° – 10°), среднегорные десерпционные склоны (15° – 30°) с курумовым чехлом поверхностных отложений до высоты 1540 м [2].

Гидрогеологические условия определяются сплошным распространением многолетнемерзлых пород мощностью от 100 до 500 м и разломными зонами между ними [2]. Предполагается, что наличие постоянного поверхностного водотока – р. Левый Нирунгнакан, обуславливает наличие гидрогенного подруслового несквозного талика, приуроченного к изучаемой территории.

Несмотря на небольшое количество поступающих атмосферных осадков, из-за конденсации влаги в курумах и таяния гольцового льда на склонах вдоль дороги, на значительном ее протяжении встречается множество временных водотоков.

Климат района исследования резко континентальный. Годовая сумма осадков составляет в среднем от 200 до 600 мм в соседней Верхнечарской котловине и от 400 до 800 мм в среднегорье хребта Удокан. Лето короткое и нередко дождливое (пасмурное). По данным метеостанции с. Чара, в Верхнечарской котловине средняя температура самого теплого месяца достигает $+16.8^{\circ}\text{C}$ (июль), самого холодного -31.8°C (январь). Холодный период довольно продолжительный и длится около 7–8 мес. Абсолютный температурный минимум равен -56.2°C . Среднегодовая температура воздуха в котловине за период 1939–

2022 гг. составляет -7.5°C . Максимальная годовая амплитуда может достигать 91.2°C (абсолютный максимум $+35^{\circ}\text{C}$), среднемесячных температур 48.6°C . Особенность климата заключается в том, что в межгорных впадинах и котловинах зимой микроклимат более суровый, чем на прилегающих склонах хребта Удокан, а летом, наоборот, более теплый, что свидетельствует об инверсионном характере распределения температуры [1].

Растительность подчинена вертикальной зональности. На территории исследования до 1100 м распространена лиственничная тайга с фрагментарными сосняками (долины рек и склоны гор), где они сменяются кустарничково-лишайниковым лиственничным редколесьем (1100–1300 м). Выше 1300 м склоны гор покрыты стлаником и полярной березкой. На высоте выше 1800 м начинается зона гольцов, где распространены горно-тундровые мхи и лишайники. Распределение растительности зависит от экспозиции, формы и крутизны склонов, а также от глубины сезонного оттаивания (наименьшая глубина оттаивания (до 1 м) на гольцовом поясе, заболоченных участках и склонах северной экспозиции) и возможных таликовых зон [2].

Из экзогенных геологических процессов на территории исследования широкое распространение имеет процесс курумообразования. Если разделять курумы по их формам на каменные поля и каменные потоки (линейные формы развалов на склонах с соотношением длины к ширине 1 : 2), то на изучаемой территории преобладают именно первые. Для них характерно наличие обломков скальных пород изометричной формы с размерами 0.4–0.7 м. Если говорить именно о площади их распространения, то следует отметить, что склон вдоль изучаемого участка дороги на большую часть сложен курумами.

Учитывая проявления встреченных временных потоков, можно судить о вероятном наличии (по свидетельству местных жителей и наблюдающих) в холодное время года на их месте сезонных наледей, размер которых по длине и ширине достигает не более 7 м.

Также в пределах исследуемой территории встречаются сезонные бугры пучения. Их формирование связано с выходом подмерзлотных вод, промерзанием несквозных таликов и деятельного слоя [2]. Наличие торфянистых переувлажненных отложений играет заметную роль в формировании сезонных бугров пучения. На территории исследования были описаны преимущественно торфяные бугры пучения, которые развиваются на заболоченных днищах впадин в пределах высохших озер. Средняя высота бугров пучения достигает 1.5–3 м, а диаметр основания: 10–20 м.

В оторфованных пойменных суглинках и супесях отмечено наличие повторно-жильных

льдов эпигенетического генезиса — результат морозобойного трещинообразования.

На участках, подвергшихся антропогенному воздействию, например, удалению растительного покрова или изменению условий дренажа, возможно развитие таких процессов, как термоэрозия и термокарст. Термокарст развивается по повторно-жильным, конституционным и погребенным подземным льдам и проявляется в виде заболоченных понижений, отдельных провалов (воронок) глубиной до 10–15 м при диаметре от 5 до 40 м.

Таким образом, широкое распространение геокриологических процессов и явлений усложняет процесс эксплуатации автомобильной дороги, при этом особое внимание необходимо уделить именно курумам из-за их преобладания на участках дороги и охлаждающего влияния на среднегодовые температуры окружающих грунтов (результаты получены с помощью термометрических измерений в рамках фонового мониторинга [6]).

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

Конструкция автомобильной дороги и вызванные ее строительством нарушения природной среды

Автомобильная дорога “Удокан–Наминга” является дорогой муниципального значения. Она представляет собой полотно шириной до 5 м с высотой отсыпки до 1.5 м (рис. 2). Отсыпка состоит из щебенисто-глыбового материала с песчаным заполнителем.

Изменение природной обстановки. Во время строительства автомобильной дороги при планировке поверхности был удален растительный покров, а также изменен состав отложений. На некоторых участках склоны подрезались с нагорной стороны и создавались полувыемки, что в дальнейшем привело к активизации обвально-осыпных и оползневых процессов. Изменились и условия поверхностного и подземного стока. На протяжении всего исследуемого участка было встречено большое количество временных водопоявлений (рис. 3), которые, скорее всего, являются выходами на поверхность надмерзлотных вод, вызывающие размыв и частичное разрушение полотна, а на некоторых участках подтопление и затопление с формированием небольших озер.

Изменение природной обстановки фиксировалось по постепенной трансформации растительных сообществ под действием внешних и внутренних факторов. На первых двух километрах дороги от пос. Удокан изменений не наблюдалось. Однако, начиная с третьего километра,



Рис. 2. Исследуемый участок с иллюстрацией размыва полотна дороги эрозионными процессами (фото Н.А. Гурьянова).



Рис. 3. Выход надмерзлотных вод из-под курумового чехла на десятом километре дороги (фото Н.А. Гурьянова).

подмечены формирование и рост подлеса, который косвенно влияет на температурный режим в породах. Так, наличие подлеса способствует увеличению мощности снежного покрова, который в свою очередь оказывает обогревающее влияние.

Инженерно-геологические процессы и явления, проявившиеся в ходе эксплуатации автомобильной дороги

Помимо вышеперечисленных геокриологических процессов и явлений по ряду признаков можно предположить распространение сезонных наледей вдоль дороги. Непосредственно во время проведения полевых работ наледей не было замечено, так как они к этому времени растаяли, а геологические следы их деятельности выражены слабо. Тем не менее выделено несколько мест, где

предположительно могут формироваться наледи надмерзлотных вод малой мощности и размеров. Одним из таких мест является руч. Любви (6-й км от пос. Удокан) с измеренным дебитом 0.15 л/с, который, по свидетельствам местных жителей, уже давно пересекает дорогу в этом месте.

В полосе автодороги получили распространение и гравитационные процессы: осыпания, отседания, обрушения, микрооползни, оползания отдельных крупных глыб. Так, например, довольно часто встречающиеся микрооползни непосредственно выходят на полотно дороги в виде языков, имеющих небольшие размеры: в ширину до 3 м, а в длину до 5 м.

На многих участках дороги развивается эрозия и, как следствие, формирование эрозионных промоин. Это явление наносит большой вред полотну автодороги и, как следствие, является при-



Рис. 4. Оползень-спływ (слева), сошедший на дорогу (фото из отчета 1986 г.), и современный облик участка (справа) оползня-спльва (фото Д.О. Сергеева, 2017 г.)

чиной проведения ее постоянного ремонта. Для некоторых участков дороги характерен размыв полотна поверхностными водами. Промойны имеют глубину вреза порядка 20–30 см, ширину до 1 м. Чаще всего они ориентированы субпараллельно полотну дороги. В данном случае глубина размыва определяется составом грунта. Чем больше количество грубообломочного материала, который поток воды не может унести из-за недостатка энергии, тем более устойчив грунт к размыву.

Вдоль участка автодороги на склоне возможно формирование оползней-спльвов. Так, в 1986 г. был отмечен большой оползень-спływ (рис. 4, слева), чей след на склоне остается до сих пор (рис. 4, справа).

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И ХАРАКТЕРА ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ ЗА ПЕРИОД 1986–2017 гг.

Для оценки и анализа характера развития ЭГПЯ на дороге за период последних 30 лет в сравнении с полевым обследованием 2017 г. был выполнен попикетный подсчет встречаемости экзогенных геологических образований, представленный в табл. 1, в которой указано количество проявлений основных ЭГП на погонный километр трассы. Это проявления осыпания пород (осыпные конуса размером до 4 м), отседания и обрушения (обвальные глыбовые образования объемом до 5 м³), микрооползни с глубиной захвата 0.5–1.5 м и объемом до 10 м³, выходы надмерзлотных вод и подтопление участков дороги, участки наледеобразования, размывы полотна дороги и др.

Сравнение данных 2017 г. с результатами, полученными в 1986 г., показывает, что характер

процессов и явлений, а также их количество за оцениваемый период изменились незначительно. Но все же, некоторые отличия видны, особенно, если посмотреть на общее количество проявлений различных процессов и явлений в разные годы исследований. Такое распределение может указывать на то, что природно-техническая система начала постепенно приходить в равновесие. По этим данным можно разделить участки автодороги по состоянию земляного полотна на устойчивые (ЭГПЯ не развиваются), относительно устойчивые (ЭГПЯ незначительно активны) и неустойчивые (ЭГПЯ активны и приводят к быстрому нарушению полотна).

Большое значение для характеристики особенностей развития ЭГПЯ имеет установление причин их динамики. Принимая во внимание, что комплекс геокриологических процессов (и ЭГПЯ в целом) определяется особенностями геокриологической обстановки, были выделены типы геокриологической обстановки (ТГО) и соответствующие им комплексы инженерно-геологических процессов и явлений.

По признакам: состав грунтовых толщ, характер распространения многолетнемерзлых пород, их мощность, среднегодовая температура, льдистость и особенности сезонного оттаивания, было выделено 6 типов геокриологической обстановки (табл. 2), различающиеся, в том числе, и набором присущих им экзогенных геологических процессов и явлений.

Для ТГО “А” характерны высокие среднегодовые температуры и повышенная влажность пород. Наряду с малым уклоном поверхности обстановка способствует образованию сезонного пучения и мелких термокарстовых форм.

Таблица 1. Количество проявлений экзогенных геологических процессов и явлений на 1 км автомобильной дороги “Удокан–Наминга” в 1986 и 2017 г.

Экзогенные геологические процессы и явления	1986 г. (количество ЭГПЯ в ед.)										
	0–1 км	1–2 км	2–3 км	3–4 км	4–5 км	5–6 км	6–7 км	7–8 км	8–9 км	9–10 км	10–11 км
Осыпание	1			3				2	4	1	
Отседание, обрушение			1	1			1				
Микрооползни			1	2					1		
Оползание отдельных крупных глыб							2	1		1	1
Временное водопроявление	4	2	12	5	1			5	2	2	7
Наледеобразование											
Концентрированный вынос мелкозема	1	4	1	1	2	4	2	1	2		
Размыв полотна дороги	1	1	6	2	1	1		2	1		1
Суффозионная воронка											
Всего	7	7	21	14	4	5	5	11	10	4	9
2017 г.											
Осыпание	1			2							
Отседание, обрушение											
Микрооползни			2	2							1
Оползание отдельных крупных глыб							3	2		2	1
Временное водопроявление							2	1			5
Наледеобразование											1
Концентрированный вынос мелкозема	2	4	2	1	2	3	2	1	1		
Размыв полотна дороги		1	3	2	1	1	2	3		2	3
Суффозионная воронка										1	2
Всего	3	5	7	7	3	4	9	7	3	5	13

ТГО “Б” расположен на пролювиальных конусах выноса с активным водным подповерхностным стоком в валунно-галечниковой толще и суффозионным выносом песчаных пород из-под нее. Нарушения водного стока под поверхностью вызывают водопроявления и размыв полотна дороги на дневной поверхности, а также способствуют образованию мелких наледей на плоской поверхности дороги.

Щебнисто-глыбовый грубообломочный характер курумового чехла ТГО “В” создает предпосылки гольцовому льдообразованию в курумах и развитию криогенной десерпции.

Для ТГО “Г” характерны пылеватый заполнитель в щебнисто-глыбовом грубообломочном материале и широкий диапазон в среднегодовых температурах пород, способствующие развитию морозобойного растрескивания грунтов и фор-

мированию сортированных полос с пятнами-медальонами на поверхности.

Разноразмерный грунтовый материал ледникового генезиса ТГО “Д” и относительно невысокие среднегодовые температуры грунтов способствуют развитию криогенной сортировки обломочного материала на поверхности.

Полигенетический характер отложений ТГО “Е” зависит от отсутствия или присутствия заполнителя в щебнисто-глыбовом чехле отложений и создает предпосылки для развития криогенной десерпции грубообломочного материала с суффозионным выносом остаточного мелкозема или формированию сортированных полос на поверхности.

Нарушение поверхности ТГО “В”, “Г”, “Д” и “Е” в виде снятия растительного покрова, выравнивания поверхности и подрезки склонов приво-

Таблица 2. Основные типы геокриологических обстановок в районе автомобильной дороги “Удокан–Наминга”

Индекс ТГО	Тип грунтовой толщи		Геокриологическая характеристика				
	Генезис	Состав	Характеристика распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Мощность ММП, м	Средние годовые температуры, °С	Криогенные текстуры и льдистость, д.е.	Мощность СТС, м
А	Современный аллювиальный	Галечники с валунами и гравийно-песчаным заполнителем	островное	100–150	+0.5 до –2	отсутствует	0.5–2.5
Б	Современный пролювиальный	Валунно-галечниковая толща с пылеватым заполнителем	прерывистое	350–400	–1 до –3	От массивной до массивно-корковой 0.1–0.3	3.0–3.5
В	Современный десерпционный	Щебнисто-глыбовый	сплошное	До 500	–4 до –6	Корковая, базальная, базальный лед 0.2–0.3	0.5–0.6
Г	Современный делювиальный	Глыбово-щебнистая толща с пылеватым заполнителем	сплошное	300–400	от –1 до –5	Массивно-корковая 0.01–0.2	0.8–2.0
Д	Средне-неолейстоценовый ледниковый	Галечники с валунами и гравийно-песчаным заполнителем	сплошное	400–500	от –1 до –4	От массивной до массивно-корковой 0.01–0.1	0.8–2.0
Е	Современный полигенетический (элювиально-делювиальный, десерпционно-делювиальный)	Глыбово-щебнистая толща с или без заполнителя	сплошное	350–450	от –1 до –6	Массивная, массивно-корковая, линзовидно-слоистая и линзовидно-сетчатая 0.1–0.2	от 0.8–2.0 до 3.0–3.5

Таблица 3. Сравнение основных типов геокриологических обстановок и ЭГПЯ на автомобильной дороге “Удокан–Наминга” под воздействием строительства и эксплуатации

Индекс ТГО	Нарушения природной обстановки	ЭГПЯ до строительства	ЭГПЯ после строительства, 1986 г.	ЭГПЯ после 30 лет эксплуатации
А	Нет	Сезонное пучение (миграционное и инъекционное), образование мелких термокарстовых форм	Сезонное пучение (миграционное и инъекционное), образование мелких термокарстовых форм	Сезонное пучение (миграционное и инъекционное), образование мелких термокарстовых форм
Б	Снятие наземного (растительного) покрова	Суффозия	Временные водопроявления, размывы полотна дороги, сезонные наледи, осыпные процессы	Временные водопроявления, размывы полотна дороги, сезонные наледи, осыпные процессы
В	Планировка поверхности, снятие растительного покрова, подрезка склонов	Курумы, гольцовое льдообразование, десерпция, суффозия	Осыпные процессы, отседание, обрушение, отседание отдельных глыб, суффозия	Осыпные процессы, отседание, обрушение, отседание отдельных глыб, суффозия, временные водопроявления, размывы полотна дороги
Г	Те же	Морозобойное растрескивание, морозная сортировка обломочного материала и формирование пятен-медальонов	Осыпные процессы, отседание отдельных глыб, вынос мелкозема, размыв полотна дороги	Осыпные процессы, отседание отдельных глыб, вынос мелкозема, размыв полотна дороги, оползания отдельных глыб, временные водопроявления
Д	— “ —	Морозная сортировка обломочного материала	Те же	Те же
Е	— “ —	Морозобойное растрескивание, морозная сортировка обломочного материала, суффозия, десерпция	— “ —	— “ —

дит к гравитационно-склоновым (обрушения, осыпи, отседания отдельных глыб) процессам, а также к таянию грунтового льда, выносу мелкозема с поверхности и суффозионным формам рельефа (воронкам), водопроявлению и размыву полотна дороги.

Анализ табл. 3 показывает, что геокриологическая обстановка типа А не изменилась благодаря отсутствию техногенных нарушений природной обстановки. В типах Б, В и Г произошла активизация гравитационных склоновых процессов (осыпей, отседания отдельных глыб, обрушения и др.) из-за подрезки склонов при строительстве дороги. С другой стороны, в этих же типах участились выходы надмерзлотных вод, которые являются одной из причин размыва полотна дороги. Таким образом, участки автодороги, которые проходят вдоль подрезанных курумовых склонов, подверглись наибольшему деформациям.

Для предотвращения дальнейшего разрушения автодороги необходимо провести мероприя-

тия по ее защите. Например, восстановить водоотводные каналы и дренажи, что позволит отвести надмерзлотные воды от полотна дороги. А для обеспечения защиты от гравитационных процессов на склонах необходимо провести их укрепление. Для оценки динамики ЭГПЯ в различных типах геокриологических обстановок необходимо проводить режимные наблюдения, включающие бурение скважин во всех ТГО, измерение годового хода температур в этих скважинах и мониторинг проявлений процессов и явлений на склонах и полотне автодороги.

Сравнительный анализ табл. 1 и 3 показывает, что на исследуемой автодороге количество ЭГПЯ уменьшилось, а направленность их развития в некоторых ТГО изменилась из-за нарушения природной обстановки. Наиболее активные и часто встречающиеся процессы — концентрированный вынос мелкозема и временные водопроявления. Причем второй является более опасным, так как ведет к размыву полотна. В основном это над-

мерзлотные воды, формирующиеся из-за таяния внутригрунтового льда и конденсации влаги в десерпционном чехле. Гравитационные процессы и явления встречаются в основном на участках, где произошла подрезка склона, вызвавшая их активизацию. Однако следует отметить, что, например, размыв полотна дороги встречается на участках, не отмеченных на карте 1986 г., что указывает на изменение мест выхода и траектории движения временных потоков.

Рекомендации по мониторингу ЭГПЯ на автодороге сводятся к пониманию взаимодействия компонентов природно-технической системы (дорожная насыпь, земляное полотно), геологической среды (грунты основания), гидрометеорологических процессов и явлений (колебания температуры воздуха, осадков, поверхностного и подземного стока) и включают:

- первичные рекогносцировочные полевые и дистанционные обследования автодороги на предмет выявления имеющихся ЭГПЯ (их размеров, количества, степени влияния на инженерное сооружение);

- типизация территории и выделение основных типов геокриологической обстановки с зафиксированным временным и пространственным соотношением ЭГПЯ;

- получение более конкретной информации о строении и свойствах горных пород с помощью проходки инженерно-геокриологических скважин, отбора и определения физико-механических свойств грунтов в лабораторных условиях;

- обеспечение скважин и метеорологических стационарных постов термометрическими и влажностными датчиками для наблюдений за состоянием и динамикой температурного и водного режима грунтов под дорогой и меняющимися водно-климатическими условиями поверхностных вод и приземной атмосферы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования получено представление о современной геокриологической обстановке, что послужило основой для ее типизации на различных участках автомобильной дороги “Удокан–Наминга”. Особенности геокриологической обстановки района исследования заключаются в преимущественно сплошном распространении многолетнемерзлых пород, имеющих мощность от 100 до 500 м. Формирование таликов возможно на водоразделах (радиационно-тепловой характер), а также под руслами рек и озерами (гидрогенный характер).

Изучены ЭГПЯ до строительства автомобильной дороги, характер их развития после строительства и после 30 лет эксплуатации. Из анализа полученных данных можно сделать вывод, что

наибольшей деформации подверглись участки дороги, которые проходят вдоль склонов с десерпционным чехлом. На участках дороги, проходящих через данный тип геокриологической обстановки, требуются ремонт полотна, а также проведение мероприятий по его защите.

Для анализа динамики геокриологической обстановки необходимо установить режимные наблюдения, которые должны включать в себя уточнение границ ТГО, а также изменений характеристик внутри них. Для исследования динамики ведущих экзогенных геологических процессов надо изучить их проявления, вызывающие деформации земляного полотна (описание места, частота, объемы и размеры), и выполнить сравнение с данными прошлых лет.

Авторы признательны А.С. Войтенко и Н.А. Гурьянову за помощь в проведении полевых исследований и обработке полученных материалов, использованных при написании данной научной статьи.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геокриологические условия Забайкалья и Прибайкалья / Н.А. Некрасов (ред.). М: Наука, 1967. 228 с.
2. Геокриология СССР: Горные страны юга СССР / Э.Д. Ершов (ред.). М: Недра, 1989. 360 с.
3. *Зиновьев Ю.И.* Геохимические особенности сакуканских отложений и медных руд Удокана // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. вып. № 3. Забайкалье. 2009. С. 63–68.
4. Инженерно-геологические условия развития экзогенных геологических процессов на территории северного Забайкалья в зоне БАМ / Под ред. В.В. Малыгина. Чита: ЧГУ, 1986. 212 с.
5. *Мурашов К.Ю., Волков А.В., Платэ А.Н., Петров В.А.* Оценка геолого-экономических факторов развития северного Забайкалья с использованием геоинформационных технологий // Мониторинг науки и технологии. 2019. № 1 (39). С. 36–42.
6. *Сергеев Д.О., Станиловская Ю.В., Перлыштейн Г.З., Романовский В.Е. и др.* Фоновый геокриологический мониторинг в Северном Забайкалье // Криосфера Земли. 2016. Т. 20. № 3. С. 24–32.

DEVELOPMENT OF EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES AND PHENOMENA ON THE UDOKAN – NAMINGA HIGHWAY (THE NORTHERN TRANSBAIKALIA)

A. P. Kulakov^{a,#} and D. O. Sergeev^{a,##}

^a*Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS,
Ulanskii per. 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia*

[#]*E-mail: cryolithozone@mail.ru*

^{##}*E-mail: sergeevdo@mail.ru*

The paper considers exogenous geological processes and phenomena on the Udokan–Naminga highway in 2017, which are compared with the previous results obtained by the expedition of the Lomonosov Moscow State University in 1986. The engineering geological conditions and manifestation specifics of these processes and phenomena are analyzed. The geocryological conditions and the relevant combinations of engineering geological processes and phenomena were typified according to various geological features. As proceeds from the comparison of the results for different years, the type and number of exogenous geological processes and phenomena have not changed much. The concentrated transport of fine earth and temporary water runoff flows on roads appear to be the most active and frequently occurring processes. The most deformed sections of the road were those that run along the cut slopes with stone streams (kurums). The results of the study show that special attention should be paid to stone streams because of their wide distribution along the road and their cooling effect on the average annual temperatures of the surrounding soils and rocks.

Keywords: *Udokan–Naminga highway, mountain cryolithozone, assessment of condition and dynamics, Udokan ridge, Northern Transbaikalia, exogenous geological processes and phenomena*

REFERENCES

1. Geocryological conditions of Transbaikalia and the Baikal region], Nekrasov, N.A., Ed., Moscow, Nauka Publ., 1967, 228 p. (in Russian)
2. Geocryology of the USSR: Mountain countries in the south of the USSR], Ershov, E.D., Ed., Moscow, Nedra Publ., 1989, 360 p. (in Russian)
3. Zinoviev, Yu.I. [Geochemical features of Sakukan deposits and copper ores of Udokan]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten*, 2009, no. 3, pp. 63–68. (in Russian)
4. Engineering geological conditions for the development of exogenous geological processes in the northern Transbaikalia, the BAM zone], Malygin, V.V., Ed., Chita, ChGU Publ., 1986, 212 p. (in Russian)
5. Murashov, K.Yu., Volkov, A.V., Plate, A.N., Petrov, V.A. [Assessment of geological and economic factors of the development of the Northern Transbaikalia using geoinformation technologies]. *Monitoring nauka i tekhnologii*, 2019, no. 1 (39), pp. 36–42. (in Russian)
6. Sergeev D.O., Stanilovskaya Yu.V., Perlstein G.Z., Romanovsky V.E., et al. [Background geocryological monitoring in the Northern Transbaikalia]. *Cryosphere of the Earth*, 2016, vol. 20, no. 3, pp. 24–32. (in Russian)