

ТЕХНОГЕННЫЕ НАРУШЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОДОРОГ НА БОВАНЕНКОВСКОМ ГКМ

О. Н. Староверов, В. Н. Староверов

ОАО «ВНИПИГаздобыча», Саратовский государственный университет

В статье рассмотрены основные геологические факторы, влияющие на состояние автодорог полуострова Ямал. Установлено, что при техногенных воздействиях на Крайнем Севере происходит существенное видоизменение некоторых экзогенных процессов, проявляется значение факторов, не типичных для рассматриваемого региона.

В Геологической среде широко развиты три группы процессов, способных изменить среду в целом и рельеф в частности. *Природные* — развиваются независимо от деятельности человека. *Антропогенные* — процессы, которые возникли исключительно как результат человеческой деятельности во всех ее проявлениях, и которых в первозданной природе не существовало, они не свойственны какой-либо территории, а являются там искусственно созданными. При естественном ходе развития Природных процессов, появление антропогенных произойти бы не могло — причин для этого в природе не существовало. *Антропогенно обусловленные* — процессы, которые до начала человеческой деятельности были значительно ослаблены; либо — которые привели к значительному видоизменению некоторых природных процессов: абразия берегов водохранилищ, мелиоративная и дорожная эрозия, карст и оползни. Обе группы процессов особенно разнообразны в районах интенсивного освоения природных ресурсов, например на севере Западной Сибири.

Полуостров Ямал целиком располагается в зоне криогенеза, в которой существует очень зыбкое равновесие между климатическими характеристиками и природными геологическими процессами. Поэтому почти любой вид техногенного вмешательства приводит к серьезным трансформациям экзогенного рельефообразования. Наиболее распространенной формой такого вмешательства является строительство и эксплуатация автодорог в условиях Крайнего Севера.

Данная статья является частью работы по расчетам и оценке потерь грунта в процессах строительства и эксплуатации автодорог в условиях Крайнего Севера. Поэтому количественная оценка потерь грунта предоставляется лишь в форме обоб-

щенных результатов. Техногенные нарушения природных условий и активизация экзогенных процессов являются лишь одной из причин, приводящих к разрушениям искусственных сооружений

Насыпные сооружения Бованенковского газово-конденсатного месторождения (ГКМ) проектируются и строятся в условиях крайне сложной геокриологической и гидрологической обстановки. Строительство насыпей автодорог начато в 1990-м году, приостановлено в 1996-м, и таким образом, существующие насыпи имеют возраст от 7 до 16 лет. Возведение насыпей на различных участках прервано на разных стадиях. За время своего существования насыпи автодорог на одних участках уплотнились и стабилизировались, на других — напротив, подверглись интенсивному разрушению под воздействием комплекса экзогенных процессов. На ряде участков строительство насыпей существенно усложнило гидрологические условия территории, вызвало подтопление.

Основной проблемой при дорожном строительстве в условиях Бованенковского ГКМ является отсутствие кондиционных строительных материалов: разведанные карьеры сухого грунта преимущественно представлены льдистыми пылеватыми песками с большим содержанием глинистой фракции [2]. Другая проблема, осложняющая строительство и эксплуатацию не только автодорог, но и других инженерных сооружений - широкое развитие экзогенных физико-геологических процессов, обусловленных наличием многолетнемерзлых пород (ММП) со сложным криогенным строением. Активизация при техногенном нарушении природных условий таких процессов, как термоэрозия, термокарст, солифлюкция, дефляция и других, неизбежно влияет на эксплуатационную надежность отсыпок автодорог.

Опыт строительства насыпных сооружений на месторождении показал, что в процессе их возведения, а также в период эксплуатации и консервации происходят потери значительных объемов отсыпанного грунта. Величина этих потерь в ряде случаев превышает 10—12 %. Основными факторами, вызывающими деформирование, разрушение и потери объемов насыпей, являются следующие:

- поверхностная ветровая и водная эрозия;
- абразия на участках подтопления;
- осадка грунтов основания насыпи.

Все факторы, вызывающие разрушение и потери объема насыпей, следует разделить на общие и локальные. Факторы общие действуют повсеместно, при этом их относительный вклад в ряде случаев незначителен. Однако вследствие повсеместного распространения их суммарное воздействие на потери относительно всей произведенной отсыпки превосходит значение локальных факторов, которые воздействуют очень интенсивно, однако на ограниченных участках. К общим факторам относятся поверхностная ветровая и водная эрозия, к факторам частным — осадка грунтов основания насыпей и «абразионное» (в ряде случаев — термокарстово-абразионное) разрушение на участках подтопления.

РАЗРУШЕНИЕ НАСЫПЕЙ ЭРОЗИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

В комплексе эрозионных процессов следует разделять процесс ветровой эрозии, процесс плоскостного (делювиального) смыва и процесс ручейковой эрозии (пролювиальный процесс). Вклад их в общий объем потерь грунта оценить сложно, т.к. натурные наблюдения за интенсивностью развития процессов не проводились, либо проводились не вполне корректно. В ряде случаев поддающиеся измерению и анализу величины потери объемов насыпей определяются комплексом эрозионных процессов и разделить их на составляющие не представляется возможным. Для решения поставленной задачи необходимо проведение дополнительных более детальных исследований.

Для развития эрозионного процесса необходимо сочетание четырех факторов:

- наличие легкоразмываемых грунтов;
- слабые фильтрационные свойства грунтов, не позволяющие воде дренировать через тело насыпей;
- некачественная планировка поверхности, обуславливающая локализацию поверхностного стока;

— достаточно большая площадь водосбора.

Безусловно, в условиях Бованенковского ГКМ решающую роль играют первые три фактора, поскольку даже те незначительные объемы воды, которые попадают в виде атмосферных осадков на поверхность насыпных сооружений при невозможности инфильтрации в тело насыпей и наличия локальных понижений и полос стока (колеи, бровки по обочинам и т.д.), вызывают значительную эрозию слабо уплотненных дисперсных пылеватых грунтов.

Пылеватые и мелкие пески, из которых возводятся насыпные сооружения Бованенковского ГКМ, характеризуются крайне слабой связностью во влажном, и особенно в сухом состоянии, что и определяет их слабую сопротивляемость воздействию эрозионных процессов. Пески отличаются способностью переходить в плавунное состояние, водопроницаемость их незначительна. Как дренарующий слой эти грунты использовать нельзя.

ПЛОСКОСТНОЙ СМЫВ И ВЕТРОВОЙ РАЗДУВ НАСЫПЕЙ

Интенсивность плоскостного смыва и эолового раздува насыпного грунта оценить сложнее всего. Предпринятая попытка оценить вклад этих процессов на основании изменения конфигурации насыпи обоснованных результатов не дала. Процессы плоскостного смыва грунта и эолового раздува, несомненно, дают свой вклад в изменение конфигурации поперечного профиля насыпей, однако наряду с ними в этом процессе участвует и «расплывание» тиксотропных грунтов насыпного слоя при приложении динамических нагрузок [1]. Скорость развития процессов будет сильно варьировать в зависимости от геоморфологической приуроченности, интенсивности эксплуатации конкретного участка дороги, степени уплотнения грунтов приповерхностного слоя. Однако в любом случае их вклад в общий объем потерь будет иметь подчиненное значение. Кроме того, воздействие указанных процессов не всегда будет приводить к потерям объемов. В ряде случаев перенос материала происходит на незначительные расстояния и грунты насыпного слоя при переносе формируют новые, более пологие откосы насыпей в пределах тех же автодорог.

Оценить объемы потерь насыпного грунта за счет плоскостного смыва и эолового раздува на настоящем этапе выполнения работ удалось только на основании балансовых расчетов для ограниченного числа участков автодорог. В зависимости

от возраста насыпей, объем потерь насыпного грунта за счет этих процессов изменяется от 5—8 % от суммарного объема отсыпанного грунта у хорошо уплотненных, но и интенсивно эксплуатирующихся насыпей 5—6-летнего возраста (автодорога «Промбаза ГП-1 ÷ ГП-2») до величин менее 1 % у практически не эксплуатирующихся насыпей возрастом в 2 года (автодорога «Промбаза ПГ-1 ÷ ГП-1»).

РУЧЕЙКОВАЯ ЭРОЗИЯ НАСЫПЕЙ

Отдельно должна быть рассмотрена ручейковая эрозия, т.к. наиболее разрушителен для насыпей сосредоточенный сток воды, который, в отличие от плоскостного смыва и раздува, помимо потерь объема насыпи, приводит к значительному ухудшению эксплуатационных характеристик автодорог.

Процесс эрозии развит по протяженности трасс автомобильных дорог очень неравномерно. Интенсивность его развития определяется следующими основными факторами: составом и степенью уплотнения приповерхностного слоя насыпного грунта, площадью водосбора, уклонами поверхности, ее планировкой. Результаты аэровидеосъемки и разработанная на ее основе схема районирования дорожного полотна по степени пораженности эрозионным процессом свидетельствуют, что деформация насыпей эрозионным процессом крайне неравномерная и коэффициент пораженности эрозионным процессом изменяется от 0 до 0,5 (т.е. до 50 % площади насыпи поражено эрозионными промоинами).

Оценка объемов потерь насыпного грунта за счет ручейковой эрозии производилась на основе обработки аэровидеосъемки, по которым подсчитывались количество и размеры в плане эрозионных промоин, и результатах полевых исследований, в процессе которых размеры промоин на ключевых участках были изучены на местности. Попытка найти корреляционные зависимости между коэффициентом пораженности процессом ручейковой эрозии и соответствующими им потерями объемов насыпного грунта успехом не увенчалась вследствие большой изменчивости глубины эрозионных размывов. Тем не менее выполненные подсчеты показали, что при максимальных размерах эрозионных размывов и коэффициенте пораженности линейной эрозией 0,5 объемы потерь насыпного грунта за счет ручейковой эрозии не превышают 3—5 % от объема насыпи. Таким образом, основное неблагоприятное воздействие ручейковой

эрозии направлено на снижение эксплуатационной пригодности насыпных сооружений; связанные с ней потери объемов насыпного грунта находятся в подчиненном положении.

Выполненные исследования продемонстрировали наличие зависимости степени уплотнения грунтов насыпного слоя и степени пораженности насыпей эрозионным процессом. Наименьшее развитие эрозионных процессов характерно для насыпей, в которых грунты подверглись значительному уплотнению. Минимальными эрозионными нарушениями характеризуются автодороги «ГП-2 ÷ ГКС», подъездная автодорога к карьере № 3, «Промбаза ГП-1 ÷ ГП-2», где по результатам выполненного опробования грунтов насыпного слоя зафиксированы максимальные плотности скелета грунта в приповерхностной части разреза до 1,86 г/см³, что соответствует коэффициенту уплотнения порядка 1,15. При этом эрозионного разрушения уплотненной рабочей части дорожного полотна практически не наблюдается. При плотностях скелета меньше 1,65—1,7 г/см³ наблюдается интенсивное эрозионное разрушение насыпного слоя, усиливающееся на участках плохой планировки насыпей.

Есть основания утверждать, что существуют «пороговые» значения плотности скелета грунтов насыпного слоя, после достижения которых интенсивность эрозионного разрушения грунтов насыпного слоя резко снижается. Величина этой плотности, в зависимости от состава грунтов, будет изменяться в диапазоне 1,75—1,9 г/см³. Для уточнения значений «пороговых» плотностей грунтов с различным гранулометрическим составом из разных карьеров БГКМ необходимо провести специальные экспериментальные работы.

Планировка насыпей имеет большое, а в ряде случаев — решающее значение по своему вкладу в интенсивность развития процесса ручейковой эрозии. К основным видам нарушений планировки поверхности насыпей, усиливающих развитие процесса ручейковой эрозии относятся:

- линейные понижения (колеи), ориентированные вдоль насыпи;
- грунтовые бровки по краям рабочей части полотна;
- увеличение уклонов поверхности рабочей части полотна по отношению к проектным;
- формирование обратных уклонов поверхности рабочей части полотна;
- увеличение уклонов обочин насыпей по сравнению с проектными;

— линейные понижения (колеи), ориентированные поперек насыпей.

Следует добавить к этому, что на увеличение интенсивности ручейковой эрозии опосредованно влияет процесс термокарстово-абразионного разрушения насыпей на участках подтопления. Там, где происходит интенсивное абразионное разрушение обочин насыпей, откосы становятся значительно круче вплоть до вертикальных, что в свою очередь вызывает увеличение скорости движения водного потока и, как следствие — увеличение интенсивности эрозионного процесса. В ряде случаев абразионное разрушение обочин дорожного полотна увеличивает в большей степени не количество промоин и их протяженность, а глубину эрозионного размыва.



Рис. 1. Автодорога «Промбаза ГП-1 — ГП-2». Абразионное разрушение насыпи на участке постоянного подтопления в пределах хасырея и формирование выположенного откоса.

ТЕРМОКАРСТОВО-АБРАЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ НАСЫПЕЙ

Материалы исследований продемонстрировали, что наиболее интенсивным локальным фактором является термокарстово-абразионное разрушение насыпей. Потери грунта на участках сезонного и постоянного подтопления за счет абразии оценены от 7—10 до 25 % от отсыпанного объема. Механизм разрушения насыпей на подтопленных участках сложный и получил рабочее название термокарстово-абразионного. Фактически в термокарстово-абразионном процессе участвуют три составляющих.

Первой из них является сплывание переувлажненного талого или оттаивающего грунта с очень слабыми структурными связями по откосу насыпи на участках, находящихся ниже уровня подтопления, с формированием угла откоса под водой, характерного для данных типов грунтов (не более 25—30°). При наличии даже слабой волновой деятельности этот угол значительно снижается (рис. 1, 2).

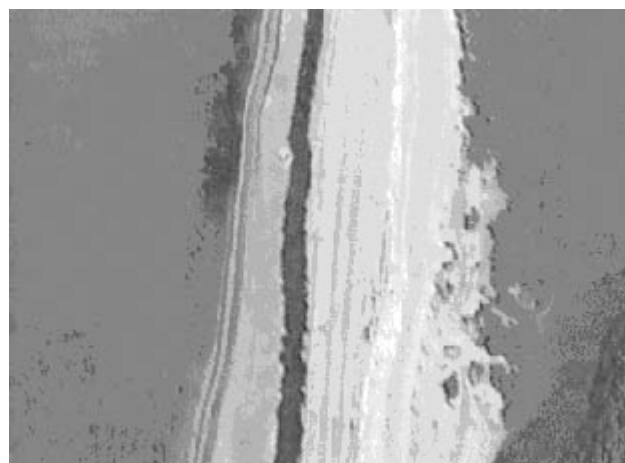


Рис. 2. Автодорога «Промбаза ГП-1 ÷ СГАТ». Абразионное разрушение насыпи на участке постоянного подтопления в пределах высокой поймы р. Се-Яха и формирование выположенного откоса.

Вторым является абразионное разрушение грунтов волновой деятельностью. Несмотря на очень незначительную высоту (не более 20 см) и, соответственно, энергию волн, при условии практически полного отсутствия структурных связей в грунте даже очень слабая волновая деятельность приводит к значительным величинам абразионного разрушения.

Третьей составляющей процесса разрушения является формирование термокарстовых просадок в зоне, непосредственно примыкающей к дорожному полотну и частично под его обочиной (рис. 3.)



Рис. 3. Автодорога Промбаза ГП-1 — ГП-1. Откосы подвержены термокарстово-абразионным процессам. На локальном участке насыпь частично сплыла в термокарстовое понижение.

Как показали результаты прогнозных теплотехнических расчетов, водный покров в условиях Бованенковского месторождения при средней глубине 0,55 м и среднезимней мощности снега 0,3 м приводит к переходу среднегодовой температуры поверхности грунта через 0°C в положительную область, что вызывает многолетнее оттаивание ММП (аналогичные результаты были получены исследователями Института геокриологии РАЕН). Таким образом, на участках подтопления, где в ряде мест вследствие перехвата насыпным сооружением поверхностного стока формируются озера значительных размеров (шириной до первых сотен метров), в зависимости от глубины водоема, его линейных размеров, времени существования, мощности формирующегося в зимний период снежного покрова, состава и льдистости грунтов, образуются термокарстовые просадки различных размеров в плане и различной интенсивности. Просадка поверхности вблизи насыпи и непосредственно под ее краем приводит к оседанию грунта целыми блоками (рис. 4.) от края насыпи и их сплыванию по наклонной поверхности раздела мерзлых и талых грунтов, так что в термокарстово-абразионном процессе разрушения задействован и механизм солифлюкционного перемещения грунтов. Масштабы термокарстовых просадок, а соответственно, и разрушения насыпи, возрастают с увеличением

льдистости приповерхностного горизонта ММП, мощности и времени существования водного покрова и мощности снега в зимний период.

На участках распространения в приповерхностных слоях инженерно-геологического разреза высокольдистых грунтов, пластовых и других залежеобразующих льдов, где возможно развитие прогрессирующего термокарста в условиях постоянного подтопления, с учетом повышенного снегонакопления в непосредственной близости от насыпей, прогрессивно может развиваться и термокарстово-абразионный процесс разрушения, поэтому сочетание высокольдистых грунтов в основании насыпи и подтопления следует считать наиболее неблагоприятным фактором для строительства автодорог и других насыпных сооружений.

На некоторых участках, приуроченных, как правило, к старицам и протокам в пределах поймы р. Се-Яха, ручьям и полосам стока в пределах поймы и склонов морских террас, периодически, но на одних и тех же участках происходят катастрофические разрушения дорожного полотна в период паводка, приуроченного к активному снеготаянию вследствие отсутствия нормально обустроенных водо-пропусков. При этом в ряде случаев происходит полное разрушение дорожного полотна на отрезках, протяженностью от первых десятков до сотен метров.

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы. Комплекс экзогенных процессов, обусловленных как объективными природными явлениями, так и различными субъективными факторами (главным образом — проектированием, технологией и качеством строительства) на различных участках, приводит к потерям грунта насыпей в размере от 15—20 до 40 % от первоначально отсыпанных объемов.

Термокарстово-абразионный механизм разрушения насыпей, приводящий к потерям объемов насыпей на отдельных участках до 25 % за период в 5—6 лет, вызван как объективными условиями (слабой дренированностью площади строительства, относительно высокими паводками), так и субъективными: не запроектированы, а на ряде участков запроектированы, но не построены водо-пропускные сооружения, обеспечивающие проход паводковых вод и сток в меженный период, не выполнено предусмотренное проектами укрепление откосов насыпей на участках подтопления, в некоторых случаях не очень удачно проложены трассы автодорог.

Потери объемов грунта, вызванные всеми видами эрозии, имеют подчиненное значение в общем балансе потерь. При этом ручейковая эрозия, несмотря на относительно небольшие потери объемов насыпей, ею вызванные, в значительной мере ухудшает эксплуатационные характеристики дорожного полотна, затрудняя движение автотранспорта.

Пораженность насыпей процессом ручейковой эрозии крайне неравномерная и определяется прежде всего степенью уплотнения грунтов насыпного слоя и планировкой поверхности. Существуют «пороговые» величины уплотнения грунтов насыпей, после достижения которых подверженность насыпей воздействию эрозионных процессов резко снижается. На некоторых участках, где такая степень уплотнения достигнута, развития процесса ручейковой эрозии практически не отмечается.

Интенсивное развитие абразионного (термокарстово-абразионного) процесса приурочено к участкам периодического и постоянного подтопления. Пораженность дорожного полотна процессом абразии крайне неравномерная. Коэффициент пораженности насыпей абразионными процессами изменяются от 0 до 1 (т.е. на некоторых участках дорожные насыпи полностью уничтожены абразионным процессом). Интенсивность развития денудационных процессов определяется качеством возведения насыпей, качеством планировки поверхности, геоморфологической приуроченностью и гидрологическими условиями, степенью уплотнения грунтов, которая в свою очередь в значительной степени определяется интенсивностью движения автомобильного транспорта.

Наибольшей пораженностью абразионным (термокарстово-абразионным) процессом характеризуются участки дорог, проходящие по пойме, заливаемой в период весеннего паводка с одной или двух сторон. В таких местах основную роль в разрушении дорожного полотна играет абразионный (термокарстово-абразионный) процесс; коэффициент пораженности возрастает здесь до 0,2—0,3, а иногда до 0,6 и 1,0.

Комплекс экзогенных процессов, обусловленных как объективными природными факторами, так и различными субъективными факторами (осадка грунтов при оттаивании, вторичная консолидация, осадка грунтов основания, абразионное разрушение, водная и ветровая эрозия) на различ-

ных участках, приводит к потерям грунта насыпей в размере от 15—20 до 40 % от первоначально отсыпанных объемов. На отдельных участках насыпи разрушены полностью.

Наиболее значительным из факторов, вызывающих потери объема насыпного грунта, являются потери, вызванные осадкой насыпей при первичной консолидации грунтов (осадки при оттаивании). Следующими по значимости, уже факторами локального действия, являются термокарстово-абразионный механизм разрушения на участках подтопления и осадка грунтов оснований насыпей.

Потери объемов грунта, вызванные всеми видами эрозии, имеют подчиненное значение в общем балансе потерь.

Подтопление, вызванное перехватом поверхностного стока насыпями автодорог, приводит к развитию многолетнего оттаивания и, как следствие — к термокарсту. Развитие термокарстового процесса в непосредственной близости и под краем насыпи вызывает развитие таких неблагоприятных инженерно-геологических процессов, как образование понижений рельефа и термокарстовых озер, непосредственно примыкающих к насыпям, прогрессирующему развитию термокарстово-абразионного процесса разрушения насыпей.

Таким образом, на крайнем севере Западной Сибири во время строительства автодорог происходят существенные изменения некоторых природных экзогенных процессов и развиваются явления, не характерные для данного региона. Наиболее интенсивно автодорожные насыпи деформируются и разрушаются под действием ветровой и водной эрозии, а также просадочных явлений. Кроме того, сооружение насыпей приводит к возникновению подтоплений в виде озер различного масштаба. На участках подтопления самым интенсивным фактором разрушения является термокарстовая абразия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баулин В.В. Геокриологические условия Харасвайского и Крузенштерновского газоконденсатных месторождений (полуостров Ямал) / Баулин В.В., Дубиков Г.И., Аксенов В.И. и др. М, ГЕОС, 2003. — 180 с.
2. Основы геокриологии. Ч. 4. Динамическая геокриология / Под редакцией Э.Д. Ершова. М, Изд-во МГУ, 2001. — 688 с.

Поступила в редакцию 14.12.06 г.