

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 55:57(069)

В.В. ПЕНДИН, С.Д. ГАНОВА

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА УГЛЕВОДОРОДОВ
НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Рассмотрены особенности влияния объектов транспорта углеводородов на состояние окружающей среды (ОС) в северных районах России, где природные условия наиболее сложные и природные комплексы весьма уязвимы, и причины возникновения негативного воздействия на ОС.

В последние 20—25 лет нефтегазоразработка развивается в северных, арктических и восточных районах страны. В настоящее время в России существуют четыре месторождения-гиганта: Уренгойское, Ямбургское, Медвежье и Заполярное и находящиеся недалеко от них сравнительно небольшие месторождения-саттелиты. В 2002 г. открыты Средне-Надымское, Южно-Песцовое, Чугорьяхинское и Ленское месторождения в Ямало-Ненецком автономном округе [3]. ОАО «Газпром» планирует обеспечивать ежегодную добычу газа на уровне 530 млрд. м³. Задачи поддержания необходимых уровней добычи газа до 2010 г. будут решаться в основном за счет Заполярного месторождения. В перспективе будут разрабатываться месторождения п-ова Ямал и шельфа прилегающих акваторий.

Транспорт углеводородов — наиболее капиталоемкое и потенциально опасное производство для ОС. Практически на всех стадиях освоения нефтегазовых месторождений происходит воздействие на грунтовые толщи, недра, рельеф, поверхностные и подземные воды, почвенно-растительный покров, животный мир, атмосферный воздух. Изменяются условия снегонакопления, ландшафта и экосистем, отмечается негативное влияние на здоровье как работников нефтегазодобывающих предприятий, так и жителей ближайших населенных пунктов. Из общей массы углеводородов, которые попадают в ОС, около 75% поступают в атмосферу, 20% — в воду, 5% — в почву.

Нарушения подразделяются на точечные, линейные, линейно-площадные и площадные.

К точечным относятся нарушения, площадью которых можно пренебречь, так как они малы по

сравнению с глубиной проникновения в мерзлые грунты. Например, опоры трубопроводов при надземной прокладке.

Линейные — нарушения, шириной которых можно пренебречь, так как она мала по сравнению с протяженностью нарушения: дороги, трубопроводы и т. д.

Линейно-площадные — линейные нарушения, шириной которых нельзя пренебречь, так как она сопоставима с площадью развития таких криогенных процессов, как солифлюкция и термокарст: трассы линейных сооружений, временные дороги и коридоры прокладки нескольких ниток трубопроводов. Ширина линейно-площадных нарушений от 30 м до нескольких километров.

К площадным относятся нарушения, охватывающие значительные изометрические участки, сопоставимые с площадью развития наиболее опасных процессов (термокарст, солифлюкция, термоэрозия). Размеры площадных нарушений изменяются от 30×30 м до нескольких квадратных километров [7].

Установлено, что нарушения природных условий по времени воздействия подразделяются на постоянные (регулярные) и временные.

Регулярное нарушение заключается в постоянном уничтожении растительного покрова, разовой срезке верхней почвогрунтовой толщи до глубин 0,3—0,5, реже 1—1,5 м, а также в создании песчаных подушек, подсыпок и устройстве различного вида покрытий.

Временные (разовые, импульсные) нарушения приводят к уничтожению растительного и частично почвенного покровов, а затем последующего их

восстановления, как бы естественной регенерации природного комплекса. Отмечаются следующие подтипы разовых нарушений: частичное нарушение растительного покрова в результате проезда гусеничного транспорта; значительное или полное уничтожение растительного покрова, торфянистого горизонта и микрорельефа при строительстве различных сооружений и многоразовом проезде; гари.

Целостность растительного покрова нарушается на первых этапах строительства — при проведении планировочных работ, прокладке дорог и трубопроводов. Степень изменения растительного покрова можно оценить по характеру его механического уничтожения, неизбежному изменению видового состава исходных растительных ассоциаций, свойственных природным ландшафтам.

На некоторых участках наблюдается практически полное уничтожение растительного покрова, в первую очередь мохового, выполняющего функцию естественного теплоизолятора. Теплоизолирующее свойство растительного покрова обуславливается в летнее время ослаблением солнечной радиации, повышением транспирации и испарения влаги, в зимнее время — уменьшением инфильтрации и формированием снежного покрова. Таким образом, нарушение растительного покрова или его уничтожение приводит к тому, что в летний период увеличивается количество тепла, поступающего в грунт, что в свою очередь вызывает изменение температурного режима и глубин сезонного оттаивания грунтов и является причиной развития опасных геокриологических процессов. Ослабление почвенно-растительного покрова приводит к увеличению глубин сезонного оттаивания и обводнению сезонно-талого слоя, что вызывает, особенно на склоновых участках, активизацию солифлюкции, термоэрозии, оползневых процессов, оврагообразования, и изменяет растительность тундры в значительной степени. Причем характер последствий в значительной мере определяется температурой, структурой и влажностью грунта.

В начальный период развития или активизация криогенных процессов проявляется в нарушении динамики сезонного промерзания и протаивания, изменении температуры и водного режима мерзлых пород. Глубина протаивания многолетнемерзлых грунтов (ММГ) после уничтожения растительного покрова увеличивается в 1,5—3 раза, особенно на участках мелкодисперсных пылеватых суглинков и супесей. Главную опасность представляет нарушение растительного покрова на участках, сложенных пылевато-суглинистыми грунтами, включающими полигонально-жильные льды.

При удалении растительности на застраиваемых участках одновременно практически полностью снимается маломощный почвенный горизонт, что затрудняет, а иногда делает практически невозможным естественное восстановление растительности. Кроме уничтожения мохового покрова наблюдается угнетение и частичное отмирание древесного яруса. Как установлено в [9], сильное воздействие гусеничного транспорта губительно для

растительных сообществ тундры и лесотундры. Восстановление их в прежнем виде весьма медленно. Например, сроки восстановления редколесий составляют 80—100 лет.

Температура мерзлых пород зависит от литологического состава и их положения в рельефе. Максимальные отрицательные значения соответствуют межрядовым понижениям с развитыми в них торфяниками и достигают -4°C , минимальные отвечают грядам, покрытым лиственничными рединами. Сквозные талики приурочены к незаторфованным понижениям в рельефе, заросшим лиственнично-березовыми рединами. Сезоннотальный слой (СТС) представлен покровными суглинками с торфом. Глубина СТС для торфа не превышает 0,6 м, для суглинка увеличивается до 1,6 м. ММГ, слагающие основания газопроводов, как правило, льдистые и сильнольдистые, обладают просадочностью при оттаивании.

Один из главных факторов, определяющих динамику среднегодовой температуры грунтов, — изменение толщины снежного покрова. Наименее устойчивы к влиянию такого фактора участки маломощного снежного покрова. Например, на территории Заполярного газонефтеконденсатного месторождения при мощности снежного покрова 0,1—0,2 м ее увеличение на 0,1 м приводит к повышению среднегодовой температуры пород на $1,0-1,2^{\circ}\text{C}$, $1,0-1,2$ м на $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$.

Часто отложения снега повышенной мощности формируются на участках, прилегающих к насыпям промышленных площадок, дорог, трассам трубопроводов и т. п. Наблюдениями ПНИИИС, Фундаментпроект, НТЦ ООО «Надымгазпроом» и др. [2, 3, 9] на объектах Бованенковского, Уренгойского, Заполярного, и Медвежьего месторождений, установлено, что на участках застройки с расстоянием между зданиями более 15 м у сооружений возникают снежные надувы высотой 1,2—2,0 м. Между зданиями высота снега не превышает 0,1—0,5 м. В условиях плотной застройки, когда расстояния между сооружениями составляют 1—10 м, высота снежного покрова существенно увеличивается, достигая на открытых участках 2,0 м. Среднезимнее термическое сопротивление снежного покрова мощностью от 0,2 до 2,0 м составляет $0,08-3,0 \text{ м}^2 \cdot \text{град. С/Вт}$. Снегозаносы и основные сугробы препятствуя ежегодному понижению температур грунтов в зимнее время, способствуют увеличению глубин сезонного оттаивания, уменьшению сил смерзания по боковым поверхностям сооружений и увеличению касательных сил пучения, действующих на сооружения. Это приводит к снижению несущей способности оснований, а также к вероятности развития деформаций, обусловленных процессами термокарста и морозного пучения и к возможному переувлажнению участков с повышенным снегонакоплением. Загрязняющие атмосферу вещества, образовавшиеся в результате аварий или сжигания попутного газа, задерживают ультрафиолетовую радиацию, снижают отражательную способность поверхности снега зимой. В результате на загрязненных участ-

ках снег сходит раньше, что приводит к термокарстовым явлениям и перераспределению водорастворимых солей между СТС и оттаявшим грунтом, т. е. к нарушению естественного геохимического фона.

Показатели интенсивности энергообмена над кровлей мерзлой толщи и в ее верхних горизонтах до глубины 20 м — геокриологические процессы и формы их проявления. Естественные изменения на верхней границе, как правило, растянуты во времени и не приводят к быстрому нарушению стационарного состояния всего инженерно-геокриологического массива. Фактор антропогенного воздействия существенно усиливает энергообмен внутри природно-технических систем, что выводит многолетние породы (ММП) из динамического равновесия. Следствие — активизация геокриологических процессов или их новообразования. Степень активизации зависит от тепловой инерции мерзлых толщ, их состава и криогенного строения, особенностей ландшафтной обстановки и характера техногенных воздействий.

Они проявляются прежде всего в нарушении условий теплообмена на поверхности почвы и в массиве пород. В связи с этим при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов на ММГ необходимо в первую очередь учитывать температуру перекачиваемого продукта, так как его температура и свойства ММГ во многом определяют размеры зоны протаивания грунта и ее динамику.

Газ транспортируется как с положительной, так и с отрицательной температурой, что формирует в окружающем грунте различные ореолы оттаивания и промерзания. Для количественной оценки размеров промерзания и оттаивания и времени их существования выполняется математическое моделирование методом конечных разностей по программе HEAT [6].

Среднегодовые температуры на разных промыслах изменяются в широком диапазоне изменения температуры газа во времени, и по промыслам требуется типизация тепловых режимов взаимодействия трубопроводов с вмещающими грунтами. В ее основу положено соотношение среднегодовой ($T_{\text{ср}}$), минимальной ($T_{\text{мин}}$) и максимальной ($T_{\text{макс}}$) температуры газа [1].

В связи с этим выделены четыре тепловых режима:

1. *Отрицательный режим* ($T_{\text{ср}} < 0, T_{\text{макс}} < 0$). На ММГ сокращается мощность СТС над трубопроводом вплоть до полного исчезновения, оттаивания ММГ вокруг трубы не происходит. На талых грунтах будут формироваться многолетние ореолы промерзания. При отрицательном режиме наблюдается наименее динамичная картина теплового взаимодействия газопроводов с ММГ: отмечается только сезонное оттаивание грунта с дневной поверхности и не происходит оттаивания под нижней и околобоковой поверхности газопровода. Хотя в отдельные годы над газопроводом к концу лета может оставаться слой мерзлого грунта, а под газопроводом формироваться маломощный ореол оттаивания, быстро промерзающий с началом зимы,

поскольку промерзание при отрицательном режиме происходит как с поверхности, так и со стороны газопровода. В результате такие ореолы оттаивания не должны приводить к негативным последствиям. При соблюдении технологии транспорта газа практически исключается развитие таких процессов, как термокарст, пучение, заболачивание и др. Но даже при соблюдении технологии в таких условиях могут развиваться процессы криогенного растрескивания грунтов, термоэрозии, солифлюкции и некоторые другие.

2. *Холодный режим* ($T_{\text{ср}} < 0, T_{\text{макс}} > 0$). На ММГ многолетнее оттаивание исключается, однако в теплое время года вокруг трубы будут формироваться сезонные ореолы оттаивания, а на талых грунтах — ореолы многолетнего промерзания, частично оттаивающие в теплый период года. При таком режиме наблюдается выпучивание газопроводов за счет промерзания сезонных ореолов оттаивания. На склонах, сложенных легко размываемыми грунтами, возникают суффозионные воронки, диаметр которых может достигать 10 м, а глубина — 4 м. Все эти негативные криогенные процессы вызывают неравномерные деформации газопроводов.

3. *Теплый режим* ($T_{\text{ср}} > 0, T_{\text{мин}} < 0$). На вечномерзлых грунтах на фоне многолетних ореолов оттаивания происходит частичное сезонное промерзание. Сезонные ореолы промерзания будут образовываться и на талых грунтах. При теплом режиме транспортируемого газа на участках с полигонально-жильными льдами интенсивно развивается термокарст. На склонах, сложенных легко размываемыми породами, активизируется термоэрозия, приводящая к формированию оврагов, скорость образования которых достигает 20 м в год и более. На ровных поверхностях заболачивается территория; многолетние ореолы оттаивания провоцируют всплытие газопроводов. В зимние месяцы формируются замкнутые зоны промерзающих сверху, сбоку и снизу талых грунтов. Если грунты водонасыщены и пучиноопасны, установлено их интенсивное морозное пучение, следовательно, происходит выпучивание газопроводов.

4. *Положительный режим* ($T_{\text{ср}} > 0, T_{\text{мин}} > 0$). На ММГ образуются многолетние ореолы оттаивания. На талых грунтах сокращается мощность сезонно-мерзлого слоя (СМС) над трубой и возможно его полное исчезновение. Положительный режим наиболее опасен. Положительная температура характерна для магистральных нефтепроводов и «горячих» участков газопроводов. Диапазон колебаний температуры по длине таких трубопроводов достигает 50°C. Взаимодействие столь мощного источника тепла с окружающими ММГ приводит к резким изменениям теплового и водного режимов, мощности деятельного слоя, теплофизических свойств, активизации просадочных явлений. Как правило, в первоначальный момент эксплуатации трубопровода фронт протаивания перемещается быстро вниз и в стороны от трубы. Однако по мере удаления границы протаивания от трубы скорость продвижения уменьшается. В дальнейшем вследствие оседания трубопровода наблюдается преиму-

шественно вертикальное перемещение нулевой изотермы. Это приводит к неравномерным осадкам и деформациям трубы, а также к скоплению воды и разжижению грунта под трубой, стекание которых неизбежно при наличии даже самых незначительных уклонов. Последующее оседание трубопровода способствует таянию новых масс льда и грунта и скоплению их в понижениях. В результате трубопровод на пониженных участках может приобрести положительную плавучесть и всплыть.

Таким образом, нарушение устойчивости ММП при эксплуатации магистральных трубопроводов обуславливается наличием перепада температур перекачиваемых по трубопроводу продуктов и окружающих грунтов. В конечном итоге подобные нарушения ухудшают условия эксплуатации трубопроводов и снижают их эксплуатационную надежность [2, 9].

Анализ развития экзогенных геологических процессов на исследуемых территориях показал, что до прокладки трубопроводов были развиты заболоченность, сезонное и многолетнее пучение, донная и боковая эрозия рек и ручьев, термоэрозия. При строительстве и прокладке трубопроводов такие процессы активизируются. Кроме того, развиваются солифлюкция, криогенное растрескивание грунтов и др.

Деграция ММП выражается в повышении температуры, образовании таликов и изменении структуры и свойств грунтов, увеличении мощности СТС и обводненности пород, оседании дневной поверхности. Осадка пород при оттаивании вызвана уменьшением льдистости ММП, в том числе и искусственной засыпки, сооружаемой в зимнее время. Так, вдоль трассы газопровода-коллектора «Медвежье» величина осадки грунта при оттаивании на участках торфяников с высокой льдистостью изменяется от 2 до 4 м [7]. Процесс сопровождается уплотнением оттаявших пород и отжатием из них воды: по обе стороны трубы образуются трещины отрыва в грунтах обваловки или по контуру траншей, преимущественно заполненных водой; оседает дневная поверхность; расширяются контуры траншеи и частично обнажается труба. На участках, где наблюдается хотя бы незначительный уклон поверхности, расширяются и углубляются трещины за счет эрозионной деятельности аккумулятивной в них воды. Образование продольных эрозионных борозд связано, по-видимому, также с механическим разуплотнением пород и заменой их части в контуре траншеи разуплотненным материалом, размыв которого идет в первую очередь. На повышенных участках территории такие борозды, как правило, осушены, а в местах развития болот обводнены. На более или менее крутых склонах борозды, углубляясь, сливаются под трубой, полностью обнажая ее.

Под влиянием преимущественно линейного движения водных масс (стока) закономерно изменяется рельеф в полосе земельного отвода газопровода.

Несмотря на то, что в районах распространения многолетнемерзлых пород термоэрозия является естественным процессом, большинство эрозионных форм (>95%) находятся в стабильном состоянии. Лишь в экстремальные годы (при высоких летних температурах и значительных годовых осадках) эрозия возобновляется на короткое время. При техногенном воздействии термоэрозия связана с процессами растепления грунтов и повсеместно дополняется разнообразными склоновыми процессами. Иногда формы линейной эрозии достигают угрожающих размеров. Например, на территории коллектора Медвежье—Пангоды (борт долины р. Ныда-Хадыта) длина наблюдаемой эрозионной формы достигает 150 м, глубина — 5 м [3].

Наряду с линейным эрозионным размывом, направленном вдоль трубопроводов, отмечаются боковая и донная эрозия вновь образовавшихся ручьев и процесс оврагообразования на склонах существующих водотоков.

Проявление процесса заболачивания — наличие заросших аэрогидрофитами и мхом луж, болот на пониженных выровненных или слабо наклонных поверхностях с естественными границами. Процесс обусловлен плоским рельефом, относительно малой расчлененностью, наличием на небольшой глубине естественного водоупора в виде кровля ММП, а также избыточным увлажнением. При прокладке трубопроводов лесная растительность вдоль трассы вырубается, нарушается поверхностный покров, что приводит к весьма активной деграции ММП. На достаточно расчлененных участках в естественных, ранее сухих, понижениях скапливается вода, что при наличии глинистых грунтов приводит к заболачиванию территории. В основном процессы заболачивания связаны с отепляющим влиянием трубы, нарушением растительного покрова, наличием мощной дрены в виде траншеи с трубой, где скапливается вода при оттаивании ММП и атмосферные осадки.

На плоских поверхностях пойм и террас в пределах нарушенных участков происходит обводнение осваиваемых территорий. Обводнение — результат нарушения естественной дренируемости поверхности, следствие уничтожения растительного слоя и формирования термокарстовых понижений. Изменение условий естественной дренируемости природных ландшафтов — распространенное явление в районах Крайнего Севера, приводящее к значительному урону. В качестве примера можно привести линейные сооружения Заполярного газонефтеконденсатного месторождения [3]. Насыпи этих сооружений из-за недостаточно проработанных мероприятий по восстановлению дренажа на многих участках стали причиной подтопления прилегающих территорий. Площадь поверхности отдельных новообразованных водоемов изменяется от нескольких сотен до нескольких тысяч квадратных метров при глубинах до 0,8 м. Этот факт неблагоприятно сказывается как на функционировании трубопроводов и автодорог, разрушаемых в периоды снеготаяния и интенсивных дождей, так и на прокладываемых вдоль дорог линиях

электропередач и эстакад коммуникаций, подвергающихся деформациям за счет активизации процессов пучения и термокарста.

Подпруживание площадными насыпями вод с местных водосборов образует водоемы, которые существуют на протяжении всего теплого периода вплоть до момента их полного промерзания. Их частичная разгрузка осуществляется путем фильтрации сквозь тело насыпи сооружений. Наличие в насыпи таких фильтрационных потоков увеличивает срок промерзания сезонного слоя, тем самым значительно уменьшая период зимнего охлаждения пород в основании. В течение летнего периода толщина фильтрующего слоя, находящегося в состоянии полного водонасыщения может значительно измениться, возрастая в периоды интенсивного питания талыми или дождевыми водами. При динамическом воздействии на таких участках он разуплотняется, что делает практически невозможной эксплуатацию насыпи на протяжении длительных отрезков времени.

На участках, где происходит высачивание фильтрующихся вод из насыпи, обычно отмечается разрушение ее откосов. Впоследствии здесь начинаются процессы эрозии насыпного слоя. При интенсивно протекающем процессе разрушения насыпи могут образовываться эрозионные промоины длиной в несколько десятков метров и шириной до 10 м. Выносимый из насыпи материал формируется в виде конуса в устье промоины. Размеры конусов в плане при этом достигают 100 м. Вымываемый материал в процессе аккумуляции изменяет условия на поверхности участка таким образом, что при наличии в разрезе льдистых грунтов в сочетании с условиями повышенного снегонакопления вблизи насыпи способствует активизации термокарста и дополнительному обводнению поверхности.

С процессом сезонного пучения грунтов связано наличие пятен-медальонов, мелкобугристого рельефа и бугров пучения.

В пределах низменных болот и хасыреев встречаются сезонные бугры пучения высотой до 1,0 м. Процессы многолетнего пучения приводят к возникновению сегрегационных минеральных и торфяно-минеральных бугров, а также выпукло- и крупно-бугристых торфяников. Преобладают сегрегационные бугры пучения высотой 2—5, реже 8—10 м.

Развитие сезонного и многолетнего пучения связано, по-видимому, с наличием льдистых пылеватых суглинков и высокольдистых торфов. Наиболее вспученные грунты содержат от 30 до 80% пылеватых частиц. Дело в том, что подобные грунты имеют слабовыраженную текстуру и незначительное сцепление между пылеватыми частицами, поэтому при промерзании ледяные кристаллы таких грунтов образуются внутри структурных элементов и вызывают значительные деформации морозного вспучивания. При увлажнении пылеватые грунты теряют сцепление между частицами, при промерзании в грунтах образуется большое количество ледяных прослоек и линз.

На величину морозного пучения грунтов большое влияние оказывает и их плотность. У очень плотных грунтов при их замерзании наблюдается незначительное пучение (хотя все поры заполнены водой), поскольку такие грунты содержат мало воды и в них затруднена возможность ее передвижения при промерзании. В очень рыхлых грунтах много пор и пустот, которые обычно свободны от воды, за счет таких пустот гасятся деформации пучения. Грунты средней плотности с полным заполнением всех пор водой при промерзании сильно деформируются от морозного пучения.

Величина морозного пучения грунтов при прочих равных условиях существенно увеличивается при малой сжимаемости грунта, подстилающего сезонно-промерзающий слой.

Одним из основных факторов, определяющих интенсивность миграции влаги и величину пучения, является температурный режим промерзания грунта. Впервые в [8] высказано предположение о существовании оптимальной температуры промерзания, при которой пучение будет наиболее интенсивным. В дальнейшем были подтверждены положения о наличии для каждого грунта температурного градиента, при котором отмечается максимум пучения при данной влажности. Например, для пылеватых суглинков с влажностью 20—30% градиент находится в пределах 0,11—0,13 град/см [4].

Криогенное пучение грунтов начинается при определенной максимальной влажности. Величина влажности находится в пределах между количеством незамерзшей воды при температуре начала пучения и критической влажностью и изменяется в таком интервале в зависимости от режима промерзания. Обычно она близка к максимальной молекулярной влагоемкости с учетом температурной зависимости [5].

Пространственная и временная изменчивости основных компонентов инженерно-геокриологической обстановки приводит к тому, что интенсивность криогенного пучения меняется от участка к участку в больших пределах, а на отдельных однородных участках она проявляется по площади не равномерно, а как случайный (стохастический) процесс.

Процесс криогенного растрескивания широко распространен в пределах п-ова Ямал с его суровыми климатическими условиями. Развитие процесса обуславливает формирование полигонального микрорельефа и полигонально-жильных льдов, влияет на формирование криогенных текстур, увеличивает содержание льда в мерзлых породах. Механизм процесса заключается в возникновении сжимающих и растягивающих напряжений в мерзлых породах при их охлаждении, накопление которых приводит к разрыву пород и образованию трещин. Ширина трещин по поверхности грунта составляет обычно 2—4 см, глубина проникновения в грунт до 10 м. Вызываемые суточными и годовыми колебаниями температуры на поверхности грунта объемно-градиентные напряжения приводят к образованию систем трещин с поперечником грунтовых полигонов от 0,5 до 50 м [7].

Основные условия развития процесса солифлюкции, протекающей в СТС, — рельеф, литологический состав отложений слоя сезонного оттаивания, наличие многолетнемерзлых пород, их состав и свойства, а также уклоны поверхности. При «отрицательном» режиме солифлюкция практически развиваться не будет, так как вследствие промерзания грунтов вокруг трубопровода СТС сократится до нескольких сантиметров, но все же будут представлять опасность склоны вне сферы влияния трубопроводов, где солифлюкция будет развиваться даже более интенсивно вследствие нарушения естественного равновесия склонов. При всех остальных тепловых режимах процесс получит наибольшее развитие, так как возрастут интенсивность и глубина промерзания—протаивания отложений.

Помимо экзогенных следует учитывать влияние на инженерные конструкции эндогенных процессов. Наличие зон напряженно-деформированного состояния пород является причиной нарушения функционирования объектов транспорта углеводородов. Статистика показывает, что к таким зонам приурочено значительное количество аварий и повышенный износ элементов трубопроводов. Зоны повышенного напряженно-деформированного состояния наблюдаются на участках разрывных нарушений даже в стабильных с точки зрения проявления тектонической активности районах. Другая причина формирования таких зон — сезонное оттаивание мерзлых грунтов на склоновых участках. В этом случае напряженно-деформированное состояние пород возникает в слое сезонного оттаивания и приурочено к участкам потенциального оползнеобразования.

Под напором надмерзлотных вод вследствие уменьшения живого сечения потока грунтовых вод или рек возникают наледи. Оно может уменьшиться при прокладке трубопровода или нарушении почвенно-растительного покрова и последующем увеличении глубины промерзания.

Кроме того, в районах вечной мерзлоты зафиксированы загрязнения воздуха, поверхностных и подземных вод.

Серьезным источником загрязнения атмосферы является сжигание попутного газа в процессе добычи нефти. За годы освоения нефтяных месторождений в Западной Сибири сожжено более 200 млрд. м³ попутного газа преимущественно углеводородного состава. Большие потери газа (метана и его тяжелых гомологов) происходят при авариях на трубопроводах. В атмосфере наиболее значимыми компонентами-загрязнителями являются CO₂, CO, H₂S, SO₂, SO₃, NH₄. При их растворении атмосферными осадками образуются кислоты и осадки приобретают значения pH < 7. В свою очередь проблема кислотных дождей переходит в проблему кислотного снега. Например, в Якутске снег из гидрокарбонатно-кальциевого стал сульфатным и сульфатно-гидрокарбонатным.

В северных районах нефть (особенно тяжелая) перед транспортировкой подогревается, что усиливает ее агрессивность. Высока доля добычи не

только тяжелой, но и высокосернистой нефти. Такая нефть в связи с повышенным содержанием ванадия и никеля особо токсична и наносит ущерб ОС за счет суммарных утечек через свищи и трещины в трубах, которые достаточно трудно обнаружить и особенно учесть.

В северных районах России преобладающее углеводородное сырье — газоконденсат с повышенной, по отношению к нефти, растворимостью в воде, что усиливает вероятность загрязнения поверхностных и подземных вод.

Следует отметить, что по сравнению с умеренной зоной загрязнение экосистем в области вечной мерзлоты происходит значительно быстрее по следующим причинам: более высокой, чем в умеренной зоне, интенсивности техногенных геохимических полей в атмосфере, что связано на Крайнем Севере с температурной инверсией, затрудняющей рассеяние техногенных выбросов; низкой способности самоочищения воздуха из-за короткого вегетационного периода и малого объема фитомассы; большой продолжительности ледостава на реках и озерах, препятствующего аэрации и самоочистке водоемов, а также маловодности рек зимой, вследствие чего загрязненные воды разбавляются чистой водой незначительно; слабой интенсивности биохимического круговорота в почвах и подземных водах, что объясняется низкой температурой; незначительной мощности оттаивающего летом слоя почвы, что ограничивает ее способность улавливать загрязняющие вещества; непродолжительности цикла водообмена; широкой распространенности специфических геохимических барьеров (по границам талого и мерзлого слоев; присутствие глеевого слоя — на границе кислородсодержащего и бескислородного слоев почвы и т. д.); ежегодного промерзания почв сезонноталого слоя, вызывающего криогенную концентрацию загрязняющих веществ; тесной взаимосвязи водно-солевого и теплового баланса в криолитозоне [3].

В северных районах России, где природные условия наиболее сложные и природные комплексы весьма уязвимы, причинами возникновения негативного воздействия на ОС следует считать факторы, определяющие биотическое состояние экосистем и всего природного комплекса в целом (сравнительно упрощенная ландшафтная структура криолитозоны, ее естественная тенденция к дополнительному уменьшению разнообразия, замедленный биологический круговорот веществ, низкую способность к самоочищению и др.) и снижение прочностных свойств грунтов и деформаций поверхности (нарушение теплообмена в многолетне- и сезонно-мерзлых грунтах, большая динамичность изменения их температурного режима, наличие различных генетических типов подземных льдов, высокая льдистость, большая активность криогенных процессов). В случае антропогенной нагрузки механического характера наблюдается активизация мерзлотных процессов наряду с радикальными изменениями биоты. При этом вокруг факелов сжигания попутного газа могут возникнуть зоны, характеризующиеся глубокими и необ-

ратимыми изменениями, утратой природных ресурсов, генофонда биоты и уникальных природных объектов, резким ухудшением здоровья людей.

Таким образом, при строительстве и эксплуатации объектов транспорта углеводородов для прак-

тических целей основное внимание следует уделять сочетанию таких нарушений, которые приводят к повышению среднегодовых температур пород, увеличению глубины сезонного оттаивания—промерзания и деградации вечномерзлой толщи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов Э.Д. Общая геокриология. М.: Недра, 1990. 559 с.
2. Козлов А.Н., Пармузин С.Ю., Пустовойт Г.П., Хренов Н.Н. Тепловое взаимодействие газопроводов с вечномерзлыми грунтами на Ямбургской газоконденсатном месторождении // Мат. второй конф. геокриологов России, МГУ им. М.В. Ломоносова. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 114–120.
3. Мельников Е.С., Гречищев С.Е. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов. М.: ГЕОС, 2002. 320 с.
4. Невечеря В.Л. К районированию Западной Сибири по интенсивности процессов пучинообразования в грунтах // Мат. УШ всес. межведомственного сов. по геокриологии. В.3. Якутск, 1966. С. 53–59.
5. Невечеря В.Л., Чистотин Л.В. К вопросу о влажности начала пучения грунтов при промерзании // Физико-геологические процессы в промерзающих и протаивающих породах. М.: ВСЕГИНГЕО, 1974. С. 24–36.
6. Основы геокриологии. Ч. 5. Инженерная геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 1999. 526 с.
7. Пендин В.В., Дубина Т.П., Овсянников О.С. Прогнозная оценка развития процессов солифлюкции и криогенного растрескивания вдоль трасс газопроводов п-ва Ямал // Проблемы экологии при освоении газовых и нефтяных месторождениях Крайнего Севера. М, 1995. С. 5–15.
8. Сумгин М.И. Вечная мерзлота в пределах СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1937. 147 с.
9. Телегин Л.Г., Ким Б.И., Зоненко В.И. Охрана окружающей среды при сооружении и эксплуатации газонефтепроводов. М.: Недра, 1988. 192 с.

Московский государственный геологоразведочный университет
Рецензент — В.И. Решетников

Журнал «Известия вузов. Геология и разведка» публикует рекламные объявления. В качестве рекламодателей могут выступать предприятия, организации, фирмы, акционерные общества и отдельные граждане, рекламирующие печатные издания, различные изделия, разработки, технологии, имеющие отношение к геологии, разведке и горному делу.

Публикация рекламных объявлений платная. Стоимость рекламы устанавливается по договоренности. По желанию заказчика реклама может публиковаться несколько раз.

Контактные телефоны

Б.М. Ребрик 433-62-66 доб. 1149
О.С. Брюховецкий 433-64-55 т/ф