

ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ДЕТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ВОРКУТЫ)

А. С. Войтенко

ФГБУН Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН (Москва, Российская Федерация)

Е. А. Гришакина, В. С. Исаев, А. В. Кошурников, А. А. Погорелов, О. В. Подчасов

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (Москва, Российская Федерация)

Д. О. Сергеев

ФГБУН Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 30 ноября 2016 г.

Состояние многолетней мерзлоты является одним из важнейших факторов, влияющих на экологические последствия хозяйственной деятельности и устойчивость окружающей среды в Арктике. В результате Воркутинской инженерно-геокриологической учебной практики геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова получены новые данные о тенденциях и закономерностях эволюции геокриологических условий в южной части Большеземельской тундры, которые необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации линейных транспортных сооружений, таких как железные дороги, автодороги и магистральные трубопроводы. Использован комплекс методов, стандартных для мерзлотной съемки, дополненный применением беспилотных радиоуправляемых летательных аппаратов и инновационных геофизических методов.

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты, термокарст, термометрия, мониторинг.

Введение

Нарушение условий теплообмена через поверхность в искусственных и природных ландшафтах Севера часто приводит к активизации геокриологических процессов, нарушению устойчивости сооружений и неблагоприятным экологическим последствиям. Эти последствия напрямую связаны с нарушениями природоохранного законодательства и должны отслеживаться государственными надзорными органами и специализированными службами экологического и геотехнического мониторинга на предприятиях [1]. Для предотвращения неблагоприятных последствий делается геокриологический прогноз, предполагающий расчет температурного режима грунта, по результатам которого выносится суждение о закономерностях сезонного

и многолетних изменений режима фазового состояния поровой влаги [2]. Температурное поле грунта и его температурный режим весьма изменчивы по латерали, что связано с заметным ландшафтным разнообразием в криолитозоне. Авторы предполагают, что хотя геокриологические процессы, меняющие рельеф, обводненность и механические свойства грунта, в деталях всегда локальны, в целом они контролируются региональными климатическими тенденциями, а также зависят от истории геокриологического развития территории [3].

При постановке задач геокриологического прогноза требуется схематизация расчетной области и обоснование сценария изменений условий теплообмена. Весьма удобно представление расчетной

области как пространства с взаимодействующими инженерно-геологическими элементами и действующими на них природными и техногенными агентами. Такое пространство принято называть природно-технической системой. Одной из важнейших характеристик природно-технических систем в криолитозоне являются ее геокриологические условия, которые описываются среднегодовыми параметрами фазового состояния поровой влаги и многолетними тенденциями изменения этих параметров. Вопросом является степень обусловленности данных параметров техногенными воздействиями, природными климатическими изменениями или исторически обусловленными процессами собственного развития природно-технической системы.

Методы

Одной из основ изучения геокриологических условий являются методы мерзлотной съемки [4]. Такая съемка позволяет получить пространственно привязанные данные о распространении и состоянии многолетнемерзлых пород на основе прямых наблюдений в скважинах и шурфах, а также дистанционных съемок и геофизических исследований.

В ходе мерзлотной съемки, организованной в рамках учебной практики магистрантов геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, продолжается исследование опорного района, прилегающего к станциям Хановей и Песец Северной железной дороги. Участки детальных исследований располагались в пределах характерных природных и природно-техногенных ландшафтов обширной предгорной равнины, примыкающей к отрогам Полярного Урала.

Практика включала как учебные, так и научные задачи, решение которых необходимо для формирования целостного представления о состоянии и тенденциях развития природно-технических систем в условиях Большеземельской тундры:

- выделение основных типов местности и сопоставление основных характеристик их мерзлотных условий;
- типизация и районирование геокриологических явлений, особенно представляющих опасность для сосредоточенных и линейных техногенных объектов;
- уяснение вклада региональных климатических изменений и техногенных нагрузок в наблюдаемую изменчивость геокриологических условий и динамику геокриологических процессов.

Выделение основных типов местности и сопоставление им основных характеристик и факторов мерзлотных условий производились с применением как традиционных методов, к которым относятся маршрутные исследования, бурение, шурфовка, термометрия, геофизические исследования методами ЗСВ (электронзондирование становления поля в ближней зоне), GPR (подповерхностное радиолокационное зондирование) и сейсмометрии,

так и современных инструментальных наблюдений включая использование беспилотных летательных аппаратов. Собственные локальные наблюдения сопоставлялись с литературными данными и данными многолетнего геокриологического мониторинга в регионе города Воркуты по протоколу проекта GTN-P и его предшественников, а также с данными геотехнического мониторинга, выполняемого подразделениями ПАО «Газпром». Такое сопоставление позволяет выявить региональные устойчивые тенденции изменения геокриологических условий и уяснить причины и значимость их локальных неоднородностей.

Результаты исследований

Основные типы местности, определяющие разницу условий теплообмена через поверхность, представлены прежде всего минеральными и заторфованными полигональными в плане плосковершинными буграми с размерами от 30 до 150 м по латерали, покрытыми лишайниками, мхами и редкими кустарничками. В пределах этих бугров изредка встречаются замкнутые обводненные термокарстовые понижения, покрытые травянистой растительностью. Бугры разделены относительными вытянутыми понижениями, служащими линиями грунтового и поверхностного стока, которые заросли березкой и ивой (рис. 1).

Перечисленные типы местности являются своеобразной матрицей, геометрия которой была детально изучена с применением беспилотных летательных аппаратов. Для понимания тенденций развития геокриологических условий необходим учет этой геометрии, на которую «накладываются» сосредоточенные и линейные объекты инфраструктуры.

Главной особенностью исследуемой территории является переменное положение кровли мерзлоты при практически сплошном ее распространении. В пределах заторфованных бугров глубина сезонного оттаивания составляет 0,4—0,8 м. Температурный режим здесь типичен для условий распространения многолетней мерзлоты, когда потенциальное сезонное промерзание превышает сезонное оттаивание. Обращает на себя внимание большая продолжительность фазовых переходов весной и осенью, когда температура грунтов постоянна и близка к нулю (рис. 2). Среднегодовая температура на подше сезонного оттаивания составляет $-0,5^{\circ}\text{C}$.

Минеральные бугры характеризуются несдвигающейся мерзлотой с кровлей, опущенной до глубины 2—4 м, что превышает величину потенциального промерзания. При среднемесячных температурах с ноября по февраль ниже -9°C (рис. 3) сезонные колебания в грунте затухают уже на глубине 4,8 м, где в течение всего года идут фазовые переходы в околонулевой отрицательной области температур (рис. 4).

Примыкающие к буграм замкнутые обводненные термокарстовые понижения, покрытые травянистой



Рис. 1. Основные типы местности, определяющие разницу условий теплообмена через поверхность: 1 – замкнутые обводненные термокарстовые понижения, покрытые травянистой растительностью, 2 – полосы стока по понижениям между минеральными и заторфованными буграми, покрытые кустарниками (березкой и ивой), 3 – минеральные и заторфованные бугры, покрытые лишайниками, мхами и редкими кустарничками

Рис. 2. Среднесуточные температуры грунта по месяцам 2015–2016 гг. на разных глубинах на площадке Хановой-4 (заторфованный бугор). Строение по разрезу: 0,0–0,3 м – бурый торф, 0,3–0,5 м – бурая льдистая супесь, 0,5–1,3 м – бурая льдистая супесь с линзами чистого льда до 5 мм, 1,3–2,0 м – серый суглинок с линзами льда до 9 мм, 2,0–2,1 м – лед, 2,1–3,0 м – серый суглинок с линзами льда до 9 мм, в нижней части заторфованный

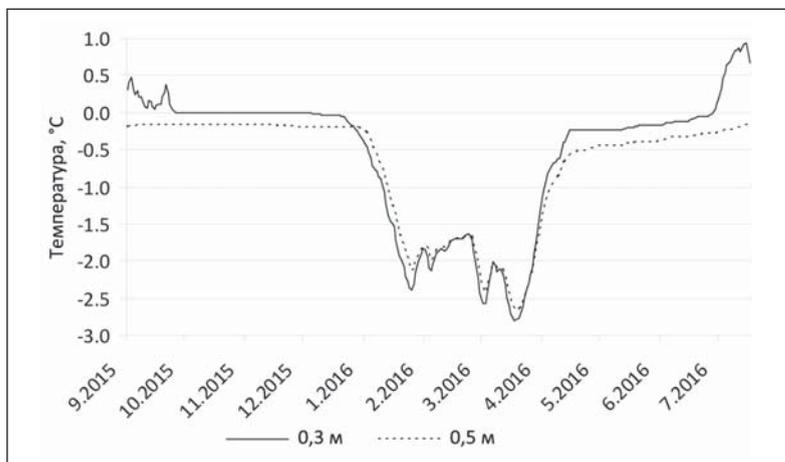
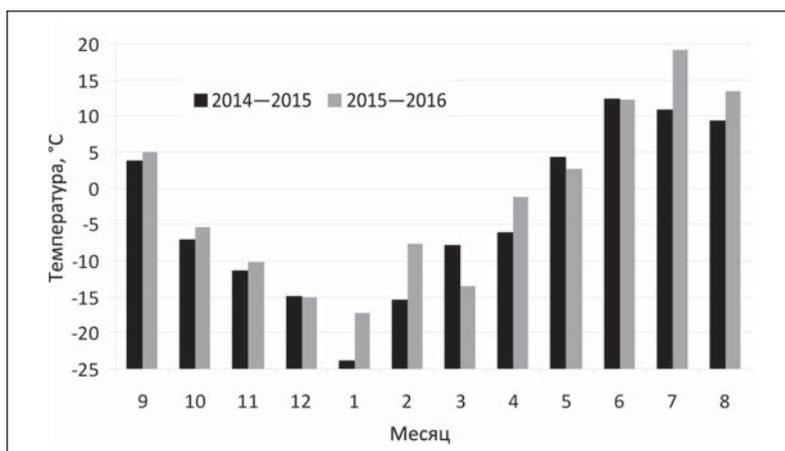


Рис. 3. Среднемесячные температуры воздуха на участке Хановой (сентябрь 2014 г. – август 2016 г.)



растительностью, имеют более глубокое положение кровли мерзлоты (до 12 м). Полного сезонного промерзания в приповерхностной зоне здесь нет, т. е. в грунте лишь часть поровой влаги замерзает зимой (рис. 5). Связано это, по-видимому, со значительным отепляющим действием снежного покрова в понижениях рельефа.

Отметим, что в апреле происходит временное поднятие кровли мерзлоты до глубины 4 м. Связано это с тем обстоятельством, что таликовые зоны под данным типом местности представляют собой «карманы», заглубленные в мерзлый массив, который, хотя имеет высокие температуры, все-таки проявляет эффект объемного охлаждения таликов, когда иссякает импульс летнего тепла с поверхности (см. рис. 5).

Скважина Хановой-2, пройденная в межбуровых линейных понижениях, показала следующее строение разреза по глубине: 0,00–0,15 м — почвенно-растительный слой, 0,15–0,35 м — серо-бурая супесь, 0,35–1,50 м — светло-бурый суглинок, 1,50–1,85 м — серый суглинок с железненными конкрециями, 1,85–2,00 м — серый суглинок, 2,00–3,00 м — буро-серый суглинок с органическими включениями, 3,00–3,70 м — серый суглинок с редкой галькой, 3,70–3,95 м — бурая супесь, 3,95–4,80 м — серая супесь с дресвой, 4,80–5,80 м — технологическое бурение без описания. Разовый замер, полученный в сентябре 2016 г., показал необыкновенно высокие значения температур на глубине 5,8 м: +9,99°C. Практически в начале осени это сопоставимо с температурой воды в ручьях — притоках реки Воркуты. По данным геофизических исследований, кровля мерзлоты залегает здесь на глубине более 10 м при обнаружении, тем не менее, ее подошвы на глубине около 40 м. Главным источником тепла в полосах стока являются поверхностные воды. Во второй половине лета температура воды

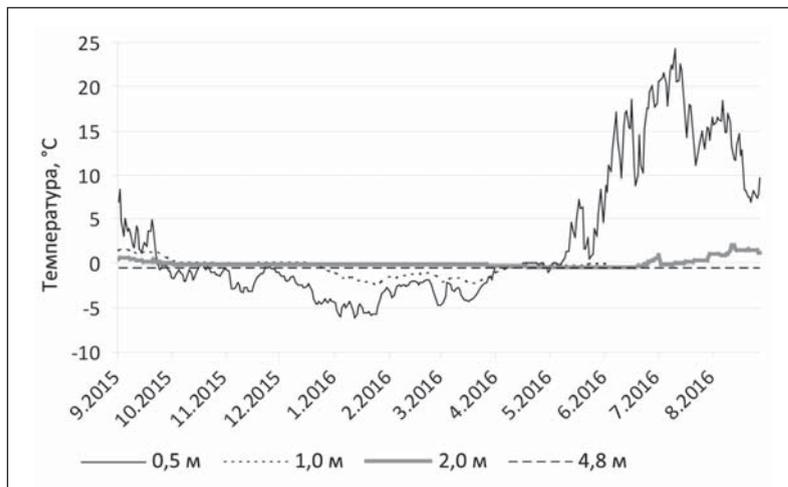


Рис. 4. Среднесуточные температуры грунта по месяцам 2015–2016 гг. на разных глубинах в скважине Хановой-1 (минеральный бугор). Строение по разрезу: 0,00–0,08 м — почвенно-растительный слой, 0,08–0,50 м — суглинок серовато-бурый, 0,50–0,67 м — бурая супесь, 0,67–1,00 м — бурый оторфованный суглинок, 1,00–1,59 м — суглинок диагонально слоистый, серо-бурый, железненный, 1,59–2,00 м — серый песок с дресвой, 2,00–2,20 м — серый суглинок с линзами песка диагонально-слоистый, 2,20–2,28 м — серый мелкозернистый песок, 2,28–4,80 м — темный суглинок с редкими песчаными линзами

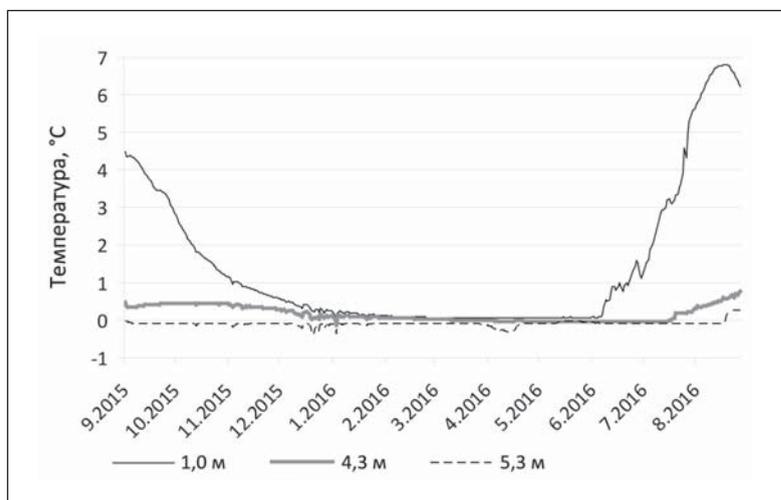


Рис. 5. Среднесуточные температуры грунта по месяцам 2015–2016 гг. на разных глубинах в скважине Хановой-3 (термокарстовое понижение). Строение по разрезу: 0,00–0,40 м — торф, 0,4–1,31 м — серый пылеватый суглинок с включениями органики, 1,31–2,60 м — серо-бурый пылеватый суглинок с железнением, 2,60–3,10 м — буро-серый мелкозернистый песок, 3,10–3,60 м — серо-бурый пылеватый суглинок, 3,60–5,30 м — голубовато-серый пылеватый суглинок, 5,30–5,80 м — серый пылеватый суглинок

в ручьях понижается сверху вниз по течению (рис. 6), что связано с отдачей тепла в подрусловые талики. Охлаждению этого типа местности зимой препятствует снежный покров, мощность которого возрастает в понижениях и на участках с густым кустарником.

Обсуждение результатов

Анализ распределения температур по вертикальным профилям в грунте в моменты максимального промерзания и оттаивания дает дополнительную информацию о состоянии и тенденциях развития

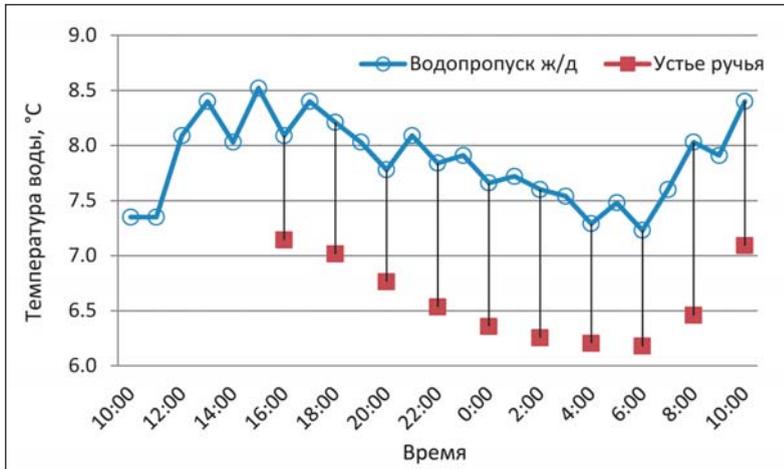


Рис. 6. Суточный ход температуры воды на разных участках ручья – притока Воркуты (сентябрь 2015 г.; расстояние между пунктами наблюдений по течению ручья составляет 920 м)

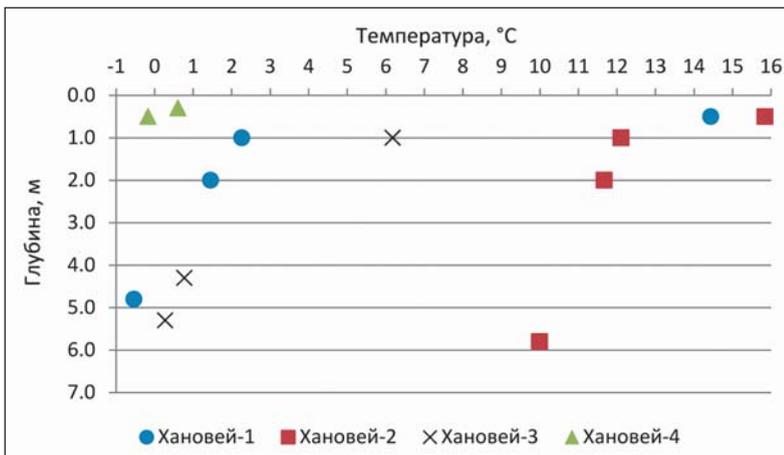


Рис. 7. Сравнение мгновенных значений температуры грунта на разных глубинах для разных типов местности на момент максимального сезонного оттаивания (сентябрь 2016 г.)

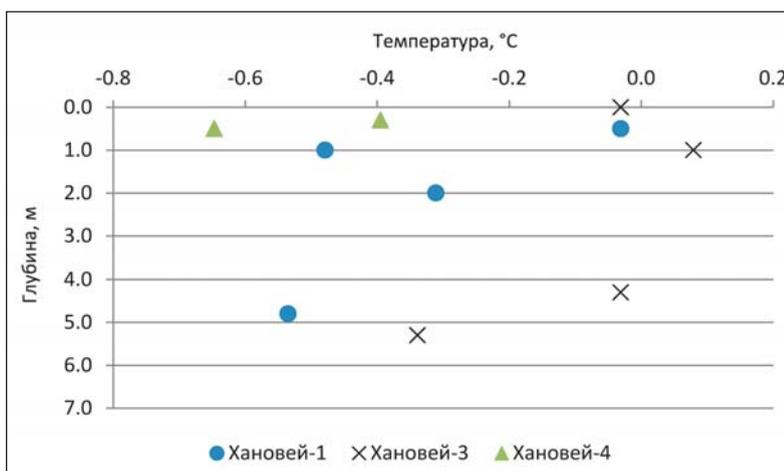


Рис. 8. Сравнение мгновенных значений температуры грунта на разных глубинах для разных типов местности на момент максимального сезонного промерзания (апрель 2016 г.)

многолетней мерзлоты. В частности, сравнение мгновенных значений температуры грунта на разных глубинах для разных типов местности на момент максимального сезонного оттаивания в сентябре показало относительную близость градиентов температур в слое сезонных колебаний в скважинах Хановей-1 (минеральный бугор) и Хановей-2 (полоса стока), особенно в глубинной части (рис. 7). Ближе к поверхности разница температур на этих типах местности не столь значительна, что может свидетельствовать о преимущественном значении факторов отепления текущими водами и снежного покрова в формировании таликовых зон над полосами стока.

Участки локальных термокарстовых понижений занимают промежуточное положение по характеру вертикального распределения температур. Это может говорить о постепенном разрушении бугров, их относительной осадке и постепенном расширении кустарниковых ландшафтов.

Сравнение мгновенных значений температуры грунта на разных глубинах для разных типов местности на момент максимального сезонного промерзания в апреле 2016 г. показало тот же знак градиента температур, что и в летний период (рис. 8). Это означает, что в природных ландшафтах преобладают неравномерные геокриологические условия, при которых современный климат не обеспечивает сохранения многолетнемерзлых пород и происходит постепенное опускание их кровли. Близки к деградации многолетнемерзлых пород с поверхности заторфованные бугры, где до метровой глубины пока сохраняются отрицательные значения среднегодовых температур грунта (рис. 9).

Остается неоцененной площадная значимость этого типа местности, поскольку не обнаружены визуальные индикаторы, позволяющие применить дистанционные методы для разделения торфяных и минеральных бугров.

Косвенной подсказкой в этом деле является обнаружение молодых термокарстовых озер с крутыми, отседающими берегами, которые свидетельствуют о недавно возникшем термокарстовом процессе с быстрой посадкой дна озера, прилегающего к заторфованным буграм.

Подводя итог локальных наблюдений, можно сделать вывод о современной тенденции оттаивания мерзлоты сверху, которая обусловлена климатическими изменениями. Устойчивость этой тенденции подтверждается данными наблюдений в более глубоких скважинах Н. Г. Обермана, включенных в международную сеть геокриологического мониторинга GTN-P (<http://gtnpdatabase.org/boreholes/>). Скважина ZS-124 соответствует «бугру» в пределах плоско-бугристого ландшафта. Измерения проводились на глубинах 5, 10, 15 и 24 м за период с сентября 2007 г. по август 2012 г. (рис. 10). Скважина ZS-83а соответствует межбугровому понижению. Измерения проводились на глубинах 5, 10, 15 и 28 м за период с сентября 2007 г. по июль 2013 г. (рис. 11).

В обоих ландшафтах очевидна тенденция устойчивого потепления. В скважине ZS-124 на глубине 24 м температура повышалась с трендом 0,023 °C/год, а в скважине ZS-83а на глубине 28 м повышение характеризовалось трендом 0,010 °C/год.

По литературным и фондовым данным, актуальным для 70—80-х годов прошлого века, данная территория расположена согласно оценкам разных групп авторов вблизи границ зон сплошной и несплошной мерзлоты [5] либо в области перехода от сплошной мерзлоты к прерывистому и массивно-островному ее распространению [6]. Это означает, что в плане сквозные (по вертикали) таликовые зоны существуют изолированно друг от друга, сливаясь по полосам концентрации водного стока к сквозным таликам под крупными реками. В таких условиях

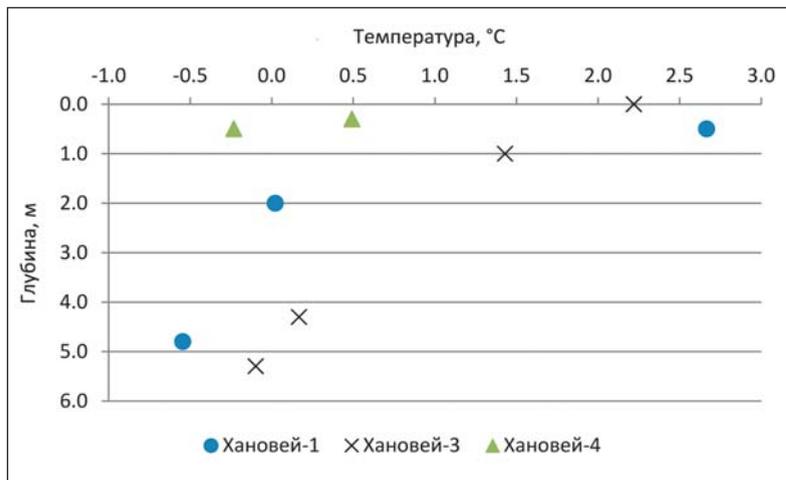


Рис. 9. Сравнение среднегодовых значений температуры грунта на разных глубинах для разных типов местности



Рис. 10. Многолетние изменения температуры на глубине 24 м, скважина ZS-124, строение бугра неизвестно

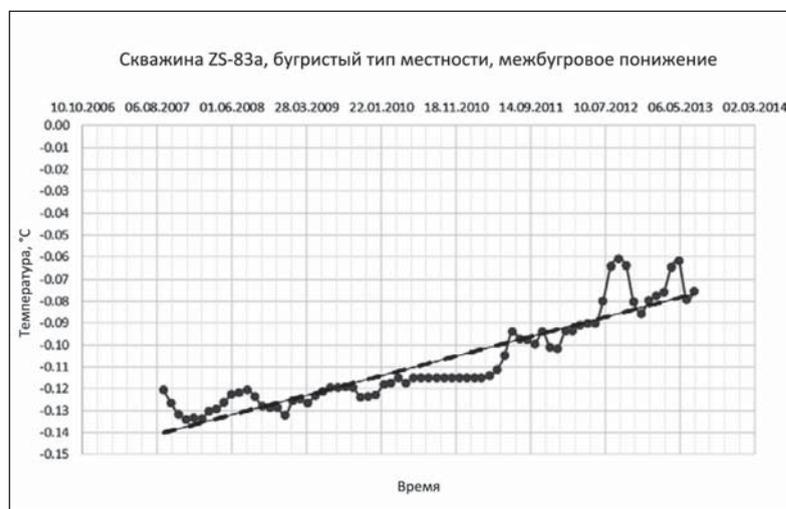


Рис. 11. Многолетние изменения температуры на глубине 28 м, скважина ZS-83а

при выработке прогноза развития термокарста обычно сосредотачиваются на свойствах приповерхностных инженерно-геологических элементов и характеристиках «управляющих» покровов (напочвенная растительность, снег, временные водоемы). В данном случае, однако, кровля мерзлоты на огромных площадях залегает уже глубже сезонного промерзания, и динамика техногенных воздействий, равно как и климатические изменения, влияют на геокриологические условия уже не столь резко, поскольку все воздействия осуществляются через термическое сопротивление слоя оттаявшего грунта. Другими словами, пара аномально теплых лет или возведение гравийной подсыпки не приведут к катастрофическому термокарсту. Однако для долговременно эксплуатируемых сооружений мерзлота продолжает оставаться скрытой опасностью, даже если ее кровля залегает глубже 10 м. Ярким свидетельством этого служат проблемы гражданского строительства в городе Надыме, где дома «внезапно» начинали разрушаться после десятилетия успешной эксплуатации.

В условиях южной части Большеземельской тундры процесс деградации многолетнемерзлых пород проявляется не столько в смещении к северу зон распространения мерзлоты [7], сколько в оттаивании мерзлоты сверху.

В отношении процессов, связанных с новообразованием мерзлоты (например, пучения), следует быть внимательнее при выработке геокриологического прогноза, поскольку временное похолодание климата может повлечь формирование перелетков над кровлей основного мерзлого массива. Такое возможно на переувлажненных, но лишенных поверхностного водного покрова участках.

В общеэкологическом плане обнаруженные изменения геокриологических условий в ближайшем будущем повлекут за собой появление большого количества новых проницаемых «окон», через которые установится связь между поверхностными и подземными водами. Естественная защищенность последних в этом случае должна будет оцениваться заново.

Выводы

1. В условиях близости многолетнемерзлых пород к оттаиванию сверху существенно сокращается слой сезонных колебаний температуры. Это приводит к уменьшению необходимой глубины мониторинга и возможности удешевления систем мониторинговых наблюдений. Однако следует помнить, что температура не является достаточно информативным показателем, чтобы характеризовать процесс деградации грунтов с большим содержанием незамерзшей воды, и температурный мониторинг должен дополняться геофизическими наблюдениями, мониторингом геокриологических процессов и повторным бурением с детальным криолитологическим описанием.

2. Современная региональная скорость потепления грунтов на глубинах свыше 20 м составляет от 0,010 до 0,023 °C/год. В условиях южной части Большеземельской тундры процесс деградации многолетнемерзлых пород проявляется не столько в смещении к северу зоны распространения сплошной мерзлоты, сколько в оттаивании мерзлоты сверху, причем глубина этого оттаивания существенно различается на разных типах местности и достигает в настоящее время 12 м. Важным фактором продолжающегося оттаивания мерзлоты является режим небольших водотоков и озер.

3. На участках с заглубленной кровлей многолетнемерзлой толщи практически отсутствует сезонное промерзание зимой. Уменьшение снежного покрова или искусственное охлаждение пород на таких участках приведет к активизации криогенного пучения, что необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации объектов инфраструктуры, а также в процедурах охраны окружающей среды.

Исследование выполнено в соответствии с государственным заданием рег. № 01201355210. Авторы благодарят руководство и сотрудников КС «Ярынская», ПАО «Газпром», а также Управление и сотрудников Северной железной дороги за всемерное содействие проведенным исследованиям.

Литература

1. Логунова Е. Н., Сергеев Д. О. Развитие методики экологического сопровождения строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов на территории криолитозоны // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2014. — № 3. — С. 277—285.
2. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / Под ред. проф. В. А. Кудрявцева. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. — 432 с.
3. Кудрявцев В. А. Исходные положения теплофизических (геофизических) основ мерзлотоведения // Проблемы геокриологии. — М.: Наука, 1983. — С. 21—27.
4. Кудрявцев В. А., Гарагуля Л. С., Кондратьева К. А. и др. Методика мерзлотной съемки. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. — 358 с.
5. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000. — Винница, 1997.
6. Геокриология СССР. — Т. 1: Европейская территория СССР / Под ред. Э. Д. Ершова. — М.: Недра, 1988. — 360 с.
7. Шварцман Ю. Г. Реконструкция климата прошлого по комплексным данным на Европейском Севере России / Тез. докл. конференции «Ритмы природных процессов в криосфере Земли», Пущино, 13—15 мая, 2000. — С. 105—106.

Информация об авторах

Войтенко Алина Сергеевна, аспирант, Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН (101000, Россия, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2, а/я 145), e-mail: voytenko-alina@mail.ru.

Гришакينا Екатерина Александровна, аспирант, кафедра геоэкологии геологического факультета, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1), e-mail: orskatyua@mail.ru.

Исаев Владислав Сергеевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, кафедра геоэкологии геологического факультета, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1), e-mail: tpomed@rambler.ru.

Кошурников Андрей Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, кафедра геоэкологии геологического факультета, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1), e-mail: koshurnikov@msu-geophysics.ru.

Погорелов Андрей Александрович, магистр, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1), e-mail: pogorelov.andrey@gmail.com.

Подчасов Олег Валерьевич, аспирант, кафедра геоэкологии геологического факультета, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1), e-mail: podchasov.oleg@gmail.com.

Сергеев Дмитрий Олегович, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геоэкологии, Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН (101000, Россия, Москва, Уланский пер., 13, стр. 2, а/я 145), e-mail: sergeevdo@mail.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Войтенко А. С., Гришакина Е. А., Исаев В. С. и др. Значение изменения геоэкологических условий для эксплуатации инфраструктуры и охраны окружающей среды (на примере участка детальных исследований в нижнем течении реки Воркуты) // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 2 (26). — С. 53—61.

IMPORTANCE OF PERMAFROST CHANGES FOR INFRASTRUCTURE EXPLOITATION AND ENVIRONMENTAL PROTECTION (CASE STUDY OF LOCAL INVESTIGATION IN LOWER PART OF VORKUTA RIVER)

Voitenko A. S.

Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (Moscow, Russian Federation)

Grishakina E. A., Isayev V. S., Koshurnikov A. V., Pogorelov A. A., Podchasov O. V.

Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russian Federation)

Sergeev D. O.

Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (Moscow, Russian Federation)

Abstract

The permafrost state is one of the important factors of environmental stability in Arctic Region. The new data on trends and patterns of the evolution of permafrost conditions in the southern part of the Bolshezemelskaya tundra was gathered as a result of Vorkuta engineering geocryological educational practice in Geological Faculty of Moscow State University. These data will be taken into account in the construction and maintenance of the infrastructure elements such as railroads, highways and pipelines.

The set of standard and innovative methods of the permafrost survey was used. Three major types of landscape were characterized by geophysical, remote sensing, geomorphologic and thermometric measurements. The large mounds, linear water discharge depressions, and rounded thermokarst depressions were studied in link with permafrost and hydrologic conditions. The continuous warm permafrost was mapped with taking into account the depth of its table. The typical mean annual temperature at the bottom of the active layer is -0.5°C and the depth of the permafrost table varies from 0.4 m at the top of organic reach mounds to 12 m at the linear intermound depressions.

Each type of landscape was characterized by the annual temperature regime analysis. The mounds with reach organic soil demonstrated the normal regime with seasonal ground thawing. The mineral mounds have the relatively thin zone of seasonal temperature change which has the depth no more than 5 m. The thermokarst depressions have no deep seasonal ground freezing because the strong thermal insulating effect of the snow cover.

The linear water discharge provides the warming of the ground taliks. Along the water-streams the water temperature decreases for 1°C for a kilometer of the flow.

The modern permafrost dynamics reflects in the regional permafrost warming with retaining of the continuous permafrost extent. The permafrost thawing progress mostly from the top, the lateral thawing is reduced. The active thermokarst process grows in adjacent zone of peat reach mounds.

Key words: *permafrost, thermokarst, temperature measurement, monitoring.*

The investigation was accomplished following the Russian state financing, task number 01201355210. Author are very appreciated the staff and head of Pump station Yarinskaya of Gazprom Company and the departments of North Railroad of Russia by the effective assistance in all stages of works.

References

1. Logunova E. N., Sergeyev D. O. Razvitiye metodiki ekologicheskogo soprovozhdeniya stroitelstva i ekspluatatsii magistralnykh truboprovodov na territorii kriolitozony. [The development of methods of environmental survey in construction and exploitation of the major pipelines in the permafrost zone]. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2014, no. 3, pp. 277—285. (In Russian).
2. Osnovy merzlotnogo prognoza pri inzhenerno-geologicheskikh issledovaniyakh. [Basics of geocryological forecast in engineering geological survey]. Ed. prof. V. A. Kudryavtsev. Moscow, MSU Publ., 1974, 432 p. (In Russian).
3. Kudryavtsev V. A. Iskhodnyye polozheniya teplofizicheskikh (geofizicheskikh) osnov merzlotovedeniya. [Initial basics of the thermal physics in permafrost science]. In book: *Problems of geocryology*. Moscow, Science Publ., 1983, pp. 21—27. (In Russian).
4. Kudryavtsev V. A., Garagulya L. S., Kondratyeva K. A. et al. Metodika merzlotnoy syemki. [Methods of geocryological survey]. Moscow, MSU Publ., 1979, 358 p. (In Russian).
5. Geokriologicheskaya karta SSSR mashtaba 1:2 500 000. [Geocryological map of USSR, scale 1:2 500 000]. Vinnitza, Ukraine, 1997. (In Russian).
6. Geokriologiya SSSR. T. 1: Evropeyskaya territoriya SSSR. [Geocryology of USSR. Vol. 1. European Part of USSR]. Ed. Prof. E. D. Erchov. Moscow, Nedra Publ., 1988, 360 p. (In Russian).
7. Shvartsman Yu. G. Rekonstruktsiya klimata proshlogo po kompleksnym dannym na Evropeyskom Severe Rossii. [The reconstruction of the past climate by using complex data in European North of Russia]. Proceeding of the conference “The rhythms of natural processes in the Earth’s cryosphere”, Puschino, May 13—15, 2000, pp. 105—106. (In Russian).

Information about the authors

Voytenko Alina Sergeyevna, post-graduate student, Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (a/ya 145, 13, str. 2, Ulanskiy per., Moscow, 101000, Russia), e-mail: voytenko-alina@mail.ru.

Grishakina Ekaterina Aleksandrovna, post-graduate student, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia), e-mail: orskatya@mail.ru.

Isayev Vladislav Sergeyevich, Ph.D, senior researcher, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia), e-mail: tpomed@rambler.ru.

Koshurnikov Andrey Viktorovich, Ph.D, senior researcher, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia), e-mail: koshurnikov@msu-geophysics.ru.

Pogorelov Andrey Aleksandrovich, student, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia), e-mail: pogorelov.andrey@gmail.com.

Podchasov Oleg Valeryevich, post-graduate student, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia), e-mail: podchasov.oleg@gmail.com.

Sergeyev Dmitriy Olegovich, Ph.D, Head of laboratory, Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (a/ya 145, 13, str. 2, Ulanskiy per., Moscow, 101000, Russia), e-mail: sergeevdo@mail.ru.

Bibliographic description

Voytenko A. S., Grishakina E. A., Isayev V. S. et al. Importance of Permafrost Changes for Infrastructure Exploitation and Environmental Protection (Case Study of Local Investigation in Lower part of Vorkuta River). *The Arctic: ecology and economy*, 2017, no. 2 (26), pp. 53—61. (In Russian).