

ЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД (УРЕНГОЙСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Н.Г. Украинцева, Д.С. Дроздов, К.А. Попов, А.Г. Гравис, Г.В. Матышак*

Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия, ukraintseva@mail.ru

** Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, ф-т почвоведения,
199992, Москва, Ленинские горы, 1, Россия*

Из-за большой изменчивости свойств многолетнемерзлых пород инженерно-геологическое картирование в криолитозоне невозможно без геокриологического мониторинга. На режимных полигонах в южной лесотундре и южной тундре (район Уренгойского месторождения) проводится комплексный мониторинг природно-техногенных геосистем, сочетающий дистанционные методы с наземными маршрутными и инструментальными (автоматизированными) наблюдениями, геоинформационным картографированием. Создана серия картографических моделей, демонстрирующих четкую связь геосистем локального уровня с мощностью торфа и глубиной протаивания. Получены новые индикационные признаки температурного режима многолетнемерзлых пород.

ВВЕДЕНИЕ

На севере Западной Сибири в 1974–1976 гг. для изучения пространственно-временной изменчивости свойств многолетнемерзлых пород (ММП) были созданы полигоны режимных геокриологических наблюдений. Два из них расположены на левобережье р. Пур, в районе Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ): в южной лесотундре (УКПГ-5) и южной тундре (УКПГ-15) [Дроздов и др., 2010]. В 2008 г. в рамках многолетнего международного проекта Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) на полигонах были разбиты площадки мониторинга сезонного протаивания (размером 100 × 100 м, с шагом 10 м). На площадках CALM проведены детальные ландшафтные исследования. Создана серия картографических моделей, демонстрирующих четкую связь геосистем локального уровня с мощностью торфа и глубиной сезонного оттаивания пород.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Полигоны режимных геокриологических наблюдений были организованы на Уренгойском месторождении еще в 1975–1976 гг. В термометрических скважинах глубиной 10–12 м ежегодно проводились замеры температуры ММП, а с 2008 г. установлены датчики-логгеры, позволяющие проследить изменение температурного поля пород в течение всего года. Проведена типизация природных геосистем локального уровня

(в ранге фаций), определена их надземная фитомасса и построены крупномасштабные (1:5000) карты-схемы природных геосистем площадок CALM (рис. 1, А). Согласно ландшафтно-индикационной (геосистемной) концепции, такие карты можно использовать в качестве основы для оценки локальной неоднородности глубины протаивания и построения картографических моделей [Москаленко, 1999; Божилина, Украинцева, 2010].

ЛАНДШАФТНАЯ СТРУКТУРА И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОСИСТЕМ

В южной лесотундре (УКПГ-5) площадка расположена в пределах IV озерно-аллювиальной равнины Надым-Пуровской подпровинции морских и озерно-аллювиальных равнин. Равнина сложена суглинисто-песчаными отложениями (нередко перекрытыми торфом). Преимущественно сильнольдистые ММП имеют массивно-островное распространение и занимают более 80 % площади. Широко развиты криогенное растрескивание, термокарст, заболачивание.

На площадке CALM доминирует водораздельный торфяник, сменяющийся вблизи долины ручья листовничным лишайниковым редколесьем и кустарниковыми логами (см. рис. 1, А). Запас надземной фитомассы¹ на торфянике составляет 1–2 кг/м², а с перегнивающей моховой подушкой достигает 2–3 кг/м². В листовничной речине фитомасса превышает 5 кг/м² [Ukraitseva et al., 2010]. Мощность сезонноталого слоя (СТС) об-

¹ Фитомасса определяется в единицах воздушно-сухой массы на единицу площади – квадратный метр, гектар и др.

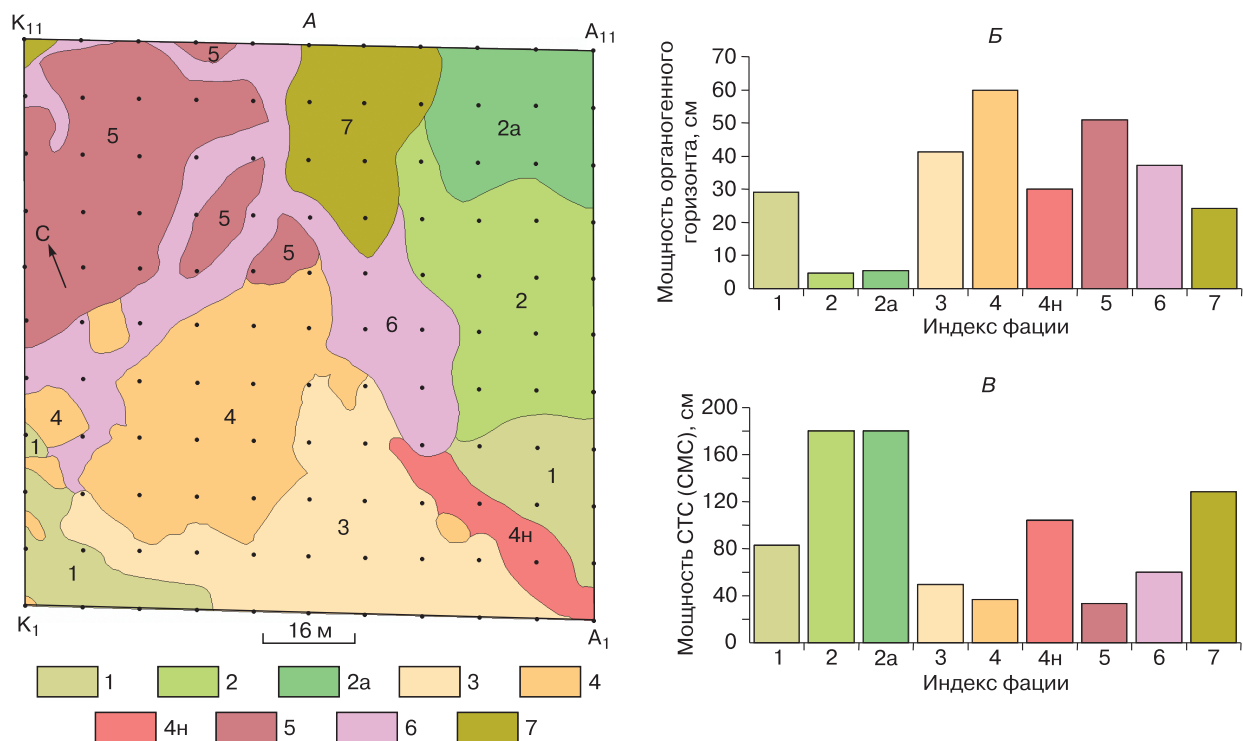


Рис. 1. Площадка CALM в южной лесотундре (УКПГ-5).

А – ландшафтная карта; Б – мощность органогенного горизонта почв; В – мощность СТС (СМС). Фации: 1 – бугристые кустарничково-моховые безлесные участки; 2 – листовничные лишайниковые редины; 2а – то же, с западинно-бугристым микро рельефом; 3 – плоскобугристые морошково-сфагновые торфяники; 4 – полигональные багульниково-сфагново-лишайниковые торфяники; 4н – то же, нарушенные участки со старыми колеями; 5 – полигональные ерничково-багульниково-лишайниковые торфяники; 6 – кочковатые травяно-кустарничково-моховые ложбины; 7 – лога с густыми кустарничково-травяно-моховыми ерниками (высотой до 1,0–1,5 м). А₁, А₁₁, К₁, К₁₁ – индексы точек на площадке CALM.

ратно пропорциональна суммарной мощности моховой подушки и органогенного горизонта почв (торфяного, гумусового и др.) (см. рис. 1, Б, В). Под листовничным редколесьем кровля ММП опущена на глубину 4–8 м, здесь формируется сезонномерзлый слой (СМС).

В южной тундре (УКПГ-15) площадка CALM расположена на III морской равнине, сложенной преимущественно суглинистыми отложениями. Сильнольдистые ММП (суммарная влажность суглинков до 60 %, песков – 21–28 %) имеют сплошное распространение с поверхности. Площадка CALM характеризуется однородной фациальной структурой с преобладанием травяно-кустарничково-мохово-лишайниковых тундр и незначительной мощностью органогенного горизонта. В ложбинах и логах встречаются низкорослые ивняки и ерники с фрагментами травяно-моховых болот. По днищам крупных эрозионных форм развиты невысокие бугры многолетнего пучения. Фитомасса составляет 1,7–2,3 кг/м², а без моховой подушки – 0,8–1,2 кг/м². Мощность СТС варьирует от 80–90 до 100–115 см [Ukrainitseva et al., 2010].

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

За период 1974–2008 гг. в толще мерзлых пород повсеместно проявляется положительный температурный тренд [Дроздов и др., 2010]. По данным замеров температуры в режимных скважинах и геофизическим материалам, в южной лесотундре происходит опускание кровли ММП на фоне устойчивого повышения температуры горных пород, обусловленного общим потеплением климата в последние десятилетия (рис. 2) [Павлов, 2008; Мельников и др., 2009; Shur, Jorgenson, 2007; Romanovsky et al., 2010]. Так, под листовничным редколесьем кровля ММП, залегавшая в конце 70-х гг. прошлого века с поверхности (СТС составляла 1,5–2,0 м), опустилась в 1994–1997 гг. на глубину 3 м, в 2005 г. – на 4,5 м, а в 2009 г. – на 8 м [Drozdov et al., 2010]. Сезонное протаивание сменилось сезонным промерзанием. Мощность СМС превышает 2 м. Однако, несмотря на повышение температуры ММП, в южной лесотундре инструментально зафиксированы лишь единичные случаи перехода ММП в талое состояние по всей

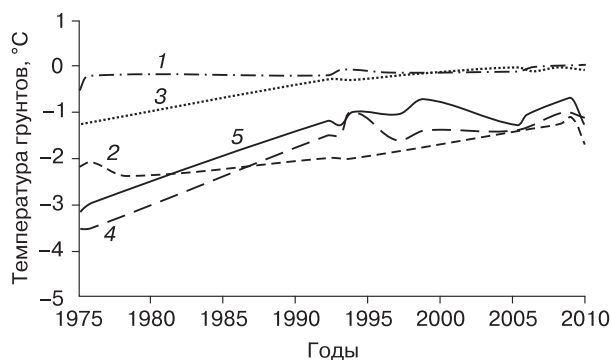


Рис. 2. Изменение во времени температуры горных пород на глубине нулевых сезонных амплитуд (южная лесотундра).

1 – скв. 5-01, лиственный лес; 2 – скв. 5-02, торфяник; 3 – скв. 5-05, кустарник в долине; 4 – скв. 5-06, тундра на склоне; 5 – скв. 5-09, край болота, торф.

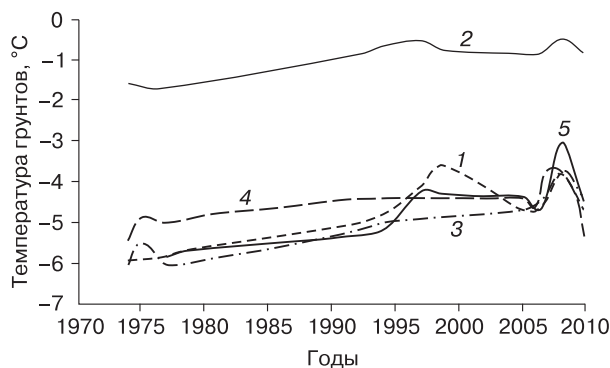


Рис. 3. Изменение во времени температуры горных пород на глубине нулевых сезонных амплитуд (южная тундра).

1 – скв. 15-03, тундра с торфом; 2 – скв. 15-06, ольшаник на склоне; 3 – скв. 15-08, заболоченная тундра; 4 – скв. 15-20, типичная тундра; 5 – скв. 15-21, типичная тундра.

мощности слоя годовых теплооборотов [Дроздов и др., 2010; Romanovsky et al., 2010].

В южной тундре аномалии температур горных пород проявились ярче, чем в южной лесотундре. Вслед за изменением температуры воздуха повышение температуры ММП происходило неравномерно, волнообразно. В середине 1990-х гг. (синхронно с южной лесотундрой) наблюдалось заметное потепление мерзлых толщ, затем до 2004–2005 гг. шло постепенное понижение температуры ММП. Потом последовала новая волна тепла, несколько уступающая предыдущей (рис. 3). Только в высокоствольных ольшаниках (высотой 1,5–3,0 м), встречающихся на защищенных от холода склонах южной экспозиции, температура ММП изначально была гораздо выше окружающих пространств ($-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 1974 г.), а температурный тренд (за счет буферной роли кустарников) заметно ниже (менее $1\text{ }^{\circ}\text{C}$) [Дроздов и др., 2010; Drozdov et al., 2010; Ukraintseva et al., 2010].

Осенью 2009 г. началось изменение общих климатических тенденций на территории Уренгойского НГКМ. Резкое понижение температуры воздуха осенью и последующая аномально холодная малоснежная зима 2009/10 г. привели к уменьшению температуры ММП в большинстве геосистем на величину до $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ на подошве слоя сезонных колебаний (см. рис. 2, 3). В верхней части разреза это падение было еще сильнее. Так, в южной лесотундре, на водораздельном торфянике температура ММП понизилась на глубинах 3 и 5 м на 3 и $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно (рис. 4). Заметим, что в редколесьях и кустарниках за счет демпфирующего влияния фазовых переходов в 3–8-метровой приповерхностной толще падения температуры ММП не наблюдалось (см. рис. 2).

ИНДИКАТОРЫ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ММП

При анализе данных по метеостанциям, расположенным вблизи геокриологических полигонов, в подзонах южной лесотундры (Новый Уренгой) и южной тундры (Ямбург) выявлен важный для оценки состояния ММП и темпов протаивания показатель. Это весенний и осенний периоды многократного перехода среднесуточной температуры воздуха от положительных значений к отрицательным, кратко именуемые “периоды перехода через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ”. Их продолжительность на территории Уренгойского месторождения может достигать 1,5 месяца и более. При этом среднедекадные и среднемесячные показатели могут оставаться положительными либо отрицательными, а переход через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ сводится к “точке” (рубежу декад или месяцев). Между тем продолжительность периода перехода через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, рассчитанная по среднесуточным значениям температуры воздуха, может иметь

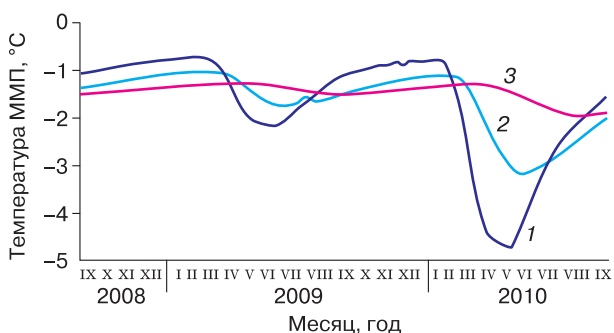


Рис. 4. Температура многолетнемерзлых пород на водораздельном торфянике (южная лесотундра).

Глубины: 1 – 3 м; 2 – 5 м; 3 – 10 м.

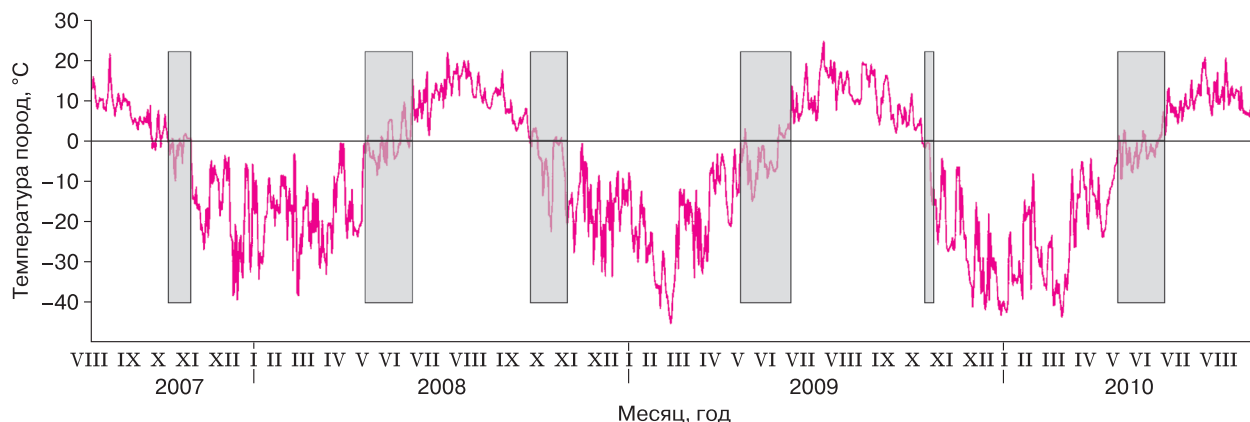


Рис. 5. Среднесуточная температура воздуха по данным метеостанции Новый Уренгой (южная лесотундра).

Серым цветом показаны весенний и осенний периоды перехода через 0 °С.

большое индикационное значение для оценки температурного режима ММП. Так, резкое сокращение периода перехода через 0 °С осенью 2009 г. (рис. 5) сопровождалось заметным понижением температуры ММП в следующем 2010 году (см. рис. 2–4).

ВЫВОДЫ

В лесотундре, где растительный покров разнообразен и мозаичен, а запасы надземной фитомассы значительны, растительность оказывает существенное влияние на темпы и глубину протаивания многолетнемерзлых пород, может обуславливать чередование участков с пониженной кровлей и поверхностным залеганием ММП. Главным буфером, определяющим глубину протаивания, является органогенный горизонт почв.

В отличие от южной лесотундры, в южной тундре резко снижается роль почвенно-растительного покрова в формировании температурного поля ММП и глубины сезонного протаивания. Запасы фитомассы уменьшаются, мощность органогенного горизонта незначительная и почти не влияет на мощность СТС.

Важное индикационное значение для оценки термического состояния ММП может иметь продолжительность периода перехода через 0 °С, рассчитанная по среднесуточным значениям температуры воздуха. Для подтверждения этого вывода необходимо проведение дальнейших наблюдений.

Исследования выполняются в рамках Международных проектов TSP (термическое состояние мерзлоты) и CALM (циркумпольярный мониторинг сезонноталого слоя), при поддержке РФФИ (проекты 08-05-00872; 09-05-10030к) и научных программ РАН и СО РАН.

Литература

Божиллина Е.А., Украинцева Н.Г. Полевые тематические съемки в создании карт природы // Геодезия и картография, 2010, № 6, с. 36–41.

Дроздов Д.С., Украинцева Н.Г., Царев А.М., Чекрыгина С.Н. Изменения температурного поля мерзлых пород и состояния геосистем на территории Уренгойского месторождения за последние 35 лет (1974–2008) // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 1, с. 22–31.

Мельников В.П., Дроздов Д.С., Павлов А.В. и др. Изменение климата и реакция геосистем Севера // Глобальные изменения климата и механизмы адаптации к ним: Тез. докл. науч.-практ. конф. М., 2009, с. 36–37.

Москаленко Н.Г. Антропогенная динамика растительности равнин криолитозоны России. Новосибирск, Наука, 1999, 280 с.

Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2008, 229 с.

Drozdov D.S., Ukraintseva N.G., Tsarev A.M. Active layer and permafrost table lowering in the Tundra/Forest-tundra transition zone at Urengoi oil-gas field (West Siberia) // Thermal state of frozen ground in a changing climate during the IPY: Abstr. of the III Europ. Conf. on Permafrost (EUCOP III), Svalbard, Norway, 2010, p. 102.

Romanovsky V.E., Drozdov D.S., Oberman N.G. et al. Thermal state of permafrost in Russia // Permafrost and Periglacial Processes, 2010, vol. 21, iss. 2, p. 136–155. Spec. Iss.: The International Polar Year. (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ppp.683/abstract>).

Shur Y.L., Jorgenson M.T. Patterns of permafrost formation and degradation in relation to climate and ecosystems // Permafrost and Periglacial Processes, 2007, vol. 18, p. 7–19.

Ukraintseva N.G., Drozdov D.S., Popov K.A., Matyshak G.V. Active layer response to biomass and soil-vegetative cover changes at CALM-site in the Tundra/Forest-tundra transition zone (West Siberia, Urengoi oil-gas field) // Thermal state of frozen ground in a changing climate during the IPY: Abstr. of the III Europ. Conf. on Permafrost (EUCOP III), Svalbard, Norway, 2010, p. 107.

Поступила в редакцию
18 февраля 2011 г.