

КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 581.526:502.7(571.1)

**СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА БУГРОВ ПУЧЕНИЯ И ПЛОСКОБУГРИСТЫХ
ТОРФЯНИКОВ В СЕВЕРНОЙ ТАЙГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
(НА ПРИМЕРЕ НАДЫМСКОГО СТАЦИОНАРА)**

О.Е. Пономарева, А.Г. Гравис, Н.М. Бердников

Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия; o-ponomareva@yandex.ru

Несмотря на потепление климата, которое началось с 70-х гг. XX в., многолетнее пучение продолжает оставаться активным процессом в северной тайге Западной Сибири. Приведены доказательства того, что пучением здесь охвачены не только разновозрастные (в том числе старые) бугры пучения и краевые части заболоченных ложбин стока, но также плоскобугристые торфяники. Обсуждаются особенности проявления пучения в пространстве и связь его интенсивности с климатическими параметрами. Продолжающимся в XXI в. потеплением климата объясняется уменьшение интенсивности пучения и оживление термокарста, которые наблюдаются в последние 10 лет. Отмечено, что на фоне общего снижения интенсивности пучения в отдельные благоприятные годы с холодными малоснежными зимами происходит незначительное оживление этого процесса и небольшой подъем поверхности, благодаря чему поверхности бугров и торфяников удерживаются в основном на отметках десятилетней давности. Таким образом, все уже сформировавшиеся формы пучения и торфяники в северной тайге Западной Сибири находятся в состоянии неустойчивого равновесия. Вместе с тем отмечен активный рост новых бугорков и небольших гряд пучения в краевых частях заболоченных ложбин стока.

Многолетнее пучение, бугры пучения, плоскобугристый торфяник, климат, мониторинг

**CONTEMPORARY DYNAMICS OF FROST MOUNDS AND FLAT PEATLANDS IN NORTH TAIGA
OF WEST SIBERIA (ON THE EXAMPLE OF NADYM SITE)**

O.E. Ponomareva, A.G. Gravis, N.M. Berdnikov

Earth Cryosphere Institute, SB RAS, 625000, Tyumen, P/O box 1230, Russia; o-ponomareva@yandex.ru

It has been proved that, despite climate warming since 70s years of XXth century, the frost heave has still been an active process in the northern taiga of West Siberia. It has been established that the frost heave here involved not only the uneven-age (including the relict ones) frost mounds and the bogs, but also the flat peatland. Features of manifestation of the frost heave in space and the interrelation between the intensity of the frost heave and the climatic parameters have been discussed. The reduction of the frost heave intensity and the thermokarst revival observed during the last 10 years due to the proceeding drowning of climate in the XXI century has been reasoned. During some favourable years with low-snow winters insignificant revival of the frost heave process and a slight surface lifting have been marked. That is why the surfaces of hillocks and peatlands have been generally kept on the marks of 10-year prescription. Thus, all the created forms of frost heave and peatlands in the northern taiga of West Siberia have been in the condition of unstable balance. At the same time the active growth of new hillocks and small ridges of frost heave in the regional parts of bogs has been revealed.

Frost heave, frost mounds, flat peatland, climate, monitoring

ВВЕДЕНИЕ

Многолетнее пучение является одним из самых распространенных криогенных процессов в северной тайге Западной Сибири [Андрианов и др., 1973; Ландшафты, 1983]. Неслучайно, что изучением этого процесса занимались многие исследователи. Однако на “узловой”, по мнению Ю.К. Васильчука [2008], вопрос о современном состоянии миграционных бугров пучения и их возрасте при-

менительно к условиям северной тайги Западной Сибири так и не получено окончательного ответа. А.И. Попов [1953], Н.А. Шполянская [Шполянская, Евсеев, 1972], В.П. Евсеев [1976] считают бугры древними и деградирующими в современных климатических условиях. А.П. Тыртиков [1969], Е.Б. Белопухова [1966], И.В. Тодосийчук [1975], Л.И. Вейсман [1977] полагают, что по край-

ней мере часть бугров в настоящее время растет. Выводы о состоянии бугров и их динамике этими исследователями были сделаны на основании детальных, но косвенных данных. В.Л. Невечера [Гео-криологические условия..., 1983], располагая результатами замеров высоты поверхности бугров и повторного дешифрирования аэроснимков, доказал, что некоторые бугры в современных климатических условиях продолжают расти, и предположил, что рост бугра прекращается после того, как мощность вновь возникших многолетнемерзлых пород (ММП) достигает 10–15 м. Тем не менее большинство бугров, по его мнению, образовалось давно, и некоторые одиночные бугры сейчас разрушаются.

Ю.К. Васильчук [2008], обобщив всю имеющуюся к 2008 г. литературу по буграм пучения и собственные материалы, сделал вывод, что бугры могут иметь различный возраст, а их состояние

зависит от конкретных мерзлотно-фациальных условий.

В настоящей статье будут рассмотрены результаты прямого инструментального измерения высоты поверхности бугров и площадей пучения, выполненные на Надымском стационаре. Мониторинг многолетнего пучения был начат на стационаре в 1972 г. группой исследователей под руководством Ю.Л. Шура и В.Л. Невечери. Авторы присоединились к этим работам после 2000 г., когда актуальным стал вопрос о тенденциях развития бугров Западной Сибири в условиях потепления климата.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Надымский стационар расположен в северной тайге Западной Сибири, в бассейне р. Хейгяха (приток р. Надым) (рис. 1), приблизительно в

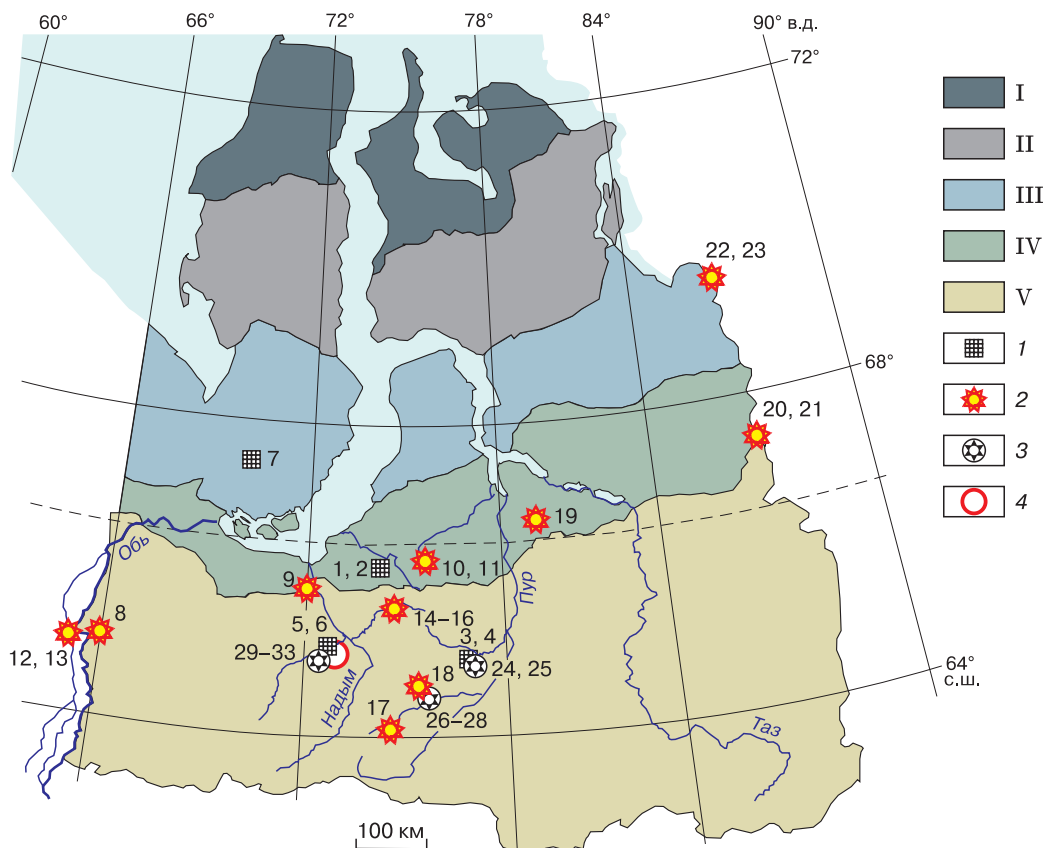


Рис. 1. Расположение Надымского стационара и разрезов с установленным (^{14}C) возрастом торфа на схеме природных зон Западной Сибири.

I–V – природные зоны (подзоны): I – арктическая тундра, II – типичная тундра, III – южная тундра, IV – лесотундра, V – северная тайга. 1–3 – точки с установленным возрастом торфа: 1 – на плоскобугристых торфяниках, 2 – на буграх пучения, 3 – на плоскобугристых торфяниках и буграх пучения; 4 – Надымский стационар (65° с.ш., 73° в.д.). 1–33 – номера разрезов, опробованных: 1–4 – И.Д. Стрелецкой, О.С. Туркиной [1987]; 5, 6 – Г.В. Матышаком [2009]; 7 – Н.К. Пановой, С.С. Трофимовой, Т.Г. Антипиной, Е.В. Зиновьевым, А.В. Гилевым, Н.Г. Ерохиным [2010]; 8–13 – Ю.К. Васильчуком, О.В. Лахтиной [1986]; 14–17 – О.С. Туркиной [1980]; 18 – С.Н. Кирпотиным, Т.А. Бляхарчук, С.Н. Воробьевым [2003]; 19 – D. Peteet, A. Andreev, W. Bardeen, F. Mistretta [1998]; 20–23 – Э.В. Стариковым, В.А. Жидовленко [1981]; 24–33 – Е.С. Малясовой, С.М. Новиковым, Л.И. Усовой [1991].

100 км к югу от Северного полярного круга, на III озерно-аллювиальной равнине с абсолютными отметками 25–30 м, в пределах озерно-болотного типа местности.

В структуре этого типа местности преобладают плоскоструристые торфяники (рис. 2) [Ландшафты..., 1983].

Литологический состав отложений здесь достаточно разнообразный за счет больших различий в мощности верхнего органогенного слоя (от нескольких сантиметров на буграх пучения до 1,5 м, реже 6 м, на торфяниках) и наличия прослоев в песках, подстилающих органогенные отложения. Под слоем органогенных отложений залегают разнозернистые мелкие пески, пылеватые пески с прослоями супеси, суглинка, иногда дресвы и гравия. На глубине 4–8 м, реже 10 м, пески сменяются суглинками.

Многолетнемерзлые породы здесь имеют двухслойное строение. Кровля реликтовых толщ залегает на глубинах около 100 м. Современные высокотемпературные ММП приурочены к буграм пучения, плоскоструристым торфяникам и кустарничково-моховым болотам. Под ложбинами стока с травяно-моховыми болотами современные ММП отсутствуют или кровля их понижена.

Температура современных ММП с конца 1970-х гг. повышается и в настоящее время на глубине 10 м составляет $-0,1...-0,2$ °С. Лишь для одного высокого семиметрового торфяно-минерального бугра были получены более низкие температуры, составляющие -2 °С.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являются бугры пучения, плоскоструристые торфяники и ложбины стока.

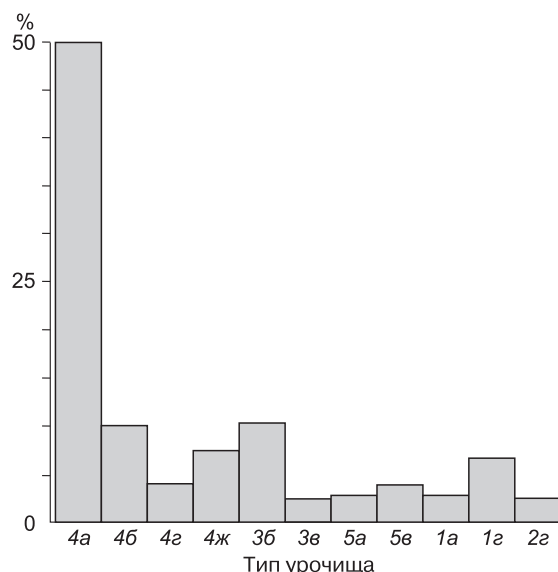


Рис. 2. Структура озерно-болотного типа местности (по Н.Г. Москаленко [Ландшафты..., 1983]).

Торфяники: 4а – плоскоструристые, 4б – мелкобугристые, 4г – плоские заозеренные, 4ж – крупнобугристые; болота: 3б – плоские некомплексные, 3в – комплексные грядово-мочажинные; бугры пучения: 5а – минеральные, 5в – торфяно-минеральные; леса: 1а – на пологоволнистых дренированных участках, 1г – на плоских заболоченных участках, 2г – в долинах малых рек.

Бугры пучения резко различаются по морфологии и составу отложений. Высота бугров варьирует от 0,5–1,0 до 3 м, реже 7 м. По форме можно выделить две разновидности бугров: единичные округлой или слегка вытянутой формы (рис. 3, а) и слившиеся в единый массив, образующий площадь пучения (рис. 3, б).



Рис. 3. Единичный бугор пучения почти округлой формы (а) и бугры, слившиеся основаниями в единый массив и образующие площадь пучения (б).

По составу слагающих их отложений бугры делятся на торфяно-минеральные, торфяные и минеральные [Ландшафты..., 1983]. Наиболее широко распространены торфяно-минеральные бугры. Общей особенностью бугров является присутствие в разрезе льдистых суглинков, подстилающих пески. Типичный разрез бугра пучения приведен на рис. 4. Мощность торфа на буграх изменяется от первых сантиметров до 2 м, а в отдельных случаях достигает 6 м.

Возраст торфа предположительно старше 3–3,5 тыс. лет. Это предположение основано на анализе опубликованных данных¹ по 15 буграм, рас-

положенным в южной тундре, лесотундре и северной тайге Западной Сибири. В 12 (из 15) опробованных разрезах бугров пучения возраст торфа составил от 9(6) тыс. лет у подошвы слоя до 5–3,5(3) тыс. лет у кровли (рис. 5). В разрезах двух бугров у кровли слоя был обнаружен торф моложе 1 тыс. лет: 135 лет по данным С.Н. Кирпотиной с соавт. [2003] и 550 лет по данным Ю.К. Васильчука, О.В. Лахтиной [1986]. Но на глубине 0,5–1,0 м он подстилался более древним торфом (4580 лет и более). Только в одном разрезе у подошвы слоя был выявлен торф моложе 1 тыс. лет (750 лет, по данным О.С. Туркиной [1980]). Этот

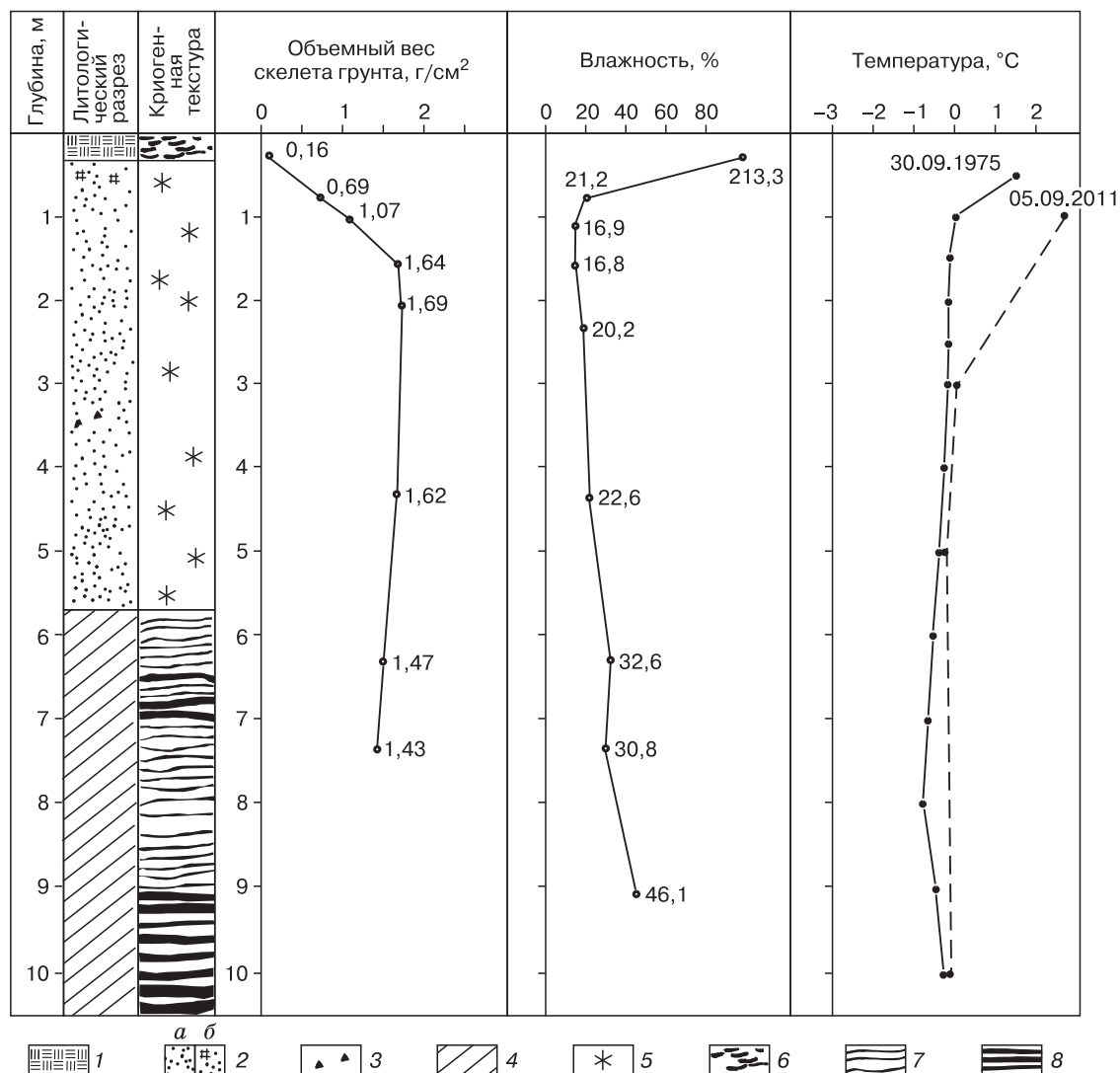


Рис. 4. Разрез по скважине № 12, пройденной на торфяно-минеральном бугре пучения в 1975 г. и оборудованной для температурных наблюдений.

Литологический состав: 1 – торф; 2а – песок оторфованный; 3 – древесина; 4 – суглинок. Криогенные текстуры: 5 – массивная; 6 – тонколинзовидная; 7 – среднелинзовидная; 8 – толстолинзовидная.

¹ Источники проанализированной информации указаны в подписи к рис. 1.

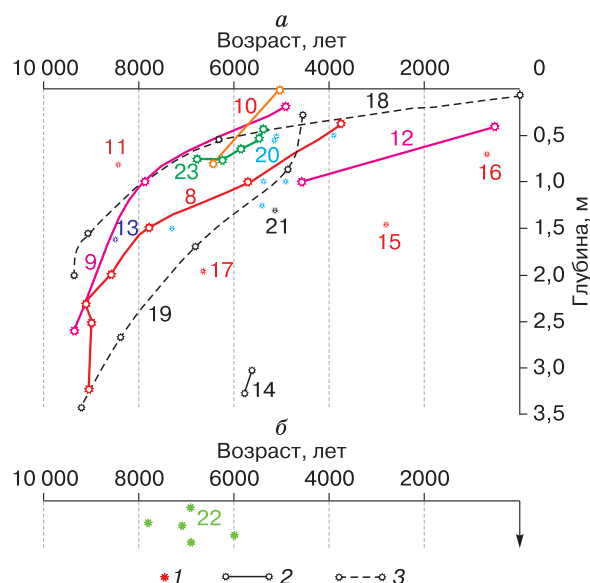


Рис. 5. Возраст торфа бугров пучения по опубликованным данным:

a – разрезы № 8–21, *б* – разрез № 22 (см. рис. 1); 1 – возраст торфа, определенный методом жидкостной сцинтилляции; 2, 3 – изменение возраста торфа по глубине (2 – возраст определен методом жидкостной сцинтилляции, 3 – методом ускорительной масс-спектрометрии (АМС)).

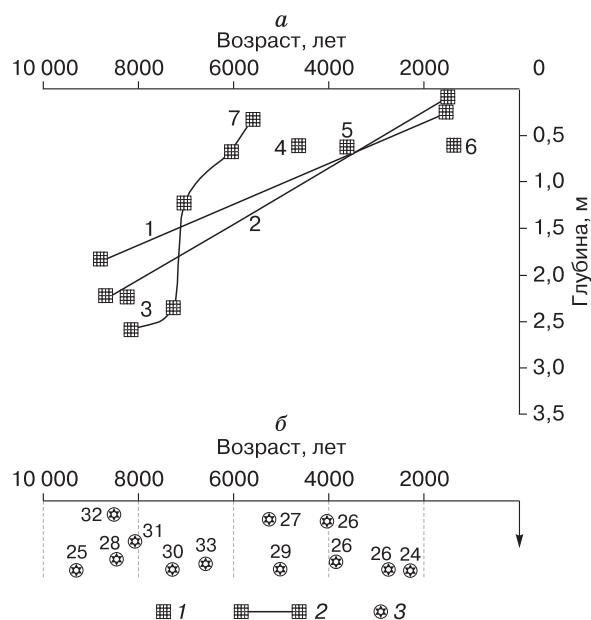


Рис. 6. Возраст торфа плоскостопых торфяников и бугров пучения по опубликованным данным:

a – разрезы № 1–7, *б* – разрезы № 24–33 (см. рис. 1); 1 – возраст торфа; 2 – изменение возраста торфа по глубине; 3 – возраст торфа плоскостопых торфяников и бугров пучения, определенный методом жидкостной сцинтилляции.

торф был отобран на глубине 0,65–0,75 м из бугра высотой 1 м, расположенного в районе пос. Пангоды. Эта датировка указывает на то, что на отдельных участках торфонакопление могло происходить менее 1 тыс. лет назад.

На Надымском стационаре также есть по крайней мере один молодой бугор, образование которого началось в 1973 г. (Н.Г. Москаленко, *устное сообщение*). В настоящее время его высота не превышает 1 м.

Итак, на большинстве бугров торф можно разделить по возрасту на два слоя. Торф в верхнем слое, залегающем на глубинах приблизительно 0–0,5 м, моложе 1 тыс. лет. Торф в нижнем слое имеет разный возраст, но всегда старше 3,5(3) тыс. лет. Скорость накопления торфа, слагающего верхний слой, была значительно ниже, чем у подстилающего. Нельзя исключать возможность перерыва в торфонакоплении с 3,5(3) тыс. лет до 750(550) лет.

Опираясь на данные о возрасте торфа, можно сделать два предположения относительно истории развития бугров пучения. В период с 9–3,5(3) тыс. лет назад в северной тайге Западной Сибири, возможно не один раз, устанавливались условия, благоприятные для торфонакопления. Позднее на участках, которые в настоящее время занимают бугры пучения, условия торфонакопления из-

менились под влиянием либо локальных (например, воздымание конкретного бугра), либо региональных причин (например, изменение климата региона).

Плоскостопые торфяники морфологически единообразны, имеют однотипный литологический состав. Под слоем торфа мощностью в среднем 1,7 м залегают супеси, которые постепенно переходят в пески, а на глубине 7–8 м на некоторых участках подстилаются льдистыми суглинками [Ландшафты..., 1983].

На плоскостопых торфяниках количество точек, в которых определялся возраст торфа, меньше, чем на буграх (рис. 6). Поэтому установить закономерности сложнее. По имеющимся данным можно утверждать лишь то, что большая часть датировок указывает на тот же, что у бугров, возрастной интервал – от 9 до 3,5(3) тыс. лет. Более молодой торф был обнаружен Г.В. Матышаком в бассейне р. Хейгияха – 1470 лет [Антропогенные изменения..., 2006] и О.С. Туркиной в бассейне р. Ныда – 1550 и 1440 лет [Стрелецкая, Туркина, 1987]. Причем одно из этих определений получено у подошвы органогенного слоя.

Заболоченные ложбины стока сложены торфом мощностью до 1,5 м, подстилаемым песком с прослоями суглинка, супеси и гравия. Песок сменяется суглинком. Данных о возрасте торфа нет.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мониторинг многолетнего пучения ведется методом повторного измерения высоты поверхности бугров пучения, плоскобугристых торфяников и ложбин стока. Эти измерения были начаты на Надымском стационаре в 1972 г. и продолжаются сейчас. За 40 лет наблюдательная сеть претерпела большие изменения. В настоящее время она состоит из 500 точек наблюдения, 14 из которых являются фрагментом первой наблюдательной сети 1972 г. Большая часть наблюдательных точек (350 из 500) расположена на профилях, пересекающих все основные урочища стационара (шаг между точками составляет 2 м). Еще 123 точки находятся на площадке CALM размером 100×100 м (урочища плоскобугристых торфяников, мелкобугристых тундр и болота). Остальные наблюдательные точки расположены на молодом бугре пучения и в термокарстовой котловине. Измерение высоты производится нивелиром от геодезического репера. Нивелировка выполняется в конце августа, чтобы свести к минимуму искажения за счет сезонного пучения. Полученные данные сопоставляются с материалами наблюдений по метеостанции Надым. Мониторинг пучения на Надымском стационаре является составной частью геокриологических исследований, включающих мониторинг мощности сезонноталого слоя и температуры многолетнемерзлых пород (в скважинах).

АНАЛИЗ ДАННЫХ МЕТЕОНАБЛЮДЕНИЙ (МЕТЕОСТАНЦИЯ НАДЫМ)

Материалы метеонаблюдений показывают, что многолетнее пучение происходило на фоне уменьшения суровости климата и резких изменений количества атмосферных осадков год от года, в том числе в первые месяцы промерзания. О том, что климат был менее суровым, свидетельствует

повышение температур воздуха и уменьшение длительности периода с отрицательными температурами.

Температуры воздуха. Среднегодовые температуры воздуха повысились за время метеонаблюдений на станции Надым (с 1960 г.) приблизительно на 2°C (рис. 7). Сумма температур воздуха холодного периода увеличилась на 20°C , а сумма температур теплого периода – на 10°C .

Необходимо отметить, что на фоне потепления климата в отдельные месяцы (годы) зимние температуры имели аномально низкие значения. Например, при средней многолетней температуре в ноябре $-15,5^{\circ}\text{C}$ средняя температура воздуха в ноябре 1998 г. была равна -30°C .

Уменьшение длительности периода с отрицательными температурами. В рассматриваемом районе до 1977 г. первым месяцем с устойчивыми отрицательными температурами был октябрь (исключение – 1967 г.). После 1977 г. температуры воздуха в октябре неуклонно повышались и четыре раза были близки к нулю или выше 0°C – в 1997, 2005, 2007 и 2011 гг. (рис. 8). В эти годы промерзание отложений начиналось в ноябре. После 1987 г. сокращение периода промерзания происходит также за счет более раннего наступления положительных температур. Положительными значениями теперь характеризуется температура воздуха в мае. В результате этих изменений длительность периода с отрицательными температурами сократилась почти на месяц.

Изменение количества атмосферных осадков. Судя по тренду, до начала 1990-х гг. изменение общего количества атмосферных осадков было незначительным (рис. 9). Однако после 1990 г. их количество стало возрастать и к 2010 г. увеличилось на 100 мм, в большей степени (на 75 %) за счет роста количества летних осадков.

При общем увеличении количества выпавших осадков в отдельные месяцы (годы) могут наблю-

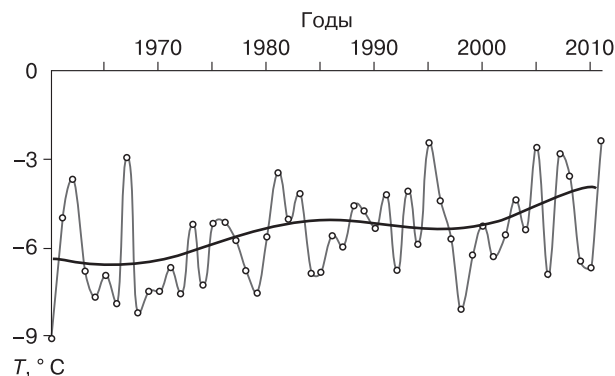


Рис. 7. Изменение среднегодовых температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) с начала метеонаблюдений на станции Надым и линия тренда.

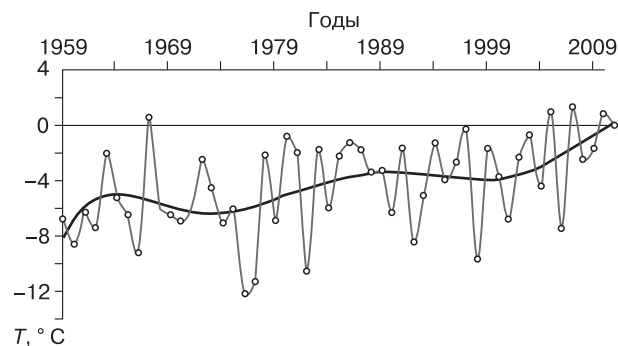


Рис. 8. Температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в октябре по данным метеостанции Надым и линия тренда.

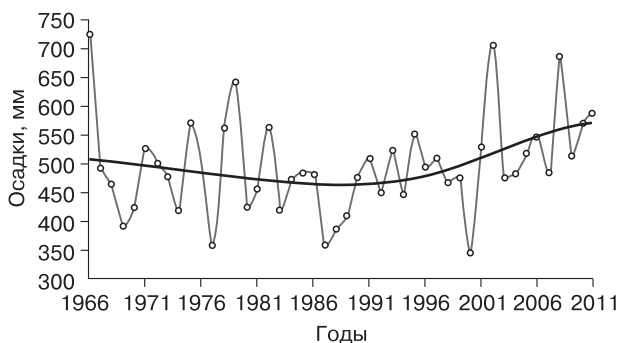


Рис. 9. Количество осадков за год (мм) по данным метеостанции Надым и линия тренда.

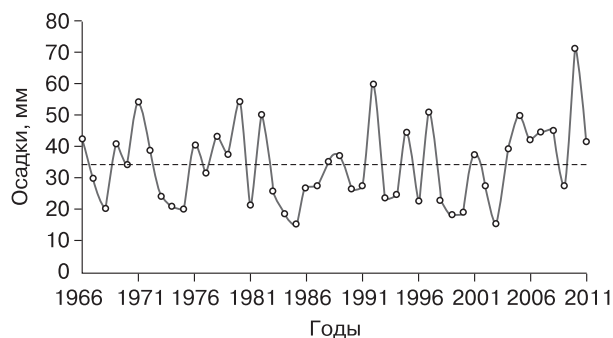


Рис. 10. Количество осадков (мм) в ноябре по данным метеостанции Надым и линия среднего многолетнего значения.

даться аномально низкие значения. Например, в ноябре 2003 г. количество осадков равно 15 мм при среднем значении 34 мм (рис. 10).

В суровом ноябре 1998 г. сумма выпавших осадков составила приблизительно 67 % от среднего значения, поэтому условия для промерзания и пучения были особенно благоприятными.

Таким образом, на фоне потепления климата в отдельные годы могут складываться весьма благоприятные для пучения климатические условия.

Потепление климата приводит к увеличению дифференциации рельефа кровли ММП на буграх пучения, так как на участках с незначительной мощностью торфа глубина протаивания возрастает намного сильнее, чем на расположенных рядом участках с большей мощностью торфа [Москаленко, Пономарева, 2004].

АНАЛИЗ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА МНОГОЛЕТНЕГО ПУЧЕНИЯ

Анализ результатов повторных нивелировок марок на стационарных профилях и площадках

Надымского стационара позволил выявить следующие закономерности изменения интенсивности многолетнего пучения. По преобладающим особенностям изменения высоты поверхности можно выделить два временных интервала: до 1999 г. включительно и с 2000 по 2011 г.

В течение первого периода в целом наблюдался подъем поверхности бугров и плоскобугристых торфяников. Детальный анализ фактического материала, характеризующий этот период, можно найти в работах [Москаленко и др., 2007; Пономарева, Шур, 2008]. Подъем поверхности происходил скачкообразно в суровые зимы. Самый значительный (до 20–40 см, в отдельных точках до 60 см) подъем поверхности на всех буграх и торфяниках зафиксирован в 1985, 1988, 1995, 1999 гг. после экстремально холодных осенне-зимних периодов. В качестве примера на рис. 11 приведена динамика поверхности одного из бугров Надымского стационара.

В промежутке между экстремально холодными годами привершинная поверхность бугров ста-

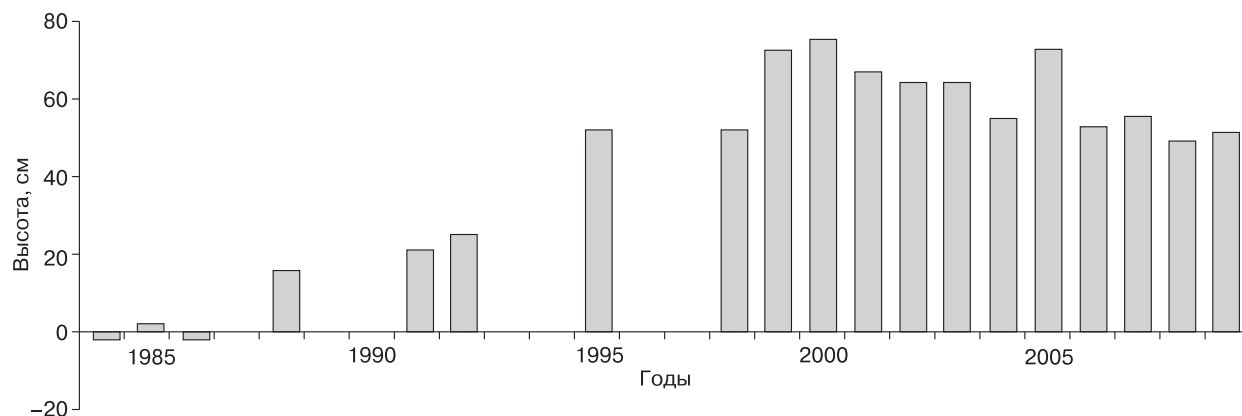


Рис. 11. Динамика поверхности привершинной части древнего бугра пучения.

За нуль принята высота поверхности бугра в 1980 г.

билизировалась. Например, после подъема поверхности зимой 1994/95 г. высота бугра не менялась до зимы 1998/99 г. (см. рис. 11).

В промежутки между экстремально холодными годами на склонах бугров наблюдалась тепловая осадка, величина которой варьируется. Так, на центральных частях бугров осадка отсутствует или близка к нулю (около 5 см), а на бортах бугров она может достигать десятков сантиметров.

Происходящее из года в год чередование подъемов и опусканий поверхности привело к тому, что центральные части бугров пучения испытывали подъем, а борта оставались на прежних отметках.

На плоскобугристых торфяниках подъем поверхности также время от времени сменялся опусканием, но в целом преобладал подъем, составивший 30 см за 15 лет (1984–1999).

С 2000 г. подъем поверхности бугров и торфяников практически прекратился и сменился на небольшую осадку. В 2009 г. на торфяном бугре пучения было обнаружено увеличение плановых размеров старого, образовавшегося еще до начала хозяйственного освоения территории (1971 г.) и ранее неактивного термокарстового понижения. После 2000 г. тенденция к опусканию поверхности за счет тепловой осадки нарушалась лишь однажды – после зимы 2004/05 г. Подъем поверхности, зафиксированный в 2005 г., может быть объяснен благоприятным для пучения сочетанием двух климатических параметров: низкая температура воздуха -24°C в декабре 2004 г. (при средней для декабря температуре -21°C) и аномально малое количество снега 12,5 мм (при среднем значении для декабря 27 мм). Поверхность бугра поднялась на 7 см, а на площадке CALM – на 30 см.

Зимой 2004/05 г. вследствие пучения не только поверхность, но и кровля ММП на буграх пучения, тундрах и заболоченных ложбинах стока заняла очень высокое положение, несмотря на большую (в среднем 142 см), чем обычно (130–133 см), глубину оттаивания. В 2006 и 2007 гг. на этих участках происходили тепловая осадка поверхности и понижение отметок кровли ММП, хотя эти годы не были экстремально теплыми. С нашей точки зрения, осадка тогда развивалась как компенсация высокого положения кровли ММП, достигнутого в экстремальных климатических условиях 2004 г. Высокое положение кровли ММП не соответствовало современным условиям. После 2007 г. на мелкобугристых тундровых участках осадка вновь сменилась медленным подъемом поверхности. В 2009 г. поверхность у части марок, а в 2010 г. у большинства марок на площадке оказалась немного выше своего положения в предшествующем году, что свидетельствует о завершении осадки.

В краевой части болот и заболоченных ложбин стока обнаружены участки новообразования ММП, которые проявляются в рельефе в виде отдельных бугорков или низких (высотой около 10–15 см) гряд. Многолетнемерзлые породы залегают на глубинах около 25 см. Данные нивелировки за последние три года (2009–2011) свидетельствуют о том, что высота поверхности гряд практически не меняется, но увеличиваются их размеры в плане. Влаголюбивая растительность на грядах постепенно отмирает. Участки с отмершей растительностью четко выделяются на фоне остальной части болот, поэтому могут быть обнаружены без нивелировки поверхности при маршрутном обследовании, которое показывает, что количество участков с новообразованием ММП резко возросло.

Отметки поверхности мелких бугорков иногда понижаются, некоторые из них исчезают. Однако большинство бугорков продолжает существовать.

Изменение растительного покрова, обусловленное антропогенным воздействием, также может привести к изменению динамики многолетнего пучения. Об этом свидетельствуют наблюдения за положением поверхности молодого (39-летнего) бугра пучения, испытывающего с 2001 г. понижение поверхности. К настоящему времени почти полностью деградировал его напочвенный покров, поверхность бугра осела на 10 см, размеры в плане сократились.

Таким образом, данные прямых инструментальных измерений показывают, что происходит постоянное изменение высоты поверхности бугров пучения, плоских торфяников и заболоченных ложбин стока под влиянием пучения и тепловой осадки.

Образование бугорков и гряд в ложбинах стока, рост молодых бугров мы связываем с динамикой торфонакопления. Авторы полагают, что полученные в ходе инструментальных измерений максимальные (до 60 см) значения подъема поверхности в отдельных точках частично могут быть связаны с особенностями промерзания сезонноталого слоя и, в частности, с развитием напора на участках с понижениями в кровле ММП, которые появляются, как указывалось выше, из-за потепления климата и разной мощности торфа.

О справедливости этого предположения, с нашей точки зрения, свидетельствуют зависимость величины пучения от температурных условий на поверхности бугра в период промерзания и большая скорость подъема у этих точек. У современных миграционных бугров скорость роста составляет обычно менее 20 см в год [Невечеря, 1980; Васильчук, 2008], т. е. в 2–3 раза ниже, чем зафик-

сированная авторами. Для проверки сделанного предположения о причинах подъема поверхности бугров наблюдения будут продолжены.

ВЫВОДЫ

Инструментальными измерениями, проводившимися с 1972 по 2011 г. на стационарных объектах, доказана справедливость точки зрения А.П. Тыртикова [1969], Е.Б. Белопуховой [1966], И.В. Тодосийчук [1975], Л.И. Вейсмана [1977], В.Л. Невечери [Геокриологические условия..., 1983], Ю.К. Васильчука [2008] о возможности роста бугров пучения в современных климатических условиях северной тайги Западной Сибири.

1. Выявлено, что отметки бугров год от года меняются. Центральная часть бугров растет, склоны остаются практически на той же высоте.

2. Установлено, что многолетнему пучению подвержены разновозрастные (в том числе старые) бугры пучения и плоскобугристые торфяники. Следовательно, многолетнее пучение играет большую роль в формировании современного рельефа плоскобугристых торфяников.

3. Доказано, что в результате потепления климата, начавшегося в 70-е гг. XX в., повышения температуры ММП и увеличения глубины оттаивания интенсивность подъема поверхности бугров и торфяников вследствие многолетнего пучения уменьшается. Особенно заметные изменения отмечаются в последние 10 лет.

4. На фоне общего снижения интенсивности пучения происходит значительный (до 30–40 см в год) подъем поверхности бугров и торфяников в годы с холодными малоснежными зимами.

5. Установлено, что значительный (до 30 см) подъем поверхности происходит даже в том случае, если низкие температуры воздуха и аномально маломощный снежный покров наблюдаются всего один месяц. Таким образом, даже в случае потепления климата пучение будет оставаться активным процессом.

Работа выполнена при поддержке проекта TSP (Thermal State of Permafrost, National Science Foundation, грант NSF ARC-0632400, ARC-0520578), проекта CALM (Circumpolar Active Layer Monitoring, грант NSF OPP-9732051 и OPP-0225603) и гранта Президента РФ (НШ-5582.2012.5).

Литература

- Андреанов В.Н., Козлов А.Н., Крицук Л.Н. Инженерно-геокриологические условия бассейна среднего течения р. Надым // Тр. ВСЕГИНГЕО. М., 1973, вып. 62, с. 79–89.
- Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Н.Г. Москаленко. М., ИКЗ СО РАН, 2006, 357 с.
- Белопухова Е.Б. Особенности мерзлотных форм рельефа в Западной Сибири // Материалы VIII Всесоюз. междувед. совещания по геокриологии (мерзлотоведению). Якутск, Кн. изд-во, 1966, вып. 6, с. 5–13.
- Васильчук Ю.К. Выпуклые бугры пучения многолетне-мерзлых торфяных массивов / Ю.К. Васильчук, А.К. Васильчук, Н.А. Буданцева, Ю.Н. Чижов. М., Изд-во Моск. ун-та, 2008, 572 с.
- Васильчук Ю.К., Лахтина О.В. Развитие торфяных бугров в северных районах Западной Сибири в голоцене // Формирование мерзлых пород и прогноз криогенных процессов. М., Наука, 1986, с. 123–128.
- Вейсман Л.И. Исследования криогенных процессов методом ландшафтных индикаторов и вопросы их дешифрирования (на примере севера Западной Сибири): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1977, 24 с.
- Геокриологические условия Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Е.С. Мельникова. Новосибирск, Наука, 1983, 198 с.
- Евсеев В.П. Миграционные бугры пучения северо-востока европейской части СССР и Западной Сибири // Проблемы криолитологии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1976, вып. V, с. 95–159.
- Кирпотин С.Н., Бляхарчук Т.А., Воробьев С.Н. Динамика субарктических плоскобугристых болот Западно-Сибирской равнины как индикатор глобальных климатических изменений // Вестн. Том. ун-та. Сер. Биол. науки, 2003, № 7, с. 122–134.
- Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской нефтегазонаосной провинции / Под ред. Е.С. Мельникова. Новосибирск, Наука, 1983, 159 с.
- Малысова Е.С., Новиков С.М., Усова Л.И. Динамика торфонакопления и процесс образования бугристых болот Западной Сибири // Бот. журн., 1991, т. 76, № 9, с. 1227–1237.
- Матышак Г.В. Особенности формирования почв севера Западной Сибири в условиях криогенеза: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2009, 24 с.
- Москаленко Н.Г., Пономарева О.Е. Изменения растительности и геокриологических условий бугров пучения, нарушенных линейным строительством в северной тайге Западной Сибири // Криосфера Земли, 2004, т. VIII, № 2, с. 10–16.
- Москаленко Н.Г., Пономарева О.Е., Казанцева Л.А., Устинова Е.В. Мониторинг экзогенных геологических процессов на трассе газопровода Надым–Пунга // Инж. изыскания, 2007, № 1, с. 34–36.
- Невечеря В.Л. Криогенное пучение при многолетнем промерзании пород на севере Западной Сибири // Геокриологические исследования. М., 1980, с. 45. (Тр. ВСЕГИНГЕО; Вып. 138).
- Панова Н.К., Трофимова С.С., Антипина Т.Г. и др. Динамика растительности и экологических условий в голоцене на южном Ямале (по данным комплексного анализа отложений реликтового торфяника) // Экология, 2010, № 1, с. 22–30.
- Попов А.И. Вечная мерзлота в Западной Сибири. М., Изд-во АН СССР, 1953, 153 с.
- Стариков Э.В., Жидовленко В.А. Радиоуглеродные датировки Института леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО РАН // Бюл. Комис. по изучению четвертичного периода. М., 1981, № 51, с. 182–184.

Стрелецкая И.Д., Туркина О.С. Мерзлые плоскобугристые торфяники Надым-Пуровского междуречья Западной Сибири // Исследования мерзлых грунтов в районах освоения. М., ПНИИИС, 1987, с. 41–49.

Тодосийчук И.В. Бугристые торфяники Надым-Пуровского междуречья // Геокриологические исследования. М., ВСЕГИНГЕО, 1975, с. 14–18.

Туркина О.С. О растительном покрове и строении торфяной залежи бугристых болот бассейна реки Пангоды // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки, 1980, № 6 (198), с. 67–71.

Тыртиков А.П. Влияние растительного покрова на промерзание и протаивание грунтов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969, 192 с.

Шполянская Н.А., Евсеев В.П. Выпуклобугристые торфяники северной тайги Западной Сибири // Природные условия Западной Сибири. М., Изд-во Моск. ун-та, 1972, с. 134–146.

Peteet D., Andreev A., Bardeen W., Mistretta F. Long-term Arctic peatland dynamic, vegetation and climate history of the Pur-Taz region, Western Siberia // Boreas, 1998, vol. 27, p. 115–126.

Ponomareva O., Shur Y. Long-term monitoring of frost heave and thaw settlement in the northern taiga of West Siberia // Ninth Intern. Conf. on Permafrost. Fairbanks, USA, Inst. Northern eng., Univ. Alaska, 2008, vol. 2, p. 1439–1444.

*Поступила в редакцию
28 июня 2011 г.*