

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВ ПЛОСКОБУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (стационар Надым)

А.А. Бобрик, О.Ю. Гончарова, Г.В. Матышак, И.М. Рыжова, Н.Г. Москаленко\*,  
О.Е. Пономарева\*, О.А. Огнева

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ф-т почвоведения,  
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия; ann-bobrik@yandex.ru*

*\* Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия*

Мощность сезонноталого слоя и ландшафтные условия (рельеф, влажность и температура поверхности почв) плоскобугристого торфяника, исследованного на территории стационара Надым (север Западной Сибири, площадка CALM R1), характеризуются высокой пространственной вариабельностью. Почвенный и растительный покров торфяника отличается высокой комплексностью. Пространственное распределение мощности сезонноталого слоя на участке исследований определяется гипсометрическим уровнем и зимним температурным режимом поверхности почв. Основной вклад в пространственную вариабельность влажности и температурного режима поверхности почв плоскобугристого торфяника вносит гипсометрический уровень. Это косвенное влияние выражается в перераспределении зимних осадков по элементам микрорельефа.

*Многолетнемерзлые породы, криогенные почвы, торф, влажность почв, температурный режим почв, статистическая оценка*

## RELATIONSHIP OF ACTIVE LAYER THICKNESS AND LANDSCAPE PARAMETERS OF PEATLANDS IN THE NORTH OF WEST SIBERIA (Nadym station)

A.A. Bobrik, O.Yu. Goncharova, G.V. Matyshak, I.M. Ryzhova, N.G. Moskalenko\*,  
O.E. Ponomareva\*, O.A. Ogneva

*Lomonosov Moscow State University, Soil Science Department,  
119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, Russia; ann-bobrik@yandex.ru*

*\*Earth Cryosphere Institute, SB RAS, 625000, Tyumen, Malygina str., 86, Russia*

The active layer thickness and landscape parameters (relief, soil volumetric moisture, temperature of soil surface) of frozen peatlands (Nadym, north of West Siberia, CALM R1) are characterized by high spatial variability. Soil and vegetation cover of peatlands have high complexity at fine scale. The spatial distribution of active layer thickness is determined by hypsometric levels and winter temperature of soil surface. Hypsometric level makes a major contribution to the spatial variability of the soil volumetric moisture and temperature of soil surface. This indirect influence is expressed in the redistribution of winter precipitation over the elements of the microrelief.

*Permafrost, permafrost-affected soils, peat, soil moisture, soil temperature regime, statistical evaluation*

## ВВЕДЕНИЕ

Наблюдение за реакцией активного слоя (сезонноталого слоя – СТС) и многолетнемерзлых пород (ММП) на изменение климата в течение длительного времени (несколько десятилетий) является основной целью международной программы циркумполярного мониторинга активного слоя (Circumpolar Active Layer Monitoring – CALM). Созданная в 1990 г. система CALM включает участников из 15 стран мира и состоит из более 200 площадок в обоих полушариях. Большинство площадок расположены в арктической и субарктической зонах, где работы ведутся по сетке от 100 до 1000 м<sup>2</sup> ([www.gwu.edu/~calm/data/north.html](http://www.gwu.edu/~calm/data/north.html)). Проводятся комплексные исследования на

площадках CALM на Аляске [Brown, 1967; Hinkel, Nelson, 2003; Streletskiy et al., 2014], в Канаде [Nixon, Taylor, 1994; Nixon et al., 1995], Гренландии [Christiansen, 1999], Антарктике [Pablo et al., 2014] и России [Мельников и др., 2005; Комплексный мониторинг..., 2012; Mazhitova et al., 2004; Vasiliev et al., 2008; Bobrik, 2014; Grebenets et al., 2014; Khomutov et al., 2014; Malkova et al., 2014].

На территории РФ находятся 64 мониторинговые площадки, из них 13 – в Западной Сибири. Мониторинговая площадка CALM R1 представляет собой уникальный объект исследования, так как является самой южной в Западной Сибири и расположена в зоне островного распространения

ММП. Изучение временной изменчивости мощности СТС, температурных параметров, растительности и микрорельефа в рамках проекта CALM на Надымском стационаре (R1) проводится с 1997 г.

Цель работы – оценка пространственного варьирования мощности сезонного слоя и ландшафтных условий и их взаимосвязи на плоскобугристом торфянике в зоне островного распространения ММП.

Были поставлены следующие задачи: 1) характеристика пространственного распределения элементов почвенного, растительного покровов и микрорельефа, гипсометрический анализ территории; 2) количественная оценка пространственного варьирования мощности сезонного слоя, влажности почв и температурного режима поверхности почв; 3) изучение связи мощности СТС с ландшафтными условиями в пространственном масштабе.

### МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследования расположен на севере Западной Сибири (Надымский район, Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ; 65°20' с.ш., 72°55' в.д.) на северной границе подзоны северной тайги, в краевой части III озерно-аллювиальной равнины р. Надым, на междуречье Хейгяха–Левая Хетта (рис. 1) [Москаленко, 2012]. Данный район относится к зоне островного распространения многолетнемерзлых пород. Ост-

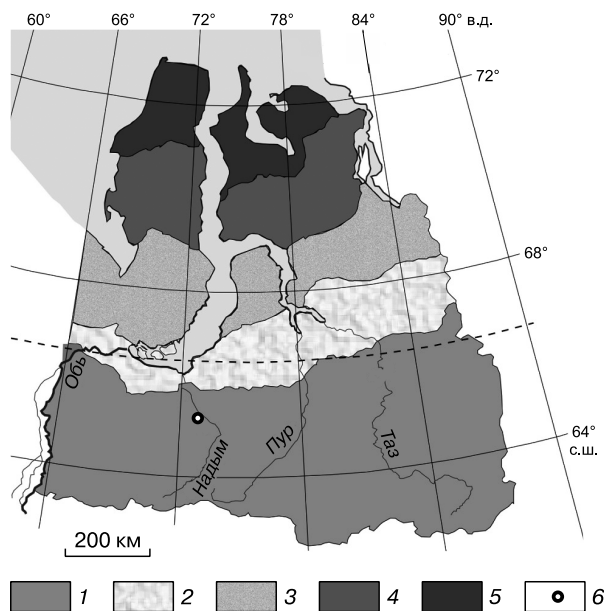


Рис. 1. Район исследований.

1 – северная тайга, 2 – лесотундра, 3 – южная тундра, 4 – типичная тундра; 5 – арктическая тундра; 6 – Надымский стационар.

рова ММП, занимающие до 50 % площади, приурочены к торфяникам, торфяным болотам и буграм пучения [Павлов, Москаленко, 2001]. В целом для района исследования характерны суровые климатические условия: продолжительный зимний период, низкие среднегодовые температуры воздуха ( $-5^{\circ}\text{C}$ ); количество осадков – от 450 до 650 мм в год.

Ландшафты территории четко подразделяются на два основных типа, различающихся по степени гидроморфизма и наличию ММП. Это автоморфные лесные ландшафты, где отсутствуют многолетнемерзлые породы, и гидроморфные ландшафты, представленные как собственно олиготрофными болотами, так и специфическими вариантами мерзлых плоско- и крупнобугристых торфяников с расположением ММП на глубине 1–2 м [Васильевская, 1986; Матвишак, 2009].

Объектом исследования выбран типичный участок плоскобугристого торфяника, представляющий собой плоскую и слабокослонную крупнокочковатую основную поверхность, приподнятую над общим уровнем болотных экосистем, а также прилегающий заболоченный участок.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На площадке размером 100 × 100 м по регулярной сетке через каждые 10 м заложены пикеты (всего 121 точка опробования) для длительных наблюдений за динамикой мощности СТС и других параметров, влияющих на нее.

В августе 2014 г. на всех пикетах мониторинговой площадки CALM R1 проведено описание почвенного и растительного покровов, а также рельефа по двум характеристикам: определен гипсометрический уровень (относительная высота местности) методом нивелирной съемки; описаны формы микрорельефа [Симонов, 2005]. Определена мощность торфа с помощью почвенного бура – “ложки” (фирмы “Eijkelkamp”) для пробоотбора мягких агрегированных почв (влажная глина, торфяные отложения и т. п.) с сохранением структуры образца. Проведены разовые измерения объемной влажности в верхнем 15-сантиметровом слое почвы с помощью влагомера Spectrum TDR-100 при трехкратной повторности для каждого пикета. Мощность СТС в почвенном профиле определялась методом зондирования шупом, представляющим собой заостренный металлический стержень диаметром 10 мм и длиной 2 м [ГОСТ 26262-84]. Традиционно измерение максимальной мощности СТС на мониторинговых площадках CALM осуществляется в конце августа – начале сентября [Мельников и др., 2005].

Выполнены режимные годовые температурные наблюдения, которые включали измерение температуры воздуха на высоте 1 м и поверхности почвы с интервалом 4 ч с августа 2013 по июль

2014 г. с помощью логгеров Thermochron iButton™. Датчики “на поверхность” закладывались на глубину 2 см, чтобы исключить попадание прямых солнечных лучей и для наиболее корректной оценки влияния характера напочвенного покрова на температурный режим поверхности почвы [Гончарова и др., 2015]. Для статистического анализа рассчитаны значения среднегодовой температуры, а также среднемесячной температуры самого теплого (июль) и самого холодного (февраль) месяцев.

Полученные аналитические данные обрабатывались с использованием программных пакетов Excel и Statistica 6.0 корреляционным и регрессионным методами. Структуру пространственной вариабельности параметров исследовали при помощи картограмм, вычисление провели в пакете “Golden Software Surfer 8”.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### 1. Рельеф, растительность и почвенный покров

**Общее описание площадки.** Более 60 % пикетов мониторинговой площадки расположено на торфянике, остальные 40 % – на заболоченном участке. По данным нивелирной съемки, на площадке превышение максимальной отметки над минимальной составляет 1.68 м (рис. 2), среднее относительное превышение –  $0.54 \pm 0.07$  м (здесь и далее 95%-й доверительный интервал среднего ( $\text{mean} \pm 1.96 \times \text{SD}$ )). Половина территории мониторинговой площадки характеризуется гипсометрическим уровнем до 0.5 м. Среднее значение гипсометрического уровня для плоскобугристого торфяника составило 0.73 м, для заболоченного участка – 0.23 м.

Микрорельеф торфяника представлен комплексом форм: ровные поверхности (27.5 % пикетов торфяника), микроповышения в виде кочек (45 %) и микропонижения в виде крупных мочажин (27.5 % пикетов). Заболоченный участок представлен ровной поверхностью и микроповышениями в виде болотных кочек.

Растительность мониторинговой площадки представлена в напочвенном покрове различными лишайниками рода *Cladonia* и мхами (*Sphagnum*, *Pleurozium*, *Politrichum*), в кустарничковом ярусе – карликовой березой (*Betula nana*), черникой (*Vaccinium myrtillus*), голубикой (*Vaccinium uliginosum*), брусникой (*Vaccinium vitis-idaea*) и багульником (*Ledum palustre*); для травяного яруса наиболее характерны осоки различного вида (*Carex* sp.), пушица (*Eriophorum* sp.), андромеда (*Andromeda*). Сфагновые и ягельные сообщества (с примесью кустарничков, трав, осоки и без них) встречаются на мониторинговой площадке практически в равной степени (на 50.5 и 49.5 % пикетов соответственно). Сфагновые сообщества без примеси ку-

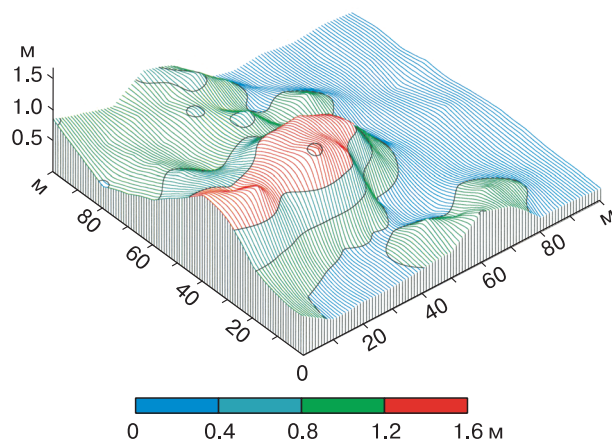


Рис. 2. Гипсометрическая характеристика мониторинговой площадки CALM (август 2014 г.).

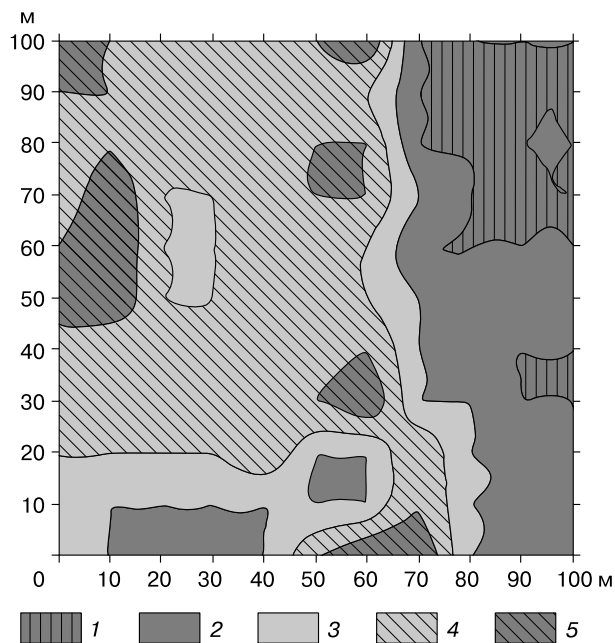
старничков, осоки отмечены на 20 % пикетов, так же как и ягельные сообщества. Установлено, что для торфяника характерен ягельный, кустарничково-ягельный и кустарничково-сфагновый покров, а для заболоченного участка – сфагновый и осоково-сфагновый покров.

При небольшом размере мониторинговой площадки на ней выделены шесть почвенных разностей [Матвишак, 2009]. Для плоскобугристого торфяника характерны глееземы криотурбированные, торфяно-глееземы, криоземы, наибольшее распространение у торфяно-криоземов и торфяно-глееземов (37 и 21 % пикетов соответственно). Торфяные олиготрофные типичные почвы приурочены к заболоченному участку [Классификация..., 2004].

Средняя мощность торфа на плоскобугристом торфянике составляет 0.28 м и варьирует от 0 до 0.57 м. Минимальные значения характерны для микроповышений и микропонижений торфяника ( $0.20 \pm 0.05$  м). Показатель мощности торфа на торфянике характеризуется высокой пространственной вариабельностью (56 %). Мощность торфа на заболоченном участке превышает  $0.50 \pm 0.05$  м.

**Анализ взаимосвязей указанных параметров.** Установлено, что все пикеты, находящиеся на заболоченном участке, характеризуются значением гипсометрического уровня до 0.50 м. Заболоченные участки представлены сфагновыми сообществами. При этом сфагновое сообщество с примесью осоки занимает 30 % пикетов заболоченного участка (рис. 3).

Для ровной поверхности торфяника характерны только пикеты с гипсометрическим уровнем более 0.50 м, что говорит об общей приподнятости торфяника над заболоченным участком. Установлено, что 70 % пикетов на ровной поверх-

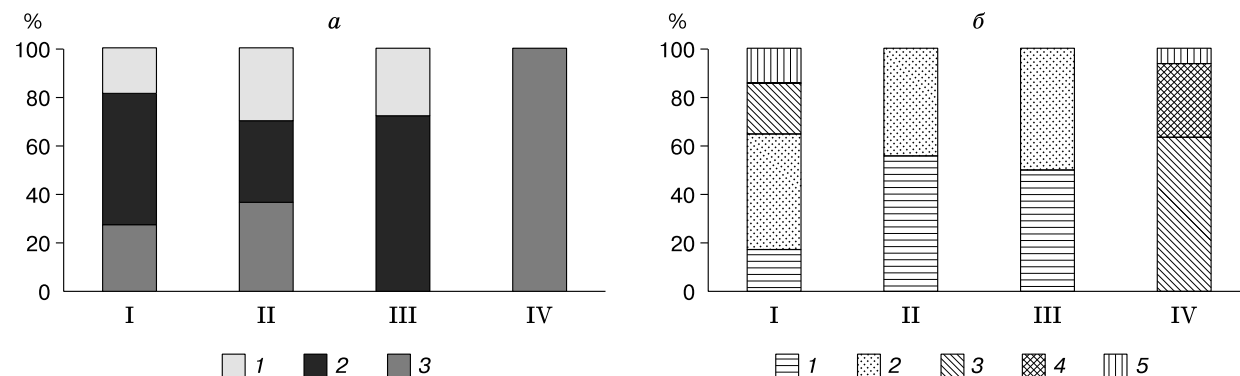


**Рис. 3. Распределение растительных сообществ на мониторинговой площадке CALM (август 2014 г.).**

1 – *Sphagnum*, с примесью осоки; 2 – *Sphagnum*; 3 – *Cladonia*; 4 – *Cladonia*, с примесью мхов и кустарничков; 5 – *Sphagnum*, с примесью кустарничков и трав.

ности торфяника имеют превышения от 0.5 до 1.0 м, остальные 30 % пикетов – более 1 м (рис. 4).

Половина пикетов в микропонижениях торфяника, представленных крупными мочажинами, характеризуется небольшими значениями гипсометрического уровня – менее 0.5 м (см. рис. 4). Выявлено, что в микропонижениях представлены только ягельные сообщества.



**Рис. 4. Гипсометрическая характеристика (а) и характер растительности (б) основных форм микро-рельефа мониторинговой площадки CALM.**

а: 1 – 0–0.50 м; 2 – 0.51–1.00 м; 3 – более 1.01 м. б: 1 – *Cladonia*; 2 – *Cladonia*, с примесью мхов и кустарничков; 3 – *Sphagnum*; 4 – *Sphagnum*, с примесью осоки; 5 – *Sphagnum*, с примесью кустарничков и трав. I – микроповышение, II – микропонижение, III – ровная поверхность торфяника, IV – ровная поверхность заболоченного участка.

На основе данных регрессионного анализа между всеми указанными параметрами мониторинговой площадки получено, что с гипсометрическим уровнем имеет связь влажность почвы (коэффициент корреляции  $r = -0.70$ , уровень значимости  $p\text{-level} < 0.05$ ), мощность СТС ( $r = -0.30$ ,  $p\text{-level} < 0.05$ ) и тип растительности ( $r = 0.65$ ,  $p\text{-level} < 0.05$ ). Установлена также статистически значимая связь растительности с типом микро-рельефа ( $r = 0.35$ ,  $p\text{-level} < 0.05$ ) и влажностью почвы ( $r = 0.57$ ,  $p\text{-level} < 0.05$ ).

## 2. Мощность сезонноталого слоя

Для криогенных почв мощность СТС является важным показателем характера функционирования. Многолетнемерзлые породы как водоупорный горизонт, с одной стороны, и низкотемпературная порода – с другой, оказывают влияние на развитие экосистем и почв, детерминируя в первую очередь гидротермический режим [Макеев, 1999]. Средняя мощность сезонноталого слоя мониторинговой площадки CALM R1 изменяется от 1.01 до 1.43 м (сентябрь 1997–сентябрь 2010 г.) без четкого временного тренда [Комплексный мониторинг..., 2012].

Мощность СТС в сентябре 2014 г. составляет от 0.55 до 2.0 м и более, в среднем  $1.66 \pm 0.08$  м. Установленное среднее значение мощности СТС является наибольшим за все годы наблюдений на данном объекте [Комплексный мониторинг..., 2012]. При этом для 35.5 % пикетов площадки характерна мощность СТС менее 1.5 м, для 56.2 % пикетов она составляет более 2 м, в основном пикеты приурочены к заболоченному участку и микропонижениям торфяника (рис. 5). Только 11 % пикетов характеризуются малой мощностью СТС – до 1 м. Коэффициент вариации мощности равен 27 %. Для более детального изу-

чения неоднородности СТС проведен углубленный анализ изменения этого показателя отдельно для каждой категории рассматриваемых факторов.

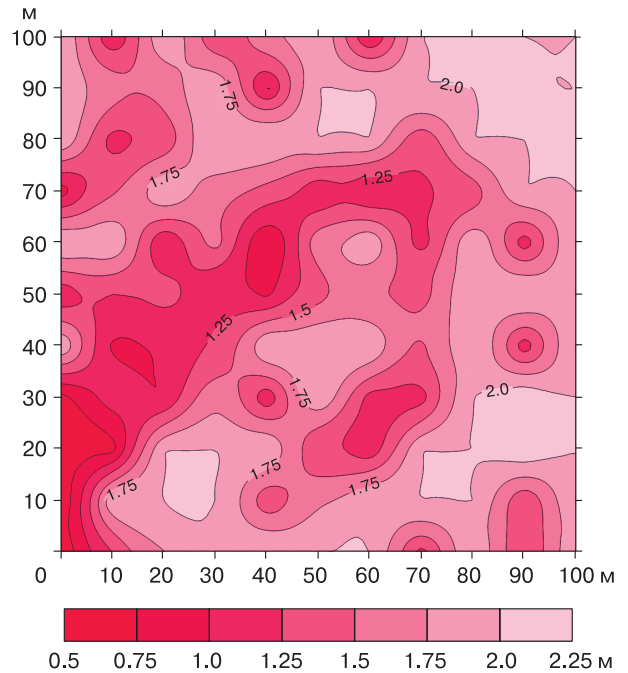
**Рельеф и мощность СТС.** Для категорий гипсометрического уровня 0–0.5, 0.51–1.0 и более 1 м средние значения мощности СТС составили 1.80, 1.54 и 1.37 м соответственно. Количество пикетов с мощностью СТС более 2 м возросло с 23.5 до 71.6 % при уменьшении гипсометрического уровня (рис. 6). Пикеты с минимальной мощностью СТС (менее 1 м) встречаются только на гипсометрическом уровне более 0.5 м.

Для ровной поверхности торфяника среднее значение мощности СТС составляет 1.45 м, на микроповышениях торфяника – 1.59 м, на микропонижениях – 1.64 м. Половина пикетов, расположенных на микропонижениях и микроповышениях торфяника, характеризуются мощностью СТС более 2 м (см. рис. 6).

Для заболоченного участка среднее значение мощности СТС составляет 1.78 м. Установлено, что 70 % пикетов на заболоченном участке характеризуются значением более 2 м. Глубокое залегание ММП на заболоченных участках связано с отопляющим действием воды.

При регрессионном анализе получено, что мощность СТС мониторинговой площадки имеет статистически значимую связь с гипсометрическим уровнем ( $r = -0.30$ ,  $p\text{-level} < 0.05$ ;  $СТС [м] = 1.54 [м] - 0.34 [м/м] \times \text{гипс. уровень [м]}$ ).

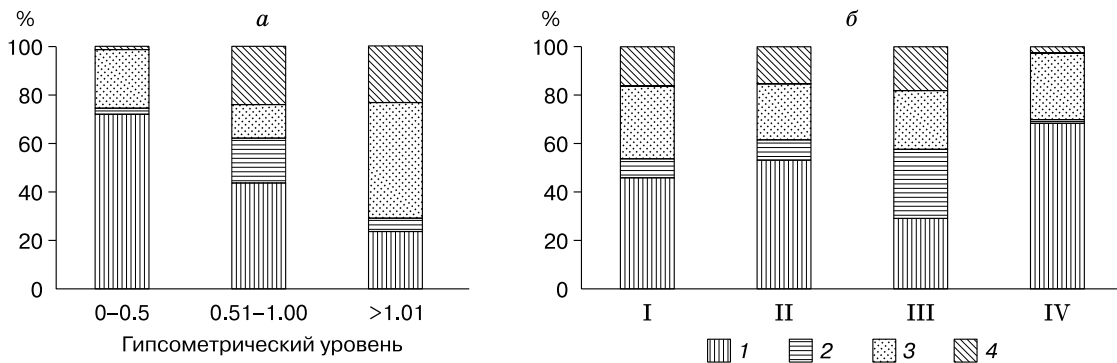
Таким образом, территории с большими значениями гипсометрического уровня характеризуются меньшей мощностью СТС. Это связано с “отепляющим” действием снежного покрова в зимний период, а также “отепляющим” действием воды, что более выражено в пониженных участках рельефа торфяника.



**Рис. 5.** Пространственное распределение мощности сезонного слоя на мониторинговой площадке CALM (август 2014 г.).

**Мощность СТС и растительный покров.** Среднее значение мощности СТС под ягельными сообществами составило 1.56 м, под сфагновыми – 1.68 м. Мощность СТС более 2 м характерна в основном для пикетов под сфагновым сообществом с осоклой. При регрессионном анализе не установлено статистически значимой связи мощности СТС и растительности.

При статистическом анализе мощности СТС по категориям и общим массивом не выявлено



**Рис. 6.** Встречаемость мощности СТС по интервалам гипсометрического уровня (а) и элементам микрорельефа (б) мониторинговой площадки CALM.

Мощность СТС (м): 1 – более 2; 2 – 1.51–2.00; 3 – 1.01–1.50; 4 – 0.51–1.00. I – микроповышение, II – микропонижение, III – ровная поверхность торфяника, IV – ровная поверхность заболоченного участка.

прямой связи с мощностью торфа на плоскобугристом торфянике.

### 3. Температура поверхности почвы

*Температура и рельеф.* При регрессионном анализе установлено, что среднегодовая температура поверхности почвы имеет статистически значимую связь с гипсометрическим уровнем ( $r = -0.48, p\text{-level} < 0.05; T [^{\circ}\text{C}] = 2.0 [^{\circ}\text{C}] - 0.71 [^{\circ}\text{C}/\text{м}] \times \text{гипс. уровень} [\text{м}]$ ). Среднемесячная температура февраля также зависит от гипсометрического уровня ( $r = -0.60, p\text{-level} < 0.05; T [^{\circ}\text{C}] = -0.50 [^{\circ}\text{C}] - 1.63 [^{\circ}\text{C}/\text{м}] \times \text{гипс. уровень} [\text{м}]$ ).

Установлено, что приподнятые территории с превышениями абсолютных отметок более 1.01 м самые холодные по среднегодовым показателям (табл. 1). Это связано с перераспределением твердых осадков по элементам рельефа. Наиболее приподнятые формы рельефа имеют наименьший снеговой покров. Самым теплым температурным режимом поверхности характеризуются участки с небольшими относительными превышениями – до 0.5 м. Высокие среднегодовые значения температур в данной категории гипсометрического уровня складываются исключительно из “зимней” составляющей. Очевидно, что это связано с накоплением снега в пониженных формах рельефа.

*Температура и мощность СТС.* Выявлена прямая статистически значимая связь мощности СТС с зимними температурами поверхности почвы ( $r = 0.38, p\text{-level} < 0.05; \text{СТС} [\text{м}] = 1.63 [\text{м}] + 0.17 [\text{м}/^{\circ}\text{C}] \times T_{\text{фев}} [^{\circ}\text{C}]$ ) и среднегодовыми температурами поверхности почвы ( $r = 0.33, p\text{-level} < 0.05; \text{СТС} [\text{м}] = 0.94 [\text{м}] + 0.26 [\text{м}/^{\circ}\text{C}] \times T_{\text{год}} [^{\circ}\text{C}]$ ). Отсутствует связь мощности СТС с летними температурами поверхности почвы. Установленные закономерности подтверждаются при

анализе средних температурных показателей для различных категорий мощности СТС (табл. 2).

Таким образом, основной вклад в пространственную вариабельность температурных показателей поверхности почв вносит гипсометрический уровень. Это влияние косвенное и выражается в перераспределении снега по элементам микрорельефа.

### 4. Влажность почвы

Показатель объемной влажности почвы характеризуется высокой пространственной вариабельностью (коэффициент вариации составляет 35.9 %). Объемная влажность почвы мониторинговой площадки меняется в широких пределах – от 8.5 до 66.1 %, среднее составляет  $42.2 \pm 2.5$  %. Около 60 % пикетов характеризуются влажностью более 50 % (рис. 7). На заболоченном участке со сфагновыми сообществами средняя объемная влажность почвы более  $56.0 \pm 3.5$  %. Почва торфяника под ягельными сообществами характеризуется средней влажностью  $41.0 \pm 2.5$  %.

По данным регрессионного анализа, среди рассмотренных факторов статистически значимая связь влажности почвы установлена с гипсометрическим уровнем ( $r = -0.70, p\text{-level} < 0.05$ ), типом микрорельефа ( $r = 0.27, p\text{-level} < 0.05$ ) и типом растительности ( $r = 0.57, p\text{-level} < 0.05$ ). С другими показателями значимых связей не выявлено.

*Влажность и рельеф.* Влажность почвы определяется гипсометрическим уровнем. Установлено, что при увеличении гипсометрического уровня влажность почвы снижается. Зависимость влажности почвы от гипсометрического уровня описывается уравнением регрессии: влажность [%] =  $93.3 [\%] - 38.0 [\%/м] \times \text{гипс. уровень} [\text{м}]; r = -0.70, p\text{-level} < 0.05$  (рис. 8).

Таблица 1. Показатели температурного режима поверхности почв по категориям мощности СТС

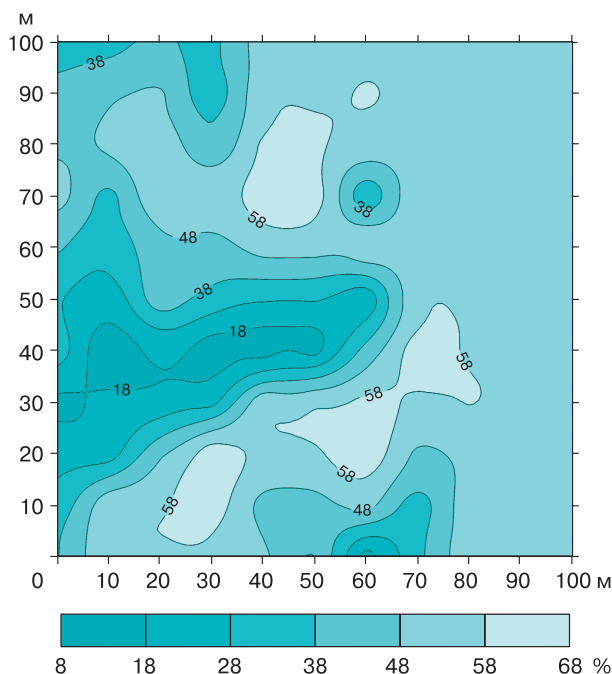
$T_{\text{п}}, ^{\circ}\text{C}$	Мощность СТС, м					$T_{\text{в}}, ^{\circ}\text{C}$
	0–0.50*	0.51–1.00	1.01–1.50	1.51–2.00	>2.00	
Среднегодовая	1.4	$1.5 \pm 0.1$	$1.4 \pm 0.1$	$1.4 \pm 0.1$	$1.4 \pm 0.1$	-6.1
Среднемесячная (февраль)	-2.8	$-1.8 \pm 0.1$	$-2.5 \pm 0.2$	$-2.1 \pm 0.2$	$-1.4 \pm 0.1$	-29.7
Среднемесячная (июль)	10.3	$8.5 \pm 0.5$	$9.7 \pm 0.5$	$7.7 \pm 0.4$	$8.7 \pm 0.3$	12.8

Примечание.  $T_{\text{п}}$  – температура поверхности почвы;  $T_{\text{в}}$  – температура воздуха.

\* В категории 0–0.5 м две точки измерения, доверительный интервал не рассчитывался.

Таблица 2. Показатели температурного режима поверхности почв по категориям гипсометрического уровня

$T_{\text{п}}, ^{\circ}\text{C}$	Гипсометрический уровень, м		
	0–0.50	0.51–1.00	$\geq 1.01$
Среднегодовая	$1.6 \pm 0.1$	$1.5 \pm 0.1$	$1.0 \pm 0.1$
Среднемесячная (февраль)	$-1.3 \pm 0.2$	$-1.8 \pm 0.2$	$-2.4 \pm 0.3$
Среднемесячная (июль)	$9.2 \pm 0.6$	$9.4 \pm 0.3$	$8.2 \pm 0.7$



**Рис. 7. Объемная влажность почв мониторинговой площадки CALM (август 2014 г.).**

Наиболее влажными на плоскобугристом торфянике являются микропонижения, в которых средние значения объемной влажности почвы составляют около 45 %. Самыми сухими являются микроповышения (35.5 %), что объясняется их приподнятостью и хорошей продуваемостью. Ровная поверхность торфяника характеризуется промежуточным средним значением влажности около 40 %.

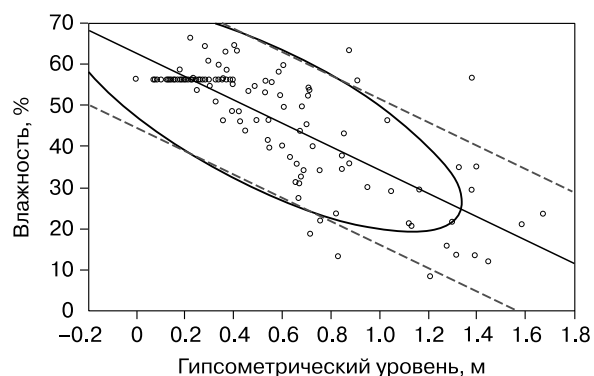
Установлено, что наибольшая влажность почв (56.3 %) наблюдается на пикетах с наименьшим гипсометрическим уровнем (до 0.50 м). Пикеты с превышениями более 1 м характеризуются наименьшим значением средней объемной влажности почвы (34.1 %).

*Влажность и мощность СТС.* Не установлена взаимосвязь мощности СТС и объемной влажности почвы. Это может объясняться как большой мощностью СТС (более 1 м), так и неровной поверхностью кровли ММП и, как следствие, латеральным перераспределением влаги по ней.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К локальным факторам, определяющим мощность СТС, принято относить глубину снежного покрова в зимний период и изолирующее воздействие органогенной толщи (торфа, мха) в летний [Zimov et al., 1993; Mazhitova et al., 2004].

Особенностью исследованного участка плоскобугристого торфяника является значительная мощность СТС при ее широком пространственном варьировании. Измеренная однократно в конце ав-



**Рис. 8. Регрессионная связь объемной влажности почв с гипсометрическим уровнем на мониторинговой площадке CALM (август 2014 г.).**

Штриховые линии – доверительный интервал; эллипсом выделена область 95%-го доверительного интервала среднего значения.

густа она характеризует состояние торфяника на конкретный момент времени, в отличие от таких показателей, как мощность торфа или тип растительного покрова, формирующихся десятки и сотни лет. Кроме того, на исследованном участке мощность торфяных отложений небольшая. Для уточнения зависимостей, по-видимому, необходимо сравнение указанных параметров со средней величиной СТС на данном торфянике за несколько лет, а также исследование других участков бугристых торфяников с меньшей средней мощностью СТС или большей мощностью торфа. Таким образом, на территории стационара в гидроморфных условиях криогенные процессы детерминируют формирование ландшафтов, образуя широко распространенные здесь бугристые торфяники и являются альтернативой физико-географическому расчленению [Матышак, 2009]. На плоскобугристых торфяниках наблюдается высокая контрастность почвенного и растительного покровов, обусловленная сочетанием ряда факторов, среди которых основное место занимает рельеф.

### ВЫВОДЫ

1. Все рассмотренные параметры плоскобугристого торфяника мониторинговой площадки CALM R1 характеризуются высокими коэффициентами вариации и, следовательно, комплексностью почвенного и растительного покровов, а также резко выраженным микрорельефом.

2. Установлено, что мощность сезонноталого слоя почв в среднем для мониторинговой площадки составляла  $166 \pm 8$  см (коэффициент вариации 27 %, сентябрь 2014 г.). При этом более половины пикетов характеризуются мощностью СТС более 2 м, в основном они приурочены к заболоченному участку и микропонижениям торфяника.

3. Пространственное распределение мощности СТС на изученной территории определяется гипсометрическим уровнем ( $r = -0.30$ ,  $p$ -level  $< 0.05$ ) и зимним температурным режимом поверхности почв ( $r = 0.38$ ,  $p$ -level  $< 0.05$ ), что связано с перераспределением зимних осадков.

4. Основной вклад в пространственную вариабельность влажности и температурного режима поверхности почв плоскобугристого торфяника вносит показатель гипсометрического уровня.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 13-04-01577-а, 15-34-50316 мол\_нр).

### Литература

- Васильевская В.Д.** Почвы севера Западной Сибири / В.Д. Васильевская, В.В. Иванов, Л.Г. Богатырев. М., Изд-во Моск. ун-та, 1986, 227 с.
- Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Бобрик А.А.** Температурный режим северотаежных почв Западной Сибири в условиях островного распространения многолетнемерзлых пород // Почвоведение, 2015, № 12, с. 1462–1473, doi: 10.7868/S0032180X15100032.
- ГОСТ 26262-84.** Методы полевого определения глубины сезонного оттаивания. М., Изд-во стандартов, 1984, 8 с.
- Классификация и диагностика почв России /** Авторы и сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск, Ойкумена, 2004, 342 с.
- Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири /** Под ред. В.П. Мельникова. Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2012, 207 с.
- Макеев О.В.** Почва, мерзлота, криопедология // Почвоведение, 1999, № 8, с. 947–957.
- Матышак Г.В.** Особенности формирования почв севера Западной Сибири в условиях криогенеза: Дис. ... канд. биол. наук. М., 2009, 151 с.
- Мельников Е.С., Васильев А.А., Лейбман М.О., Москаленко Н.Г.** Динамика сезонноталого слоя в Западной Сибири // Криосфера Земли, 2005, т. IX, № 2, с. 23–32.
- Москаленко Н.Г.** Изменение криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 2, с. 38–42.
- Павлов А.В., Москаленко Н.Г.** Термический режим почвы на севере Западной Сибири // Криосфера Земли, 2001, т. V, № 2, с. 11–19.
- Симонов Ю.Г.** Геоморфология / Ю.Г. Симонов. СПб., Питер, 2005, 427 с.
- Bobrik A., Goncharova O., Matyshak G. et al.** Efflux of frozen peatland soils at fine scale: The relationship with permafrost conditions and the composition of soil organic matter (Russia, CALM site R1) // Arctic Change-2014: Abstr. Ottawa, Canada, ArcticNet, 2014, p. 17–18.
- Brown J.** An estimation of the volume of ground ice, coastal plain, arctic Alaska // CRREL Technical Report, 1967, 22 p.
- Christiansen H.H.** Active layer monitoring in two Greenlandic permafrost areas: Zackenberg and Disko Island // Danish J. Geography, 1999, No. 99, p. 117–121.
- Grebenets V., Streletskiy D., Shmelev D.** Role of climatic and landscape-specific factors in variability of the active-layer in Norilsk region, Russia // 4th Europ. Conf. on Permafrost: Abstr. Évora, Portugal, 2014, p. 443.
- Hinkel K.M., Nelson F.E.** Spatial and temporal patterns of active layer thickness at Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) sites in northern Alaska // J. Geophys. Res., 2003, vol. 108 (D2), p. 8168.
- Khomutov A., Leibman M., Bartsch A., Dvornikov Y., Ermokhina K., Mullanurov D.** Ground-based active layer monitoring as a benchmark and verifier of remote active layer depth mapping, Central Yamal, Russia // 4th Europ. Conf. on Permafrost: Abstr. Évora, Portugal, 2014, p. 436.
- Malkova G., Skvortsov A., Tsarev A., Sadurtdinov M.** Some results of complex studies at CALM R24 and R24-A sites (Russian European North, the Pechora River Delta) // Ibid., p. 438.
- Mazhitova G., Malkova G., Chestnykh O., Zamolodchikov D.** Active-layer spatial and temporal variability at European Russian Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) sites // Permafrost and Periglacial Processes, 2004, No. 15, p. 123–139.
- Nixon F.M., Taylor A.E.** Active layer monitoring in natural environments, Mackenzie Valley, Northwest Territories // Current Res., Geol. Surv. Can. B, 1994, p. 27–34.
- Nixon F.M., Taylor A.E., Allen V.S., Wright F.** Active layer monitoring in natural environments, lower Mackenzie Valley, Northwest Territories // Current Res., Geol. Surv. Can. B, 1995, p. 99–108.
- Pablo M.A., Pamler W., Ramos M.** CALM-DAT: an under develop data mining software for active layer and frozen ground monitoring sites // 4th Europ. Conf. on Permafrost: Abstr. Évora, Portugal, 2014, p. 441.
- Streletskiy D., Brown J., Clow G. et al.** Permafrost – active layer observation on the North slope of Alaska // Ibid., p. 434.
- Vasiliev A.A., Leibman M.O., Moskalenko N.G.** Active layer monitoring in West Siberia under the CALM II program // Proc. of the Ninth Intern. Conf. on Permafrost, Fairbanks, Univ. of Alaska, 2008, vol. 2, p. 1815–1820.
- Zimov S.A., Zimova G.M., Daviodov S.P. et al.** Winter biotic activity and production of CO<sub>2</sub> in Siberian soils: a factor in the greenhouse effect // J. Geophys. Res., 1993, No. 98, p. 5017–5023.
- [www.gwu.edu/~calm/data/north.html](http://www.gwu.edu/~calm/data/north.html) – web site for the Circumpolar Active Layer Monitoring Network-CALM: Long-Term Observations of the Climate-Active Layer-Permafrost System (01.01.2013–18.05.2015).

Поступила в редакцию  
24 февраля 2015 г.