

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ БУГРОВ И ТОПЕЙ ПЛОСКОБУГРИСТЫХ БОЛОТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.Г. Коронатова¹, Н.П. Миронычева-Токарева¹, Я.Р. Соломин²

¹ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,
630090, Новосибирск, пр. Акад. Лаврентьева, 8/2, Россия; coronat@mail.ru

² Югорский государственный университет,
628012, Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Россия

Исследованы температурный режим торфяных почв плоскобугристых болотных комплексов, расположенных на севере Западной Сибири. Температура фиксировалась автономными логгерами в течение 343 дней до глубин 60 см в буграх и 120 см в топях с шагом 1 ч в четырех болотных экосистемах: топь и мерзлотный бугор в лесотундре, топь и мерзлотный бугор в северной тайге. Приведены данные о средне-суточной, среднегодовой температуре почв, экстремумах, годовой амплитуде, динамике сезонномерзлого слоя, сумме положительных и отрицательных температур на разных глубинах торфяных залежей. Установлено, что различия в температурном режиме почв в большей степени обусловлены принадлежностью болот к разным экосистемам, чем к разным биоклиматическим зонам. Приуроченность болот к более высокой широте сказалась главным образом на годовой амплитуде и температурных параметрах холодного периода.

Температурный режим торфяной залежи, плоскобугристое болото, бугор, топь, криолитозона, Западная Сибирь

THERMAL REGIME OF PEAT DEPOSITS OF PALSAS AND HOLLOWES OF PEAT PLATEAUS IN WESTERN SIBERIA

N.G. Koronatova¹, N.P. Mironycheva-Tokareva¹, Ya.R. Solomin²

¹ Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS,
8/2, Akad. Lavrent'ev ave., Novosibirsk, 630090, Russia; coronat@mail.ru

² Yugra State University,
16, Chekhova str., Khanty-Mansiysk, Khanty-Mansiysk Autonomous okrug – Yugra, 628012, Russia

The study has been focused on the thermal regime of peat soils (fibrist histosols) of palsa bogs and peat plateaus in northern West Siberia. Autonomous loggers recorded temperature for 343 days every hour to a depth up to 60 cm in palsas and 120 cm in hollows (pools, lawns) in four mire ecosystems: the forest tundra hollow and palsa, and the northern taiga hollow and palsa. The data on the mean daily temperature, the mean annual temperature, the extremes, the annual amplitude, the active layer dynamics, the sums of positive and negative temperatures at different depths have been adduced. The established differences in the thermal regimes of soils were due to the differences in the ecosystems of mires, rather than in bioclimatic zones they belong to. The high-latitude mires have the largest impact on the annual amplitude and temperature parameters obtained for the cold period.

Thermal regime of peat deposit, peat plateau, palsa, bog, permafrost, Western Siberia

ВВЕДЕНИЕ

Температура почв является важным абиотическим фактором, который управляет скоростью, а также лимитирует протекание биологических и физико-химических процессов в экосистемах и таким образом определяет состав, структуру и функционирование биогеоценозов в зависимости от климатических условий их существования. В лесотундре и северной тайге Западной Сибири заболоченность территории составляет 25 и 40 % соответственно, достигая в отдельных регионах 70 % [Романова, 1985]. В пределах Западно-Сибирской криолитозоны преобладающий тип болот – это мерзлые бугристые комплексы, которые характеризуются сложным мезорельефом и сочетанием бугров (повышенных микроландшафтов), топей и

озер (пониженных микроландшафтов) [Пьявченко, 1985; Романова, 1985; Гидрология..., 2009]. В литературе мерзлые бугры иногда именуют торфяниками, а обводненные топи – мочажинами, болотами и понижениями. Бугры и топи, находясь в непосредственном контакте друг с другом, различаются гипсометрическим уровнем [Пьявченко, 1985; Гидрология..., 2009; Бобрик и др., 2015], видовым составом фитоценозов [Васильев и др., 2008; Бобрик и др., 2015; Пастухов и др., 2016], глубиной залегания многолетнемерзлых пород (ММП) [Москаленко, 2009; Бобрик и др., 2015; Коронатова и др., 2015].

Температурный режим почв зависит от радиационного баланса и интенсивности теплообмена

между атмосферой и подстилающими грунтами. Исследования, проведенные в разных регионах Сибири, показывают, что в зимний период высота снежного покрова имеет большее влияние на температуру почвы, чем температура воздуха [Шерстюков, 2008; Васильев, 2009; Дюкарев, 2015]. В летнее время быстрый прогрев верхнего мохово-торфяного слоя болот может осуществляться конвективно, потоком дождевой влаги [Дюкарев и др., 2009]. Начиная с середины XX в. наблюдается тенденция к повышению температуры почв севера Сибири [Скрябин, Варламов, 2013], что, в частности, ведет к появлению на мерзлых буграх древесной растительности [Москаленко, 2009; Коронатова, Миляева, 2014]. На севере Западной Сибири наблюдается многолетний тренд увеличения высоты снежного покрова [Китаев, Кислов, 2008], который сопровождается повышением среднегодовых температур в почвах, что может привести к деградации многолетней мерзлоты [Шерстюков, 2008]. В то же время есть работы, доказывающие возрастание суровости почвенного климата [Brown, DeGaetano, 2011], вследствие чего многолетнее мерзлотное пучение остается активным процессом в Западной Сибири [Пономарева и др., 2012].

Тип болотных экосистем криолитозоны влияет на температурный режим торфяных залежей: в обводненных местообитаниях растительность и торф теряют свои теплоизоляционные свойства, теплопроводности залежи приближается к теплопроводности воды или льда, в то время как в более повышенных и сухих местообитаниях велико теплоизолирующее влияние мохового покрова, уменьшаются затраты тепла на фазовые переходы, сокращаются годовые теплообороты [Оспенников, 2001].

Результаты многолетнего изучения теплового режима болот криолитозоны Западной Сибири во второй половине XX в. обобщены в монографии Государственного гидрологического института [Гидрология..., 2009]. На основе экспериментальных и расчетных данных авторами показано, что особенности температурного режима залежи бугристых болот определяются близким залеганием ММП и отсутствием подтока тепла из более глубоких слоев. Это проявляется в резком понижении

температуры с глубиной, в малой глубине проникновения суточных колебаний, больших летних градиентах в поверхностном слое и в увеличении потоков тепла в грунт по сравнению с мерзлотными болотами данного региона, а различия водного режима бугров и топей обуславливают разную динамику температурного режима залежей.

Появление около 25 лет назад электронного оборудования, которое позволяет фиксировать температуру различных сред в автономном режиме, способствовало получению детальных данных и выявлению новых закономерностей температурного режима торфяных залежей в зоне распространения ММП [Васильев и др., 2008; Москаленко, 2009; Бобрин и др., 2015; Гончарова и др., 2015]. Однако исследования проводились в основном на территории Надымского стационара, а на остальной части региона наблюдения единичны [Махатков, Ермолов, 2015].

Целью данной работы было выявление особенностей температурного режима деятельного слоя двух типов болотных микроландшафтов (бугров и топей) плоскобугристых торфяников криолитозоны Западной Сибири.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Режимные наблюдения проводились в болотных комплексах на севере Западной Сибири (табл. 1). В лесотундре был выбран ключевой участок “Пангоды”, который находится в 23 км к востоку от одноименного поселка. В северной тайге изучали болото “Тету-Мамонтотяй”, расположенное в 15 км к востоку от г. Ноябрьска. Болото “Пангоды” лежит на 300 км севернее болота “Тету-Мамонтотяй”. Оба объекта принадлежат к типу плоскобугристых комплексных болот, широко распространенных в северной тайге и лесотундре Западной Сибири [Романова, 1985], и характеризуются сходным геоморфологическим строением и фитоценотическим составом. Их ландшафты представлены сочетанием мерзлых сухоторфяных кустарничково-сфагново-лишайниковых бугров с близким залеганием ММП и обводненных травяно-сфагновых топей с более глубоко залегающими или отсутствующими в пределах торфяной зале-

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Ключевой участок	Координаты	Экосистема	Состав фитоценоза	Наибольшая глубина залегания ММП, м	Наличие болотных вод
Пангоды	65.87° с.ш., 74.95° в.д.	Бугор	Багульник, подбел, клюква, лишайники рода <i>Cladina</i> , сфагновые мхи	~0.6	Нет
		Топь	Осока, сфагновые мхи	~0.8	Да
Тету-Мамонтотяй	63.22° с.ш., 75.71° в.д.	Бугор	Багульник, брусника, клюква, лишайники рода <i>Cladina</i> , сфагновые мхи	~0.6	Нет
		Топь	Осока, пушица, сфагновые мхи	>1.2	Да

жи ММП. Превышение высоты бугров над топиями составляло от 50 до 100 см. Поверхность топей была выровнена, в то время как поверхность бугров представляла собой волнистую поверхность с кочками и межкочечными понижениями. Торф бугров насыщен капиллярной влагой, но гравитационной воды было мало, так что свободные болотные воды не образовывались, либо они встречались в виде тонкой прослойки над ММП. Топи, наоборот, были обводнены, болотные воды стояли на 5–15 см ниже поверхности сфагнового ковра.

Для изучения температурного режима в торфяной залежи бугров и топей были использованы автономные измерители профиля температуры, АИПТ (ИМКЭС СО РАН, Томск) [Кураков и др., 2008]. В местах фиксации температуры залежь представлена сфагновым торфом низкой (бугры) и средней (топи) степени разложения. В буграх логгеры были установлены на крупных кочках с покровом из сфагновых мхов, температура фиксировалась на глубинах 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 и 60 см. В центре топей (площадь 30–50 м²) логгеры записывали температуру на глубинах 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80 и 120 см. Частота измерений – один раз в час. В статье представлены данные за период со 02.06.2013 г. по 09.05.2014 г., т. е. на 22 дня меньше, чем полный год, поскольку в северотаежной топи оборудование было повреждено и фиксация температуры прекратилась в мае 2014 г. Представленные годовые характеристики включают неполный год, но являются адекватными, так как записи, сделанные оставшимися работающими логгерами во второй и третьей декадах мая, свидетельствуют о средней суточной температуре на всех глубинах от 0 до –1 °С при минимальных суточных амплитудах или их отсутствии, что практически не влияет на приведенные в статье температурные характеристики.

В работе использованы данные о температуре воздуха и снежном покрове с ближайших к ключевым участкам метеостанций Правая Хетта и аэропорта г. Ноябрьска, полученные через интернет-ресурс [Расписание..., 2004]. И.Д. Махатковым и Ю.В. Ермоловым [2015] установлено, что корреляция между данными температуры воздуха на ключевом участке и на метеостанции, расположенной в пределах 30 км, высокая ($k = 0.997$), что позволило включить материалы метеостанций в анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Годовой ход температуры торфяных залежей.

Динамика температуры в поверхностном моховом покрове, охесе и торфе в целом совпала с динамикой температуры воздуха (рис. 1). Несмотря на принадлежность изучаемых болот к разным биоклиматическим зонам, годовой ход температуры

воздуха в лесотундре и северной тайге тоже совпал (коэффициент корреляции $k = 0.96$).

Ход среднесуточных температур в мохово-торфяных толщах в теплый период аналогичен во всех экосистемах, при этом наблюдалось три периода изменения температуры в поверхностном слое болот (2–20 см):

а) с начала июня до середины июля – период смены волн потепления и похолодания на фоне общего тренда роста температур и прогревания залежи, суточная амплитуда на глубине 2 см составила 9.1–15.5 °С в буграх и 7.4–15.7 °С в топиях;

б) с середины до конца июля – период стабильно высоких температур, суточная амплитуда на глубине 2 см была минимальной: 2.6–2.7 °С в буграх и 1.1–4.3 °С в топиях;

в) в течение августа и сентября – период смены волн потепления и похолодания на фоне снижения температур в поверхностном слое залежи, суточная амплитуда на глубине 2 см достигла 13.8–14.8 °С в буграх и 15.6–16.4 °С в топиях.

Такой ход летних температур, видимо, отражается на росте болотных торфообразователей, сфагновых мхов, которые активно вегетируют в начале лета, но останавливаются в росте в июле при постоянно высоких температурах в связи с увеличением испарения и высыханием мхов [Dane-Coe et al., 2015].

На глубине 30 см в течение первого периода залежь в буграх только начинала прогреваться, температура была близка к 0 °С, а в августе отмечались наибольшие среднесуточные температуры для этой глубины (около 10 °С). В топиях в этом слое максимум пришелся на июль, составив 13–14 °С.

На глубине 40 см в буграх температура стала положительной в лесотундре в середине июля и на неделю раньше – в северной тайге, а в топиях – 22–23 июня. Слабые волны потепления–похолодания в пределах 1–3 °С наблюдались здесь в августе–сентябре, кроме северотаежной топи, где ход среднесуточной температуры на этой глубине был сглажен. Максимальная среднесуточная температура составила 5 °С в буграх, около 9 °С в лесотундровой топи и 11 °С в северотаежной топи.

В течение холодного периода динамика температуры в мохово-торфяной толще различалась между буграми и топиями (см. рис. 1). В топиях с октября по май температура на всех глубинах оставалась около 0 °С, незначительно опускаясь в верхнем 20-сантиметровом слое в отдельные дни февраля до –3.5 °С в болоте “Пангоды” и до –1.6 °С в болоте “Тету-Мамонтотай”. Понижение температуры топей отмечено также в сентябре в связи с заморозками при отсутствии снежного покрова. В целом в течение зимы в залежах топей держалась “нулевая завеса”.

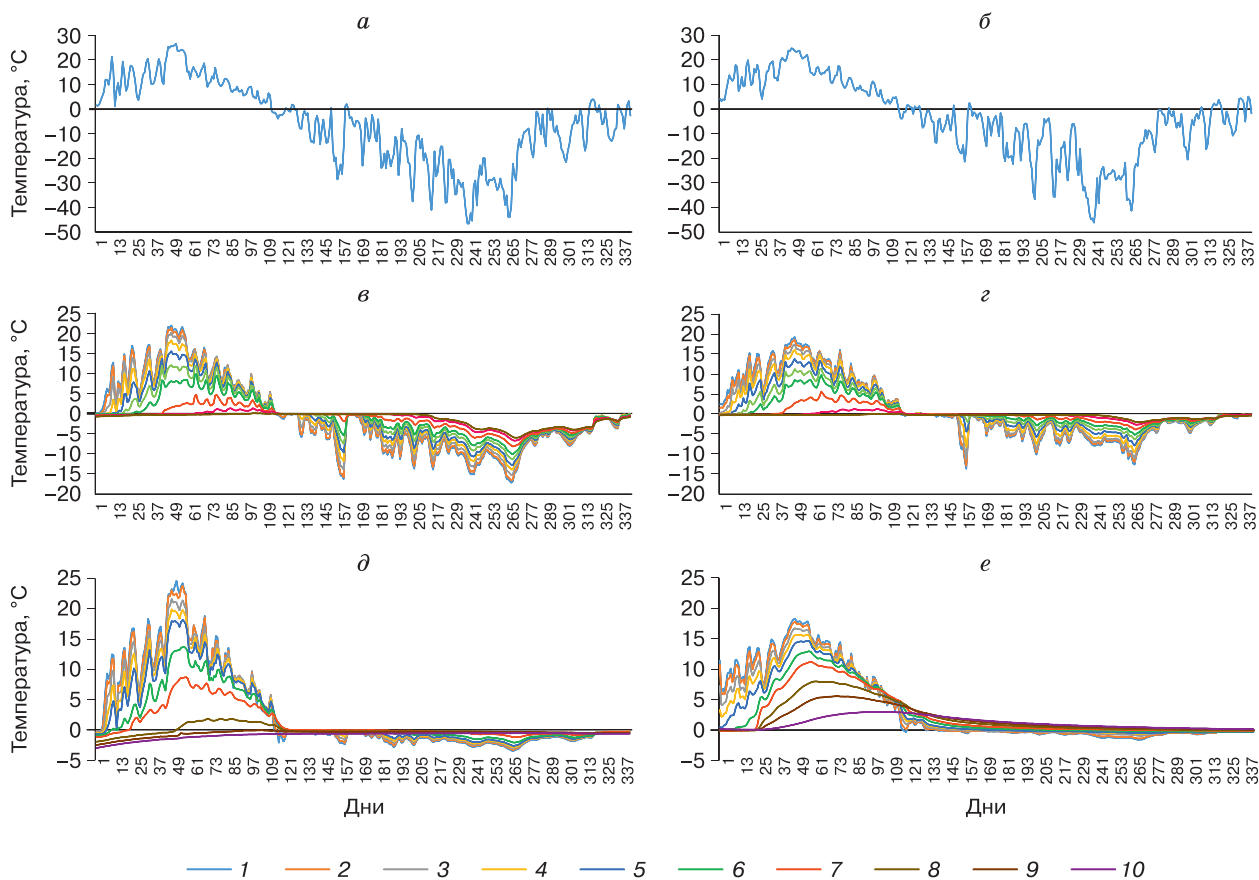


Рис. 1. Среднесуточные значения температур:

a – воздуха в лесотундре; *б* – воздуха в северной тайге; *в* – торфяной почвы бугра в лесотундре; *г* – торфяной почвы бугра в северной тайге; *д* – торфяной почвы топи в лесотундре; *е* – торфяной почвы топи в северной тайге. Глубина: 1 – 2 см; 2 – 5 см; 3 – 10 см; 4 – 15 см; 5 – 20 см; 6 – 30 см; 7 – 40 см; 8 – 60 см; 9 – 80 см; 10 – 120 см.

В буграх в верхнем слое толщи наблюдались пики минимальных температур, которые совпадали с понижениями температуры воздуха. Одно из наиболее значительных понижений произошло в начале ноября, когда температура на глубине 2 см опустилась до $-13...-16^{\circ}\text{C}$ при температуре воздуха $-21...-29^{\circ}\text{C}$. По данным местных метеостанций, в это время слой снега был 25 и 8 см в лесотундре и северной тайге соответственно. Известно, что на бугристых торфяниках происходит перераспределение снега и его накопление в пониженных элементах рельефа [Бобрик и др., 2015]. Поэтому промерзание верхнего слоя бугров в это время можно связать с малой мощностью снежного покрова. Понижение температуры воздуха ниже -40°C в январе и феврале не привело к более значительному промерзанию болот в связи с увеличением мощности снежного покрова, которая, по данным метеостанций, к 1 января достигла 76 см в лесотундре и 40 см в северной тайге.

В буграх с сентября по октябрь в слое 0–30 см температура постепенно опускалась ниже 0°C , пе-

риод отрицательных температур длился с октября по май. Температура в слое ниже 30 см в буграх начинала опускаться с января в лесотундре и с февраля в северной тайге, достигая минимума к марту. С начала марта температура воздуха стала расти, и, несмотря на продолжающееся снегонакопление, повышение температуры в залежах бугров началось по всей 60-сантиметровой толще с минимальным запаздыванием на глубине, в отличие от значительного запаздывания при прогревании в летний период. Известно, что тепловые свойства торфяной залежи различаются в мерзлом и талом состоянии: у мерзлого торфа коэффициент теплопроводности в несколько раз выше, а объемная теплоемкость ниже [Основы..., 2001; Гидрология..., 2009].

Абсолютные максимумы и минимумы температур в торфяных почвах. Экстремальные значения температуры воздуха зафиксированы в июле: 32.1°C в лесотундре (23.07) и 23.3°C в северной тайге (18.07), а также в январе: -49.8°C в лесотундре (25.01) и -49.5°C в северной тайге (26.01).

На изученных болотах температурные максимумы были отмечены в поверхностном слое болот в июле: на северотаежном болоте 26 июля на бугре 21.5 °С, 28 июля в топи 22.8 °С; на болоте лесотундры 27 июля моховой слой на бугре прогрелся до 27.3 °С, в топи – до 34.6 °С. Температурные минимумы были зафиксированы в топиях в конце сентября, поскольку заморозки сочетались с отсутствием снежного покрова: –5.0 °С в лесотундре и –2.2 °С в северной тайге. На поверхности бугров минимумы зафиксированы на полтора месяца позже в связи с малой мощностью снежного покрова, который выдувается в понижения: 7 ноября в северной тайге отмечено –15.7 °С и в лесотундре –17.5 °С.

Продвижение тепловой волны в почвах болот. Среднемесячная температура в буграх достигла максимальных значений в июле в поверхностном слое, на глубине 30–40 см – в августе, а в слое 60 см – в сентябре, при этом оставалась отрицательной.

В топиях максимальные значения также установлены в июле в слое 2–20 см и в августе в слое 40–60 см. В северотаежной топи торф на глубине 80–120 см прогревался до положительных температур, в наибольшей степени – в августе–сентябре. В лесотундре этот же слой оставался в зоне влияния многолетней мерзлоты, и только до глубины 80 см торф протаивал на два месяца. На глубине 120 см в топи лесотундры среднемесячный максимум держался с января по март на значении –0.6 °С, а в северной тайге отмечен в сентябре (3.0 °С).

Среднегодовая температура торфяных почв. Среднегодовая температура воздуха за изученный период была –5.9 °С в лесотундре и –3.7 °С в северной тайге. Среднегодовая температура поверх-

ностного слоя болот была на 7–9 °С выше в топиях и на 2–5 °С в буграх по сравнению со среднегодовой температурой воздуха (рис. 2). В поверхностном слое топей значения составили 3.0...3.5 °С, при этом в северной тайге они оставались положительными по всей глубине, а в лесотундре с глубины 60 см опустились ниже 0 °С. В буграх среднегодовые значения температур в поверхностном слое были ниже: около 1 °С в северной тайге и –1 °С в лесотундре. В северной тайге среднегодовые температуры опустились ниже 0 °С, начиная с глубины 40 см, а в лесотундре были отрицательными на всех глубинах. В буграх наблюдалось незначительное повышение среднегодовых значений на глубине 30 см, наиболее заметное в лесотундре (на 0.4 °С). Возможно, это связано с прогреванием кочек не только сверху, но и сбоку, что невозможно в выровненных топиях, а также в межкочечных понижениях бугров.

Годовые максимумы и минимумы определялись по среднемесячным значениям самого теплого и самого холодного месяцев года. Среднегодовые температурные максимумы были сходны во всех экосистемах в верхнем полуметровом слое: на глубине 2 см они были в пределах 15...18 °С во всех экосистемах в июле (рис. 3). Поскольку летом в лесотундре были зафиксированы более высокие температуры воздуха и поверхностного слоя болота по сравнению с северной тайгой, здесь в верхнем слое топи максимумы достигли наибольших значений, однако с глубины 25 см опустились ниже, чем в северотаежной топи. В то же время в буграх кривые изменения максимумов с глубиной были идентичны для двух климатических поясов.

В отличие от максимумов, среднегодовые температурные минимумы свидетельствуют о более суровых климатических условиях в лесотунд-

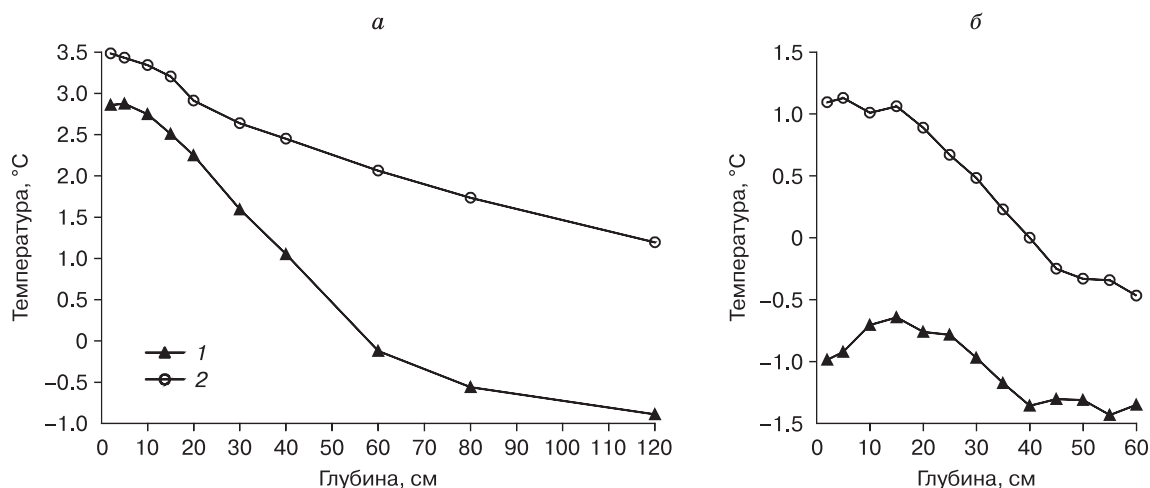


Рис. 2. Среднегодовые значения температур торфяных почв на разных глубинах в топиях (а) и на буграх (б).

1 – лесотундра; 2 – северная тайга.

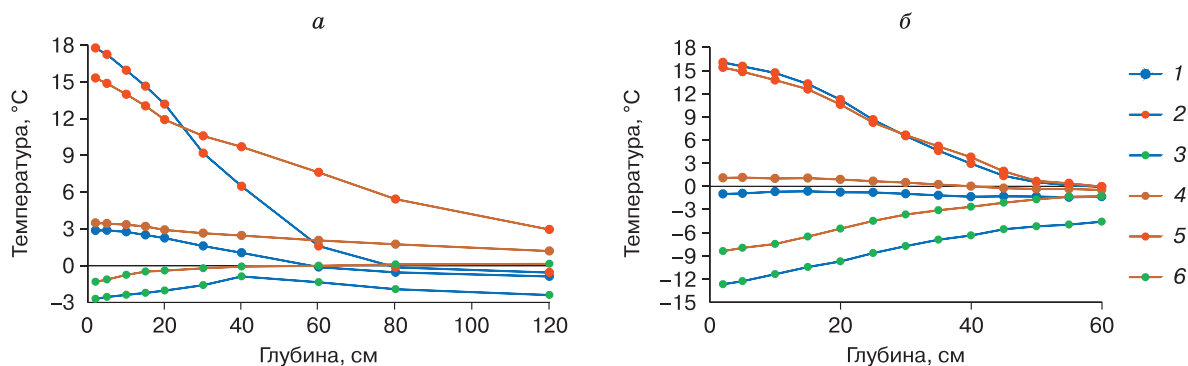


Рис. 3. Температура почвы в торфяном профиле топей (а) и бугров (б):

1 – среднегодовая в лесотундре; 2 – среднемесячная максимальная в лесотундре; 3 – среднемесячная минимальная в лесотундре; 4 – среднегодовая в северной тайге; 5 – среднемесячная максимальная в северной тайге; 6 – среднемесячная минимальная в северной тайге.

ровых экосистемах (по сравнению с северотаежными) и на буграх (по сравнению с топями). Годовые минимумы зафиксированы в феврале, на глубине 2 см в топях не ниже -3°C . На этой же глубине в буграх значения составили -8 и -13°C в северной тайге и лесотундре соответственно.

Годовая амплитуда температур торфяных почв. В лесотундре годовая амплитуда температур бугров и поверхностного слоя топей была больше по сравнению с северной тайгой. В верхнем 30-сантиметровом слое бугров годовая амплитуда была на $7-9^{\circ}\text{C}$ выше, чем в топях (рис. 4). Учитывая, что годовая амплитуда температуры воздуха была 48°C в лесотундре и 46°C в северной тайге, в поверхностном моховом покрове болот (на глубине 2 см) амплитуда была в 1.5–2.5 раза меньше за счет снижения зимних абсолютных значений в моховом покрове и торфяных залежах по сравнению с приземным воздухом. Годовая амплитуда температур на глубине 20 см позволяет оценить степень континентальности климата почв: согласно В.Н. Димо [1972], топям соответствовал мягкий климат, а буграм – умеренный континентальный.

Динамика сезонномерзлого слоя. После зимы торфяная залежь начинала оттаивать в мае в северной тайге и в июне в лесотундре. За лето в буграх обоих болот положительные температуры достигли глубины 60 см к началу сентября, в топи лесотундры – 80 см к концу сентября. Торфяная залежь топи северной тайги полностью освободилась от мерзлоты к концу июня (рис. 5).

Осеннее промерзание бугров началось в конце сентября, при этом в лесотундре на неделю раньше. В лесотундре в бугре сезонная мерзлота охватила всю изучаемую толщу за трое суток, а в топи за неделю. В северной тайге в бугре промерзание растянулось на более длительный период с эпизодами оттаивания замерзших слоев, а окончательно сезонная мерзлота установилась во второй декаде октября. Промерзание топи северотаежного болота началось почти на месяц позже бугра и достигло глубины 60 см только к середине апреля, ниже этой глубины торф оставался незамерзшим в течение всего холодного периода.

Суммы среднесуточных температур в торфяных почвах. Вегетация болотной флоры начинает-

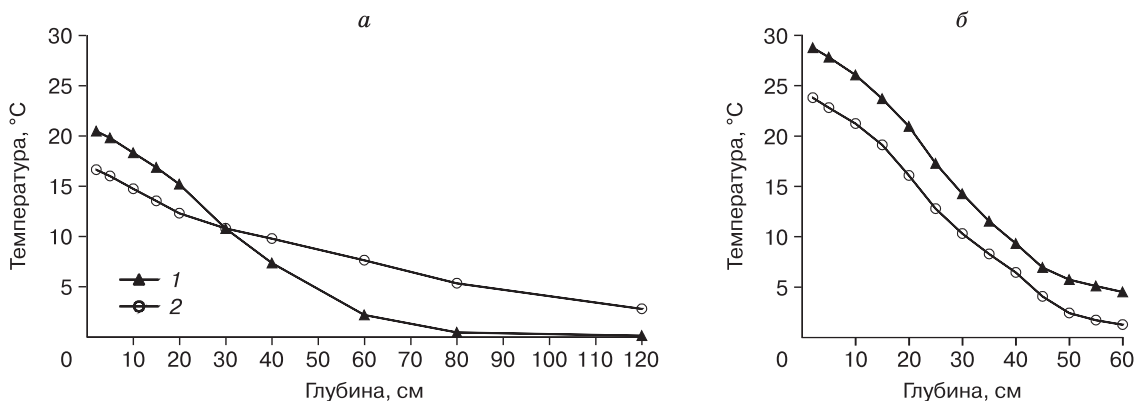


Рис. 4. Годовая амплитуда температур торфяных почв на разных глубинах в топях (а) и на буграх (б).

1 – лесотундра; 2 – северная тайга.

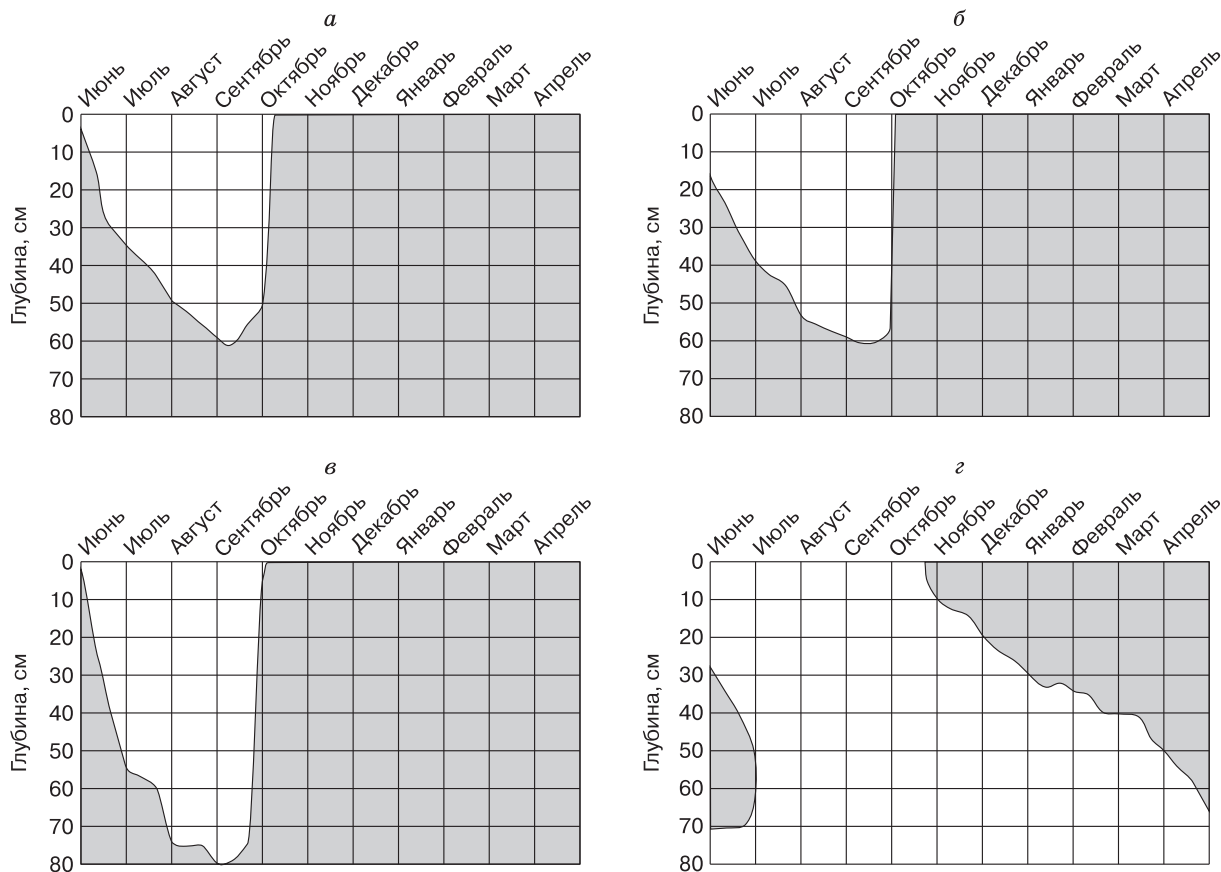


Рис. 5. Изотермы нулевой температуры почв в разных болотных экосистемах:

а – лесотундра, бугор; б – северная тайга, бугор; в – лесотундра, топь; г – северная тайга, топь.

ся при низких температурах, в частности, процесс фотосинтеза у сфагновых мхов инициируется во время снеготаяния, когда температура воздуха становится положительной [Asada et al., 2003;

Moore et al., 2006]. Поэтому сумма температур выше 0 °С позволяет оценить теплообеспеченность растительного покрова болот. В лесотундре сумма положительных среднесуточных темпера-

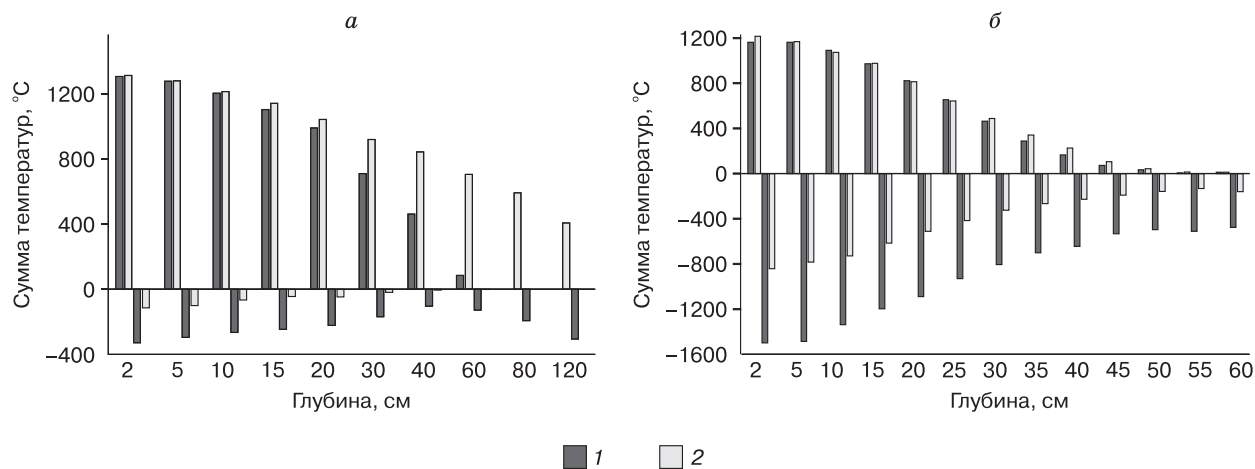


Рис. 6. Суммы положительных и отрицательных температур почв в топях (а) и на буграх (б).

1 – лесотундра; 2 – северная тайга.

тур воздуха составила 1389 °С, отрицательных –3418 °С, в северной тайге была 1502 и –2779 °С соответственно. Суммы среднесуточных положительных температур торфяной залежи бугров, а также топей в верхнем слое (2–20 см) были близки, несмотря на принадлежность к разным биоклиматическим зонам и на различие в сумме положительных температур воздуха (рис. 6). Разница по этому показателю между болотными типами заключалась в большей теплообеспеченности топей, которая росла с глубиной по сравнению с буграми. Отсутствие/наличие многолетней мерзлоты в тоях обусловило различие в сумме среднесуточных положительных температур ниже 30 см в северной тайге и лесотундре. В сумме отрицательных температур наблюдалось значительное расхождение как между типами болотных экосистем, так и между биоклиматическими поясами.

Отношения суммы среднесуточных температур поверхности почвы к сумме среднесуточных температур воздуха (*N*-факторы) являются одной из важных характеристик температурного режима различных биогеоценозов [Гончарова и др., 2015; Klene et al., 2001]. Отношения сумм среднесуточных положительных и отрицательных температур на глубине 2 см к соответствующим суммам температур воздуха свидетельствуют о лучшей теплообеспеченности топей (табл. 2). Эффективность аккумуляции летнего тепла болотами лесотундры оказалась выше, чем в северной тайге.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На различия в температурном режиме залежей изученных болот плоскобугристых комплексов оказывали влияние три фактора: принадлежность к разным болотным экосистемам, биоклиматическим зонам и наличие /отсутствие ММП.

При одинаковых климатических условиях фактор принадлежности к разным экосистемам (топям или буграм) обусловлен характером их обводненности [Оспенников, 2001]. В тоях растительность и торф погружены в болотные воды, теплопроводность деятельного слоя близка к теплопроводности воды или льда, что проявляется в наличии “нулевой завесы” в течение зимнего периода, в более высоких среднегодовых температурах по всему профилю, в меньших годовых амплитудах деятельного слоя, в большей глубине оттаивания сезонномерзлого слоя, в несколько больших суммах среднесуточных положительных температур и значительно меньших абсолютных значениях сумм отрицательных температур. Напротив, торф бугров насыщен водой, но количество свободных гравитационных вод невелико, и тепловые свойства деятельного слоя определяются теплопроводностью мохово-торфяной толщи, что обуславливает существенное промерзание верхнего слоя болот в течение зимы, меньшие среднего-

Таблица 2. Отношения сумм положительных и отрицательных температур почвы на глубине 2 см к соответствующим суммам температур воздуха

Суммы температур	Биоклиматическая зона	Экосистема	Отношение
Положительные	Лесотундра	Бугор	0.84
		Топь	0.94
	Северная тайга	Бугор	0.81
		Топь	0.87
Отрицательные	Лесотундра	Бугор	0.44
		Топь	0.10
	Северная тайга	Бугор	0.30
		Топь	0.04

вые значения температур, больший размах годовых амплитуд, меньшие глубину и скорость оттаивания сезонномерзлого слоя, значительные абсолютные суммы среднесуточных отрицательных температур. Формирование различий в температурных режимах бугров и топей связано, вероятно, также с перераспределением снега между этими экосистемами [Бобрик и др., 2015].

Принадлежность болот к разным биоклиматическим зонам не повлияла на такие параметры, как средние температуры самого теплого месяца в буграх и суммы положительных температур топей (в слое 2–20 см) и бугров. Различия между сходными типами экосистем по широте проявлялись главным образом в разнице температурных характеристик холодного периода: по сравнению с северной тайгой в болотах лесотундры наблюдались более низкие среднесуточные и минимальные среднемесячные температуры и существенно большие абсолютные суммы отрицательных среднесуточных температур, большая годовая амплитуда температуры деятельного слоя, более короткий период сезонного оттаивания. Различия в среднегодовых показателях между однотипными экосистемами лесотундры и северной тайги были вызваны различиями в температурах холодного периода года.

Отсутствие ММП в топи северной тайги повлияло на температурные параметры в слое ниже 60 см: здесь среднегодовая температура оставалась положительной по всему профилю, суммы среднесуточных положительных температур с глубиной снижались плавно и не достигали близких к 0 °С значений, сезонномерзлый слой быстро оттаивал весной и чрезвычайно медленно продвигался вглубь в течение холодного периода.

Согласно полученным данным о средней годовой температуре на глубине 20 см и динамике сезонной и многолетней мерзлоты, торфяная почва бугра в лесотундре относится к мерзлотной очень холодной, бугра в северной тайге и топи в лесотундре – к мерзлотной холодной, северотаежной топи – к длительно сезоннопромерзающей холодной [Димо, 1972].

В целом топям свойственны более мягкие условия, в которых функционирует биота торфяных залежей. Различия в температурном режиме бугров и топей в значительной степени были обусловлены принадлежностью болот к разным экосистемам, принадлежность к разным биоклиматическим зонам проявлялась в холодный период года, а отсутствие ММП в северотаежной топи – в более высоких и всегда положительных температурных показателях в слое ниже 60 см. Различие температурных режимов бугров и топей может служить одной из причин расхождения в составе фитоценозов [Kosykh et al., 2008], а также в скорости биотического круговорота в этих болотах.

Литература

- Бобрик А.А., Гончарова О.Ю., Матышак Г.В. и др.** Взаимосвязь геокриологических условий и гидротермических параметров почв плоскобугристых торфяников севера Западной Сибири (стационар Надым) // Криосфера Земли, 2015, т. XIX, № 4, с. 31–38.
Bobrik, A.A., Goncharova, O.Yu., Matyshak, G.V., et al., 2015. Correlation of active layer thickness and landscape parameters of peatland in northern West Siberia (Nadym station). *Earth's Cryosphere* XIX (4), 29–35.
- Васильев А.А., Дроздов Д.С., Москаленко Н.Г.** Динамика температуры многолетнемерзлых пород Западной Сибири в связи с изменениями климата // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 2, с. 10–18.
Vasiliev, A.A., Drozdov, D.S., Moskalenko, N.G., 2008. Permafrost temperature dynamics of West Siberia in context of climate changes. *Earth's Cryosphere* XII (2), 10–18.
- Васильев И.С.** О связи температуры почвогрунтов с индексом замерзания и высотой снежного покрова в Якутии в конце XX столетия // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, № 1, с. 17–23.
Vasiliev, I.S., 2009. Relation between soil temperature, freezing index and snow depth in Yakutia at the end of the 20th century. *Earth's Cryosphere* XIII (1), 17–23.
- Гидрология** заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / Под ред. С.М. Новикова. СПб., ВВМ, 2009, 536 с.
Novikov, S.M. (Ed.), 2009. *Hydrology of Wetlands in the West Siberian permafrost zone*. VVM, St. Petersburg, 536 pp. (in Russian)
- Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Бобрик А.А. и др.** Температурные режимы северотаежных почв Западной Сибири в условиях островного распространения многолетнемерзлых пород // Почвоведение, 2015, № 12, с. 1462–1473.
Goncharova, O.Y., Matyshak, G.V., Bobrik, A.A., et al., 2015. Temperature regimes of northern taiga soils in the isolated permafrost zone of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*, No. 12, 1329–1340.
- Димо В.Н.** Тепловой режим почв СССР. М., Колос, 1972, 360 с.
Dimo, V.N., 1972. *Thermal regime of soils of the USSR*. Kolos, Moscow, 360 pp. (in Russian)
- Дюкарев Е.А.** Влияние температуры воздуха и снежного покрова на характеристики сезонномерзлого слоя почвогрунтов // Криосфера Земли, 2015, т. XIX, № 3, с. 45–51.
Dyukarev, E.A., 2015. Influences of air temperature and snow cover on the seasonally frozen layer characteristics. *Earth's Cryosphere* XIX (3), 39–46.
- Дюкарев Е.А., Головацкая Е.А., Дучков А.Д., Казанцев С.А.** Экспериментальное исследование температурного режима торфяной залежи Бакчарского болота (Западная Сибирь) // Геология и геофизика, 2009, т. 50, № 6, с. 745–754.
Dyukarev, E.A., Golovatskaya, E.A., Duchkov, A.D., Kazantsev, S.A., 2009. Temperature monitoring in Bakchar bog (West Siberia). *Russian Geology and Geophysics* 50 (6), 579–586.
- Китаев Л.М., Кислов А.В.** Региональные различия снегонакопления – современные и будущие изменения (на примере Северной Европы и севера Западной Сибири) // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 2, с. 98–104.
Kitaev, L.M., Kislov, A.V., 2008. Regional differences of snow accumulation – contemporary and future changes (on the example of Northern Europe and northern part of West Siberia). *Earth's Cryosphere* XII (2), 98–104.
- Коронатова Н.Г., Милыева Е.В.** Определение продуктивности основных древостоев в разных типах северотаежных болот // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2014, т. 4, № 2, с. 79–83.
Koronatova, N.G., Milyaeva, E.V., 2014. Estimation of productivity of pine trees in different mire types in northern taiga. *Interexpro Geo-Sibir* 4 (2), 79–83.
- Коронатова Н.Г., Степанова Н.П., Косых Н.П.** Температурный режим верхнего слоя мерзлых болот Западной Сибири // XI Сибирское совещ. по климато-экологическому мониторингу. Томск, ИМКЭС СО РАН, 2015, с. 43–44.
Koronatova, N.G., Stepanova, N.P., Kosykh, N.P., 2015. The thermal regime of the upper layer of frozen peatlands of Western Siberia. In: *Proceedings of the 11th Siberian Conference on climate and environmental monitoring*. Izd-vo IMKES SO RAN, Tomsk, pp. 43–44. (in Russian)
- Кураков С.А., Крутиков В.А., Ушаков В.Г.** Автономный измеритель профиля температуры АИПТ // Приборы и техника эксперимента, 2008, № 5, с. 166–167.
Kurakov, S.A., Krutikov, V.A., Ushakov, V.G., 2008. Autonomous temperature profile AIPT gauge. *Pribory i Tekhnika Eksperimenta*, No. 5, 166–167.
- Махатков И.Д., Ермолов Ю.В.** Температурный режим деятельного слоя верхового болота северной тайги // Междунар. журн. прикл. и фундам. исслед., 2015, № 11, с. 400–407.
Makhatkov, I.D., Ermolov, Yu.V., 2015. The thermal regime of active layer of peat-covered terrain in the northern taiga. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, No. 11, 400–407.
- Москаленко Н.Г.** Изменение температуры пород и растительности под влиянием меняющегося климата и техногенеза в Надымском районе Западной Сибири // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, № 4, с. 18–23.
Moskalenko, N.G., 2009. Permafrost and vegetation changes in the Nadym region of West Siberian northern taiga due to the climate change and technogenesis. *Earth's Cryosphere* XIII (4), 18–23.
- Основы геокриологии.** Ч. 4. Динамическая геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Изд-во Моск. ун-та, 2001, 688 с.
Ershov, E.D. (Ed.), 2001. *Fundamentals of Geocryology*. Vol. 4. *Dynamic Geocryology*. Moscow University Press, Moscow, 688 pp. (in Russian)
- Оспенников Е.Н.** Влияние заболоченности на температурный режим подстилающих пород // Основы геокриологии / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Изд-во Моск. ун-та, 2001, с. 85–92.
Ospennikov, E.N., 2001. The impact of boggyiness on the thermal regime of the underlying sediments. In: Ershov, E.D. (Ed.), *Fundamentals of Geocryology*. Moscow University Press, Moscow, pp. 85–92. (in Russian)

- Пастухов А.В., Марченко-Вагапова Т.И., Каверин Д.А., Гончарова Н.Н.** Генезис и эволюция бугристых болот на территории редкоостровной многолетней мерзлоты на европейском Северо-Востоке (бассейн среднего течения реки Косью) // Криосфера Земли, 2016, т. XX, № 1, с. 3–14.
 Pastukhov, A.V., Marchenko-Vagarova, T.I., Kaverin, D.A., Goncharova, N.N., 2016. Genesis and evolution of peat plateaus in the sporadic permafrost area in the European Northeast (middle basin of the Kosyu River). Earth's Cryosphere XX (1), 3–13.
- Пономарева О.Е., Гравис А.Г., Бердников Н.М.** Современная динамика бугров пучения и плоскобугристых торфяников в северной тайге Западной Сибири (на примере Надымского стационара) // Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 4, с. 21–30.
 Ponomareva, O.E., Gravis, A.G., Berdnikov, N.M., 2012. Contemporary dynamics of frost mounds and flat peat lands in the northern taiga of Western Siberia (on the example of the Nadym site). Earth's Cryosphere XVI (4), 21–30.
- Пьявченко Н.И.** Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. М., Наука, 1985, 152 с.
 Pyavchenko, N.I., 1985. Peatlands, Their Natural and Economic Significance. Nauka, Moscow, 152 pp. (in Russian)
- Расписание погоды** [Электрон. ресурс]: банк данных содержит гидрометеорологические данные наблюдений, выполненных на 13 600 метеостанциях и поступающих с сервера данных международного обмена (NOAA), США, и автоматической системы передачи данных (АСПД) Росгидромета, Россия. СПб., 2004. – URL: <http://rp5.ru> (дата обращения: 08.04.2015).
 Raspisaniye Pogodi [Electronic resource]: The website provides weather forecasts and information on the actual weather, observed at 13600 ground stations. Information on the actual weather comes from the server of international data exchange, NOAA, the United States, and ASPD of Roshydromet. SPb., 2004. – URL: <http://rp5.ru> (submittal date: 08.04.2015).
- Романова Е.А.** Растительность болот // Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск, Наука, 1985, с. 138–161.
 Romanova, E.A., 1985. Bog Vegetation. In: Vegetation Cover of the West-Siberian Plain. Nauka, Novosibirsk, pp. 138–161. (in Russian)
- Скрябин П.Н., Варламов С.П.** Термический режим грунтов нарушенных ландшафтов Центральной Якутии // Криосфера Земли, 2013, т. XVII, № 3, с. 44–49.
 Skryabin, P.N., Varlamov, S.P., 2013. Ground thermal regime in disturbed landscapes of Central Yakutia. Earth's Cryosphere XVII (3), 44–49.
- Шерстюков А.Б.** Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 1, с. 79–87.
 Sherstyukov, A.B., 2008. Correlation of soil temperature with air temperature and the snow cover depth in Russia. Earth's Cryosphere XII (1), 79–87.
- Asada, T., Warner, B.G., Banner, A.** Growth of mosses in relation to climate factors in a hypermaritime coastal peatland in British Columbia, Canada // The Bryologist, 2003, vol. 106 (4), p. 516–527.
- Brown, P.J., DeGaetano, A.T.** A paradox of cooling winter soil surface temperatures in a warming northeastern United States // Agricultural and Forest Meteorol., 2011, vol. 151, No. 7, p. 947–956.
- Deane-Coe, K.K., Mauritz, M., Celis, G., Salmon, V., et al.** Experimental warming alters productivity and isotopic signatures of tundra mosses // Ecosystems, 2015, vol. 18, No. 6, p. 1070–1082.
- Klene, A.E., Nelson, F.E., Shiklomanov, N.I.** The N-factor in natural landscapes: variability of air and soil-surface temperatures, Kuparuk river basin, Alaska, U.S.A. // Arctic, Antarctic, and Alpin Res., 2001, vol. 33, No. 2, p. 140–148.
- Kosykh, N.P., Koronatova, N.G., Naumova, N.B., Titlyanova, A.A.** Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems of Western Siberia // Wetlands Ecology and Management, 2008, vol. 16, No. 2, p. 139–153.
- Moore, T.R., Lafleur, P.M., Poon, D.M.I., et al.** Spring photosynthesis in a cool temperate bog // Global Change Biology, 2006, vol. 12, p. 2323–2335.

Поступила в редакцию
26 декабря 2017 г.