

**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ТОРФЯНЫХ ОЛИГОТРОФНЫХ ПОЧВ БАКЧАРСКОГО БОЛОТА (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

© 2019 Н.Г. Корнатова

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [koronatova@issa-siberia.ru](mailto:koronatova@issa-siberia.ru)

**Цель исследования:** Изучение температурного режима торфяных олиготрофных почв разных экосистем Бакчарского болотного комплекса (южная тайга Западной Сибири).

**Место и время проведения.** Исследование проведено в 2012–2013 гг. в болотных экосистемах Бакчарского комплекса (56°50' с.ш., 82°50' в.д.): в сосново-кустарничково-сфагновом ряме, пушицево-сфагновой топи с кустарничково-сфагновыми кочками, а также осоково-сфагновой топи.

**Методология.** Автоматические измерители почвенной температуры АИПТ (ИМКЭС СО РАН, г. Томск) один раз в час фиксировали почвенную температуру на глубине 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 120, 160 и 240 см. На основе полученных данных рассчитаны средняя годовая, месячная и суточная температура, годовая амплитуда, суммы положительных и отрицательных температур, индексы нагреваемости и охлаждения, градиенты температур, динамика сезонно-мёрзлого слоя. В работе привлекали данные о температуре воздуха и высоте снежного покрова метеостанции Бакчар ([rs5.ru](http://rs5.ru)).

**Основные результаты.** Средняя годовая температура всего почвенного профиля составила в осоковой топи 5,4 °С, в пушицевой топи 4,7 °С, в ряме 3,3 °С. Годовая амплитуда на глубине 20 см была 15,1 °С в ряме, 15,4 °С в пушицевой топи и 21,6 °С в осоковой топи. Средние месячные максимумы пришлись на июль в верхней торфяной толще, а с глубиной наблюдался сдвиг тепловой волны, наиболее существенный в ряме. Средние месячные минимумы пришлись на декабрь, в то время как средние суточные минимумы достигли самых низких значений в ноябре в связи с отсутствием или малой мощностью снежного покрова. Сумма положительных средних суточных температур за 2012/13 гидрологический год была выше в обводнённой осоковой топи (2156 и 2280 °С на глубине 2 и 20 см) по сравнению с рямом (1906 и 1474 °С на глубине 2 и 20 см). Сумма отрицательных температур на глубине 2 и 20 см была соответственно –485 °С и –188 °С в ряме, –872 °С и –378 °С в осоковой топи, –225 °С и –67 °С в пушицевой топи. Наибольшие летние градиенты характерны для пушицевой топи в мае и июле, в два раза меньше – для осоковой топи в июле. Наибольшие зимние градиенты, напротив, получены для осоковой топи и в два раза меньше – для пушицевой топи. Самые низкие значения градиентов получены в ряме, где они близки к 0 °С/см ниже 60 см в течение всего года. Сезонная мерзлота проникла до глубины 59 см в осоковой топи, 44 см – в пушицевой топи и 53 см – в ряме, а длительность сохранения устойчивой мерзлоты в поверхностном слое – 171, 157 и 181 день, соответственно.

**Заключение.** В почве пушицевой топи разница между холодным и тёплым временем года более сглажена, в то время как почва осоковой топи характеризуется более изменчивым и тёплым климатом, а почва ряма – более изменчивым и холодным. Найденная разница в температурных режимах почв связана с микрорельефом, от которого зависит уровень стояния болотных вод и перераспределение снежного покрова. Температурные режимы рямов и топей Бакчарского болотного комплекса различаются по результатам разных исследований, что обусловлено не только различными годами изучения, но и проведением исследования на разных элементах микрорельефа в сходных болотных экосистемах и, возможно, мезоклиматическими различиями.

**Ключевые слова:** Бакчарское болото; температурный режим; торфяная олиготрофная почва; южная тайга Западной Сибири

**Цитирование:** Корнатова Н.Г. Температурный режим торфяных олиготрофных почв Бакчарского болота (Западная Сибирь) // Почвы и окружающая среда. 2019. Том 2. № 3. е79. doi: 10.31251/pos.v2i3.79

**ВВЕДЕНИЕ**

Изучение температурного режима торфяных олиготрофных почв особенно актуально для Западной Сибири, где болота занимают огромные площади, достигающие в таёжной зоне четверти территории (Романова, 1985). В настоящее время активное изучение проводится в экосистемах Бакчарского болотного комплекса в пределах Томской области (Дюкарев и др., 2009; Дюкарев, Головацкая, 2013; Киселев и др., 2015; 2017; и др.), что позволяет выявить многие особенности

температурного режима торфяных почв разных болотных экосистем. Однако эти исследования остаются точечными, что затрудняет возможности экстраполяции результатов на весь болотный массив в связи с тем, что расчленённый болотный микрорельеф обуславливает изменчивость некоторых параметров температурного режима почв, приуроченных к разным его элементам, и не позволяет получить надёжные усреднённые оценки (Болота..., 1976). Поэтому существует потребность в увеличении числа наблюдений за температурными показателями торфяных почв в пределах одного болотного массива.

Цель работы – изучение температурного режима торфяных олиготрофных почв разных экосистем Бакчарского болотного комплекса (южная тайга Западной Сибири).

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наблюдения за температурным режимом торфяных почв проводили в трёх экосистемах комплексного Бакчарского болота (56°50' с.ш., 82°50' в.д.): в повышенной более дренированной экосистеме с сосново-кустарничково-сфагновым фитоценозом (ряме) и двух пониженных обводнённых экосистемах – осоково-сфагновой проточной топи (осоковой топи) и кустарничково-пушицево-сфагновой краевой части топи, прилегающей к ряму (пушицевой топи). Расстояние между наиболее удалёнными точками составило 500 м. Микрорельеф был хорошо выражен в ряме и пушицевой топи, где присутствовали кочки различной высоты и межкочечные понижения. В ряме кочки занимали большую часть площади, а видовой состав растений кочек и межкочечных понижений мало различался и включал такие доминирующие виды, как сосна *Pinus sylvestris*, багульник *Ledum palustre* и мох *Sphagnum fuscum*. В отличие от ряма, в пушицевой топи значительную часть площади занимали обводнённые плоские межкочечные понижения, где доминировали пушица *Eriophorum vaginatum* и мох *S. fallax*, в то время как на кочках преобладали кустарничек *Chamaedaphne calyculata* и мох *S. angustifolium*. В осоковой топи поверхность выровнена, в фитоценозе доминировали крупная осока *Carex rostrata* и тот же вид мха, что в пушицевой топи – *S. fallax*. Редко встречались крупные плоские кочки с таким же видовым составом растений. Травы почти отсутствовали в ряме, увеличивали своё проективное покрытие до 25–30% в пушицевой топи и до 80–85% – в осоковой топи. Уровень болотных вод (УБВ) находился на глубине 0–20 см от выровненных поверхностей и плоских понижений в топах и на глубине 15–40 см от уровня межкочечных понижений в ряме. Почвы – торфяные олиготрофные (Классификация..., 2004), или *Fibrist Hystosols* (IUSS, 2015). Мощность торфа около 2,5 м.

Исследование проведено с использованием температурных логгеров – автономных измерителей почвенной температуры АИПТ (ИМКЭС СО РАН, г. Томск) (Кураков и др., 2008). Логгеры установили 26 июня 2012 г. в кочках высотой 30–40 см в ряме и осоковой топи, которые за время наблюдений не заливались болотными водами, и в обводнённой выровненной западине пушицевой топи. Фиксация температуры продолжалась до 18 сентября 2013 г., а в пушицевой топи – лишь до 21 мая 2013 г., когда оборудование вышло из строя из-за высокой обводнённости. Запись температурных показателей проводилась на глубине 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 120, 160, 240 см с периодичностью один раз в час. В пушицевой топи датчик, размещённый на глубине 40 см не работал, и данные для этой глубины не были получены.

Для оценки погодных условий в течение изучаемого периода (табл. 1) использованы данные о температуре воздуха, количестве осадков и высоте снежного покрова метеостанции Бакчар (Расписание..., 2017).

**Таблица 1**

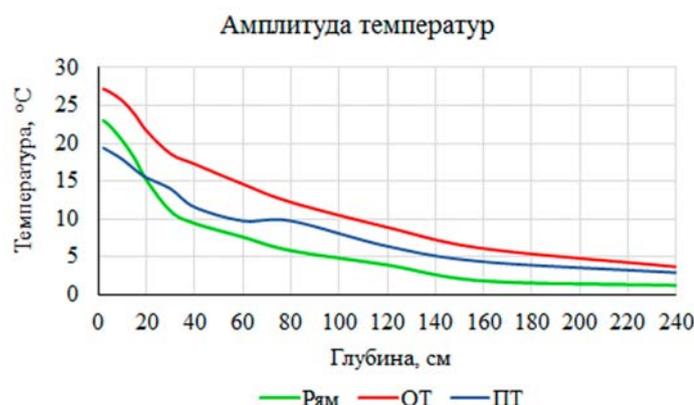
Климатическая характеристика района исследования по данным метеостанции Бакчар за гидрологический год с 01 сентября 2012 г. по 31 августа 2013 г.

Параметры	Показатели
Средняя годовая температура, °С	0,69
Средняя температура самого тёплого месяца, °С	18,7
Средняя температура самого холодного месяца, °С	-25,5
Сумма положительных температур воздуха, °С	2371
Сумма отрицательных температур воздуха, °С	-2364
Годовая сумма осадков, мм	520

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Средние значения и годовая амплитуда температуры.* Средняя годовая температура в торфяной почве болотных экосистем слабо менялась с глубиной: в ряме снизилась от 3,9 °С в поверхностном слое до 2,7 °С на глубине 160 см и возросла до 3,0 °С на глубине 240 см; в осоковой топи увеличилась от 3,4 °С в поверхностном слое до 6,7 °С на глубине 160 см и уменьшилась до 6,2 °С на глубине 240 см. В пушицевой топи средняя температура за неполный год незначительно увеличилась от поверхности к наиболее глубоким слоям на 0,15 °С, составив в среднем 4,7 °С.

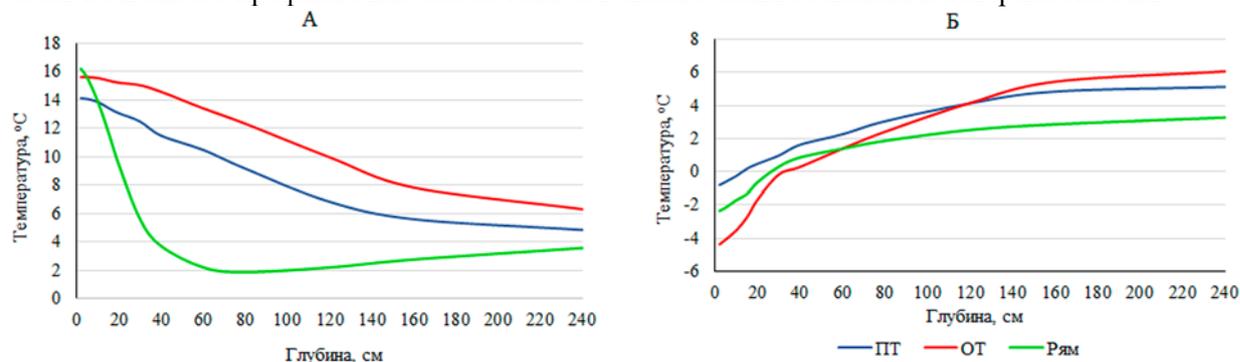
Годовая амплитуда температуры на глубине 20 см характеризует степень континентальности почвенного климата (Димо, 1972). На этой глубине амплитуда составила 15,1 °С в ряме и 15,4 °С в пушицевой топи, что соответствует мягкому почвенному климату, и 21,6 °С – в осоковой топи, что соответствует умеренному континентальному почвенному климату (рис. 1). В осоковой топи амплитуда была выше по всему профилю, а наименьшая амплитуда характерна для ряма, хотя в поверхностном слое 0–20 см она оказалась выше, чем в пушицевой топи.



**Рисунок 1.** Годовая амплитуда температуры торфяных олиготрофных почв (2012/13 гг.). ПТ – пушицевая топь, ОТ – осоковая топь.

Средняя температура в течение тёплого периода (июнь–сентябрь) в обеих топях имела одинаковый ход изменения с глубиной, но осоковая топь на 1,5–3,1 °С теплее, чем пушицевая (рис. 2А). В ряме средняя температура тёплого периода в верхних 2–5 см была такой же, как в осоковой топи, но, в отличие от обеих топей, с глубиной резко снизилась.

В течение холодного периода (октябрь–март) средняя температура увеличилась с глубиной от отрицательных к положительным значениям (рис. 2Б), причём среднее значение стало положительным на глубине 25–30 см в осоковой топи и ряме, и на глубине 13 см в пушицевой топи, что отражает разный УБВ в месте установки логгеров в связи с неоднородностью микрорельефа. В осоковой топи торфяная толща до 60 см оставалась самой холодной по сравнению с остальными, но стала наиболее прогретой ниже 120 см, а в пушицевой топи верхняя часть почвенного профиля была самой тёплой в связи с самым близким к поверхности УБВ.



**Рисунок 2.** Средняя температура торфяных почв на разных глубинах: А – в течение тёплого периода (июнь–сентябрь 2012 г.), Б – в течение холодного периода (октябрь 2012 г. – март 2013 г.). ПТ – пушицевая топь, ОТ – осоковая топь.

Средняя месячная температура самого тёплого месяца имела наибольшую величину в осоковой топи, а в ряме и пушицевой топи отмечены сходные значения в верхних горизонтах (табл. 2). В осоковой топи средние месячные максимумы пришлись на июль до глубины 60 см; на глубине 80 см были в июле или смещались на август в зависимости от года (2012 и 2013 гг.); на глубине 120 см пришлись на август; 160 см – на август–сентябрь и 240 см – на сентябрь–октябрь. В ряме средние месячные максимумы отмечены в июле только до глубины 20 см, а в пушицевой топи – до глубины 30 см. В нижележащей толще произошло смещение тепловой волны во времени: в ряме в слое 30–80 см – на август, на глубине 120 см – на сентябрь, 160 см – на октябрь, 240 см – на ноябрь; в пушицевой топи в слое 60–80 см – на август, в слое 120–160 см – на сентябрь, 240 см – на октябрь.

Самая низкая средняя месячная температура установлена в верхнем торфяном слое в осоковой топи, а пушицевая топь промёрзла зимой менее всего. На глубине 60 см и ниже средние месячные значения оставались положительными во всех болотных экосистемах. Минимальные месячные температуры пришлись на декабрь 2012 г. во всех экосистемах, они проникли до глубины 30 см в ряме, 15 см – в осоковой топи и 5 см – в пушицевой топи, в соответствии с глубиной стояния УБВ. Ниже этих глубин произошло смещение минимальных месячных температур во времени (запаздывание), так что на глубине 160–240 см они были в июне в ряме и в мае – в обеих топях.

Таблица 2

Средняя месячная температура (°С) самого тёплого и холодного месяцев в течение 2012/13 гидрологического года на разных глубинах торфяных почв

Экосистема	Максимальная средняя месячная температура на глубине, см			Минимальная средняя месячная температура на глубине, см		
	2	20	240	2	20	240
Рям	17,8	13,0	2,8	-5,2	-2,1	2,4
Пушицевая топь	17,5	14,8	4,2	-1,9	-0,6	3,6
Осоковая топь	19,9	18,6	5,7	-7,3	-3,0	3,9

Суточные колебания температуры можно было проследить в тёплое время года, они достигли глубины 20 см в пушицевой топи, 30 см – в ряме и 40 см – в осоковой топи. Самые высокие значения температуры отмечены 20 июля 2012 г., причём разброс значений между экосистемами составил почти 10 °С. Так, максимум на глубине 2 см в ряме составил 34,5 °С, в осоковой топи – 30,0 °С и в пушицевой топи – 26,8 °С, что отражает увеличение обводнённости от ряма к пушицевой топи. По данным метеостанции Бакчар максимальная температура воздуха в этот день достигла 35,0 °С. Минимальная суточная температура зафиксирована в ноябре во всех экосистемах на глубине 2 см, её значение составило -18,0 °С в осоковой топи 26 ноября, -4,9 °С в пушицевой топи 8 ноября и -10,0 °С в ряме 9 ноября. Разница в датах наступления суточных минимумов и их значениях связана, очевидно, с накоплением и перераспределением снега в начале зимы: снег задерживался в ряме деревьями и кустарничками, сносился в понижения пушицевой топи и выдувался ветрами с повышений в осоковой топи. По мере установления снежного покрова и его нарастания в течение зимы произошло повышение суточной температуры. Во второй половине зимы, с января по март, она менялась от -12,8 до -7,3 °С в осоковой топи, от -5,2 до -2,2 °С в ряме и от -2,9 до -2,1 °С в пушицевой топи.

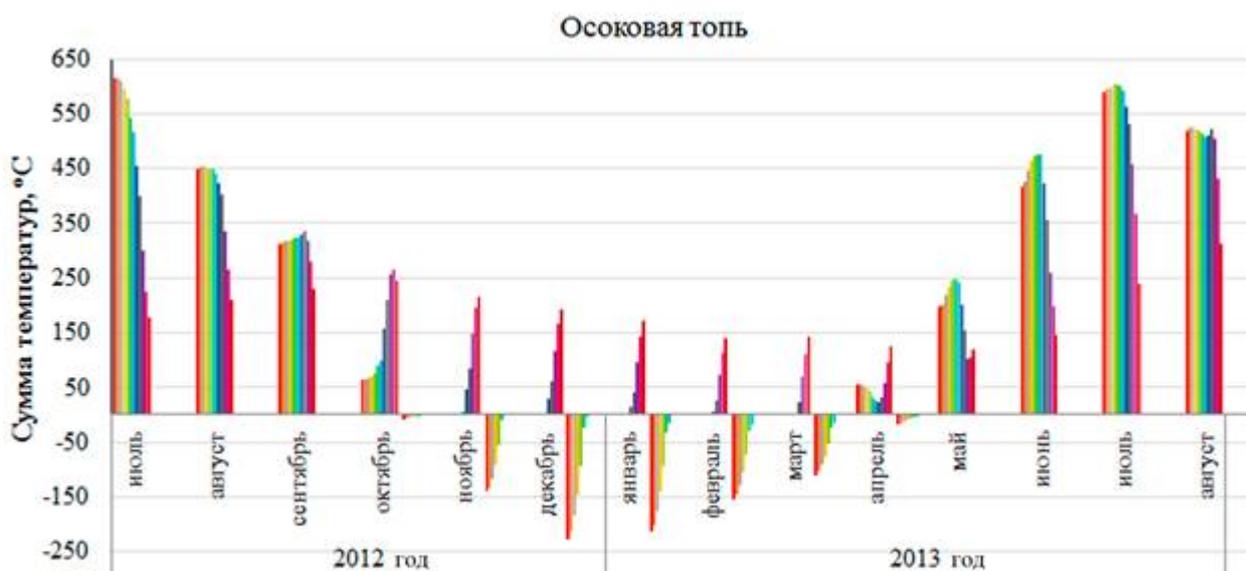
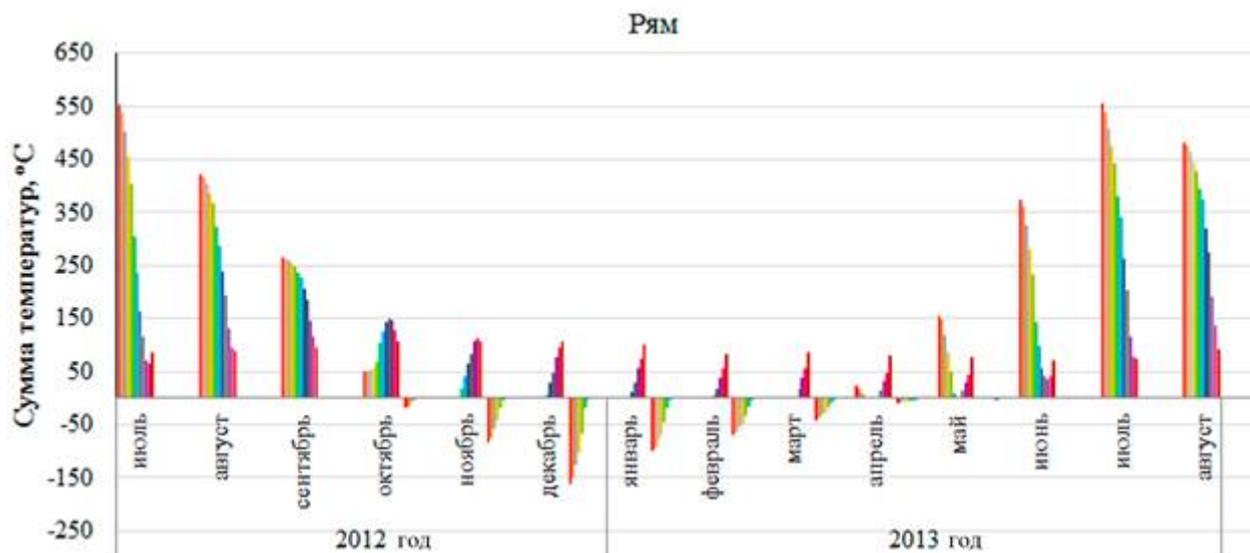
Таблица 3

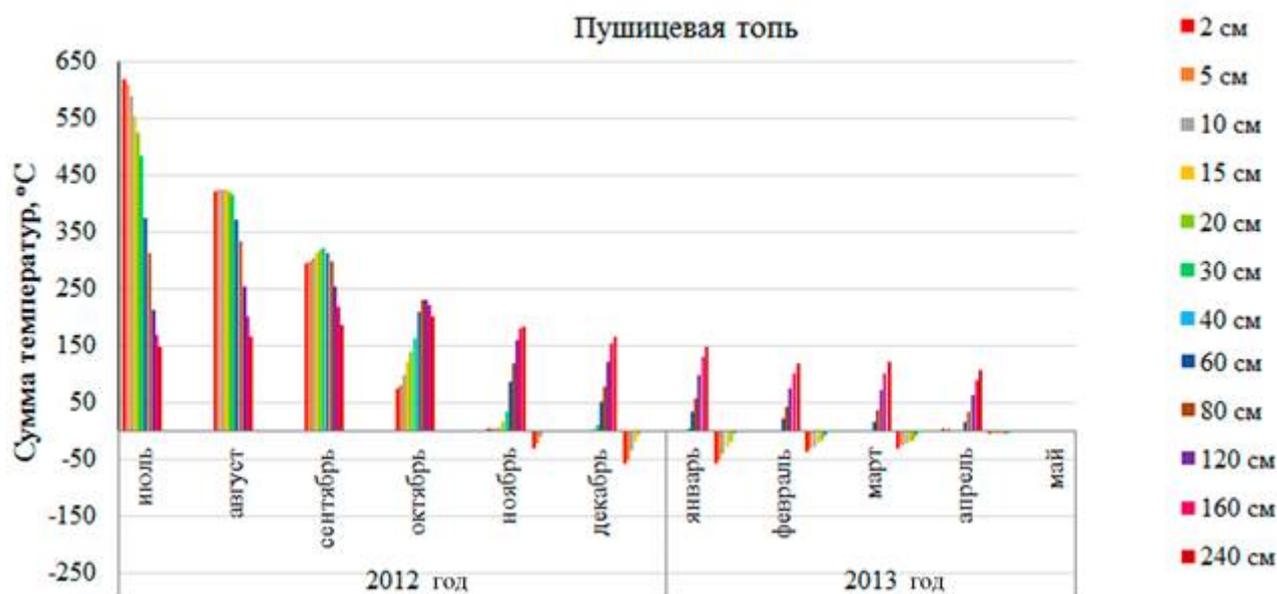
Суммы положительных и отрицательных температур (°С) на глубине 2 см и 20 см за 2012/13 гидрологический год

Экосистема	Суммы положительных температур на глубине, см		Суммы отрицательных температур на глубине, см	
	2	20	2	20
Рям	1906	1474	-485	-188
Осоковая топь	2156	2280	-872	-378
Пушицевая топь	нет данных	нет данных	-225	-67

Сумма положительных и отрицательных температур. Сумма положительных средних суточных температур за 2012/13 гидрологический год была выше в обводнённой осоковой топи по

сравнению с рямом, причём с глубиной эта разница увеличилась и составила 800 °С (табл. 3). Интересно, что в топи на глубине 20 см сумма положительных температур оказалась выше, чем на глубине 2 см за счёт более высоких температур в сентябре и октябре 2012 г. и с мая по июль 2013 г. Вероятно, это связано с тем, что стоящие у поверхности болотные воды хорошо прогреваются и сохраняют тепло в прохладные дни лета и осени, когда свободные от болотных вод кочки остывают. Полученные суммы отрицательных температур оказались больше (по модулю) в кочке осоковой топи по сравнению с кочкой ряма на обеих глубинах. Однако в пушицевой топи абсолютные значения сумм отрицательных температур на двух глубинах были в 2,2–2,8 раза меньше, чем в ряме и в 3,9–5,6 раз ниже, чем в осоковой топи.





**Рисунок 3.** Динамика изменений суммы положительных и отрицательных температур (°C) в почвах болотных экосистем на разных глубинах.

В годовой динамике сумм положительных температур для всех экосистем характерны максимальные значения в июле, более высокие значения в нижележащих слоях в течение холодного периода, начиная с октября, а также появление положительных температур в верхнем слое в апреле (рис. 3). Отметим, что в апреле в осоковой топи положительные температуры охватили всю толщу и имели более высокие значения в верхнем слое по сравнению с другими экосистемами, несмотря на то, что зимой этот слой наиболее сильно промерзал. Суммы отрицательных температур были наибольшими в декабре и январе в топях и в декабре – в ряме.

Соотношения сумм положительных и отрицательных температур на глубине 20 см к положительным и отрицательным суммам температуры воздуха характеризуют степень нагреваемости почв (Димо, 1972; Трофимова, Балыбина, 2015). Для гидрологического года 2012/13 этот показатель был равен 0,62 для ряма и 0,96 для осоковой топи, что говорит о значительно лучшем прогревании топи.

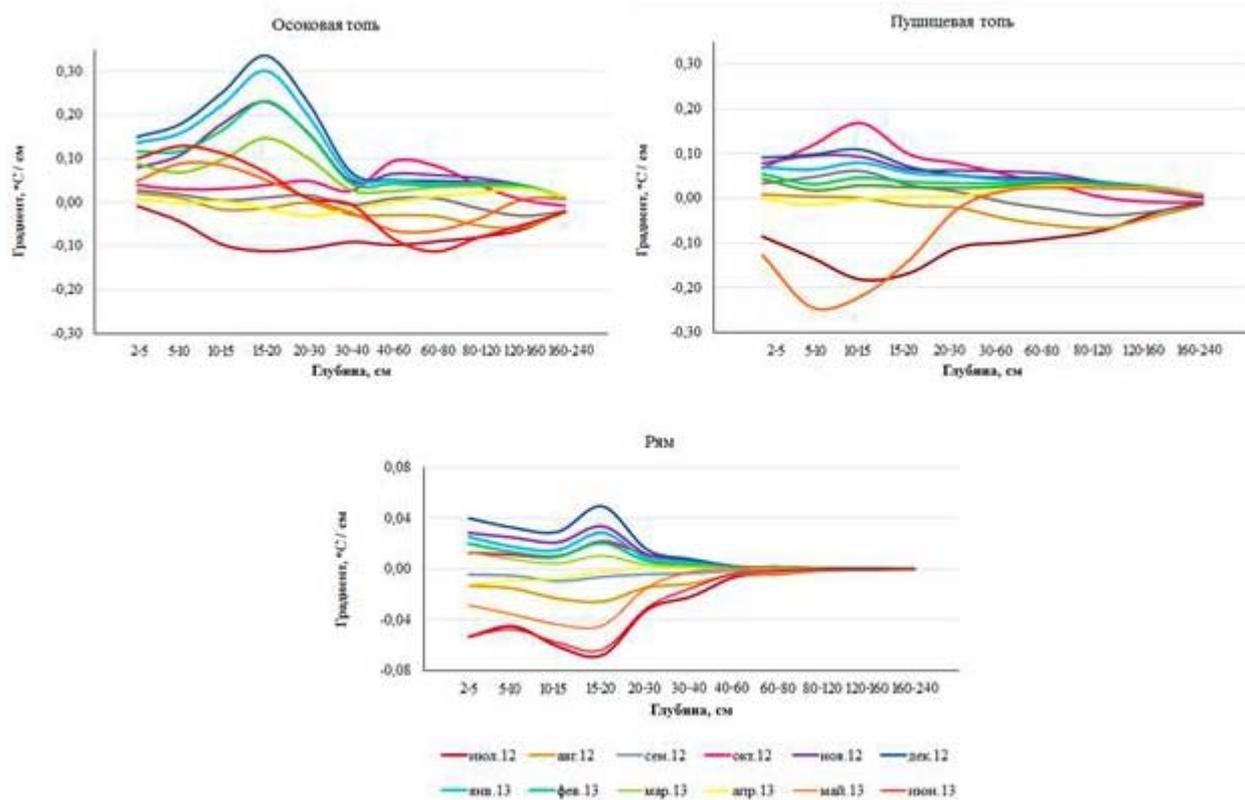
Для годовой динамики этого показателя характерны максимальные и близкие к максимальным значения в осенний период, когда воздух остывает, а насыщенный водой торф сохраняет тепло (табл. 4). Значения, близкие к нулю, получены для зимы и весны в ряме и пушицевой топи, в связи с теплоизолирующим влиянием снежного покрова и минимальным теплообменом в это время. В осоковой топи зимний и весенний показатели существенно выше, что свидетельствует, с одной стороны, о поступлении холода зимой, вероятно, в связи с выдуванием снежного покрова, и, с другой – о стремительном прогревании весной, вероятно, в связи с более быстрым освобождением снега.

**Таблица 4**

Соотношения сумм положительных и отрицательных температур на глубине 20 см к положительным и отрицательным суммам температуры воздуха в болотных экосистемах по сезонам 2012/13 гидрологического года

Сезон	Рям	Пушицевая топь	Осоковая топь
Лето (июль–август 2012 г.)	0,63	0,78	0,84
Осень (сентябрь–октябрь 2012 г.)	0,71	1,03	0,89
Зима (ноябрь–март 2012/13 гг.)	0,08	0,02	0,16
Весна (апрель 2013 г.)	0,04	0,04	0,32
Лето (май–август 2013 г.)	0,64	н.д.	1,02

**Градиенты температуры.** Наибольшие летние градиенты характерны для пушицевой топи в мае и июле, в два раза меньше – для осоковой топи в июле. Наибольшие зимние градиенты, напротив, получены для осоковой топи и в два раза меньше – для пушицевой топи.

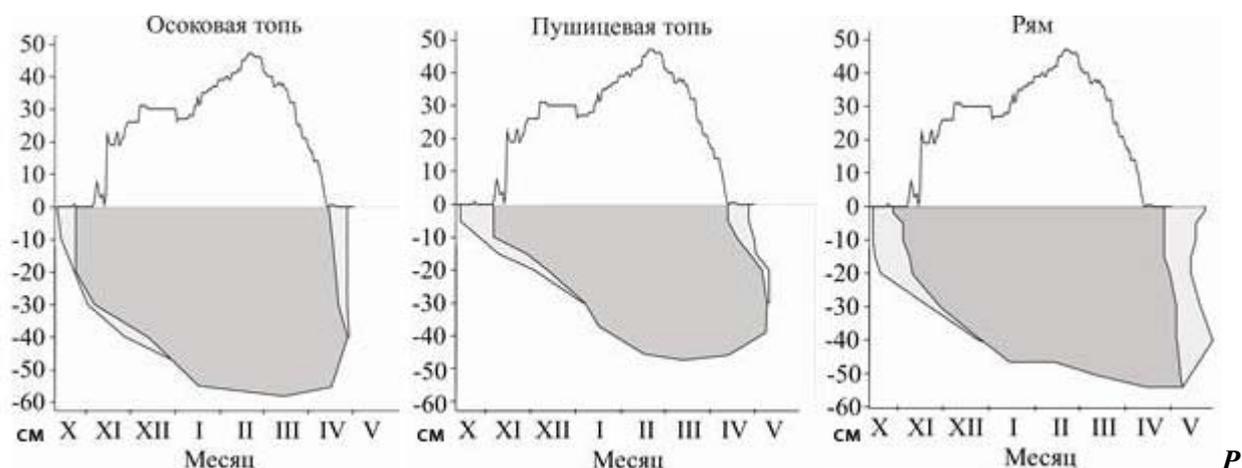


**Рисунок 4.** Градиенты температуры ( $^{\circ}\text{C}/\text{см}$ ) в профиле торфяных олиготрофных почв трёх болотных экосистем, распределённые по месяцам.

По сравнению с топями торфяная почва рьяма характеризовалась наименьшими летними и зимними градиентами. При продвижении вглубь почвенного профиля градиенты увеличились в слое 15–20 см, стали минимальны, начиная со слоя 40–60 см, и равными нулю – начиная со слоя 80–120 см. Во временном распределении максимальные абсолютные значения градиентов пришлись на декабрь, июнь и июль, а минимальные – на переходные периоды (сентябрь и апрель).

*Динамика промерзания и оттаивания.* Осенью 2012 г. заморозки начались 10 октября, в это же время стал промерзать поверхностный моховой слой болота. Постоянная сезонная мерзлота в слое 2–20 см установилась в осоковой топи 23 октября, в рьяме – проникала вглубь до 20 см в период с 25 октября по 6 ноября, а в пушицевой топи – установилась только 5 ноября в верхнем слое 0–10 см и достигла глубины 20 см к 10 декабря. Дальнейшее промерзание толщи до 30 см ещё больше различалось по срокам между экосистемами: оно установилось 5 ноября в осоковой топи, 27 ноября – в рьяме и 5 января – в пушицевой топи. Ниже этой глубины сезонная мерзлота продвигалась в осоковой топи и рьяме, достигнув глубины 40 см 11 и 22 декабря, соответственно. Максимальная глубина промерзания, рассчитанная стандартным методом (Методы..., 1957) составила 59 см в осоковой топи, 44 см – в пушицевой топи и 53 см – в рьяме, а длительность сохранения устойчивой мерзлоты в поверхностном слое – 171, 157 и 181 день, соответственно.

Первые положительные температуры воздуха в дневное время зафиксированы, начиная с 19 марта 2013 г., а положительные среднесуточные значения – с 7 апреля. Первые случаи оттаивания поверхностного слоя 0–5 см мохового покрова болот отмечены 11–12 апреля в топиях и 24 апреля в рьяме. Полное освобождение от сезонной мерзлоты произошло в осоковой топи стремительно – в течение 23–24 апреля. В пушицевой топи этот период растянулся с 28 апреля по 14 мая, а в рьяме – с 14 по 27 мая. В топиях оттаивание началось одновременно со сходом снега, зафиксированного метеостанцией Бакчар, а в рьяме на полмесяца позже, поскольку здесь снег, вероятно, задержался под сосновым пологом, особенно в понижениях и на северных склонах кочек.



**Рисунок 5.** Динамика высоты снежного покрова по данным метеостанции Бакчар (Расписание..., 2017) и глубины сезонно-мёрзлого слоя в разных болотных экосистемах.

Тёмной заливкой показан слой с постоянными отрицательными температурами, светлой – период чередующегося промерзания-оттаивания. Расчёт глубины промерзания слоя почвы между 40 и 60 см проведён стандартным методом (Методы..., 1957).

**Таблица 5**

Сравнение некоторых температурных показателей торфяных почв низких рямов Бакчарского болота по результатам данного исследования и других работ

Показатель	Низкий рям*	Низкий рям стационара «Васюганье»**
Средняя годовая температура, °С		
на глубине 2 см	3,7	4,2
на глубине 80 см	3,1	3,4
Годовая амплитуда, °С		
на глубине 2 см	23,2	18,8
на глубине 80 см	8,5	6,6
Глубина проникновения суточных колебаний, см	30	25
Глубина промерзания, см	53	26–40
Период минимальных месячных температур, месяц	Декабрь	Январь–февраль
Дата промерзания в 2012 г.		
на глубине 2 см	25.X	2.XI
на глубине 5 см	1.XI	5.XI
на глубине 20 см	6.XI	27.XI
на глубине 30 см	27.XI	22.XII
на глубине 40 см	22.XII	6.II
Дата оттаивания в 2013 г.		
на глубине 2–10 см	24.IV	18.IV
на глубине 20 см	28.IV	26.IV
на глубине 30 см	3.V	29.IV
на глубине 40 см	3.V	30.IV
Продолжительность существования сезонной мерзлоты, дней		
на глубине 2–10 см	181	168
на глубине 20 см	174	151
на глубине 30 см	158	130

Примечание. \* – результаты этого исследования; \*\* – данные опубликованных работ (Дюкарев и др., 2009; Дюкарев, 2012; Дюкарев, Головацкая, 2013; Киселев и др., 2015; Киселев и др., 2017 и Kiselev et al., 2018).

Сравнение результатов данной работы с результатами других исследований температурного режима почв Бакчарского болота. Характеристика температурного режима торфяных почв для схожих болотных экосистем Бакчарского болота, расположенных на расстоянии около 10 км от изученных в данном исследовании, опубликована в ряде работ (Дюкарев и др., 2009; Дюкарев, 2012; Дюкарев, Головацкая, 2013; Киселев и др., 2015; Киселев и др., 2017; Kiselev et al., 2018). Сравнение результатов показывает, что в нашем исследовании почва

ряма была холоднее, характеризовалась большей годовой амплитудой, глубиной промерзания и длительностью существования сезонной мерзлоты (табл. 5). При сравнении данных одних и тех же лет изучения (Киселев и др., 2017; Kiselev et al., 2018), обнаруживается, что в изученных нами болотах максимальная месячная температура в поверхностном слое была на 0,5 °С выше в ряме и на 1,6–2,5 °С – в осоковой топи, и только в пушицевой топи получено близкое значение (17,5 °С).

Сравнение температурных показателей почв топей с опубликованными результатами (Дюкарев и др., 2009; Дюкарев, 2012; Дюкарев, Головацкая, 2013; Киселев и др., 2015; Киселев и др., 2017; Kiselev et al., 2018) показывает, что топь стационара «Васюгань» по ряду показателей являлась более тёплой или характеризовалась средними значениями по сравнению с изученными нами экосистемами (табл. 6). Наибольшая разница обнаружена в продолжительности существования сезонной мерзлоты.

Таблица 6

Сравнение некоторых температурных показателей торфяных почв топей Бакчарского болота по результатам данного исследования и других работ

Показатели	Осоковая топь*	Пушицевая топь*	Топь стационара «Васюгань»**
Средняя годовая температура, °С			
на глубине 2 см	3,3	4,6	5,3
на глубине 240 см	5,8	4,7	5,6
Наибольшая средняя месячная температура, °С			
на глубине 2 см	19,9	17,5	18,1
на глубине 240 см	7,9	6,4	6,8
Наименьшая средняя месячная температура, °С			
на глубине 2 см	-7,3	-1,9	-2,6
на глубине 240 см	3,3	3,6	4,4
Максимальная средняя суточная температура в слое до 10 см в июле 2012 г., °С	23,2–22,6	20,5–19,1	25,9–23,3
Годовая амплитуда на глубине 240 см, °С	3,7	2,9	2,5–2,9
Глубина проникновения суточных колебаний температуры, см	40	20	30
Глубина промерзания в 2012 г., см	59	44	44
Переход к температурам ниже 0 °С на глубине 2 см в 2012 г.	10.X	12.X	12.X
Дата начала устойчивого промерзания в 2012 г.			
на глубине 2 см	23.X	5.XI	31.X
на глубине 20 см	23.X	10.XII	27.XI
на глубине 30 см	5.XI	5.I	31.XII
Дата начала оттаивания в 2013 г.			
на глубине 2 см	12.IV	11.IV	18.IV
на глубине 20 см	16.IV	7.V	15.IV
на глубине 30 см	17.IV	10.V	13.IV
Продолжительность существования сезонной мерзлоты, дней			
в слое 2–5 см	171	157	159
на глубине 20 см	175	142	126
на глубине 30 см,	162	125	62
Средняя суточная зимняя температура в слое 0–5 см, °С	-5,5	-1,3	-4,0

Примечание. \* – результаты этого исследования; \*\* – данные опубликованных работ (Дюкарев и др., 2009; Дюкарев, 2012; Дюкарев, Головацкая, 2013; Киселев и др., 2015; Киселев и др., 2017 и Kiselev et al., 2018).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Температурные режимы почв двух топей и ряма различались и характеризовались индивидуальными особенностями. Вопреки ожиданиям, для почв обеих топяных экосистем получены существенные различия, которые проявлялись по всему профилю.

Наиболее контрастные параметры температурных режимов получены для ряма и осоковой топи. Для пушицевой топи, которая располагалась между рямом и осоковой топью, получены промежуточные значения для таких параметров, как средняя по профилю годовая температура,

температура в течение холодного периода в толще ниже 140 см, максимальная средняя месячная температура ниже 20 см, максимальная суточная температура, степень сдвига тепловой волны во времени с глубиной и время оттаивания весной.

По другим характеристикам температурного режима почвы пушицевая топь была сходна либо с рямом, либо с осоковой топью. Например, для пушицевой топи и рьяма получена одна и та же годовая амплитуда на глубине 20 см, сходные максимальные средние месячные значения в поверхностном слое, степень нагреваемости в весенний период. В обеих топях прослеживался одинаковый ход температуры по почвенному профилю в течение тёплого периода и запаздывание волны холода.

В отличие от двух других экосистем, для почвы пушицевой топи были характерны наименьшие отрицательные температуры в течение холодного периода, самые небольшие месячные и суточные минимумы в пределах деятельного слоя, самые низкие суточные максимумы в летний период, проникновение мерзлоты в наиболее поздние сроки и на меньшую глубину.

Таким образом, в почве пушицевой топи разница между холодным и тёплым временем года была более сглажена, в то время как почва осоковой топи характеризовалась более изменчивым и тёплым климатом, а почва рьяма – более изменчивым и холодным. Найденная разница в температурных режимах почв связана с микрорельефом, от которого зависит уровень стояния болотных вод и перераспределение снежного покрова. Кочки и более низкое стояние болотных вод в рьяме и осоковой топи по сравнению с пушицевой топью способствовали лучшему прогреванию летом и большему промерзанию зимой.

Температурные режимы рьямов и топей Бакчарского болотного комплекса различались по результатам разных исследований, что обусловлено не только различными годами изучения, но и проведением исследования на разных элементах микрорельефа в сходных болотных экосистемах и, возможно, мезоклиматическими различиями.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим*. Под ред. К.Е. Иванова, С.М. Новикова. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 448 с.
2. Димо В.Н. *Тепловой режим почв СССР*. М.: Колос, 1972. 360 с.
3. Дюкарев Е.А. Амплитуда суточного хода температуры торфяной почвы // *Вестник Томского государственного университета*. 2012. № 365. С. 201–205.
4. Дюкарев Е.А., Головацкая Е.А. Особенности температурного режима торфяной залежи олиготрофного болота в южной тайге Западной Сибири // *География и природные ресурсы*. 2013. № 1. С. 65–71.
5. 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.
6. Киселев М.В., Воропай Н.Н., Дюкарев Е.А. Температурный режим почв осоково-сфагновой топи верхового болота в южной тайге Западной Сибири // *География и природные ресурсы*. 2017. № 3. С. 110–117.
7. Киселев М.В., Дюкарев Е.А., Воропай Н.Н. Динамика промерзания торфяной почвы в болотных экосистемах // XI Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу (Томск, 21–23 сентября 2015 г.). Томск: ИМКЭС СО РАН, 2015. С. 32–34.
8. Киселев М.В., Дюкарев Е.А., Воропай Н.Н. Сравнение температурных режимов торфяных почв болотных экосистем в тёплый период // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: Материалы III Международной научно-практической конференции (Томск, 27 сентября – 3 октября 2015 г.). Ставрополь: ООО «Альфа Принт», 2015. С. 93–96.
9. *Классификация и диагностика почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Коронатова Н.Г., Миронычева-Токарева Н.П. Температурный режим торфяных олиготрофных почв лесостепи Западной Сибири (на примере Николаевского рьяма) // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2019. № 45. С. 190–209. doi: [10.17223/19988591/45/10](https://doi.org/10.17223/19988591/45/10)
11. Коронатова Н.Г., Миронычева-Токарева Н.П., Соломин Я.Р. Температурный режим торфяной залежи бугров и топей плоскобугристых болотных комплексов Западной Сибири // *Криосфера Земли*. 2018. Т. XXII. № 6. С. 16–25. doi: [10.21782/KZ1560-7496-2018-6\(16-25\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-6(16-25))

12. Кураков С.А., Крутиков В.А., Ушаков В.Г. Автономный измеритель профиля температуры АИПТ // *Приборы и техника эксперимента*. 2008. № 5. С. 166–167.
13. Методы климатологической обработки метеорологических наблюдений / Под общ. ред. О.А. Дроздова. Л.: Гидрометеониздат, 1957. 492 с.
14. Расписание погоды: банк гидрометеорологических данных. URL: <http://rp5.ru> (дата обращения: 16.11.2017)
15. Романова Е.А. *Растительность болот*. // Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. С. 138–161.
16. Трофимова И.Е., Балыбина А.С. Районирование Западно-Сибирской равнины по термическому режиму почв // *География и природные ресурсы*. 2015. №3. С.27–38.
17. *IUSS Working Group, 2014*. WRB, World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2015.203 p.
18. Kiselev M.V., Dyukarev E.A., Voropay N.N. Features of seasonal temperature variations in peat soils of oligotrophic bogs in south taiga of Western Siberia // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 138. 012006. doi: [10.1088/1755-1315/138/1/012006](https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012006)

Поступила в редакцию 27.09.2019

Принята 11.11.2019

Опубликована 19.11.2019

#### Сведения об авторах:

**Коронатова Наталья Геннадьевна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеоценологии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН (Новосибирск, Россия); [koronatova@issa-siberia.ru](mailto:koronatova@issa-siberia.ru)

*Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.*



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## TEMPERATURE REGIME OF FIBRIST HISTOSOLS OF THE BAKCHAR MIRE (WEST SIBERIA)

© 2019 N.G. Koronatova 

*Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: [koronatova@issa-siberia.ru](mailto:koronatova@issa-siberia.ru)*

**The aim of the study.** *Observations of the thermal regime of peat soils were carried out in three ecosystems of the Bakchar mire (56°50'N, 82°50'E): in an more drained raised bog with pine-shrub-sphagnum community (ryam) and two waterlogged ecosystems: sedge-sphagnum poor fen (sedge mire) and shrub-cotton grass-sphagnum marginal part of the poor fen adjacent to the ryam (cotton grass mire).*

**Methodology.** *Thermal regime of fibrist histosols was studied using temperature loggers, i.e autonomous soil temperature meters AIPT (IMCES SB RAS, Tomsk). Loggers were installed into unflooded hummocks of 30–40 cm height in the ryam and sedge mire, and in the flooded leveled hollow of the cotton grass mire on June 26, 2012. The temperature was recorded until September 18, 2013, and in the cotton grass mire it was recorded until May 21, 2013, when the equipment failed due to high water table. The recording of temperature was carried out at depths of 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 120, 160, 240 cm once per hour. To assess the weather conditions during the study period, we used data on air temperature, precipitation and snow depth of the Bakchar weather station (<http://rp5.ru>).*

**Main results.** *The average annual temperature in the peat soil of the ryam decreased from 3.9°C in the surface layer to 2.7°C at a depth of 160 cm and increased to 3.0°C at a depth of 240 cm; in the sedge mire it increased from 3.4°C in the surface layer to 6.7°C at a depth of 160 cm and decreased to 6.2°C at a depth of 240 cm. In the cotton grass mire, average temperature slightly increased from the surface to the deepest layers at 0.15°C, averaging 4.7°C. The annual temperature amplitude at the depth of 20 cm was slightly higher than 15°C in the ryam and the cotton grass mire, which indicated soil climatic conditions as mild, and 21.6°C in the sedge mire, which complied with the temperate continental soil climate. The average temperature during the warm period (June–September) in the sedge mire was 1.5–3.1°C warmer than in the cotton grass mire. In the ryam the average temperature of the warm period in the upper 2–5 cm was the same as in the sedge mire, but sharply decreased with depth, unlike both poor fens. During the cold period (October–March), average temperature increased with depth*

from  $-1 \dots -4$  °C to  $3 \dots 6$  °C, and the average value became positive at a depth of 25–30 cm in the sedge mire and the ryam, and at a depth of 13 cm in the cotton grass mire, which reflects the different water table depth at different elements of the microrelief. The delay of the heat wave was most pronounced in the ryam: at a depth of 240 cm the maximum average monthly temperatures was in November, in the poor fens it was in September–October. The minimum monthly temperatures was recorded in December 2012 in all ecosystems, whereas negative temperatures reached to a depth of 30 cm in the ryam, to a depth of 15 cm into the sedge mire, and to a depth of 5 cm into the cotton grass mire in accordance with the water table depth. Daily summer temperature fluctuations reached to the depth of 20 cm in the cotton grass mire, 30 cm in the ryam and 40 cm in the sedge mire. The highest temperature values were observed on July 20, 2012: at a depth of 2 cm it was 34.5 °C in the ryam, 30.0 °C in the sedge mire and 26.8 °C in the cotton grass mire, which reflects an increase in water table from the ryam to the cotton grass mire. According to the Bakchar weather station, on that date the maximum air temperature reached 35.0 °C. Minimum daily temperatures were recorded in November in all ecosystems at a depth of 2 cm:  $-18.0$  °C in the sedge mire on November 26,  $-4.9$  °C in the cotton grass mire on November 8, and  $-10.0$  °C in the ryam on November 9. The difference between ecosystems is associated with the retention of snow by trees and shrubs, its demolition into hollows of the cotton grass mire and blowing off from hummocks in the sedge mire. As snow cover increased during the winter, daily temperatures increased to the daily average values of  $-5.3$ ,  $-2.3$ , and  $-1.4$  °C in the sedge mire, the ryam, and the cotton grass mire, respectively. The sum of the positive average daily temperatures for the hydrological year 2012/13 was higher in the sedge mire (2156 °C and 2280 °C at a depth of 2 and 20 cm) compared with the ryam (1906 and 1474 °C at a depth of 2 and 20 cm). The sum of negative temperatures at a depth of 2 and 20 cm was  $-485$  and  $-188$  °C in the ryam,  $-872$  and  $-378$  °C in the sedge mire,  $-225$  and  $-67$  °C in the cotton grass mire. The ratio of the positive temperature sums at the depth of 20 cm to the positive air temperature sums, characterizing the degree of soil heatability, amounted to 0.62 for the ryam and 0.96 for the sedge mire. Temperature gradients reached to the deepest layers of the soil profile in both poor fens, being  $0$  °C·cm $^{-1}$  below 60 cm in the ryam. Gradients were minimal in the ryam. Seasonal frost reached to the depth of 59 cm in the sedge mire, 44 cm in the cotton grass mire and 53 cm in the ryam, and the duration of stable soil frost in the surface layer was 171, 157 and 181 days, respectively. Thus in the peat soil of the cotton grass mire the difference between cold and warm seasons is less pronounced, while the sedge mire soil is characterized by the more contrasting and warmer climate, and the ryam soil is more contrasting and cold. The revealed difference in the soil thermal regimes is associated with the microrelief, which determined the water table depth and redistribution of snow cover. Hummocks and lower standing water table in the ryam and the sedge mires as compared with the cotton grass mire contributed to better warming in the summer and greater freezing in the winter.

**Conclusion.** The thermal regimes of ryams and poor fens of the Bakcharsky mire differ due to different elements of the microrelief and, possibly, mesoclimatic differences.

**Key words:** Bakchar Mire; thermal regime; Fibrist Histosol; southern taiga of Western Siberia

**How to cite:** Koronatova N.G. Temperature regime of Fibrist Histosols of the Bakchar Mire (West Siberia) // *The Journal of Soils and Environment*. 2019. 2(3). e79. doi: [10.31251/pos.v2i3.79](https://doi.org/10.31251/pos.v2i3.79) (in Russian with English abstract).

#### REFERENCES

1. *Mires of Western Siberia, their structure and hydrological regime*. Eds. K.E. Ivanov, S.M. Novikov. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976, 448 p. (in Russian)
2. Dimo V.N. *Thermal regime of soils of the USSR*. Moscow, Kolos Publ., 1972, 360 p. (in Russian)
3. Dyukarev E.A. The amplitude of daily temperature variation of peat soil, *Tomsk State University Journal*, 2012, No 365, p. 201–205. (in Russian)
4. Dyukarev E.A., Golovatskaya E.A. Features of the temperature regime of a bog peat deposit in the southern taiga of Western Siberia, *Geography and Natural Resources*, 2013, No 1, p. 65–71. (in Russian)
5. Dyukarev E.A., Golovatskaya E.A., Duchkov A.D., Kazantsev S.A. Temperature monitoring in Bakcharsky bog (Western Siberia), *Russian Geology and Geophysics*, 2009, No 50(6), p. 579–586. (in Russian)
6. Kiselyov M.V., Voropay N.N., Dyukarev E.A. Temperature regime of the soil in the sedge-Sphagnum mire of the raised bog in the southern taiga of Western Siberia, *Geography and Natural Resources*, 2017, No 3, p. 110–117. doi: [10.21782/GIPR0206-1619-2017-3\(110-117\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-3(110-117)) (in Russian)
7. Kiselyov M.V., Dyukarev E.A., Voropay N.N. *The dynamics of peat soil freezing in mire ecosystems*. In book: XI Siberian meeting on climate and environmental monitoring (Tomsk, 21–23 September 2015). Tomsk, IMCES SB RAS, 2015, p. 32–34. (in Russian)
8. Kiselyov M.V., Dyukarev E.A., Voropay N.N. *Comparison of temperature regimes of peat soils of mire ecosystems in the warm period*. In book: Problems of study and use of peat resources of Siberia: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (Tomsk, 27 September – 3 October 2015). Stavropol, Alfa Print Ltd, 2015, p. 93–96. (in Russian)
9. *Soil classification and diagnostic of Russia* / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian)

10. Koronatova N.G., Mironycheva-Tokareva N.P. Temperature regime of peat deposit of ombrotrophic bogs in the forest-steppe zone of Western Siberia (on the example of the Nikolayevsky ryam), *Tomsk State University Journal. Biology*, 2019, No 45, p. 190–209. doi: [10.17223/19988591/45/10](https://doi.org/10.17223/19988591/45/10). (in Russian)
11. Koronatova N.G., Mironycheva-Tokareva N.P., Solomin Ya.R. Temperature regimes of peat deposit of palsas and hollows in flat palsa complexes of Western Siberia, *Earth's Cryosphere*, 2018, Vol. 22, No 6, p. 16–25. doi: [10.21782/KZ1560-7496-2018-6\(16-25\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-6(16-25)). (in Russian)
12. Kurakov S.A., Krutikov V.A., Ushakov V.G. Autonomous temperature profile meter ATPM, *Instruments and Experimental Techniques*, 2008, No 5, p. 166–167. (in Russian)
13. *Methods of climatological processing of meteorological observations*. Eds. Drozdov O.A., Leningrad, Gidrometeoizdat, 1957, 492 p. (in Russian)
14. Weather schedule: hydrometeorological data bank. [Electronic resource]. Available at: <http://rp5.ru> (accessed 16.11.2017).
15. Romanova E.A. *Mire vegetation*. In book: *Vegetation of the West Siberian Plain*. Novosibirsk, Nauka, 1985, p. 138–161. (in Russian)
16. Trofimova I.E., Balybina A.S. Regionalization of the West Siberian Plain from thermal regime of soils, *Geography and Natural Resources*, 2015, No 3, p. 27–38. (in Russian)
17. *IUSS Working Group, 2014*. WRB, World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2015. 203 p.
18. Kiselev M.V., Dyukarev E.A., Voropay N.N. Features of seasonal temperature variations in peat soils of oligotrophic bogs in south taiga of Western Siberia, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 138, 012006. doi: [10.1088/1755-1315/138/1/012006](https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012006)

Received 27 September 2019

Accepted 11 November 2019

Published 19 November 2019

#### About the author:

**Koronatova Natalia G.** – PhD in Biology, Senior Researcher of Laboratory of Biogeocenology, Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of RAS, (Novosibirsk, Russia); [koronatova@issa-siberia.ru](mailto:koronatova@issa-siberia.ru)

*The author read and approved the final manuscript*



The article are available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)