

УДК 551.345

## ФОРМИРОВАНИЕ ПЯТЕН-МЕДАЛЬОНОВ В ПОЛИГОНАЛЬНЫХ ТОРФЯНИКАХ ПУР-ТАЗОВСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ НА ФОНЕ СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

© 2019 г. Е. С. Королева<sup>1,2,\*</sup>, Я. В. Тихонравова<sup>1</sup>, В. П. Мельников<sup>1,2,3,4</sup>,  
Е. А. Слагода<sup>1,2,3</sup>, Е. А. Бабкина<sup>1</sup>, В. И. Бутаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН,  
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026 Россия

\*E-mail: koroleva\_katy@inbox.ru

<sup>2</sup>Тюменский индустриальный университет,  
ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000 Россия

<sup>3</sup>Тюменский государственный университет,  
ул. Володарского, 6, Тюмень, 625003 Россия

<sup>4</sup>Тюменский научный центр СО РАН,  
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026 Россия

Поступила в редакцию 24.05.2019 г.

В 2016–2018 гг. обнаружены многочисленные органические пятна-медальоны на поверхности торфяников хасыреев южнотундровой части Пур-Тазовского междуречья (север Западной Сибири). Они приурочены к понижениям микрорельефа на полигонах и западинам между кочками. Изучены разрезы, криогенное строение и свойства торфа в сезонно-талом слое (влажность, плотность, пучинистость, химический состав и распространение в пределах хасыреев). В сезонно-талом слое выделены почвенно-растительный, верхний и средний плотные слои сильноразложившегося торфа, нижний слой рыхлого слабообразованного торфа. Под понижениями микрорельефа кровля многолетнемерзлых пород опущена, мощность и влажность рыхлого торфа увеличена за счет современного оттаивания по сравнению с повышенными участками поверхности полигонов. В разрезах сезонно-талого торфа выделены инъекции органического материала из нижнего слоя торфа на поверхность. Предложен механизм образования органо-генных пятен-медальонов в торфяниках за счет инъекций в летние сезоны 2016–2018 гг. на фоне увеличения глубины оттаивания без участия промерзания. За период наблюдений отмечено увеличение количества пятен-медальонов на полигональных торфяниках.

**Ключевые слова:** торфяник, сезонно-талый слой, пятна-медальоны, климатические условия.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019642-51>

### ВВЕДЕНИЕ

Торфяники в тундровой и лесотундровой зонах на севере Западной Сибири встречаются повсеместно. Исследования плоскополигональных и бугристополлигональных торфяников в районе г. Салехарда, на юге Тазовского и Гыданского полуостровов показали, что мощность торфа изменяется в широких пределах — от 0,5 до 4–5 м. Средняя мощность торфа составляет 1,9 м и закономерно увеличивается с севера на юг [10]. В плоскополигональных торфяниках, расположенных в хасыреях III равнины на северо-востоке Пур-Тазовского междуречья, в 2016–2018 гг. выявлены многочисленные черные пятна, сходные по форме с пятнами-медальонами.

В тундре хорошо известны минеральные пятна-медальоны, образование которых связано с промерзанием сезонно-талого слоя (СТС) и осадками при оттаивании отложений. При промерзании СТС пучение отложений происходит без подтока влаги извне, т.е. по типу “закрытой” системы [17]. Промерзание сопровождается морозобойным растрескиванием, ростом давления в закрытой системе, пучением и излиянием разжиженной грунтовой массы на поверхность [15]. В теплый период в протаявших пятнах-медальонах продолжается развитие криотурбаций (осадка и перемешивание грунтов за счет плавного конвективного перемещения материала [17]). Латеральная и вертикальная нисходящая миграция, перераспределение грубого органического материала между элемента-

ми микрорельефа происходят как на дневной поверхности, так и по неровной кровле мерзлоты [6].

Минеральные пятна-медальоны широко распространены на террасах и равнинах, сложенных супесями, суглинками и песками в зоне южной тундры Пур-Тазовского междуречья. Пятна-медальоны относят к мелкополигональным структурным формам, развитым в деятельном слое. Зимой в результате морозобойного растрескивания и летом в результате усыхания пород в пятнах и вокруг них образуются трещины. Развитие трещин предопределяет неравномерное осеннее промерзание пород, в результате чего в центральных частях блоков образуются замкнутые системы с талым тиксотропным грунтом. При промерзании в них резко возрастает гидростатическое давление, происходят переход тиксотропных грунтов в пластично-текучее состояние, прорыв мерзлой корки и излияние их на поверхность в виде пятен [13]. Большинство исследователей в области мерзлотоведения и почвоведения связывают образование пятен-медальонов только с процессом промерзания в начале холодного периода.

Для органо-минеральных пятен-медальонов глинистого состава Р. Маккей предложил равновесную модель развития. Он считал, что активное развитие пятен-медальонов сезонно-талого слоя происходит, если поверхность мерзлоты под пятном имеет вогнутую (чашеобразную) форму, а под растительным бордюром, окаймляющим пятно, глубина оттаивания меньше, чем в его центре. Промерзание происходит сверху, сбоку со стороны окаймляющих пятно морозобойных трещин и снизу от мерзлой толщи. Образование глинистых пятен-медальонов происходит только при средних температурах пород ниже  $-2^{\circ}\text{C}$  ...  $-3^{\circ}\text{C}$  вблизи поверхности, что предопределяет зональную приуроченность активных пятен-медальонов к длительно устойчивым, устойчивым и арктическим типам сезонного оттаивания пород [17].

Кроме минеральных, широко распространены черные органические пятна-медальоны, приуроченные в основном к мощным полигональным торфяникам. Подобные бурые пятна органического материала выявлены в торфяниках северной тайги [19] и в торфяниках Европейского севера [7, 8]. Механизм образования таких пятен-медальонов в почвенном покрове, в бугристых и плоскополигональных торфяниках не имеет однозначного объяснения. В.Д. Василевская связывает образование органических пятен без растительного покрова с деградацией почв торфяников в суровых гидротермических условиях и дефицитом биофильных элементов [2]. М. Serrala [20] объясняет появление таких пятен в торфяниках механическими экзогенными воздействиями

“ледовыдуванием” – совместным влиянием сильного ветра и твердых кристаллов льда и снега, которые разрушают растительный покров. Г.В. Матышак и др. [14] указывают на преобладающий процесс криогенного пучения при образовании торфяных пятен, а также криотурбирование на фоне промерзания СТС, активизирующих минерализацию торфа и препятствующих поселению растительности. Признаков инъекций под торфяными пятнами в северной тайге не установлено [19]. Д.А. Каверин, А.В. Пастухов [8] считают, что формирование и существование оголенных торфяных пятен на плоскобугристых торфяниках обусловлено криогенным вспучиванием, растрескиванием и поверхностно-эрозионными процессами, снеговой коррозией и ветровой дефляцией. Большинство авторов связывает образование пятен-медальонов в торфяниках исключительно с зимним промерзанием СТС.

В торфяниках южной тундры Пур-Тазовского междуречья образование органических пятен-медальонов происходило и происходит в теплые сезоны, поэтому механизм образования нельзя было объяснить просадками, внешним давлением на микрорельеф поверхности, ростом давления в закрытой системе и перемешиванием грунта при промерзании. Для решения этого вопроса в 2016-2018 гг. были изучены разрезы органических пятен-медальонов в торфяниках хасыреев Пур-Тазовского междуречья (север Западной Сибири).

## РАЙОН И МЕТОДЫ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рельефе Пур-Тазовского междуречья выделяют следующие геоморфологические элементы поверхности – лайды, поймы, аллювиальные террасы, разновысотные равнины с озерными котловинами, речными долинами и хасыреями. Равнина осложнена многочисленными хасыреями, озерными долинами в пределах природной зоны южной тундры и лесотундры [9]. Абсолютные отметки наиболее высоких участков поверхности достигают 30-50 м. Верхняя часть мерзлых толщ сложена четвертичными аллювиальными, озерными и морскими отложениями. Многолетнемерзлые породы (ММП) имеют сплошное распространение на всей территории Пур-Тазовского междуречья с таликами под крупными водотоками и озерами [4]. Глубина СТС для торфяников в среднем составляет 0.4 м, температуры пород на глубине нулевых амплитуд  $-3^{\circ}\text{C}$  ...  $-5^{\circ}\text{C}$  [4].

В пределах III озерно-аллювиальной равнины изучены полигональные торфяники хасыреев, расположенных в районе с. Газ-Сале (рис. 1). Среднегодовая температура воздуха в районе с. Газ-Сале за период 2005-2018 гг. составляла



Рис. 1. Район исследования

–6.7°C<sup>1</sup>, что на 2.6°C выше относительно опубликованных до 1989 г. данных [4]. Среднегодовое количество осадков – около 400 мм, из них большая часть (от 250 до 300 мм) обычно выпадала в апреле-октябре [4].

По данным Базы данных гидрометеорологических наблюдений суточного разрешения<sup>2</sup>:

- максимальные среднелетние температуры за период 2005–2018 гг. наблюдались в 2016 г. – 12.2°C;
- в 2016 г. годовая сумма осадков составила 433 мм, за период апрель-сентябрь ниже нормы – 218 мм, причем минимум осадков пришелся на июль;
- в 2017 и 2018 гг. среднелетние температуры составляли 9.7°C и 9.9°C соответственно, что на 0.4–0.6°C выше, чем в 1969–1989 гг., – 9.3°C;
- количество осадков близко к норме за апрель-сентябрь 2017 г. – 274 мм, а в 2018 г. – 241 мм.

Полигональные торфяники с черными пятнами изучены на двух площадках: в 3 км западнее и 20 км юго-западнее с. Газ-Сале, в хасырях, пересеченных дорогой на высокой насыпи с водопрпускными

трубами. В пределах хасыреев выделены зоны с четким полигональным рельефом и плоские, заболоченные ложбины стока, приуроченные к перегибам поверхности высокой террасы и плоских днищ хасыреев к насыпи и водопрпускным трубам.

Морфология хасыреев и полигонов, разрезы, криогенное строение и свойства торфа в сезонно-талом слое: влажность, плотность, пучинистость, химический состав и др. были изучены стандартными методами<sup>3,4,5</sup>. В сезонно-талом слое выделены почвенно-растительный, верхний и средний плотные слои сильноразложившегося торфа, нижний слой рыхлого слабо разложившегося торфа [12].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Участок "Торфяник 1" (67°20'14.8" N; 078°55'47.1" E)** в 3 км от с. Газ-Сале – хасырей (абс. отм. поверхности 6–7 м), ограниченный с северо-запада автомобильной дорогой, на юго-востоке – небольшим мелководным озером [1]. В пределах хасырея выделены элементы ненарушенной (с заросшими колеями) и нарушенной свежим пожаром поверхности. В хасырее распространен плоскобугристый полигональный торфяник, видимой мощностью 2.4 м. Повсеместно выражены полигоны прямоугольной и трапециевидной формы, размером 15×9, 18×22, 14×13, 11×7, 18×14, 21×16, 16×14 и 24×18 м, которые разделены глубокими промоинами, возникшими за счет термоэрозии и термокарста по вытравивающим полигонально-жильным льдам. Промоины и понижения над жилами, обрамляющие полигоны, имеют в основном 3-лучевое сочленение. Ширина межполигональных понижений 0.7–3.8 м, превышение полигонов над понижениями 0.1–0.6 м. Мощность полигонально-жильных льдов в торфянике более 4 м [3]. Полигоны плоские, местами с полигональными ваннами и выпуклыми валиками вдоль межполигональных понижений. Валики осложнены бугорками с кустарником и понижениями [18]. Полигональные ванны расположены по периферии хасырея, ближе к склонам. Мощность СТС, измеренная 11.08.2017 г., составляла на полигонах 0.39–0.4 м, в межполигональных понижениях – 0.36–0.52 м. Мелковолнистый рельеф кровли мерзлых пород повторяет микрорельеф поверхности.

Черные органические пятна на поверхности торфяника приурочены в основном к понижениям между выпуклыми бугорками валиков или между кочками на полигонах. В 2017 г. они за-

<sup>1</sup> Архив погоды в Тазовском [Электронный ресурс]. Расписание погоды gr5.ru: сайт. URL: [http://gr5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Тазовском](http://gr5.ru/Архив_погоды_в_Тазовском) (дата обращения 12.04.2016).

<sup>2</sup> База данных гидрометеорологических наблюдений суточного разрешения [Электронный ресурс] URL: <https://fb.komisc.ru/climat/viewdata.php> (дата обращения 10.04.2019).

<sup>3</sup> ГОСТ 5180–2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

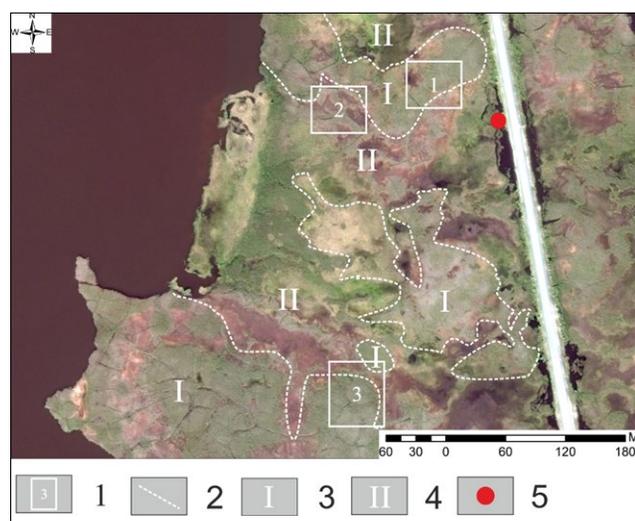
<sup>4</sup> ГОСТ 26423–1985. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH, плотного остатка водной вытяжки.

<sup>5</sup> ГОСТ 28622–2012 Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости.

нимали до 20-30% площади полигонов. Размеры пятен 2.9×1, 1.3×0.7, 1.2×0.7 м. В разрезе шурфа в СТС под пятном между кочками вскрыты инъекции на поверхность черного органического материала из нижней части СТС. В разрезе валика, в пределах СТС глубиной 0.3 м, черная органическая масса залегает в виде инъекции, пересекает желтовато-коричневый плотный слоистый торф и не всегда доходит до поверхности. Органические пятна-медальоны расположены в центральной части хасырея на удалении от дороги и озера.

**Участок "Торфяник 2" (67°21'27" N; 078°42'20" E)** в 20 км от с. Газ-Сале – хасырей с абс. отм. поверхности 6-7 м. С востока участок ограничен насыпью автомобильной дороги, с запада – мелководным озером. Участки плоскобугристого полигонального торфа с кочковатым микрорельефом, полигональными ваннами и валиками по периферии разделены ложбинами стока (рис. 2). В ложбинах стока полигональный рельеф подчеркнут термоэрозионными межполигональным промоинами. На относительно повышенных участках торфяника хорошо выражен полигональный рельеф, осложненный кочкарником и многочисленными черными пятнами-медальонами. Полигоны имеют в основном трапециевидную и прямоугольную форму, а межполигональные каналы над ледяными жилами и морозобойные трещины имеют 2- и 3-лучевое сочленение. Рельеф кровли мерзлых пород в пределах полигонов мелковолнистый, повторяет микрорельеф поверхности.

В 2017 г. на участке "Торфяник 2" выделены 3 площадки с различной высотой поверхности и удаленностью от озера (см. рис. 2), на которых распространены полигоны с органическими пят-



**Рис. 2.** Исследуемые площадки на участке "Торфяник 2". 1 – расположение и номера площадок; 2 – границы ложбин и возвышенностей; 3 – возвышенности; 4 – ложбины; 5 – водопропускная труба.

нами-медальонами. Эти пятна расположены как в центральных, так и краевых частях полигонов, причем приурочены к понижениям микрорельефа.

На площадке 1 полигоны прямоугольной и округлой формы размером от 17×22 до 25×38 м. Пятна-медальоны в центре полигонов, реже в межполигональных широких понижениях, имеют округлые формы, по краям полигона на валиках – вытянутую форму, поскольку часть органической массы стекала в каналы. Размеры пятен-медальонов 1.6×1.6, 1.4×1.7, 0.9×0.3, 0.5×0.4, 0.4×0.7, 0.5×0.5 м, встречаются слившиеся между собой органические пятна-медальоны размером 2.0×0.4, 0.6×0.2, 0.9×0.45 м. Количество пятен-медальонов от 14 до 50 штук зависит от размеров полигонов, они занимают 20-50% площади полигонов. Органические пятна-медальоны имеют слабовыпуклую поверхность, вытянутую и округлую форму и перекрывают свежую растительность (рис. 3а). Пятна-медальоны обрамлены со всех сторон кочками с растительным покровом. Свежие излившиеся органические пятна не имеют растительности, прошлогодние органические пятна после размыва приобрели сглаженную поверхность и коричнево-охристый цвет и только местами покрыты нанопопеленцами – лишайниками.

На площадке 2, расположенной в пределах ложбины стока, полигоны прямоугольной формы размером 19.7×6.7, 24.6×16.75 м, с полигональными ваннами, обрамленными валиками. Валики имеют превышение 0.05-0.4 м над межполигональными понижениями шириной 0.25-0.7 м. Торфяные кочки имеют размеры 0.3×0.2-0.35×0.27 м, высоту 0.1 м. СТС в полигонах 0.53-0.55 м, в межполигональных понижениях 0.46-0.48 м. Поверхность полигонов занята на 80-100% слившимися пятнами-медальонами (рис. 3б) – коричневой органической массой с трещинами усыхания между торфяными кочками, покрытыми осокой.

На площадке 3, относительно возвышенной (до 1.5 м) над ложбинами стока, полигоны размером 32×28 м, внутри с более мелкой генерацией полигонов размером 10.8×7.7 м с кочкарным микрорельефом. Полигоны возвышаются на 0.1-0.3 м над широкими (1.2-1.5 м) плоскими межполигональными понижениями. СТС в полигонах до 0.51 м, в межполигональных понижениях 0.52 м. Слившиеся пятна-медальоны занимают от 20% площади полигона, 50-70% площади обрамляющих межполигональных понижений и осушенных полигональных ванн. Они имеют коричневый цвет за счет отмершей растительности и окисленной органической массы. Ближе к озеру межполигональные понижения сливаются в ложбины, увлажнены, покрыты осокой (см. рис. 2).

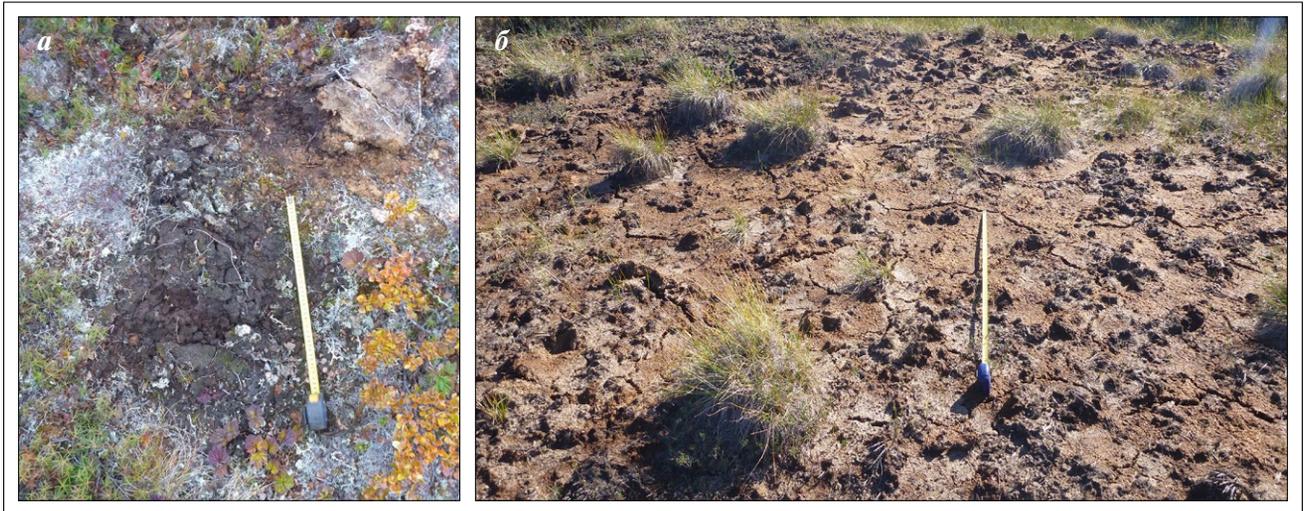


Рис. 3. Вид органических пятен-медальонов: отдельного свежего пятна (а), слившиеся прошлогодние пятна (б).

Органические пятна-медальоны распространены неравномерно. Пятна расположены в основном в центральной части полигонов и на их периферии – валиках. Ближе к озеру количество органических пятен-медальонов увеличивается, а вблизи ложбин и полигональных ванн пятна сливаются

в полосы органической массы, перекрывающей растительность и препятствующей ее росту.

За три года наблюдений количество пятен и зон торфяника без свежей растительности возросло, площадь участков с коричневой и черной окраской поверхности увеличилась.

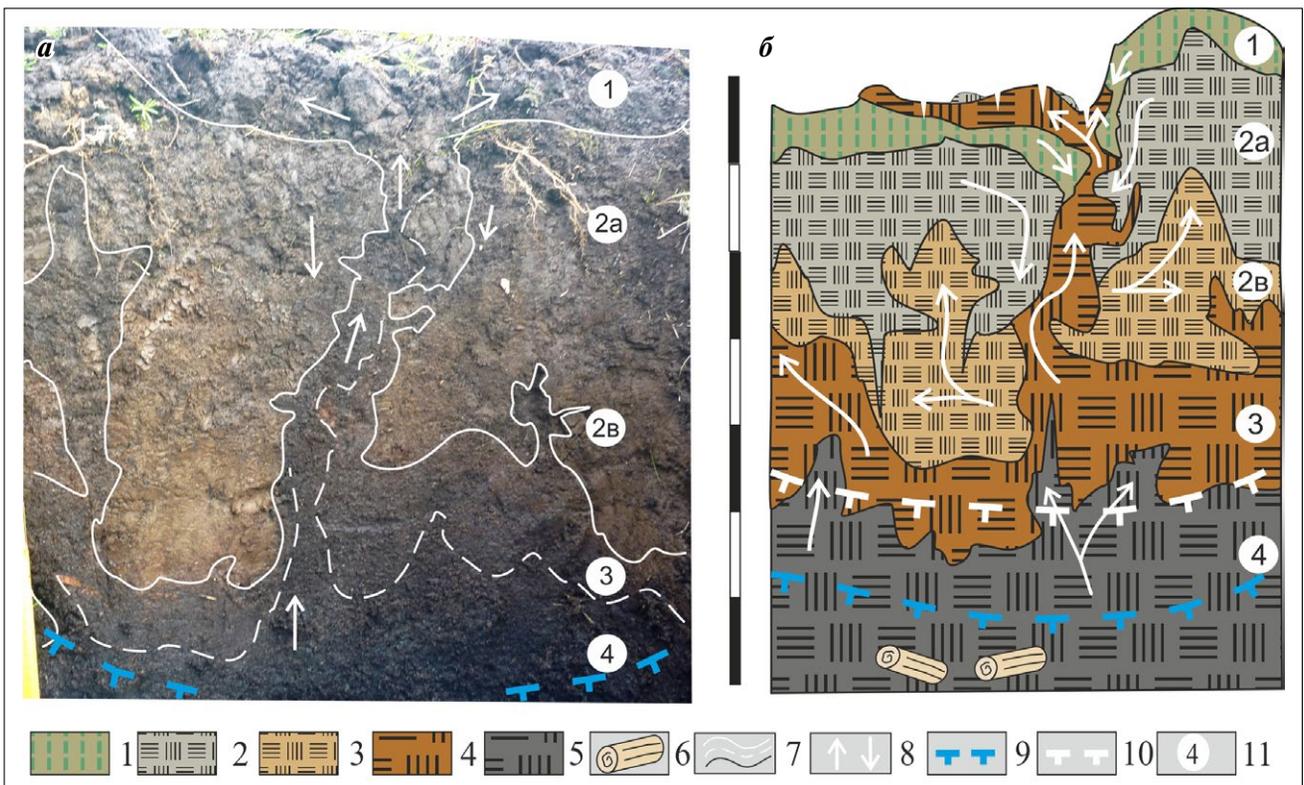


Рис. 4. Разрез пятна-медальона на фотографии (а), схема строения торфа в СТС и направления перемещения органического материала (б). 1-5 – слои торфа (см. описание в тексте); 6 – древесные остатки; 7 – границы слоев; 8 – направление инъекции и перемещения органического материала; 9 – современная граница ММП; 10 – реликтовая граница ММП; 11 – номер слоя.

На площадке 1 шурфом глубиной 0.6 м вскрыто органическое пятно-медальон между кочками (см. рис. 3). В шурфе (рис. 4а) был отмечен резкий и сильный застойный гнилостный запах.

Сверху вниз выделены:

- слой 1 – почвенно-растительный слой кустарничково мохово-лишайниковой растительности, перекрытый черной органической массой слоев 3, 4;
- слой 2 – разложенный плотный торф коричневатого-серого (2а), светло-коричневого цвета (2в). Разложившийся сильнопучинистый светло-коричневый торф (2в) с глубины 0.2-0.4 м имеет кислую реакцию рН 4.18, плотность 2.2 г/см<sup>3</sup>, потерю массы при прокаливании 89%, т.е. содержание минеральных частиц 11%, и влажность 108%, относительную деформацию пучения 0.0079 (анализы выполнены в лаборатории ООО «Тюмень-ПромИзыскания»);
- слой 3 – коричневатый-черный рыхлый влажный торф с волнистой слоистостью деформированной пучением (~ 0.1 м), который состоит из

неразложившихся мхов, кустарничков и взаимовнедрений инъекций черного торфа из слоя 4.

- слой 4 – торф черный, неразложенный, из целых стеблей мхов со стволиками деревьев, с глубины 0.5-0.6 м мерзлый, – характеризуется высокой льдистостью, массивной, гнездовой и корковой криотекстурой на контакте с древесными остатками.

Верхняя граница многолетнемерзлых пород имеет вогнутую – чашеобразную форму (рис. 5), углубление чаши оттаивания между кочками составляет около 10 см.

Контакты слоев всех разновидностей разложенного и рыхлого торфа неровные, они подчеркивают строение инъекции – направление выброса неразложившегося и слабо разложившегося торфа слоев 3, 4 на поверхность (см. рис. 4б).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании полученных материалов установлено, что органические пятна-медальоны



**Рис. 5.** Чаша оттаивания в кровле многолетнемерзлого торфа под органическим пятном-медальоном. 1 – номер слоя, 2 – граница ММП.

в изученных полигональных торфяниках были образованы и продолжают формироваться в теплые сезоны года. Об излиянии органической массы в теплые сезоны 2016-2018 гг., о свежести выбросов на фоне протаивания органической воднонасыщенной массы свидетельствуют следующие явления:

- органическая масса захоронила свежую зеленую растительность на поверхности;
- органическое пятно-медальон имеет выпуклую форму и неровную поверхность, покрыто мелкими трещинками усыхания, не заселено растениями;
- пятна-медальоны имеют черный цвет (не окислено), не размыты, в сухой сезон 2016 г. их образование произошло после схода снега;
- в дождливые сезоны 2017-2018 гг. часть свежих черных пятен была размыта дождем, а прошлогодние частично размыты дождем и талыми снеговыми водами приобрели коричневатый цвет, т.е. окислены и не заселены растениями.

Следовательно, изученные органические пятна-медальоны в момент излияния не связаны с процессом промерзания, поэтому необходимо рассмотреть другие возможные механизмы их образования.

Образование органических пятен-медальонов в понижениях микрорельефа поверхности может быть объяснено следующими процессами и особенностями строения и свойств торфа в СТС. В результате многолетних циклов промерзания и оттаивания в пределах СТС в годы, предшествующие потеплению климата, торф слоя 2 полностью разложился и сильно уплотнился (рис. 6а), и произошло образование криотурбаций. Зимой в результате пучения кочек или возвышенных частей валиков полигонов поверхности между ними испытали относительное понижение. На фоне современного повышения летних температур воздуха при протаивании под понижениями поверхности

происходило и происходит увеличение глубины СТС – локальное углубление кровли ММП (см. рис. 5). Из-за увеличения глубины СТС на 6-20 см по сравнению с 1989 г. [4] произошло оттаивание переходного слоя 3 слабо разложившегося торфа и неразложившегося торфа слоя 4 из верхней части ММП (рис. 6б). Близость к поверхности, отсутствие воды в понижениях из-за низкого количества осадков в 2016 г. и небольшая плотность торфа указывают на отсутствие внешних условий для роста давления над кровлей ММП и выброса (или выдавливания) органической массы на поверхность.

Основной причиной образования инъекции могло быть увеличение давления в замкнутой системе в локальном углублении кровли ММП и под уплотненным разложившимся торфом слоя 2. В торфе слоя 4 выделялся газ за счет жизнедеятельности микроорганизмов в свежееоттаявших неразложившихся растительных остатках. На активизацию и “взрывной рост” законсервированных бактерий, выделение и накопление газов при понижении кровли ММП указывали исследования в Восточной Сибири [16]. Газ накапливался в замкнутой системе под плотным торфом слоя 2 в локальном углублении кровли ММП в рыхлом слое 3 (см. рис. 6б). Плотный торф плохо пропускает для газа и испарения влаги [5]. Под давлением накопившегося газа в слое 3, слой 2в приподнимался, сдвигая вверх вышележащие слои. При достижении критического давления (за счет продолжающегося накопления газа) в результате растягивающих напряжений в слабой зоне происходит разрыв слоев 2а и 2в, излияние слоев 2, 3 и 4 на поверхность (рис. 6в).

Следовательно, выделение газа в торфе в понижениях кровли ММП на фоне протаивания и углубления СТС, по-видимому, провоцирует инъекции органо-минеральной массы, по форме подобные минеральным пятнам-медальонам, но формирование которых происходит на фоне протаивания и неравномерного углубления СТС, и не связано с его промерзанием, как в минеральных пятнам-медальонах.

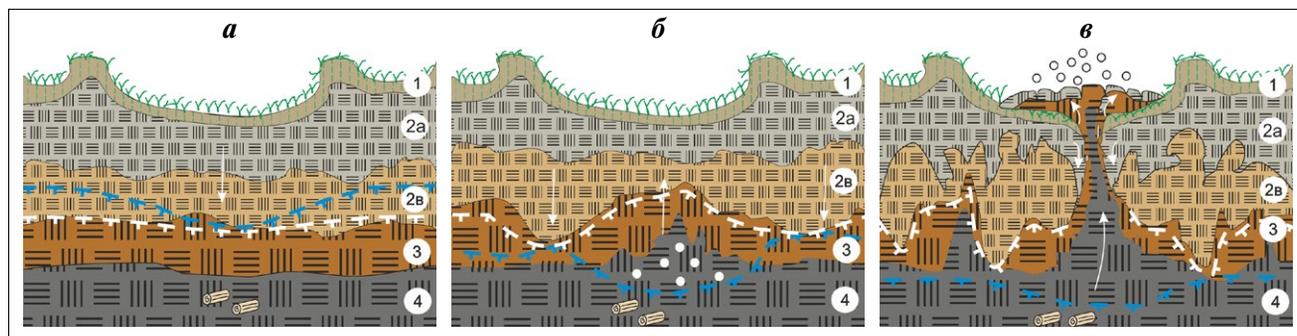


Рис. 6. Схема образования инъекций и органических пятен-медальонов в теплый сезон года без участия промерзания. Условные обозначения см. на рис. 4.

О более широком распространении черных органических пятен-медальонов в плоскополигональных торфяниках на фоне современного повышения летних температур свидетельствуют наблюдаемые многочисленные слившиеся пятна в плоскобугристых торфяниках в северной тайге в районе г. Надыма и на Европейском севере [7, 8, 14]. В слившихся пятнах-медальонах северной тайги и Европейского севера затруднительно установить причины их образования, так как оно, вероятно, началось в теплые сезоны 2008 г. и 2012 г. [11], а многократные инъекции органической массы на поверхность уничтожили первоначально излитые пятна при неоднократном размывании талыми водами. Увеличение темноокрашенной без растительности поверхности на полигональных торфяниках хасереев, широко распространенных в южной и типичной тундре Западной Сибири, приводит к дополнительно-нолму прогреву и неравномерному увеличению глубины СТС, что является предпосылкой развития просадок и термокарста.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование органических пятен-медальонов в торфяниках хасереев Пур-Тазовского междуречья связано с накоплением газа в надмерзлотном слое неразложенного торфа на фоне увеличения глубины СТС. Углубление СТС ниже кровли ММП, спровоцированное теплыми и сухими летними периодами в полигональных торфяниках хасереев, впервые отмечено в 2016 г. Черные и темно-коричневые органические пятна-медальоны развиваются на фоне протаивания СТС и не связаны с его промерзанием, в отличие от образования минеральных пятен-медальонов. Инъекции органической массы на поверхность вызваны ростом давления в локальной замкнутой системе между современной углубленной подошвой СТС и реликтовой границей СТС, которая разделяет слои торфа разной плотности.

Органические пятна-медальоны на поверхности и инъекции в разрезах полигональных торфяников могут служить индикатором неравномерного локального понижения кровли многолетнемерзлых пород на фоне повышения летних температур.

**Источник финансирования.** Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 18-55-11005 АФ\_т "Механизмы, траектории и пятнистость изменений арктических экосистем, вызванных потеплением климата (КлимЭко)", № 18-05-60222 Арктика "Криогенные рельефообразующие процессы Арктических равнин с подземными льдами в условиях современных климатических колебаний вдоль Карской субширотной трансекты".

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин Е.М., Хомутов А.В., Дворников Ю.А., Хайруллин Р.Р., Бабкина Е.А. Изменение рельефа торфяника с вытаявающим полигонально-жильным льдом в северной части Пур-Тазовского междуречья // Проблемы региональной экологии. 2018. №4. С. 115-119.
2. Василевская В.Д. Почвы севера Западной Сибири / В.Д. Василевская, В.В. Иванов, Л.Г. Богатырев. М.: МГУ, 1986. 227 с.
3. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К. Мощные полигональные торфяники в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород Западной Сибири // Криосфера Земли. 2016. Т. 20. № 4. С. 3-15.
4. Геокриология СССР. Западная Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 454 с.
5. Грунтоведение / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: МГУ, 2005. 1024 с.
6. Губин С.В., Луначев А.В. Почвообразование и подстилающая мерзлота // Почвоведение. 2006. № 6. С. 655-667.
7. Каверин Д.А., Пастухов А.В., Лаптева Е.М., Биззи К., Марущак М., Мартикайнен П. Строение и свойства почв многолетнемерзлых торфяников юго-востока Большеземельской тундры // Почвоведение. 2016. № 5. С. 542-556.
8. Каверин Д.А., Пастухов А.В. Генетическая характеристика мерзлотных почв оголенных пятен на плоскобугристых торфяниках Большеземельской тундры // Известия Самарского науч. центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3. С. 55-62.
9. Карта природных комплексов Севера западной Сибири (для целей геокриологического прогноза и планирования природоохранных мероприятий при массовом строительстве) М.: Госгеодезия СССР, 1991.
10. Кашиперюк П.И. Типы и инженерно-геологические особенности многолетнемерзлых торфяных массивов севера Западно-Сибирской плиты: автореф. ... дис. канд. геол.-мин. наук. М., 1985.
11. Малкова Г.В., Садуртдинов М.Р., Царев А.М., Скворцов А.Г. Современное состояние многолетнемерзлых пород на Европейском Севере // Тез. конф. "Природные процессы в полярных регионах Земли в эпоху глобального потепления", 9-11 октября 2018 г., Сочи. С. 36. [Электронный ресурс] [http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/Сочи\\_30092017.pdf](http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/Сочи_30092017.pdf)
12. Методы геокриологических исследований: Уч. пос. / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: МГУ, 2004. 512 с.
13. Общее мерзлотоведение (геокриология). Учебник / Под ред. В.А. Кудрявцева. М.: МГУ, 1978. 464 с.
14. Огнева О.А., Матышак Г.В., Гончарова О.Ю., Бобрик А.А., Пономарева О.Е. Почвы торфяных пятен

- бугристых торфяников севера Западной Сибири // Криосфера Земли. 2016. Т. XX. № 2. С. 23-41.
15. Попов А. И., Розенбаум Г. Э., Тумель Н. В. Криология. М.: МГУ, 1985. 239 с.
  16. Ривкина Е. М., Краев Г. Н., Кривушин К. В., Лауринавичюс К. С., Федоров-Давыдов Д. Г., Холодов А. Л., Щербакова В. А., Гуличинский Д. А. Метан в вечномёрзлых отложениях северо-восточного сектора Арктики // Криосфера Земли. 2006. Т. X. № 3. С. 23-41.
  17. Романовский Н. Н. Основы криогенеза литосферы. Уч. пос. М.: МГУ, 1993. 336 с.
  18. Kuznetsova A. O., Afonin A. S., Tikhonravova Ya. V., Slogoda E. A. Dynamics of local conditions of peat accumulation in the Holocene of the southern tundra of the PurTaz interfluves // Int. conf. "Solving the puzzles from Cryosphere": Program, Abstracts: (April 15-18, 2019, Pushchino, Russia). 2019. P. 81-82. [http://cryosol.ru/images/phocagallery/conference/cryospherepuzzles/PushchinoPermafrost\\_ConferenceProgrammAbstracts2019\\_compressed.pdf](http://cryosol.ru/images/phocagallery/conference/cryospherepuzzles/PushchinoPermafrost_ConferenceProgrammAbstracts2019_compressed.pdf)
  19. Matyshak G., Goncharova O., Tarkhov M., Bobrik A., Petrzhik N., Sefilian A. The response of West Siberia tundra ecosystems to experimental warming: results of short and long-term experiments // Int. conf. "Solving the puzzles from Cryosphere": Program, Abstracts: (April 15-18, 2019, Pushchino, Russia). 2019. P. 180-181. [http://cryosol.ru/images/phocagallery/conference/cryospherepuzzles/PushchinoPermafrost\\_ConferenceProgrammAbstracts2019\\_compressed.pdf](http://cryosol.ru/images/phocagallery/conference/cryospherepuzzles/PushchinoPermafrost_ConferenceProgrammAbstracts2019_compressed.pdf)
  20. Seppala M. Surface abrasion of palsas by wind action in Finnish Lapland // Geomorphology. 2003. V. 52. P. 141-148.
  4. *Geokriologiya SSSR. Zapadnaya Sibir'* [Geocryology of the USSR. The Western Siberia]. Ershov, E. D., Ed., Moscow, Nedra Publ., 1989, 454 p. (in Russian)
  5. Gruntovedenie [Soil and rock engineering]. Trofimov, V. T., Ed., Moscow, MGU Publ., 2005, 1024 p. (in Russian)
  6. Gubin, S. V., Lupachev, A. V. *Pochvoobrazovanie i podstilayushchaya merzlota* [Soil formation and the underlying permafrost]. *Pochvovedenie*, 2006, no. 6, pp. 655-667. (in Russian)
  7. Kaverin, D. A., Pastukhov, A. V., Lapteva, E. M., Bizazi, K., Marushchak, M., Martikainen, P. *Stroenie i svoystva pochv mnogoletnemerzlykh torfyanikov yugovostoka Bol'shezemel'skoi tundry* [Structure and properties of perennially frozen peat bogs in the southeast of the Bol'shezemel'skaya tundra]. *Pochvovedenie*, 2016, no. 5, pp. 542-556. (in Russian)
  8. Kaverin, D. A., Pastukhov, A. V. *Geneticheskaya kharakteristika merzlotnykh pochv ogolenykh pyaten na ploskobugristykh torfyanikakh Bol'shezemel'skoi tundry* [Genetic characteristics of permafrost-affected soils formed in bare circles of peat plateaus in Bolshezemel'skaya tundra]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2013, vol. 15, no. 3, pp. 55-62. (in Russian)
  9. *Karta prirodnykh kompleksov severa Zapadnoi Sibiri (dlya tselei geokriologicheskogo prognoza i planirovaniya prirodookhrannykh meropriyatii pri massovom stroitel'stve)* [Map of natural complexes of the North of Western Siberia (for the purpose of geocryological forecast and planning nature-conservation measures upon mass construction)]. Moscow, Geodeziya SSSR, 1991.
  10. Kashperiyuk, P. I. *Tipy i inzhenerno-geologicheskie osobennosti mnogoletnemerzlykh torfyanikh massivov severa Zapadno-Sibirskoi plity* [Types and engineering geological peculiarities of permafrost ground massifs in the north of West-European plate]. Extended abstract of Cand.Sci. (Geol.-Min.) dissertation, Moscow, 1985. (in Russian)
  11. Malkova, G. V., Sadurtdinov, M. R., Tsarev, A. M., Skvortsov, A. G. *Sovremennoe sostoyanie mnogoletnemerzlykh porod na Evropeiskom Severe* [Modern state of permafrost ground in the European North]. Proc. Conference on natural processes in Polar regions of the Earth in the epoch of global climate warming (October 9-11, 2018, Sochi). Available at: [http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/Сочи\\_30092017.pdf](http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/Сочи_30092017.pdf)
  12. *Metody geokriologicheskikh issledovaniy* [Methods of geocryological research]. Textbook. Ershov, E. D., Ed., Moscow, MGU Publ., 2004, p. 512 (in Russian)
  13. *Obshchee merzlotovedenie (geokriologiya)* [General geocryology]. Textbook. Kudryavtsev, V. A., Ed., Moscow, MGU Publ., 1978, 464 p. (in Russian)
  14. Ogneva, O. A., Matyshak, G. V., Goncharova, O. Yu., Bobrik, A. A., Ponomareva, O. E. *Pochvy torfyanikh pyaten bugristykh torfyanikov severa Zapadnoi Sibiri* [Soils of peat

## REFERENCES

1. Babkin, E. M., Khomutov, A. V., Dvornikov, Yu. A., Khairullin, R. R., Babkina, E. A. *Izmenenie rel'efa torfyanika s vytaivayushchim poligonal'no-zhil'nyim l'dom v severnoi chasti Pur-Tazovskogo mezhdurech'ya* [Relief transformation of the peat bog with melting massive wedge ice in the northern part of the Pur-Taz interfluve]. *Problemy regional'noi geologii*, 2018, no. 4, pp. 115-119. (in Russian)
2. Vasilevskaya, V. D. *Pochvy severa Zapadnoi Sibiri* [Soils in the north of the Western Siberia]. V. D. Vasilevskaya, V. V. Ivanov, L. G. Bogatyrev. Moscow, MGU Publ., 1986, 227 p. (in Russian)
3. Vasil'chuk, Yu. K., Vasil'chuk, A. K. *Moshchnye poligonal'nye torfyaniki v zone splochnogo rasprostraneniya mnogoletnemerzlykh porod Zapadnoi Sibiri* [Thick polygonal peat bogs in continuous permafrost zone in the Western Siberia]. *Kriosfera Zemli*, 2016, vol. 20, no. 4, pp. 3-15 (in Russian)

- mottles of frozen peatlands in the north of West Siberia]. *Kriosfera Zemli*, 2016, vol. 20, no. 2, pp. 23-41. (in Russian)
15. Popov, A.I., Rozenbaum, G.E., Tumel', N.V. *Kriolitologiya* [Cryolithology]. Moscow, MGU Publ., 1985. (in Russian).
  16. Rivkina, E.M., Kraev, G.N., Krivushin, K.V., Laurinavichus, K.S., Fyodorov-Davydov, D.G., Kholodov, A.L., Shcherbakova, V.A., Gilichinskii, D.A. *Metan v vechnomerzlykh otlozheniyakh severo-vostochnogo sektora Arktiki* [Methane in permafrost of northeastern Arctic]. *Kriosfera Zemli*, 2006, vol. 10, no. 3, pp. 23-41. (in Russian)
  17. Romanovskii, N.N. *Osnovy kriogeneza litosfery* [Fundamentals of lithosphere cryogenesis]. Textbook. Moscow, MGU Publ., 1993, 336 p. (in Russian)
  18. Kuznetsova, A.O., Afonin, A.S., Tikhonravova, Ya.V., Slagoda, E.A. Dynamics of local conditions of peat accumulation in the Holocene of the southern tundra of the Pur-Taz interflaves. International conference "Solving the puzzles from Cryosphere" (April 15-18, 2019, Pushchino, Russia), 2019, pp. 81-82. Available at: [http://cryosol.ru/images/phocagallery/conference/cryospherepuzzles/PushchinoPermafrost\\_ConferenceProgrammAbstracts2019\\_compressed.pdf](http://cryosol.ru/images/phocagallery/conference/cryospherepuzzles/PushchinoPermafrost_ConferenceProgrammAbstracts2019_compressed.pdf)
  19. Matyshak, G., Goncharova, O., Tarkhov, M., Bobrik, A., Petrzhik, N., Sefilian, A. The response of West Siberia tundra ecosystems to experimental warming: results of short and long-term experiments. International conference "Solving the puzzles from Cryosphere" (April 15-18, 2019, Pushchino, Russia), 2019, pp. 180-181. Available at: [http://cryosol.ru/images/phocagallery/conference/cryospherepuzzles/PushchinoPermafrost\\_ConferenceProgrammAbstracts2019\\_compressed.pdf](http://cryosol.ru/images/phocagallery/conference/cryospherepuzzles/PushchinoPermafrost_ConferenceProgrammAbstracts2019_compressed.pdf)
  20. Seppala, M. Surface abrasion of palsas by wind action in Finnish Lapland. *Geomorphology*, 2003, vol. 52, p. 141-148.

## FORMATION OF FROST BOILS IN PEAT PLATEAU OF THE PUR-TAZ INTERFLUVE AT THE BACKGROUND OF MODERN CLIMATE WARMING

© 2019 E. S. Koroleva<sup>1,2\*</sup>, Ya. V. Tikhonravova<sup>1</sup>, V. P. Mel'nikov<sup>1,2,3,4</sup>, E. A. Slagoda<sup>1,2,3</sup>,  
E. A. Babkina<sup>1</sup>, V. I. Butakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of the Earth's Cryosphere, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
ul. Malygina, 86, Tyumen, 625026 Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: koroleva\_katy@inbox.ru*

<sup>2</sup>*Tyumen Industrial University,  
ul. Volodarskogo, 38, Tyumen, 625000 Russia*

<sup>3</sup>*Tyumen State University,  
ul. Volodarskogo, 6, Tyumen, 625000 Russia*

<sup>4</sup>*Tyumen Scientific Center, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
ul. Malygina, 86, Tyumen, 625026 Russia*

In 2016-2017, we have detected numerous organic frost boils on the surface of khasyrey peat plateau in the southern tundra part of Pur-Taz interfluve (the north of West Siberia). They are related to the microrelief depressions in polygons and to the swales between tussocks. Cross-sections, cryogenic structure, properties of peat in active layer (moisture, density, heaving, chemical composition) and peat distribution within the khasyreys were studied. In the active layer, we distinguished soil and vegetation cover, upper and middle solid layers of weakly decomposed peat, lower layer of a well decomposed peat. Under the microrelief depressions, the top of permafrost is lowered, thickness and moisture of decomposed peat is increased due to the recent thawing in comparison to the elevated parts of polygons. In the cross-sections of seasonally thawing peat, we determined injections of organic matter from the lower layer of peat to the surface. We propose the mechanism of organic frost boils formation in peat plateau due to the injections during the summer seasons of 2016-2018 against the increase of a thaw depth without freezing. During the observation period, the amount of frost boils on polygonal peat plateau was found to increase.

**Keywords:** *peat plateau, active layer, frost boils, climatic conditions.*

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019642-51>