

implication for cod and sprat early life stage survival // Journal of Marine Systems. 2012. N 100—101. P. 1—8.

Калининград
navsvet@gmail.com
ocean_stont@mail.ru

Поступило в редакцию
15 декабря 2013 г.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Атлантическое отделение

Изв. РГО. 2014. Т. 146, вып. 3

© **Н. Г. МОСКАЛЕНКО, Т. ДЖОЕРГЕНСОН, М. З. КАНЕВСКИЙ,
Д. НОССОВ, Ю. Л. ШУР**

ВЗАИМОСВЯЗИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД В АРКТИЧЕСКИХ ТУНДРАХ ЯМАЛА И АЛЯСКИ

Изменения арктических ландшафтов в условиях изменяющегося климата в последние десятилетия изучаются многими исследователями [5, 6, 12, 13, 15—19, 27, 30—32]. Однако взаимосвязи критических компонентов ландшафтов — растительности и многолетнемерзлых пород Арктики — исследованы пока недостаточно. Настоящее сообщение, посвященное анализу растительного покрова и многолетнемерзлых пород контрастных регионов Арктики, представляет интерес для исследователей Севера.

Изучение растительного покрова и многолетнемерзлых пород выполнялось автором в южных арктических тундрах Ямала и Аляски. Места расположения участков исследований даны на рис. 1, 2. Исследования ландшафтов на Ямале (Харасавей) проводились в августе 1978 г. и повторно в 2008 г. на 10 площадках, а на Аляске (Прудо-Бэй — 15 площадок и Барроу — 20 площадок) — в 1993 и 2012 гг. На площадках размером 100 м² регистрировали видовой состав фитоценоза, описывали его вертикальную и горизонтальную структуру, определяли обилие растений [11], их жизненное состояние [10], среднюю высоту, а также проективное покрытие [7]. Рядом с площадками бурили скважины и измеряли глубину сезонного протаивания у площадок в 100 точках. Для выявления индикаторов глубин протаивания определяли коэффициенты корреляции между встречаемостью видов растений и глубиной протаивания. При анализе видового состава разных фитоценозов использовали коэффициент флористической общности Жаккара.

В районе Харасавея, расположенном в подзоне южных арктических тундр или арктических тундр, по О. Е. Ребристой [8], рельеф представлен ступенчатой равниной. Равнина имеет абсолютную высоту от 0 до 26 м и расчленена оврагами, озерами и мелкими реками. Более высокая третья морская терраса с абсолютными отметками 25—35 м расположена в северной и восточной частях территории [3]. Средняя многолетняя температура воздуха составляет –9,8 °С.

В геологическом строении территории принимают участие средне- и верхнечетвертичные морские, аллювиально-морские, озерные, озерно-аллюви-

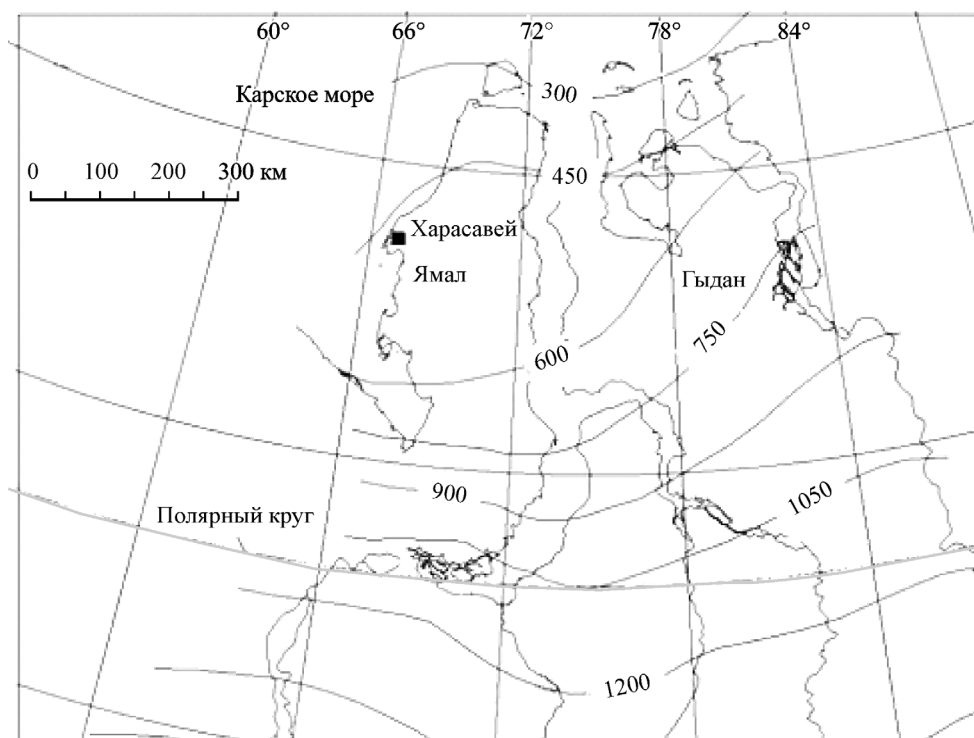


Рис. 1. Место расположения Харасавейского участка и суммы положительных температур воздуха (°C) на севере Западной Сибири.

льные и озерно-болотные, делювиальные и оползневые отложения песчано-глинистого состава, редко с включениями обломочного материала, а также торфа и оторфованных пород.

Многолетнемерзлые породы (ММП) имеют сплошное распространение, несквозные талики развиты только под руслами рек и озерами, где кровля многолетнемерзлых пород понижена на несколько метров или на первые десятки метров в зависимости от глубины воды, размера водоемов и длительности их существования. Сквозные талики возможны в низовьях рек под руслом и под крупными глубокими озерами [1].

Температура многолетнемерзлых пород на глубине нулевых годовых амплитуд в зависимости от ландшафтных условий изменяется от -2.0 до -8.0 °C. На открытых приподнятых участках морских террас с бугорковыми кустарничково-осоково-мохово-лишайниковыми тундрами, где снежный покров имеет минимальную мощность, отмечается самая низкая (от -6.0 до -8.0 °C) средняя годовая температура многолетнемерзлых пород. Наиболее высокая температура пород (от -2.5 до -4.0 °C) наблюдается в заболоченных ивняках и кустарничково-моховых тундрах у подножия склонов, в днищах малых водотоков, на участках густых и высоких кустарников. Это обусловлено накоплением снежного покрова мощностью до 0.7 — 1.0 м. Мощность ММП вблизи берега меньше, чем в глубине суши, и не превышает 180 м.

Глубина сезонного протаивания меняется в широких пределах от 30 см при мощности мохового покрова более 10 см до 1.4 м на песчаных раздувах.

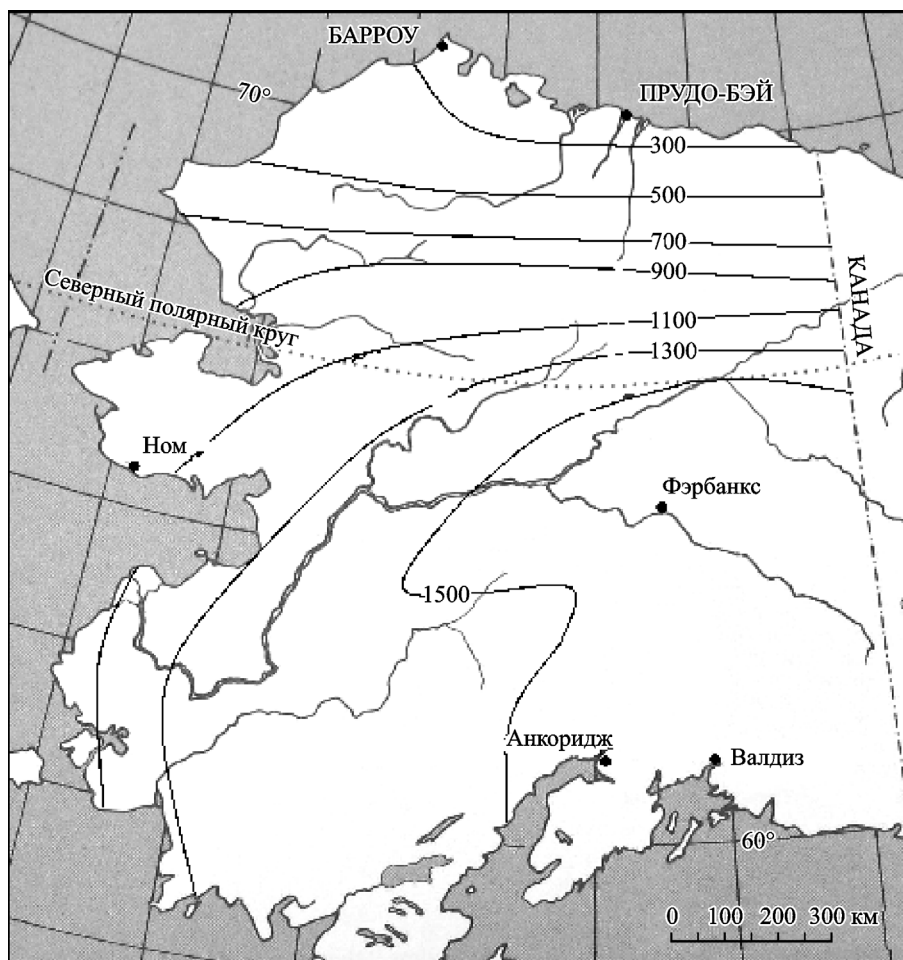


Рис. 2. Место расположения участков Прудо-Бэй и Барроу и суммы положительных температур воздуха (°C) на Аляске.

Наиболее характерные значения составляют 40—80 см на суглинистых задернованных плоских поверхностях с мелкобугорковым микрорельефом с кустарничково-осоково-лишайниково-моховыми тундрами и 0.9—1.4 м на песчаных незадернованных поверхностях лайды и пляжей.

Из криогенных процессов наиболее развиты термокарст и термоэрозия, связанные с полигональным рельефом и наличием в разрезе полигонально-жильных льдов, а также пучение. На склонах наблюдаются солифлюкция и криогенное оползание.

Зональными растительными сообществами являются бугорковые кустарничково-осоково-лишайниково-моховые тундры [4], характерные для суглинистых отложений морских террас.

В напочвенном покрове этих тундр преобладают зеленые мхи (*Aulacomnium turgidum*, *Dicranum elongatum*, *Rhacomitrium lanuginosum*), меньшее участие принимают лишайники (*Cetraria islandica*, *C. cucullata*, *Cladonia arbuscula*, *Sphaerophorus globosus*, *Thamnia vermicularis*) (табл. 1). В травяно-кус-

Таблица 1

**Видовой состав кустарничково-осоково-лишайниково-моховой тундры Харасавея
(п-ов Ямал)**

№	Виды	Обилие		Высота, см		Покрытие, %	
		1978 г.	2008 г.	1978 г.	2008 г.	1978 г.	2008 г.

Сосудистые растения

1	<i>Alopecurus alpinus</i>	sp	sol	15	20	5	0.1
2	<i>Arctagrostis latifolia</i>	sol	sp	20	35	0.1	1
3	<i>Calamagrostis holmii</i>	sp	sp	15	16	5	1
4	<i>Carex bigelowii</i> ssp. <i>arctisibirica</i>	cop2	cop1	12	15	30	20
5	<i>Dryas punctata</i>	sol	cop1	8	10	0.1	20
6	<i>Eriophorum scheuchzeri</i>	sp	sol	10	12	1	0.1
7	<i>E. angustifolium</i>	sp	—	10	—	1	—
8	<i>Luzula multiflora</i> ssp. <i>frigida</i>	sol	sol	12	18	0.1	0.1
9	<i>Parrya nudicaulis</i>	sol	sol	15	20	0.1	0.1
10	<i>Poa alpigena</i>	sol	sol	10	10	0.1	0.1
11	<i>Polygonum viviparum</i>	sol	sol	2	7	0.1	0.1
12	<i>Rumex arcticus</i>	sol	sol	2	2	0.1	0.1
13	<i>Salix nummularia</i>	—	sol	—	1	—	0.1
14	<i>S. polaris</i>	cop1	cop1	2	2	30	30
15	<i>Saxifraga cernua</i>	sp	sp	2	2	1	1
16	<i>S. spinulosa</i>	sol	sp	2	2	0.1	1
17	<i>Senecio atropurpureus</i>	sol	sol	2	15	0.1	0.1
18	<i>Stellaria peduncularis</i>	sp	sol	1	10	1	0.1

Лишайники

19	<i>Cetraria cucullata</i>	—	sp	—	1	—	1
20	<i>C. islandica</i>	sp	cop1	2	2	10	10
21	<i>Cladonia rangiferina</i>	—	sol	—	2	—	0.1
22	<i>C. stellaris</i>	sol	sol	2	2	0.1	0.1
23	<i>C. amaurocraea</i>	sol	sol	1	1	0.1	0.1
24	<i>C. arbuscula</i>	sol	sp	1	2	0.1	0.5
25	<i>C. bellidiflora</i>	—	sp	—	1	—	5
26	<i>C. coccifera</i>	—	sp	—	2	—	3
27	<i>C. gracilis</i>	sol	sol	1	1	0.1	0.1
28	<i>C. uncialis</i>	sp	sp	2	2	5	5
29	<i>Dactylina arctica</i>	sp	sol	1	1	1	0.1
30	<i>Ochrolechia frigida</i>	sol	sp	0.5	0.5	0.1	2
31	<i>Peltigera aphthosa</i>	sp	sp	1	1	5	2
32	<i>P. canina</i>	—	sol	—	1	—	0.1
33	<i>Sphaerophorus globosus</i>	sp	sp	1	1	1	1
34	<i>Thamnolia vermicularis</i>	sol	sp	1	1	0.1	5

Таблица 1 (продолжение)

№	Виды	Обилие		Высота, см		Покрытие, %	
		1978 г.	2008 г.	1978 г.	2008 г.	1978 г.	2008 г.
Мхи							
35	<i>Aulacomnium turgidum</i>	cop1	cop1	1	1	30	30
36	<i>Dicranum elongatum</i>	cop1	sp	1	1	20	5
37	<i>Hylocomium splendens</i>	cop1	cop1	1	1	20	20
38	<i>Polytrichum juniperinum</i>	sp	sp	1	1	1	10
39	<i>P. strictum</i>	sol	sol	1	1	0.1	0.1
40	<i>Rhacomitrium lanuginosum</i>	sol	sp	1	1	0.1	5
41	<i>Tomenthypnum nitens</i>	sp	sp	1	1	1	1

тарничковом ярусе доминирует осока (*Carex bigelowii* ssp. *arctisibirica*) с участием кустарничков (*Salix nummularia*, *S. polaris*). Кроме осоки, участие травянистых растений в этих растительных сообществах незначительно. Помимо пушицы (*Eriophorum angustifolium*) и некоторых злаков (*Arctagrostis latifolia*, *Calamagrostis holmii*, *Hierichloe alpina*) отмечены *Luzula nivalis*, *Senecio atropurpureus*, *Saxifraga cernua*.

На морских террасах с песчаными почвами развиты мохово-лишайниковые полигональные и пятнисто-полигональные тундры. На полигонах кустарнички (*Dryas punctata*, *Salix nummularia*) значительно преобладают над травянистыми растениями (*Arctagrostis latifolia*, *Carex bigelowii* ssp. *arctisibirica*). Для центральных частей полигонов характерен плотный мохово-лишайниковый покров из *Cladonia rangiferina*, *C. mitis*, *Cetraria islandica*, *Sphaerophorus globosus*, *Rhacomitrium lanuginosum*. К канавкам между полигонами приурочены мхи (*Dicranum elongatum*, *Polytrichum juniperinum*) и травянистые растения (*Arctagrostis latifolia*, *Carex bigelowii* ssp. *arctisibirica*, *Luzula confusa*). Коэффициент корреляции между встречаемостью микрофитоценозов *Salix nummularia*—*Sphaerophorus globosus*, характерных для заросших пятен, и глубиной протаивания (107.8 ± 19.9 см) равен 0.48.

По днищам логов на второй морской террасе развиты осоково-пушицево-моховые болота. Видовой состав такого болота дан в табл. 2. Коэффициент корреляции между встречаемостью микрофитоценозов *Eriophorum angustifolium*—*Sphagnum balticum*, приуроченных к межкочечным участкам этих болот, и глубиной протаивания (58.4 ± 11.5 см) составляет 0.49. Коэффициент флористической общности Жаккара между кустарничково-осоково-лишайниково-моховой тундрой и осоково-пушицево-моховым болотом низкий (26 %).

Среднегодовая температура воздуха в Харасавее по данным метеостанции Моржовой составила в 1978 г. -11.4 °С. В последующие годы отмечалось повышение температуры воздуха. В 2000 г. среднегодовая температура воздуха составила -5 °С. Такое повышение температуры воздуха привело к появлению новых видов разнотравья и лишайников и за счет этого к увеличению биоразнообразия, а также к увеличению высоты и покрытия кустарничков и мощности сезонно-талого слоя. Например, на площадке в полигональной кустарничково-осоково-мохово-лишайниковой тундре, развитой в речной доли-

Таблица 2

Видовой состав осоково-пушицево-мохового болота Харасавей (п-ов Ямал)

№	Виды	Обилие		Высота, см		Покрытие, %	
		1978 г.	2008 г.	1978 г.	2008 г.	1978 г.	2008 г.
Сосудистые растения							
1	<i>Arctophila fulva</i>	sol	sol	10	15	0.1	0.1
2	<i>Artemisia tilesii</i>	—	rr	—	3	—	0.1
3	<i>Caltha arctica</i>	sp	sol	10	6	5	0.1
4	<i>Cardamine bellidifolia</i>	sol	sol	3	5	0.1	0.1
5	<i>Carex aquatilis</i> ssp. <i>stans</i>	sp	cop1	10	15	5	0.1
6	<i>Cerastium jenisejense</i>	—	sol	—	3	—	0.1
7	<i>Equisetum arvense</i> ssp. <i>boreale</i>	—	sol	—	10	—	0.1
8	<i>Eriophorum angustifolium</i>	sp	cop1	10	20	0	20
9	<i>Eriophorum scheuchzeri</i>	sp	sp	8	10	5	10
10	<i>Oxyria digyna</i>	sp	sol	3	1	5	0.1
11	<i>Pedicularis sudetica</i>	—	sol	—	5	—	0.1
12	<i>Phipsia concinna</i>	—	sol	—	6	—	0.1
13	<i>Poa alpigena</i>	sp	sol	10	15	5	0.1
14	<i>Polemonium acutiflorum</i>	sp	sol	5	10	5	0.1
15	<i>Polygonum viviparum</i>	sp	sol	3	3	5	0.1
16	<i>Ranunculus borealis</i>	sol	sol	5	5	0.1	0.1
17	<i>R. nivalis</i>	—	sol	—	10	—	0.1
18	<i>Saxifraga bronchialis</i>	—	sol	—	2	—	0.5
19	<i>S. cernua</i>	sol	sol	2	2	0.1	0.1
20	<i>S. hieracifolia</i>	sol	sol	5	10	0.1	0.1
21	<i>Senecio atropurpureus</i>	sp	sol	1	1	5	0.1
Лишайники							
22	<i>Cetraria cucullata</i>	sp	sol	1	1	1	0.1
23	<i>C. islandica</i>	sp	sol	1	1	1	0.1
24	<i>C. nivalis</i>	sol	sol	1	1	0.1	0.1
25	<i>Cladonia stellaris</i>	sp	sol	1	1	1	0.1
26	<i>C. bellidiflora</i>	sp	sol	1	1	1	0.1
27	<i>C. coccifera</i>	sp	sol	1	1	1	0.1
28	<i>C. gracilis</i>	sol	sol	1	1	0.1	0.1
29	<i>C. uncialis</i>	sp	sol	1	1	1	0.1
30	<i>Sphaerophorus globosus</i>	sp	sol	1	1	1	0.1
Мхи							
31	<i>Calliergon stramineum</i>	sp	cop1	2	2	5	10
32	<i>Dicranum elongatum</i>	cop1	sp	1	1	30	5
33	<i>Polytrichum commune</i>	cop1	sp	2	2	30	5
34	<i>Sanionia uncinata</i>	sp	sp	2	2	5	5
35	<i>Sphagnum balticum</i>	sp	sp	2	2	10	5
36	<i>Tomenthypnum nitens</i>	sp	cop1	2	2	10	40

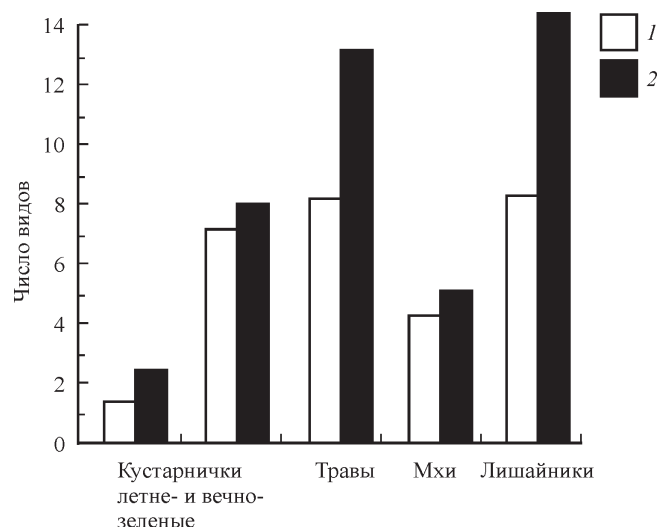


Рис. 3. Число видов в полигональной кустарничково-осоково-мохово-лишайниковой тундре Харасавея.

1 — 1978 г., 2 — 2008 г.

не р. Сармикэя-Тарка, в 2008 г. число видов по сравнению с 1978 г. увеличилось с 36 до 49 (рис. 3). Это произошло за счет появления новых видов разнотравья (*Artemisia tilesii*, *Polygonum ellipticum*, *Valeriana capitata*, *Cerastium jenisejense*, *Chrysosplenium alternifolium*), хвоща (*Equisetum arvense*), ивы (*Salix glauca*) и лишайников (*Cladonia amaurocraea*, *C. arbuscula*, *C. bellidiflora*, *Dactylina arctica*, *Peltigera canina*, *Sphaerophorus globosus*). Средняя высота большинства видов кустарничков стала больше. Мощность сезонно-талого слоя увеличилась с 70 до 90 см.

На осоково-пушицево-моховом болоте в 2008 г. число видов увеличилось с 29 до 36 в результате появления новых видов разнотравья. Глубина сезонного протаивания увеличилась с 30 до 59 см. В зональной осоково-лишайниково-моховой тундре число видов тоже увеличилось (с 35 до 41), но меньше, чем в полигональной кустарничково-осоково-мохово-лишайниковой тундре, расположенной в интразональных условиях речной долины. Глубина сезонного протаивания в зональных тундровых сообществах увеличилась с 50 до 62 см.

Только в пятнистых дренированных тундрах, нарушенных выпасом оленей, увеличения числа видов не наблюдалось. Здесь отмечалось уменьшение числа видов лишайников и покрытия ими поверхности почвы. Число видов в пятнистой тундре уменьшилось с 39 до 38 за счет исчезновения 3 видов лишайников при появлении одного нового вида мха и одного вида разнотравья, как это можно видеть на диаграмме (рис. 4). Мощность сезонно-талого слоя увеличилась с 65 до 84 см.

Приморская низменность северной Аляски (рис. 2), расположенная в подзоне южных арктических тундр, представляет собой плоскую равнину, полого наклонную в сторону моря Бофорта. Поверхность равнины осложнена многочисленными озерами и неглубокими озерными котловинами с остаточными водоемами. Высота приморской равнины над уровнем моря в районе обоих обследованных участков понижается от 15—20 м в нескольких кило-

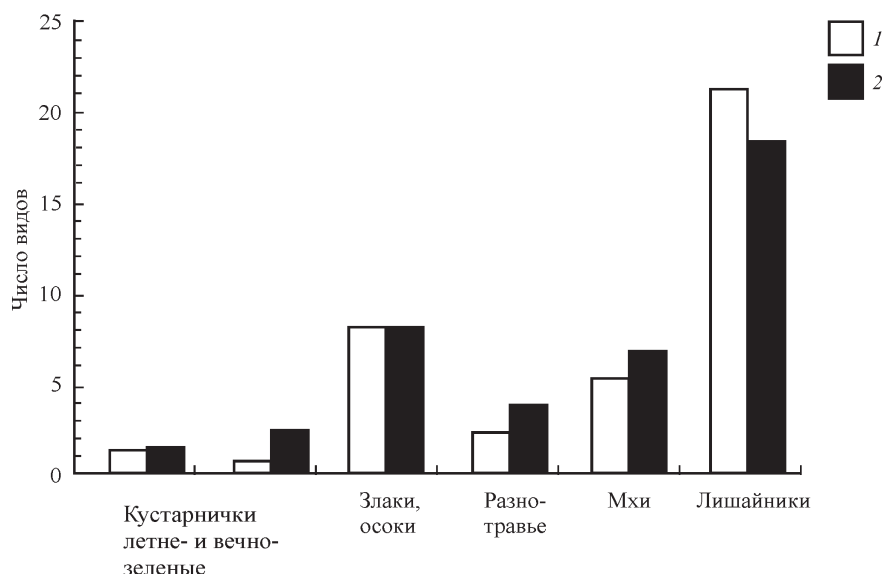


Рис. 4. Число видов в пятнистых дренированных тундрах Харасавея.
1 — 1978 г., 2 — 2008 г.

метрах от берега до 3—6 м на побережье. С поверхности здесь залегают голоценовые отложения преимущественно озерно-болотного генезиса, представленные высокольдистыми оторфованными пылеватыми суглинками мощностью до 2—3 м, подстилаемыми песками и галечниками. Мощность поверхностного торфяного горизонта обычно не превышает 10—20 см.

Среднегодовая температура воздуха -11.3°C в районе Прудо-Бэя и -12.3°C в районе Барроу, а количество осадков не превышает 200 мм [21]. Район относится к зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород, мощность которых достигает 500—650 м в районе Прудо-Бэя и 200—400 м в районе Барроу [24, 25]; несквозные талики отмечаются исключительно под водными объектами. Температура ММП в зависимости от местных условий колеблется от -6.0 до -9.0°C в районе Прудо-Бэя и до -11.0°C в районе Барроу [24, 26]. Температура ММП на Арктическом побережье Аляски, измеренная в глубоких скважинах, увеличилась за последние 20 лет на 2.7°C [14, 22]. Мощность сезонно-талого слоя (СТС) зависит от мощности торфа и обычно колеблется от 20 до 80 см. Средние значения мощности СТС в Прудо-Бэе составляют 50—60 см, а в Барроу — 30—40 см. Наибольшие значения мощности СТС были зарегистрированы на площадках CALM в 1998, 2004 и 2006 гг., когда летние температуры были существенно выше среднемноголетних значений. Однако в целом увеличения мощности СТС за последние 20 лет не наблюдалось, так как потепление климата на севере Аляски затронуло прежде всего зимний период [14, 21, 28].

Верхний горизонт ММП в пределах приморской равнины отличается очень высокой льдистостью [23]. Повторно-жильные льды (ПЖЛ) развиты практически повсеместно. Объемная макрольдистость за счет ПЖЛ обычно составляет 10—20 %, но местами превышает 30 %. В пределах обоих обследованных участков ПЖЛ формируют полигоны средним размером около 15 м в поперечнике; ширина жил поверху колеблется от менее 1 до 4—5 м в райо-

не Прудо-Бзя и до 8—9 м в районе Барроу. Вертикальная протяженность жил на этих участках лимитируется небольшой мощностью пылеватых отложений, составляя в среднем 3.5 м. Объемная льдистость пылеватых суглинков с преимущественно атакситовой криотекстурой достигает 80—90 %. Наличие вблизи поверхности высокольдистых отложений предопределяет широкое развитие термокарста, который проявляется преимущественно в образовании заполненных водой канав, глубина и размеры которых увеличиваются в местах пересечения наиболее мощных ледяных жил [23]. Максимальная глубина термокарстовых понижений над жилами не превышает 1 м.

На плоской полигональной поверхности приморской равнины в районе Прудо-Бзя, сложенной суглинистыми отложениями, как и в Харасавее, преобладают бугорковые кустарничково-осоково-лишайниково-моховые тундры. Видовой состав этих тундр представлен в табл. 3. В травяно-кустарничковом ярусе здесь так же, как и в Харасавее, доминируют осоки (*Carex bigelowii*) и ивы (*Salix arctica*). Для кустарничково-осоково-лишайниково-моховых тундр Прудо-Бзя по сравнению с тундрами Харасавея характерно меньшее участие лишайников и большее участие мхов. Коэффициент флористической общности этих тундр низкий (16 %) из-за различий в составе лишайниково-мохового покрова.

В понижениях между полигонами и на месте заросших озер развиты осоково-пушицево-моховые болота. В травяном ярусе преобладают осоки (*Carex aquatilis*) и пушицы (*Eriophorum angustifolium*, *E. scheuchzeri*), которые характерны и для болот Харасавея, но состав видов разнотравья и мхов значительно различается (табл. 4).

При зарастании озер обычен такой сукцессионный ряд фитоценозов: 1) открытые группировки сосудистых растений (*Hippuris vulgaris*, *Utricularia vulgaris*) и мхов (*Calliergon giganteum*, *Pseudocalliergon turgescens*, *Scorpidium revolvens*); 2) осоково-пушицево-моховые болота (*Carex aquatilis*, *Eriophorum angustifolium*-*Campylium stellatum*, *Pseudocalliergon brevifolium*, *Distichium capillaceum*); 3) кустарничково-осоково-лишайниково-моховые тундры (*Salix arctica*-*Carex bigelowii*-*Dactylina arctica*-*Scorpidium cossonii*). Сходные ряды фитоценозов для севера Западной Сибири были выделены А. П. Тыртыковым [9].

На полигональной поверхности приморской равнины в районе Барроу наибольшие площади занимают ожиково-злаково-лишайниково-моховые тундры. В травяном ярусе этих тундр преобладают ожика (*Luzula arctica*) и злаки (*Arctagrostis latifolia*, *Poa alpigena*, *P. arctica*). Видовой состав ожиково-злаково-лишайниково-моховых тундр приведен в табл. 5. Зональные тундры Барроу отличаются большим видовым богатством и участием лишайников по сравнению с тундрами Прудо-Бзя, на которые оказывают влияние расположенные рядом объекты инфраструктуры нефтедобычи. Коэффициент флористической общности тундр Барроу и Прудо-Бзя низкий (10 %), даже ниже, чем между тундрами Харасавея и Прудо-Бзя.

Болотная растительность Барроу представлена злаково-осоково-пушицево-моховыми сообществами. Травяной ярус на этих болотах составляют *Arctophila fulva*, *Dupontia fisheri*, *Carex aquatilis* и *Eriophorum angustifolium* (табл. 6). Эти болота отличаются от болотных сообществ Прудо-Бзя большим участием злаков и меньшим видовым разнообразием мхов.

Сравнение описаний растительных сообществ Прудо-Бзя и Барроу за разные годы показывает, что отмечается увеличение числа видов растений и их высоты, как это было отмечено для района Харасавея.

Таблица 3

**Видовой состав кустарничково-осоково-лишайниково-моховой тундры Прудо-Бэя
(Аляска)**

№	Виды	Обилие		Высота, см	
		1993 г.	2012 г.	1993 г.	2012 г.
Сосудистые растения					
1	<i>Carex atrofusca</i>	sol	sol	15	24
2	<i>C. bigelowii</i>	cop1	cop1	15	22
3	<i>C. misandra</i>	sol	sol	15	15
4	<i>Chrysanthemum arcticum</i>	—	rr	—	20
5	<i>Dryas integrifolia</i>	sol	cop1	8	10
6	<i>Eriophorum angustifolium</i>	sol	sol	30	30
7	<i>Equisetum variegatum</i>	—	rr	—	5
8	<i>Luzula arctica</i>	sp	20	—	—
9	<i>Melandrium apetalum</i>	—	rr	—	15
10	<i>Pedicularis lanata</i>	—	rr	—	5
11	<i>P. sudetica</i>	—	sol	—	6
12	<i>Polygonum viviparum</i>	sol	sol	10	10
13	<i>Salix arctica</i>	sp	cop1	10	10
14	<i>S. lanata</i>	sol	sol	10	15
15	<i>S. reticulata</i>	—	sol	—	5
16	<i>Saxifraga hirculus</i>	—	rr	—	10
17	<i>S. oppositifolia</i>	—	rr	—	5
18	<i>Senecio atropurpureus</i>	—	rr	—	15
Лишайники					
19	<i>Alectoria nigricans</i>	sol	—	1	—
20	<i>Cetraria cucullata</i>	sol	—	1	—
21	<i>Dactylina arctica</i>	sp	sol	1	1
22	<i>Ochrolechia frigida</i>	sol	sol	0.5	0.5
23	<i>Thamnolia vermicularis</i>	sol	sol	0.5	0.5
Мхи					
24	<i>Aulacomnium turgidum</i>	sp	—	2	—
25	<i>Brachythecium cirrosum</i>	—	sol	—	1
26	<i>Bryoerythrophyllum rubrum</i>	—	sol	—	1
27	<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	sol	1	sp	1
28	<i>Campylium stellatum</i>	sol	sp	2	2
29	<i>Catoscopium nigrum</i>	—	sol	—	2
30	<i>Ctenidium molluscum</i>	—	rr	—	1
31	<i>Distichium capillaceum</i>	sp	sp	1	2
32	<i>D. flexicaule</i>	sol	sol	1	1
33	<i>Hylocomium splendens</i>	sol	—	1	—
34	<i>Orthothecium chryseum</i>	—	sol	—	1
35	<i>Pseudocalliergon brevifolium</i>	sp	cop1	1	1
36	<i>P. turgescens</i>	—	sol	—	1
37	<i>Scorpidium cossonii</i>	—	cop1	—	1
38	<i>Stereodon bambergeri</i>	—	sol	—	1
39	<i>Tomenthypnum nitens</i>	sp	—	1	—

Таблица 4

Видовой состав осоково-пушицево-мохового болота Прудо-Бэй (Аляска)

№	Виды	Обилие		Высота, см	
		1993 г.	2012 г.	1993 г.	2012 г.
Сосудистые растения					
1	<i>Carex aquatilis</i>	cop1	cop1	30	30
2	<i>C. atrofusca</i>	—	rr	—	25
3	<i>C. bigelowii</i>	—	rr	—	20
4	<i>C. rotundata</i>	sp	sol	15	15
5	<i>C. membranacea</i>	—	sol	—	20
6	<i>Dupontia fisheri</i>	sol	sol	15	35
7	<i>Dryas integrifolia</i>	—	rr	—	10
8	<i>Eriophorum angustifolium</i>	cop1	cop1	30	30
9	<i>E. scheuchzeri</i>	sol	sol	15	20
10	<i>E. vaginatum</i>	sp	—	20	—
11	<i>Equisetum variegatum</i>	—	sol	—	5
12	<i>Melandrium apetalum</i>	—	sol	—	15
13	<i>Pedicularis lanata</i>	—	sol	—	5
14	<i>Saxifraga hirculus</i>	—	sol	—	10
15	<i>Polygonum viviparum</i>	sol	sol	10	10
16	<i>Salix arctica</i>	—	sol	—	10
17	<i>S. lanata</i>	sol	sol	10	15
18	<i>S. reticulata</i>	—	sol	—	5
Лишайники					
19	<i>Cetraria cucullata</i>	sol	rr	1	1
20	<i>Dactylina arctica</i>	sol	—	1	—
21	<i>Thamnolia vermicularis</i>	sol	sol	0.5	0.5
Мхи					
22	<i>Aulacomnium turgidum</i>	sp	—	2	—
23	<i>Brachythecium cirrosum</i>	—	sol	—	1
24	<i>Bryoerythrophyllum rubrum</i>	—	sol	—	1
25	<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	sol	sol	1	1
26	<i>Calliergon giganteum</i>	—	sol	—	2
27	<i>C. richardsonii</i>	—	sol	—	1
28	<i>Campylium stellatum</i>	sol	sp	2	2
29	<i>Catoscopium nigrum</i>	—	rr	—	1
30	<i>Cinclidium latifolium</i>	sp	sp	1	2
31	<i>Distichium capillaceum</i>	—	sp	—	2
32	<i>D. flexicaule</i>	sp	sol	1	1
33	<i>Hylocomium splendens</i>	sol	—	1	—
34	<i>Meesia uliginosa</i>	—	rr	—	1
35	<i>M. triquetra</i>	—	sol	—	1
36	<i>Orthothecium chryseon</i>	—	sol	—	1
37	<i>Pseudocalliergon brevifolium</i>	sp	cop1	1	1

Таблица 4 (продолжение)

№	Виды	Обилие		Высота, см	
		1993 г.	2012 г.	1993 г.	2012 г.
38	<i>P. turgescens</i>	—	sol	—	1
39	<i>Scorpidium cossonii</i>	—	sol	—	1
40	<i>S. revolvens</i>	—	rr	—	1
41	<i>Stereodon bambergeri</i>	—	sol	—	1
42	<i>Tomenthypnum nitens</i>	sp	sol	1	2
43	<i>Tortella fragillis</i>	—	rr	—	1

Таблица 5

Видовой состав ожиково-злаково-лишайниково-моховой тундры Барроу (Аляска)

№	Виды	Обилие		Высота, см	
		1993 г.	2012 г.	1993 г.	2012 г.

Сосудистые растения

1	<i>Alopecurus alpinus</i>	rr	rr	15	20
2	<i>Arctagrostis latifolia</i>	sol	sol	15	25
3	<i>Carex bigelowii</i>	sol	sol	15	15
4	<i>Cerastium beringianum</i>	sol	sol	10	10
5	<i>Draba pauciflora</i>	rr	sol	10	10
6	<i>Dupontia fisheri</i>	—	rr	—	15
7	<i>Eriophorum scheuchzeri</i>	—	rr	—	10
8	<i>Luzula arctica</i>	cop1	cop1	20	20
9	<i>Pedicularis lanata</i>	—	sol	—	20
10	<i>Petasites frigidus</i>	sol	sol	20	20
11	<i>Poa alpigena</i>	sol	sol	15	15
12	<i>P. arctica</i>	—	rr	—	15
13	<i>Potentilla hyparctica</i>	—	rr	—	15
14	<i>Ranunculus nivalis</i>	—	sol	—	20
15	<i>Salix ovalifolia</i>	sol	sol	2	2
16	<i>S. planifolia</i>	sol	sp	10	10
17	<i>S. rotundifolia</i>	sol	sol	2	2
18	<i>Saxifraga cernua</i>	sol	sp	10	10
19	<i>S. foliolosa</i>	—	rr	—	10
20	<i>S. punctata</i>	—	rr	—	25
21	<i>Stellaria humifusa</i>	—	rr	—	10
22	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> ssp. <i>minus</i>	—	sol	—	5

Лишайники

23	<i>Alectoria ochroleuca</i>	sol	sp	1	2
24	<i>A. nigricans</i>	rr	rr	1	2
25	<i>Cetraria cucullata</i>	sol	sp	2	2

Таблица 5 (продолжение)

№	Виды	Обилие		Высота, см	
		1993 г.	2012 г.	1993 г.	2012 г.
26	<i>Cetraria islandica</i>	sol	sol	1	2
27	<i>C. nigricans</i>	—	sol	—	2
28	<i>C. nivalis</i>	—	rr	—	1
29	<i>Cladonia amaurocraea</i>	—	sol	—	2
30	<i>C. bellidiflora</i>	—	sol	—	2
31	<i>C. pocillum</i>	—	sol	—	1
32	<i>C. rangiferina</i>	—	sol	—	1
33	<i>Dactylina arctica</i>	sol	sol	1	2
34	<i>Ochrolechia frigida</i>	sol	sol	0.5	0.5
35	<i>Peltigera canina</i>	rr	rr	0.5	0.5
36	<i>Sphaerophorus globosus</i>	sol	sol	0.5	0.5
37	<i>Thamnolia vermicularis</i>	sol	sol	0.5	0.5
Мхи					
38	<i>Aulacomnium palustre</i>		sp	2	2
39	<i>A. turgidum</i>	sol	sol	2	2
40	<i>Blepharostoma trichophyllum</i>	—	sol	—	1
41	<i>Dicranum elongatum</i>	sol	sp	1	1
42	<i>D. laevidens</i>	—	rr	—	1
43	<i>Oncophorus wahlenbergii</i>	—	sol	—	1

Таблица 6

Видовой состав злаково-осоково-пушицево-мохового болота Барроу (Аляска)

№	Виды	Обилие		Высота, см	
		1993 г.	2012 г.	1993 г.	2012 г.

Сосудистые растения

1	<i>Alopecurus alpinus</i>	rr	rr	20	20
2	<i>Arctagrostis latifolia</i>	sol	sol	20	25
3	<i>Arctophila fulva</i>	cop1	cop1	30	30
4	<i>Cardamine pratensis</i>	rr	rr	10	15
5	<i>Carex aquatilis</i>	cop1	cop1	30	30
6	<i>Cerastium beringianum</i>	rr	rr	10	10
7	<i>Cochlearia officinalis</i>	rr	—	10	—
8	<i>Dupontia fisheri</i>	sol	sol	15	20
9	<i>Eriophorum angustifolium</i>	cop1	cop1	30	30
10	<i>E. scheuchzeri</i>	sol	sp	15	20
11	<i>Petasites frigidus</i>	—	sol	—	10
12	<i>Poa arctica</i>	—	sol	—	15

Таблица 6 (продолжение)

№	Виды	Обилие		Высота, см	
		1993 г.	2012 г.	1993 г.	2012 г.
13	<i>Ranunculus nivalis</i>	sol	sol	15	20
14	<i>Salix planifolia</i>	—	rr	—	10
15	<i>Saxifraga cernua</i>	—	sol	—	10
16	<i>S. foliolosa</i>	sol	sol	10	10
17	<i>S. punctata</i>	sol	sol	15	20
Лишайники					
18	<i>Cetraria nivalis</i>	sol	rr	1	1
19	<i>Dactylina arctica</i>	rr	rr	1	1
20	<i>Peltigera canina</i>	sol	sol	0.5	0.5
21	<i>Thamnolia vermicularis</i>	rr	rr	1	1
Мхи					
22	<i>Calliergon richardsonii</i>	—	sp	—	1
23	<i>Polytrichastrum alpinum</i>	—	sol	—	1
24	<i>Polytrichum jensenii</i>	sp	sol	1	1
25	<i>Pseudobryum cinclidioides</i>	sol	sol	1	1
26	<i>Rhizomnium pseudopunctatum</i>	—	rr	—	1
27	<i>Scorpidium revolvens</i>	—	sol	—	1
28	<i>Sphagnum balticum</i>	sol	sp	1	2
29	<i>S. fimbriatum</i>	sp	sp	1	2
30	<i>S. squarrosum</i>	sol	sp	1	2
31	<i>Warnstorfia exannulata</i>	sp	cop1	1	1
32	<i>W. fluitans</i>	—	sol	—	1
33	<i>W. sarmentosa</i>	sp	sp	1	1

Таким образом, сравнительный анализ видового состава тундр Харасавея, Прудо-Бэя и Барроу показал, что, несмотря на суровые климатические условия (самые низкие среднегодовые температуры воздуха, сильные ветры), наибольшее число видов (52) зарегистрировано в зональных тундрах Барроу. Мы полагаем, что объекты инфраструктуры нефтедобычи в Прудо-Бэе [20] и газодобычи в Харасавее [2] влияют на уменьшение видового богатства тундровых сообществ.

Для Харасавея выделены пушицево-сфагновые микрофитоценозы, которые могут служить индикаторами минимальных глубин сезонного протаивания. Сравнение видового состава растительных сообществ, развитых в разных ландшафтных условиях, за 1978 и 2008 гг. показало, что число видов увеличилось в этих сообществах за счет появления новых видов разнотравья и лишайников. Только на дренированных песчаных тундровых участках, нарушенных пастьбой оленей, этого не наблюдалось. Глубина сезонного протаивания в более теплом 2008 г. увеличилась на 20—30 % по сравнению с холодным 1978 г.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам президента Российской Федерации (грант НШ-3929.2014.5) и Тюменской губернской академии, грантов РФФИ № 13-05-00811, U. S. National Science Foundation (Land-Cover Land-Use Change program и грант ARC-1023623), проекты CALM и TSP.

Авторы благодарят М. С. Игнатова за определение видового состава мхов, собранных на Аляске.

Список литературы

- [1] Баулин В. В., Дубиков Г. И., Аксенов В. И. и др. Геокриологические условия Харасавэйского и Крузенштерновского месторождений (п-ов Ямал). М.: ГЕОС, 2003. 180 с.
- [2] Ермилов О. М., Грива Г. И., Москвин В. И. Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 148 с.
- [3] Лейбман М. О., Москаленко Н. Г., Орехов П. Т. и др. Взаимодействие криогенных и биотических компонент геосистем в криолитозоне Западной Сибири на трансекте «Ямал» // Полярная криосфера и воды суши. М.: Paulsen, 2011. С. 171—192.
- [4] Мельцер Л. И. Тундровая растительность // Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. С. 41—54.
- [5] Павлов А. В. Мониторинг криолитозоны. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2008. 229 с.
- [6] Перлыштейн Г. З., Павлов А. В., Буйских А. А. Изменения криолитозоны в условиях современного потепления климата // Геоэкология (инж. геология, гидрогеология, геокриология). 2006. № 4. С. 305—312.
- [7] Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 620 с.
- [8] Ребристая О. В. Анализ северных пределов распространения растений Ямала (на уровне ценофлор) // Изучение биологического разнообразия методами сравнительной флористики. СПб., 1998. С. 158—172.
- [9] Тыртыиков А. П. Динамика растительного покрова и развитие вечной мерзлоты в Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ, 1974. 198 с.
- [10] Уранов А. А. Жизненное состояние вида в растительном сообществе // Бюл. МОИП. Отд. биол., 1960. Т. 65, вып. 3. С. 276—281.
- [11] Уранов А. А. О методе Друде // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1935. Т. 44, вып. 1—2. С. 18—28.
- [12] Anisimov O. A., Vaughan D. G., Callaghan T. V. et al. Polar regions (Arctic and Antarctic). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability // Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2007. P. 653—685.
- [13] Bhatt U. S., Walker D. A., Raynolds M. K. et al. Circumpolar Arctic tundra vegetation change is linked to sea-ice decline // Earth Interactions. 2010. Vol. 14, paper N 8. P. 1—20.
- [14] Brown J., Romanovsky V. E. Report from the International Permafrost Association: State of permafrost in the first decade of the 21st century // Permafrost and Periglacial Processes. 2008. 19 (2). P. 255—260.
- [15] Callaghan T. V., Bjorn L. O., Chernov Y. I. et al. Arctic tundra and polar ecosystems // Arctic Climate Impact Assessment, ACIA. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. P. 243—351.
- [16] Gould W. A., Mercado-Diaz J. A., Zimmerman J. K. Twenty year record of vegetation change from long-term plots in Alaskan tundra // Long Term Ecological Research Ne-

network All Scientist meeting, September 14—16 2009. Estes Park. Abstract C11C—0524.

- [17] *Hill G. B., Henry G. H. R.* Responses of High Arctic wet sedge tundra to climate warming since 1980 // *Global Change Biology*. 2010. N 17. P. 276—287.
- [18] *Hollister R. D., Webber P. J., Tweedie C. E.* The response of Alaskan arctic tundra to experimental warming: differences between short- and long-term responses // *Global Change Biology*. 2005. N 11. P. 1—12.
- [19] *Hudson J. M. G., Henry G. H. R.* Increased plant biomass in a High Arctic heath community from 1981 to Hudson // *Ecology*. 2009. N 90. P. 2657—2663.
- [20] *Hunt P. G., Rickard W. E., Deneke F. J., Koutz F. R., Murrman.* Terrestrial oil spills in Alaska: environmental effects and recovery // *Proc. Joint Conf. Prev. and Contr. Oil Spills*. Washington. D. C., 1973. P. 733—740.
- [21] *Jorgenson M. T.* (ed.). Coastal region of northern Alaska // *Guidebook to permafrost and related features: Alaska Division of Geological & Geophysical Surveys*. 2011.10. 188 p.
- [22] *Jorgenson T., Yoshikaw K., Kanevskiy M. et al.* Permafrost Characteristics of Alaska // *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost, extended abstracts*, 2008.
- [23] *Kanevskiy M., Shur Y., Jorgenson M. T. et al.* Ground ice in the upper permafrost of the Beaufort Sea Coast of Alaska // *Cold Regions Science and Technology*. 2013. 85. P. 56—70.
- [24] *Lachenbruch A. H., Sass J. H., Lawver L. A. et al.* Temperature and depth of permafrost on the Arctic slope of Alaska // *Geology and Exploration of the National Petroleum Reserve in Alaska*, Gryc G. (ed.). U. S. Geological Survey Professional Paper 1399. 1988. P. 645—656.
- [25] *Lantz T. C.* Relative influence of temperature and disturbance on vegetation dynamics in the Low Arctic: An investigation at multiple scales // *Ph. D. thesis*. Vancouver. University of British Columbia. 2008. 167 p.
- [26] *Nelson F. E., Lachenbruch A. H., Woo M.-K. et al.* Permafrost and changing climate // *Permafrost: Proc. of the Sixth Intern. Conf. Beijing, China*, South China Univ. of Technol. Press. 1993. Vol. 2. P. 987—1005.
- [27] *Osterkamp T., Romanovsky V.* Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska // *Permafrost and Periglacial Processes*. 1999. Vol. 10. P. 17—37.
- [28] *Smith S. L., Romanovsky V. E., Lewkowicz A. G. et al.* Thermal state of permafrost in North America: a contribution to the International Polar Year // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2010. 21 (2). P. 117—135.
- [29] *Streletskiy D. A., Shiklomanov N. I., Nelson F. E.* Thirteen years of observations at Alaskan CALM sites: long-term active layer and ground surface temperature trends // *In: Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost*. Kane D. L. & Hinkel K. M. (eds). Institute of Northern Engineering, University of Alaska, Fairbanks. 2008. Vol. 2. P. 1727—1732.
- [30] *Sturm M., Racine C., Tape K.* Increasing shrub abundance in the Arctic // *Nature*. 2001. N 411. P. 546—547.
- [31] *Tape K., Sturm M., Racine C.* The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic // *Global Change Biol*. 2006. N 12. P. 686—702.
- [32] *Walker D. A., Epstein H. E., Jia J. G. et al.* Phytomass, LAI, and NDVI in northern Alaska: Relationships to summer warmth, soil pH, plant functional types, and extrapolation to the circumpolar Arctic // *Journal of Geophysical Research—Atmospheres*. 2003. Vol. 108, N D2, 8169. P. 1—7.

Москва
nat-moskalenko@yandex.ru
Институт криосферы Земли СО РАН

Поступило в редакцию
28 февраля 2013 г.