

ГЕТЕРОГЕННОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА МАССИВОВ БАЙДЖАРАХОВ (О. КОТЕЛЬНЫЙ, НОВОСИБИРСКИЕ ОСТРОВА)

© 2022 г. О. И. Сумина

Санкт-Петербургский государственный университет
Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург, 199034, Россия
e-mail: o.sumina@spbu.ru

Поступила в редакцию 25.02.2022 г.

После доработки 27.03.2022 г.

Принята к публикации 29.03.2022 г.

Активизация термокарста и других процессов термоденудации отмечается во многих районах Арктики. Одна из форм термокарстового рельефа – массивы байджарахов (группы бугров вместе с окружающими их ложбинами). Гетерогенность их растительного покрова проявляется на разных уровнях: от мозаики микрогруппировок в сообществах бугров и ложбин до сложной комплексности целых массивов. Последние хорошо отграничены от окружающих тундр, что делает их удобным объектом для анализа структуры территориальных единиц растительности первых уровней размерности. Задачи исследования – разработка иерархической схемы гетерогенности растительности массива байджарахов и анализ картосхем, построенных с учетом разных принципов классификации: эколого-фитоценотического и эколого-флористического (метода Браун-Бланке). На о. Котельном в 1974–1975 гг. обследовано 20 массивов площадью 750–100000 м². Размеры, форма и растительность бугров-байджарахов меняются в ходе термоденудации: выделено 6 типов бугров, соответствующих ее стадиям. Массив, включающий бугры одного типа (“элементарный массив”), – это комплекс сообществ (микрокомбинация), но чаще он состоит из нескольких элементарных массивов (мезокомбинация). Эколого-фитоценотический принцип классификации ясно разделяет сообщества и бугров, и ложбин с учетом таких признаков, как стадия развития, положение в рельефе, общее покрытие растительности, доминирование и др. При классификации по методу Браун-Бланке сообщества всех бугров и почти всех ложбин в районе исследования вошли в вар. *Oxyria digyna* зональной ассоциации. На картосхемах показаны субварианты, но и они часто не дифференцируют растительность бугров и ложбин. Разработка типологии массивов байджарахов как территориальных единиц растительности важна для мониторинга и оценки активности термоденудации в разных районах Арктики.

Ключевые слова: термокарст, байджарахи, неоднородность растительности, территориальные единицы, картографирование растительности, эколого-фитоценотическая классификация, метод Браун-Бланке, Новосибирские острова

DOI: 10.31857/S0006813622060102

Потепление климата, отмечаемое в последние десятилетия, сильно затронуло Арктику (ACIA, 2004; Farquharson et al., 2016; Moon et al., 2018; Kruse et al., 2019; Overland et al., 2019; Pastick et al., 2019; Prevey et al., 2019 и др.). Повышение летних температур, более ранний сход снега и другие изменения стимулируют таяние многолетней мерзлоты и подземных льдов, активизируют процессы термокарста (Steedman et al., 2017; Fraser et al., 2018; Frost et al., 2018; Lara et al., 2019; Lewkowicz, Way, 2019; Selroos et al., 2019). В районах, где залегают мощные полигонально-жильные льды, их таяние может быть причиной разрушения дорог, зданий и иных сооружений, так как приводит к проседанию дневной поверхности и образованию сети ложбин, между которыми остаются бугры-байджарахи, сложенные вмещающими льды от-

ложениями. Такие группы бугров-останцов вместе с окружающими их ложбинами – массивы байджарахов, делают занятые ими территории труднопроходимыми для техники (рис. 1). Наблюдаемая активизация процессов термоденудации (термокарста, солифлюкции, нивации и др.) обостряет вопрос о возможном “каскаде их экологических последствий” (Fraser et al., 2018). Массив байджарахов – динамичное образование, меняющееся под воздействием термоденудации, и по степени его развития можно судить об интенсивности этих процессов (Sumina, 2020). Формирование отдельных бугров и целых массивов байджарахов подробно описаны ранее (Sumina, 1975, 1976, 1977a, b, 2020).

Актуальный интерес к массивам байджарахов связан не только с перечисленными выше причи-



Рис. 1. Байджарахи на о. Котельном, 1975 г.
Fig. 1. Baydzharakhs on the Kotelnly Island, 1975.

нами. Для растительного покрова тундровой зоны характерна ярко выраженная гетерогенность (неоднородность), обусловленная многими факторами. В целях ее отражения на картах перспективно выделение территориальных единиц растительности (фитоценохор), однако до сих пор это направление в геоботанике остается недостаточно разработанным (Lavrinenko, 2020). Массивы байджарахов имеют хорошо выраженные границы и могут служить удобным объектом для анализа неоднородной растительности фитоценохор первых уровней размерности (Sumina, 1977a, b). Гетерогенность растительного покрова массивов байджарахов проявляется на разных уровнях: от мозаики микрогруппировок в пределах отдельных бугров или ложбин (Sumina, 1977 b, 1979) до сложной комплексности целых массивов (Sumina, 1977 a, b, c).

Задачи данной работы – создание иерархической схемы гетерогенности растительности массива байджарахов и анализ ее отражения на крупномасштабных картосхемах при разных подходах к классификации сообществ – эколого-фитоценологическом и эколого-флористическом (методе Браун-Бланке).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал собран в 1974–1975 гг. на юго-западном побережье о. Котельный (от 74°44' с.ш. и 138°21' в.д. до 74°40' с.ш. и 138°54' в.д.).

Согласно геоботаническому районированию (Aleksandrova, 1980), район исследований относится к Восточносибирской провинции северной полосы подобласти арктических тундр. Зональная растительность представлена полигональными мохово-лишайниковыми арктическими тунд-

рами (Kruchinin, 1963), в которых общее проективное покрытие зачастую меньше 50%. В мохово-лишайниковой дернине, окружающей пятна голого грунта, господствуют мхи *Ditrichum flexicaule*¹, *Sanionia uncinata*, *Hylocomium splendens*, лишайники *Thamnolia vermicularis*, *Cetraria ericetorum*, *Flavocetraria cucullata*, *Peltigera rufescens*, *Dactylina arctica* и др. Из сосудистых растений доминирует *Salix polaris*², содоминируют: *Alopecurus alpinus*, *Luzula confusa*, *Poa alpigena*, *Deschampsia borealis*; из видов разнотравья обычны *Oxyria digyna*, *Papaver polare*, *Potentilla hyparctica*, *Saxifraga cespitosa* и др. (Sumina, 1977b).

В системе Браун-Бланке для подзоны арктических тундр выделены зональные ассоциации **Salici polaris–Hylocomietum alaskani** Matveyeva 1998 на Таймыре и **Salici polaris–Sanionietum uncinatae** Kholod 2007 на о. Врангеля. С.С. Холод отмечает, что “на Новосибирских островах формируется близкая ассоциация” (Kholod, 2007:17).

Массивы бугров-байджарахов – характерная черта современных ландшафтов Новосибирского архипелага; на о. Котельный они встречаются на водоразделах, по склонам долин рек, ручьев и оврагов, на термоабразионных морских берегах.

Нами обследовано 20 массивов площадью 750–100000 м². На бугры-байджарахи высотой 0.5–5.0 м и диаметром в основании 3–10 м, приходится от 30 до 70% территории массива, остальное занимают окружающие ложбины шириной 2–10 м.

При характеристике растительности массива байджарахов за основную единицу принимали растительные сообщества отдельных бугров и ложбин. Геоботанические описания делали в границах бугров, а в ложбинах – на прямоугольных площадках, длина сторон которых определялась шириной ложбины, а площадь составляла около 30 м², что соответствовало средней площади бугров. Описания выполняли по стандартной методике, отмечая: положение участка в рельефе, увлажнение, особенности нанорельефа, физиономические черты сообщества, процент пятен грунта и степень их зарастания, общее проективное покрытие, проективное покрытие сосудистых, мхов и лишайников, проективное покрытие каждого вида.

Для характеристики неоднородности сообществ бугров и ложбин на трансектах из расположенных вплотную площадок 25 × 25 см, проходивших через бугор и две соседние ложбины, проводили картирование микрогруппировок.

При описании массива байджарахов указывали: его площадь, положение в рельефе, наличие

¹ Названия видов мхов и лишайников приведены по М.С. Игнатову и О.М. Афоной (Ignatov, Afonina, 1992) и М.Н. Андрееву с соавторами (Andreev et al., 1996).

² Виды сосудистых растений приведены по International Plant Names Index (IPNI, 2021).

бугров разных типов, термокарстовых водоемов, особых отличительных признаков. Картосхемы растительного покрова составляли путем глазомерно-инструментальной съемки на трансектах шириной не менее 15 м, либо в целом — для массивов небольшой площади.

Обработка материала включала типизацию растительных сообществ бугров и ложбин по эколого-фитоценолотическому принципу (Sumina, 1977a, b) и — позднее — их классификацию по методу Браун-Бланке (Sumina, 2020). Анализ данных о микрогруппировках в сообществах бугров и ложбин опубликован (Sumina, 1979). После генерализации контуров, выделенных в полевой период, картосхемы растительности массивов байджарахов составлены с учетом двух подходов: эколого-фитоценолотического и эколого-флористического (использованы программы Paint и Adobe Photoshop).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Неоднородность растительного покрова массива байджарахов выражена на внутри- и надфитоценолотическом уровнях.

Бугры-байджарахи — образования динамичные, их размеры и форма изменяются в процессе термоденудации, причем происходит не только деградация исходной тундровой растительности, но и постепенное формирование на обнажившемся субстрате пионерных сообществ. Таким образом, растительность бугров во многом определяется их развитием как геоморфологических образований. Эти процессы описаны подробно и выделены разные стадии развития бугров (Sumina, 1975, 1977a, b, 2020). Вкратце отметим следующее.

Под влиянием термокарста поверхность водораздельной тундры расчленяется на невысокие (до 10 см высотой) полигоны. Едва уловимые физиономические различия между их растительностью и сообществами окружающих понижений при геоботаническом описании выявить не удается. По мере дальнейшего проседания ложбин полигоны преобразуются в невысокие (не более 0.5–0.8 м при диаметре 5–8 м), плоские бугры, растительность которых почти не отличается от водораздельных пятнистых тундр; она мозаична и включает микрогруппировки пятен (голых или заросших) и окружающей сомкнутой лишайниково-моховой дернины. В этом случае микрогруппировки формируют регулярно-циклическую мозаику (Matveyeva, 1998). Для краткости такие бугры в дальнейшем будем называть “тундровыми”³ (форма *a*).

³ Используемые в тексте статьи краткие названия бугров и ложбин условны и не претендуют на строгость классификационных категорий. Их задача — акцентировать наиболее яркие физиономические черты соответствующих объектов.

Постепенно тундровая растительность на вершине бугра разрушается эрозией, одновременно освобождается место для поселения растений-пионеров: образуются плоские эродированные бугры (высота 1–1.2 м, диаметр 6–8 м), для которых характерны сочетания фрагментов тундровых микрогруппировок и микрогруппировок из видов-ценофобов, поселяющихся на голом субстрате. Формируется спорадично-пятнистая мозаика (Matveyeva, 1998). Краткое название бугров этого типа — “тундровые эродированные” (форма *b*).

По мере того, как термокарст захватывает все новые участки водораздела, а талые воды размывают ложбины, плоский тундровый эродированный бугор оказывается в средней части водораздельного склона и приобретает конусовидную форму (высота 1.5–5 м, диаметр 6–12 м). На вершине бугра грунт осыпается и почти нет растительности, на его склонах размещаются микрогруппировки из пионерных видов, а у подножия — из видов, характерных для нивальных местообитаний, так как основание бугра укрыто долго лежащим снегом. В этом случае микрогруппировки образуют микропоясный ряд, располагаясь концентрически от вершины к подножию. Такой тип конусовидных эродированных бугров с неассоциированными группировками в дальнейшем для краткости называем “конусовидным эродированным” (форма *c*).

Конусовидные эродированные бугры — стадия максимального развития бугра-байджараха (Tikhomirov, 1959; Dorogostaiskaya, 1959): таяние ледяных жил заканчивается, и дальнейшие процессы ведут к разрушению бугра и нивелировке рельефа. Бугор, расположенный у подножия склона водораздела, становится низким (высота 0.4–1.0 м, диаметр 4–7 м), слабовыпуклым, вся его поверхность покрыта нивальной растительностью (напочвенный покров из накипных эпигейных лишайников, мелких мхов и печеночников, с небольшим числом видов сосудистых). Для сообществ бугров характерна нерегулярная мозаика (Matveyeva, 1998), краткое их название — “нивальные” (форма *d*). Такие бугры постепенно размываются талыми водами и сливаются с окружающими ложбинами, это — последняя стадия разрушения, наблюдаемого на крутых склонах.

На очень пологих склонах термоденудация менее интенсивна, и процесс формирования бугров идет иначе. Бугры тундровые и тундровые эродированные распадаются на довольно крупные (0.2 × 0.5 м) глыбы суглинка, приобретают вытянутую сглаженно-конусовидную форму (высота 0.8–1.2 м, диаметр 4–7 м) и зарастают. Для таких бугров характерен почти сомкнутый растительный покров, в котором преобладают злаки и разнотравье. В этом случае выражена нерегулярная мозаика. Краткое название бугров — “луговинные” (форма *e*).

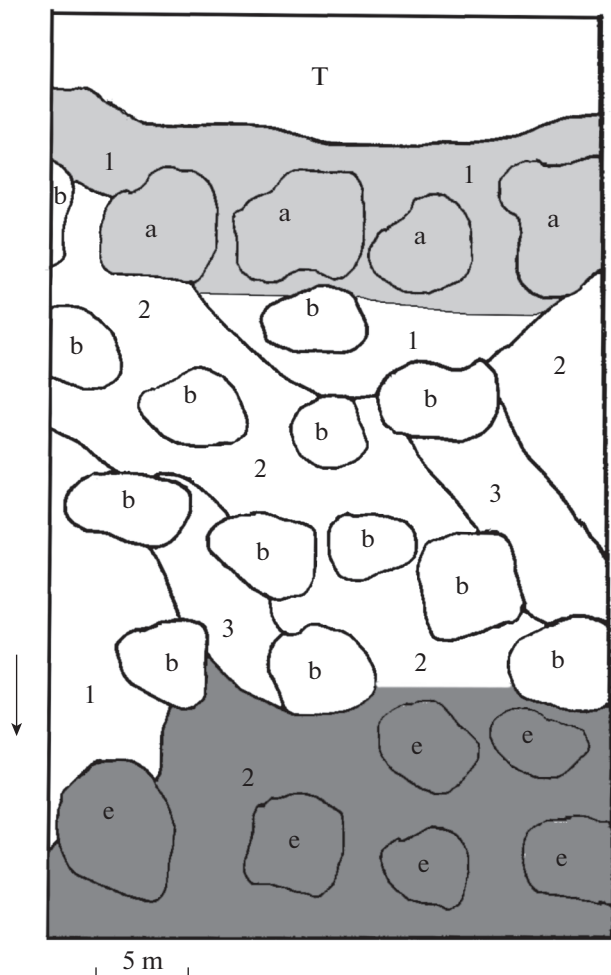


Рис. 2. Пример выделения элементарных массивов. Серым показаны двучленные комплексы, белым — многочленный. Стрелка указывает направление падения склона. Т — водораздельная тундра, остальные обозначения см. в табл. 1.

Fig. 2. An example of distinguishing elementary massifs. Binary complexes are shown in grey; polynomial complex is shown in white. The arrow indicates the slope direction. T — tundra. For the other designations see Table 1.

Перечисленные стадии развития бугров встречаются в разных районах Арктики. Кроме них на о. Котельный были описаны бугры, которые можно считать промежуточной стадией между конусовидными эродированными и нивальными: конусовидной формы, но сравнительно невысокие (высота 0.5–1 м, диаметр около 5 м) с комковатой поверхностью, расположенные в средней или нижней части умеренно крутых (10–15°) водораздельных склонов. Так же как на нивальных буграх, напочвенный покров здесь образован эпигейными накипными лишайниками, мелкими мхами и печеночниками, но в сообществах много разнотравья. Для таких бугров, как и для нивальных, характерна нерегулярная мозаичность. Краткое название этого типа бугров — “разнотравно-лишай-

никовые” (чтобы подчеркнуть их переходный характер, форму обозначаем как *cd*).

Сообщества ложбин более сходны между собой, чем сообщества бугров. В зависимости от положения на склоне водораздела, увлажнения и стадии развития термоденудации их можно условно разделить на “тундровые” (“ожиковый тундровый” и “лисохвостовый тундровый” — с регулярно-циклической мозаикой и микрогруппировками, типичными для водораздельных тундр); “нивальные” и “разнотравно-лишайниковые” (с комковатым нанорельефом, нерегулярной мозаикой и растительностью, сходной с сообществами нивальных или разнотравно-лишайниковых бугров); “луговинные” (“лисохвостовый” и “кисличниковый” — с сомкнутым богатым травяным покровом и нерегулярной мозаикой), а также — мокрые “травяно-моховые” (“челбачный” и “дюпонциевый”), в которых мозаичность не выражена и покров гомогенный (табл. 1).

Относительный возраст массива байджарахов можно оценить, выяснив, какие типы бугров в нем представлены. Например, если все бугры относятся к тундровым, то массив образовался сравнительно недавно, если же в нем только нивальные или луговинные бугры, то время его существования больше. Описанный выше временной ряд сообществ бугров (от *a* до *d*) особенно четко выражен в массивах, приуроченных к крутым склонам водоразделов. Тундровые бугры располагаются в верхней части склона, рядом с ними или чуть ниже находятся тундровые эродированные, в средней части склона — конусовидные эродированные, у его подножья — нивальные. Впервые такой хроно-хорологический ряд описан Е.В. Дорогостайской (Dorogostaiskaya, 1959). В то же время, нередко в массивах представлен не полный временной ряд, а только его часть, что определяется локальными причинами (рельефом местности, длительностью и интенсивностью процессов термоденудации и др.).

На местности пространственно-временной ряд образован участками массива, в каждом из которых все бугры относятся к одному типу. Ложбины между ними могут быть разными, но их растительность всегда “находится в тесной связи с растительностью самих байджарахов” (Gorodkov, 1956:48). Анализ картосхем массивов и полевых наблюдений позволил установить соответствие (более частое соседство) разных типов сообществ бугров и ложбин (табл. 1). Территорию любого массива байджарахов можно разделить на несколько участков с буграми одного типа и соответствующими им ложбинами одного или разных типов (рис. 2). Каждый такой участок (“элементарный массив”) отличается тем, что начало, скорость и интенсивность термоденудации примерно одинаковы на всей его площади. Элементарному массиву свойственна неоднородность надфитоценологического уровня, поскольку он может быть

Таблица 1. Соседство сообществ бугров и ложбин
Table 1. Adjacency of thermokarst mound and trench communities

Тип бугра Thermokarst mound type	Тип ложбины Trench type	Частота соседства Frequency of adjacency
Тундровый (a) Tundra-like (a)	Ожиковый тундровый (1) Tundra-like with <i>Luzula confusa</i> (1)	+++
	Лисохвостовый тундровый (2) Tundra-like with <i>Alopecurus alpinus</i> (2)	+++
	Кисличниковый (3) <i>Oxyria digyna</i> dominating (3)	++
	Лисохвостовый (4) <i>Alopecurus alpinus</i> dominating (4)	+
	Разнотравно-лишайниковый (5) Forbs and lichens dominating (5)	+
Тундровый эродированный (b) Eroded tundra-like (b)	Лисохвостовый тундровый (2) Tundra-like with <i>Alopecurus alpinus</i> (2)	+++
	Кисличниковый (3) <i>Oxyria digyna</i> dominating (3)	+
	Лисохвостовый (4) <i>Alopecurus alpinus</i> dominating (4)	+
	Разнотравно-лишайниковый (5) Forbs and lichens dominating (5)	+++
	Челбачный* (8) Chelbaks (8)	+
Конусовидный эродированный (c) Eroded conical (c)	Кисличниковый (3) <i>Oxyria digyna</i> dominating (3)	+
	Лисохвостовый (4) <i>Alopecurus alpinus</i> dominating (4)	+
	Разнотравно-лишайниковый (5) Forbs and lichens dominating (5)	+
	Челбачный (8) / Челбакс (8)	+
Разнотравно-лишайниковый (cd) Forbs and lichens dominating (cd)	Лисохвостовый тундровый (2) Tundra-like with <i>Alopecurus alpinus</i> (2)	+
	Кисличниковый (3) <i>Oxyria digyna</i> dominating (3)	+
	Лисохвостовый (4) <i>Alopecurus alpinus</i> dominating (4)	+
	Разнотравно-лишайниковый (5) Forbs and lichens dominating (5)	++
Нивальный (d) Nival community-like (d)	Кисличниковый (3) <i>Oxyria digyna</i> dominating (3)	++
	Лисохвостовый (4) <i>Alopecurus alpinus</i> dominating (4)	+
	Нивальный (6) Nival community-like (6)	++
Луговинный (e) Meadow-like (e)	Ожиковый тундровый (1) Tundra-like with <i>Luzula confusa</i> (1)	+
	Лисохвостовый тундровый (2) Tundra-like with <i>Alopecurus alpinus</i> (2)	+
	Кисличниковый (3) <i>Oxyria digyna</i> dominating (3)	++
	Дюпонциевый (7) <i>Dupontia fisheri</i> dominating (7)	+

Примечание: Указаны краткие названия типов бугров и ложбин, в скобках приведены их обозначения на картосхемах. Соседство: +++ – часто, ++ – довольно часто, + – иногда.

Note. Short names of types are provided, their designations on detailed maps are given in parentheses. Adjacency: +++ – often, ++ – quite often, + – sometimes.

* Челбак – неглубокий термокарстовый водоем (Gorodkov, 1956: 54); челбачными мы называем сообщества ложбин, образовавшиеся на их месте.

“Chelbak” is a shallow thermokarst pond (Gorodkov, 1956: 54); this name is given to trench communities formed on the place of these ponds.

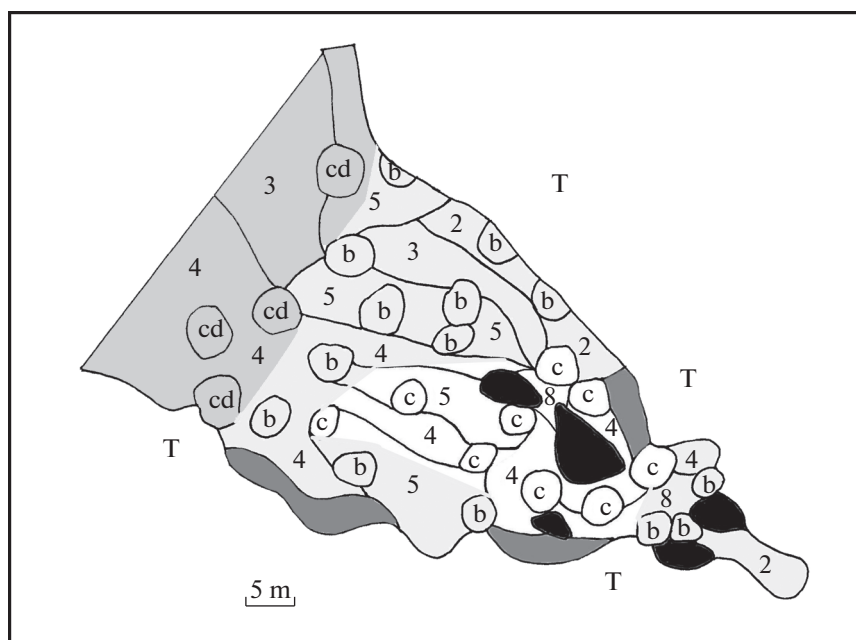


Рис. 3. Совокупность комплексов в массиве байджарахов, расположенном на водоразделе.

Черным показаны термокарстовые водоемы (“челбаки”), темно-серым — обваливающийся голый грунт по бортам просадки, светло-серым и белым — элементарные массивы. Остальные обозначения см. в табл. 1 и на рис. 2.

Fig. 3. Aggregate of complexes in the baydzharakh massif located on the watershed.

Shallow thermokarst ponds (“chelbaks”) are shown in black, eroded bare ground on the drawdown sides in dark grey, elementary massifs in light grey and white. For the other designations see Table 1 and Fig. 2.

двучленным (если одним типом представлены сообщества и бугров, и ложбин) или многочленным (один тип сообществ бугров и несколько типов ложбин) комплексом, т.е. микрокомбинацией по Т.И. Исаченко (Isachenko, 1969).

В целом растительность массива байджарахов — это эколого-генетический пространственно-временной ряд, который образуют элементарные массивы. В редких случаях массив байджарахов совпадает с элементарным массивом, т.е. состоит из бугров одного типа (это характерно для начала образования или завершающей стадии развития массива). Обычно он включает несколько элементарных массивов (микрокомбинаций), так что растительность массива байджарахов в целом — это мезокомбинация (Isachenko, 1969), причем можно выделить: поясной ряд комплексов — на крутом склоне элементарные массивы не повторяются и располагаются полосами, формируя полосчатый узор (рис. 2); и совокупность комплексов — на слабонаклонных поверхностях элементарные массивы образуют нерегулярный рисунок (рис. 3).

Таким образом, растительность массива байджарахов — территориальная единица со сложной горизонтальной структурой, в которой выделяются несколько уровней: 1) микрогруппировки на отдельных элементах нанорельефа; 2) сообщества, приуроченные к элементам микрорельефа (буграм и ложбинам); 3) комплексы сообществ

(микрокомбинации) — растительность элементарных массивов; 4) сочетания комплексов (мезокомбинации) — растительность массивов байджарахов (рис. 4).

Анализируя структуру растительного покрова арктических тундр и отмечая, что наиболее существенная черта территориальных единиц — внутренняя сложность, С.С. Холод (Kholod, 1989) предложил особый “энкаптический” индекс для определения количества соподчиненных уровней сложности в пределах конкретной территориальной единицы. При этом он отказался от использования таких градаций, как микро- и мезокомбинации, поскольку в их основе “лежит привязка к ландшафтно-морфологическим или геоморфологическим единицам” (Kholod, 1989:62). Для растительности массивов байджарахов характерна именно такая зависимость от свойств и трансформации геоморфологических элементов, поэтому понятия микро- и мезокомбинации отвечают особенностям объекта.

При полевом картографировании растительности массивов байджарахов основной единицей служат сообщества бугров и ложбин. В таблице 2 приведены их типы, первоначально выделенные по эколого-фитоценолотическому принципу (Sumina, 1977a, b), и соответствующие им синтаксоны классификации Браун-Бланке (Sumina, 2020). Сравнение обоих подходов при картографировании

Уровень неоднородности Level of heterogeneity	Территориальные единицы Territorial units	
<i>Надфитоценотический</i> <i>Supraphytocoenotic</i>	Растительность массива байджарахов Vegetation of baidzharakh massif	
Мезокомбинации Mesocombinations	1. Несколько элементарных массивов 1. Several elementary massifs	
	1А. Поясной ряд комплексов 1А. Belt row of complexes	
Микрокомбинации Microcombinations	1В. Совокупность комплексов 1В. Aggregate of complexes	
	2. Один элементарный массив 2. One elementary massif	
	Растительность элементарного массива Vegetation of elementary massif	
	2А. Комплекс двучленный 2А. Binary complex	
2В. Комплекс многочленный 2В. Polynomial complex		
<i>Внутриценотический</i> <i>Intraphytocoenotic</i>	Растительность элемента микро рельефа Vegetation of microrelief element	
	Бугор Mound	Ложбина Trench
	—	Гомогенная Homogeneous
	Регулярно-циклическая мозаика Regular-cyclic mosaic	Регулярно-циклическая мозаика Regular-cyclic mosaic
	Нерегулярная мозаика Irregular mosaic	Нерегулярная мозаика Irregular mosaic
	Спорадично-пятнистая мозаика Sporadically spotted mosaic	—
	Микропоясный ряд микрогруппировок Microbelt row of patches	—
Микрогруппировка элемента нанорельефа Patch of nanorelief element		

Рис. 4. Общая схема гетерогенности растительного покрова массива байджарахов.

Fig. 4. General scheme of the vegetation heterogeneity of baydzharakh massif.

растительности массивов байджарахов демонстрируют рис. 5 и 6.

При классификации по методу Браун-Бланке растительные сообщества всех бугров и почти всех ложбин в районе исследований объединяются в вариант **Oxyria digyna** зональной ассоциации

Salici polaris–Hylocomietum alaskani Matveyeva 1998 (табл. 2). Это выявляет связь растительности массивов байджарахов с зональными тундрами и позволяет рассматривать ее в рамках соответствующей иерархии синтаксонов. Поскольку ассоциация в системе Браун-Бланке – крупная единица,

Таблица 2. Сопоставление синтаксонов, выделенных разными способами классификации
Table 2. Accordance of syntaxa distinguished with different classification approaches

Названия типов сообществ Names of community types	Эколого-фитоценоотическая классификация Ecological-phytocoenotical classification	Краткое название типа и его обозначение на карточках Short name of type and its designation on detailed maps	Эколого-флористическая классификация Ecological-floristical classification
	Буры/Thermokarst mounds		
Пестроэрозивно-лисохвостово-ивково-лишайниковый Lichens- <i>Salix polaris</i> - <i>Alopecurus alpinus</i> -forbs	Тундровый (a) Tundra-like (a)	Субвар./Subvar. <i>Phippsia algida</i>	
Пестроэрозивно-злаково-лишайниковый эродированный Lichens-graminoids-forbs, eroded	Тундровый эродированный (b) Eroded tundra-like (b)	Субвар./Subvar. <i>Phippsia algida</i>	
Разнотравно-злаково-эпигейнолишайниковый эродированный Crustose lichens-graminoids-forbs, eroded	Конусовидный эродированный (c) Eroded conical (c)	Субвар./Subvar. <i>Phippsia algida</i>	
Пестроэрозивно-эпигейнолишайниковый Crustose lichens-forbs	Разнотравно-лишайниковый (cd) Forbs and lichens dominating (cd)	Субвар./Subvar. <i>Phippsia algida</i>	
Разнотравно-фиппсиено-эпигейнолишайниковый Crustose lichens- <i>Phippsia algida</i> -forbs	Нивальный (d) Nival community-like (d)	Субвар./Subvar. <i>Phippsia algida</i>	
Ожиково-ивково-кисличниково-злаково-лишайниковый Lichens-graminoids- <i>Oxyria digyna</i> - <i>Salix polaris</i> - <i>Luzula confusa</i>	Лугвинный (e) Meadow-like (e)	Субвар./Subvar. <i>typica</i>	
	Ложбины/Trenches		
Лисохвостово-ожиково-ивково-лишайниково-моховой Mosses-lichens- <i>Salix polaris</i> - <i>Luzula confusa</i> - <i>Alopecurus alpinus</i>	Ожиковый тундровый (1) Tundra-like with <i>Luzula confusa</i> (1)	Субвар./Subvar. <i>Cetrariella delisei</i>	
Лисохвостово-ивково-лишайниково-моховой Mosses-lichens- <i>Salix polaris</i> - <i>Alopecurus alpinus</i>	Лисохвостовый тундровый (2) Tundra-like with <i>Alopecurus alpinus</i> (2)	Субвар./Subvar. <i>Cetrariella delisei</i>	
Кисличниково-моховой Mosses- <i>Oxyria digyna</i>	Кисличниковый (3) <i>Oxyria digyna</i> dominating (3)	Субвар./Subvariant <i>inops</i>	
Лисохвостово-моховой Mosses- <i>Alopecurus alpinus</i>	Лисохвостовый (4) <i>Alopecurus alpinus</i> dominating (4)	Субвар./Subvar. <i>inops</i>	
Злаково-пестроэрозивно-мохово-эпигейнолишайниковый Crustose lichens-mosses-forbs-graminoids	Разнотравно-лишайниковый (5) Forbs and lichens dominating (5)	Субвар./Subvar. <i>Phippsia algida</i>	
Фиппсиено-разнотравно-эпигейнолишайниковый Crustose lichens-forbs- <i>Phippsia algida</i>	Нивальный (6) Nival community-like (d)	Субвар./Subvar. <i>Phippsia algida</i>	
Дюпоницево-моховой Mosses- <i>Dupontia fisheri</i>	Дюпоницевый (7) <i>Dupontia fisheri</i> dominating (7)	Acc./Ass. <i>Poo arcticae</i> - <i>Dupontietum fisheri</i> Matveyeva 1994/Var./Var. <i>Campyllum zemliae</i>	
Разнотравно-моховой Mosses-forbs	Челбачный (8) Chelbaks (8)	Acc./Ass. <i>Poo arcticae</i> - <i>Dupontietum fisheri</i> Var./Var. <i>Campyllum zemliae</i>	

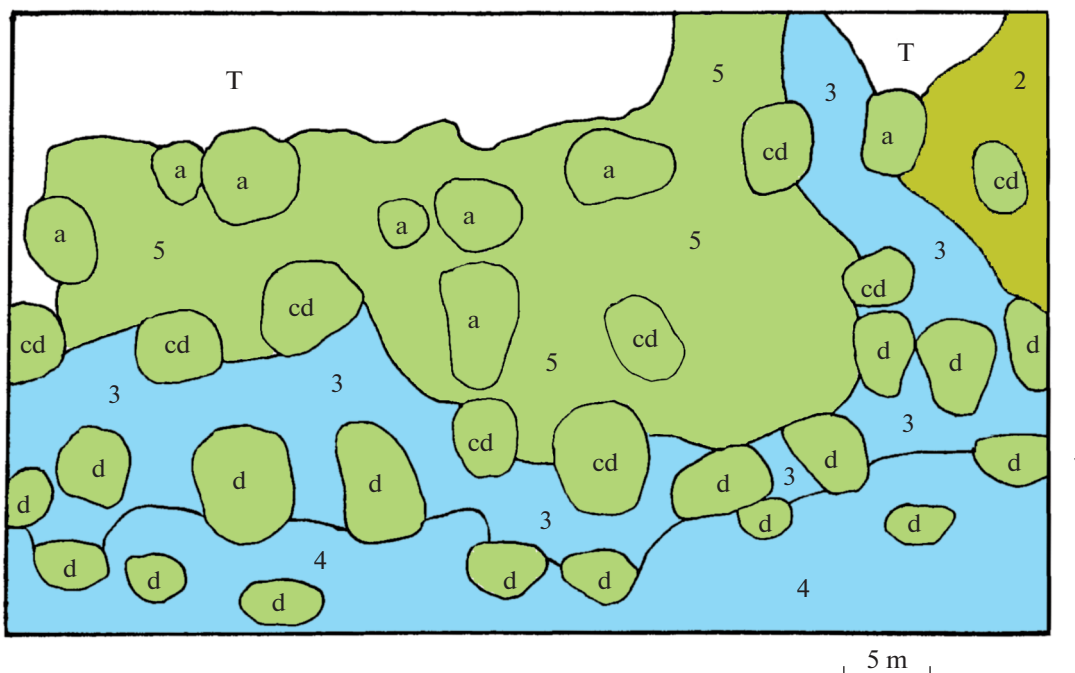


Рис. 5. Картограмма участка массива байджарахов № 4 (склон южной экспозиции, крутизна 15°). Зеленым обозначены участки с субвар. *Phippsia algida*, голубым — с субвар. *inops*, оливковым — с субвар. *Cetrariella delisei*. Остальные обозначения см. в табл. 1 и на рис. 2.

Fig. 5. Detailed map of the site in the baydzharakh massif № 4 (southern slope with grade 15°). Subvar. *Phippsia algida* is marked with green, subvar. *inops* with blue, and subvar. *Cetrariella delisei* with olive color. For the other designations see Table 1 and Fig. 2.

на картограммах целесообразно использовать низшие синтаксоны — субварианты, но и они не дифференцируют растительность разных элементов микрорельефа, и картограммы оказываются слишком обобщенными (рис. 5, 6). Описывая растительность байджарахов, встреченных на о. Врангеля, С.С. Холод (Kholod, 2014) даже в пределах одного бугра выделяет фрагменты растительности, относящиеся к разным ассоциациям: на склонах “молодых” бугров — сообщества субасс. *racomitretosum lanuginosi* асс. *Oncophoro wahlenbergii–Deschampsietum borealis* Kholod 2007, а на их вершинах — разреженные группировки субасс. *typicum* асс. *Saxifrago firmae–Luzuletum confusae* Kholod 2007. Растительность окружающих ложбин принадлежит субассоциациям *petasitetosum frigidum* и *racomitretosum lanuginosi* асс. *Oncophoro wahlenbergii–Deschampsietum borealis* и фации *typica* асс. *Salici rotundifoliae–Oxytropidetum wrangelii* Kholod 2007. Этот пример показывает высокую степень горизонтальной неоднородности растительности не только целых массивов байджарахов, но и отдельных бугров. Однако, поскольку гетерогенность покрова в сообществах бугров зависит от стадии их развития как целостного геоморфологического образования, на наш взгляд, ее следует рассматривать как внутрисинтаксономическую мозаичность (Sumina, 1977a, b, 1979), не придавая высокого ранга субассоциаций небольшим фрагментам меняющейся растительности.

Эколого-фитоценотическая классификация дает ясное разделение сообществ бугров и ложбин с учетом таких признаков, как форма (стадия развития) бугров, положение на склоне, увлажнение ложбин, нанорельеф, облик сообществ, общее покрытие растительности, преобладающие виды и др. В результате картограммы растительности массивов байджарахов оказываются достаточно информативными и позволяют провести дальнейшую генерализацию с выделением элементарных массивов.

И.А. Лавриненко (Lavrinenko, 2020) на примере растительности арктических маршей разработал типологию территориальных единиц, используя для характеристики их синтаксономического состава систему Браун-Бланке. В рамках этой типологии основной элементарной единицей, которая может быть показана на картах крупного масштаба, является “тип”, представленный: “1) фитоценозами; 2) простыми комбинациями первого надфитоценотического уровня (серии, экологические ряды, комплексы); 3) сложными комбинациями, которые включают комбинации фитоценозов первых 2 типов” (Lavrinenko, 2020:104). Второй критерий для выделения “типа”, наряду с пространственной структурой, — синтаксономический состав элементов этой территориальной единицы. Низшими синтаксономическими единицами, позволяющими “максимально точно оценить своеобразие и амплитуду

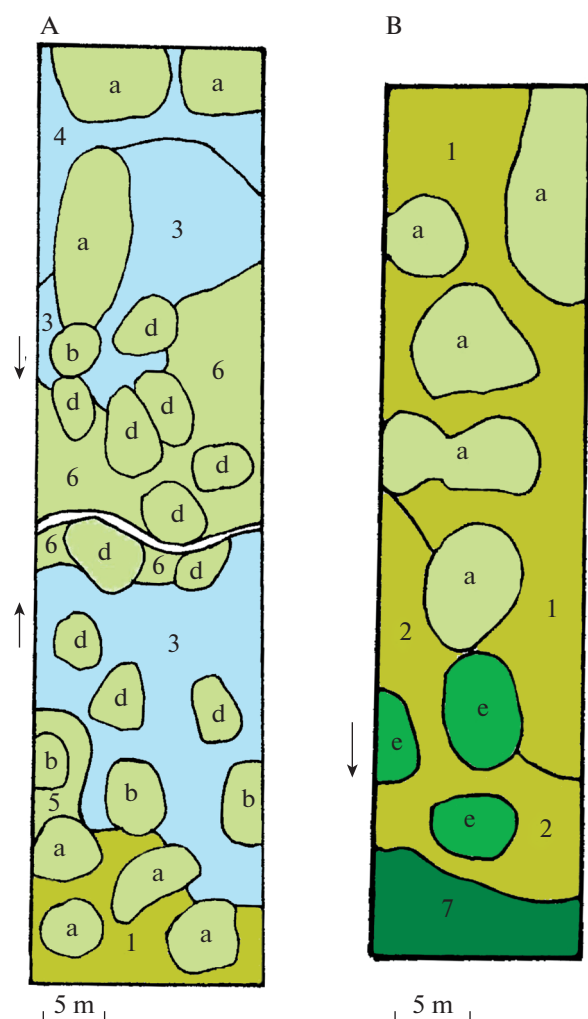


Рис. 6. Картограммы участков массивов байджарахов, расположенных на склонах оврагов:

А – массив № 8 (экспозиция северо-восток и юго-запад, крутизна 15–20°); В – массив № 14 (склон северо-западной экспозиции, крутизна 6°). Ярко-зеленым обозначен участок с субвар. *typica*, темно-зеленым – с вар. *Campylium zemliae* асс. *Poo arcticae–Dupontietum fisheri* Matveyeva 1994. Остальные обозначения см. на рис. 5.

Fig. 6. Detailed maps of the sites in baydzharakh massifs located on slopes:

А – massif № 8 (north-eastern and south-western slopes with grade 15–20°); В – massif № 14 (north-western slope with grade 6°). Subvar. *typica* is marked with bright green, var. *Campylium zemliae* of ass. *Poo arcticae–Dupontietum fisheri* Matveyeva 1994 with dark green. For other designations see Fig. 5.

изменчивости экологических условий местообитания” (Lavrinenko, 2020:109), он считает варианты (в системе Браун-Бланке). Соответственно, растительность массивов байджарахов в предложенной схеме ожидаемо относится к разряду “тип”, но элементы этой территориальной единицы не будут различаться, поскольку практически все сообщества бугров и ложбин в районе исследований представлены одним вариантом

(*Oxyria digyna*). Данная ситуация связана с крупным (1 : 500) масштабом картограмм, который позволяет отразить особенности пространственной структуры растительности массивов более подробно, чем крупномасштабные карты. Вторая причина – различия структуры и динамики растительного покрова самих объектов – массивов байджарахов и приморских маршей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целях решения актуальной задачи – оценки интенсивности термокарста и других процессов термоденудации в разных районах Арктики, активизация которых отмечается в последнее время, может быть использована типизация массивов байджарахов. Последние имеют достаточно четкие границы с окружающими тундрами и развиваются как единое целое в тесной зависимости от процессов термоденудации, формирующих массивы. На наш взгляд, именно разработка типологии массивов байджарахов как территориальных единиц растительности, позволит сравнивать массивы из различающихся по флоре и растительности районов Арктики.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор глубоко признателен И.Н. Сафроновой, принимавшей участие в полевом сборе материала в 1974 г. и Н.В. Матвеевой за ценные советы при работе над классификацией по методу Браун-Бланке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- АСИА. 2004. Impact of warming Arctic: Arctic Climate impact assessment. Cambridge University Press. (Хассол С.Д. Воздействие потепления в Арктике. Отчет по Программе “АСИА” (Оценка климатических воздействий в Арктике)). 140 с.
- Aleksandrova V.D. 1980. The Arctic and Antarctic: their division into geobotanical areas. Cambridge, London, New York. 247 p.
- Andreev M.P., Kotlov Yu.V., Makarova I.I. 1996. Checklist of the lichens and lichenicolous fungi of the Russian Arctic – The Bryologist. 99 (2): 137–169. <https://doi.org/10.2307/3244545>
- [Dorogostaiskaya] Дорогостайская Е.В. 1959. О сменах растительности в связи с термокарстом на севере Якутии – Изв. Сиб. отд. АН СССР. 12: 91–100.
- Farquharson L., Mann D.H., Grosse G., Jones B.M., Romanovsky V. 2016. Spatial distribution of thermokarst terrain in Arctic Alaska – Geomorphology. 273: 116–133. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.08.007>
- Fraser R.H., Kokelj S.V., Lantz T.C., McFarlane-Winchester M., Olthof I., Lacelle D. 2018. Climate sensitivity of High Arctic permafrost terrain demonstrated by widespread ice-wedge thermokarst on Banks Island – Remote Sensing. 10 (6). Paper number: 954. <https://doi.org/10.3390/rs10060954>
- Frost G.V., Christopherson T., Jorgenson M.T., Liljedahl A.K., Macander M.J., Walker D.A., Wells A.F. 2018. Region-

- al patterns and asynchronous onset of ice-wedge degradation since the mid-20th century in Arctic Alaska – *Remote Sensing*. 10 (8). Paper number: 1312. <https://doi.org/10.3390/rs10081312>
- [Gorodkov] Городков Б.Н. 1956. Растительность и почвы о. Котельного (Новосибирский архипелаг) – В кн.: Растительность Крайнего Севера СССР и ее освоение. Вып. 2. М.–Л. С. 7–132.
- [Ignatov, Afonina] Игнатов М.С., Афонина О.М. 1992. Список мхов территории бывшего СССР – Арктоа. 1: 1–85. <https://doi.org/10.15298/arctoa.01.01>
- IPNI: The International Plant Names Index. 2021. <http://www.ipni.org> (Accessed 18.02.2022).
- [Isachenko] Исаченко Т.И. 1969. Сложение растительного покрова и картографирование – Геоботаническое картографирование. С. 20–32. <https://doi.org/10.31111/geobotma/1969.20>
- [Kholod] Холод С.С. 1989. Крупномасштабное картографирование как метод детального изучения структуры растительного покрова (на примере арктической тундры о-ва Врангеля) – Геоботаническое картографирование. С. 61–71. <https://doi.org/10.31111/geobotmap/1989.61>
- [Kholod] Холод С.С. 2007. Классификация растительности острова Врангеля – Растительность России. 11: 3–135. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2007.11.3>
- [Kholod] Холод С.С. 2014. Растительность и мерзлотные формы рельефа на острове Врангеля – Комаровские чтения. Владивосток. 62: 241–313.
- [Kruchinin] Кручинин Ю.А. 1963. Физико-географические наблюдения на острове Котельном – Тр. Арктич. и Антарктич. НИИ. 224: 143–165.
- Kruse S., Gerdes A., Kath N.J., Epp L.S., Stoof-Leichsenring K.R., Pestryakova L.A., Herzsich U. 2019. Dispersal distances and migration rates at the arctic treeline in Siberia – a genetic and simulation-based study – *Biogeosciences*. 16 (6): 1211–1224. <https://doi.org/10.5194/bg-16-1211-2019>
- Lara M.J., Chipman M.L., Hu F.S. 2019. Automated detection of thermoerosion in permafrost ecosystems using temporally dense Landsat image stacks – *Remote Sensing of Environment*. 221: 462–473. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.034>
- [Lavrinenko] Лавриненко И.А. 2020. Типология и синтаксономический состав территориальных единиц растительности: новый подход на примере изучения арктических маршей – Растительность России. 39: 100–148. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2020.39.100>
- Lewkowicz A.G., Way R.G. 2019. Extremes of summer climate trigger thousands of thermokarst landslides in a High Arctic environment – *Nature Communications*. 10. Paper number: 1329. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09314-7>
- [Matveyeva] Матвеева Н.В. 1998. Зональность в растительном покрове Арктики. СПб. 220 с.
- Moon T.A., Overeem I., Druckenmiller M., Holland M., Huntington H., Kling G., Lovecraft A.L., Miller G., Scambos T., Schadel C. et al. 2018. The expanding footprint of rapid Arctic change – *Earth's Future*. 7 (3): 212–218. <https://doi.org/10.1029/2018EF001088>
- Overland J.E., Wang M.Y., Box J.E. 2019. An integrated index of recent Pan-Arctic climate change – *Environmental Research Letters*. 14 (3). Paper number: 035006 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf665>
- Pastick N.J., Jorgenson M.T., Goetz S.J., Jones B.M., Wylie B.K., Minsley B.J., Genet H., Knight J.F., Swanson D.K., Jorgenson J.C. 2019. Spatiotemporal remote sensing of ecosystem change and causation across Alaska – *Global Change Biology*. 25 (3): 1171–1189. <https://doi.org/10.1111/gcb.14279>
- Prevey J.S., Rixen C., Ruger N., Hoyer T.T., Bjorkman A.D., Myers-Smith I.H., Elmendorf S.C., Ashton I.W., Cannone N., Chisholm C.L. et al. 2019. Warming shortens flowering seasons of tundra plant communities – *Nature Ecology & Evolution*. 3 (1): 45–52. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0745-6>
- Selroos J.O., Cheng H., Vidstrand P., Destouni G. 2019. Permafrost thaw with thermokarst wetland-lake and societal-health risks: dependence on local soil conditions under large-scale warming – *Water*. 11 (3). Paper number: 574. <https://doi.org/10.3390/w11030574>
- Steedman A.E., Lantz T.C., Kokelj S.V. 2017. Spatio-temporal variation in high-centre polygons and ice-wedge melt ponds, Tuktoyaktuk Coastlands, Northwest Territories – *Permafrost and Periglacial Processes*. 28 (1): 66–78. <https://doi.org/10.1002/ppp.1880>
- [Sumina] Сумина О.И. 1975. Растительность байджарахов о. Котельного (Новосибирские острова) – *Бот. журн.* 60 (9): 1311–1319.
- [Sumina] Сумина О.И. 1976. Особенности растительности бугров-байджарахов в связи с их географическим распространением – *Бот. журн.* 61 (5): 682–690.
- [Sumina] Сумина О.И. 1977а. Растительность массивов байджарахов о. Котельного (Новосибирские острова). К изучению неоднородности растительного покрова в тундровой зоне: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л. 21 с.
- [Sumina] Сумина О.И. 1977б. Растительность массивов байджарахов о. Котельного (Новосибирские острова). К изучению неоднородности растительного покрова в тундровой зоне: Дис. ... канд. биол. наук. Л. 215 с.
- [Sumina] Сумина О.И. 1977с. Опыт изучения территориальных единиц растительности в тундровой зоне на примере растительности байджарахов о. Котельного – В кн.: Тезисы докладов V Всесоюз. совещ. по классификации растительности. Новосибирск. С. 80–82.
- [Sumina] Сумина О.И. 1979. Растительность байджарахов в окрестностях бухты Марии Прончищевой (Северо-Восточный Таймыр) – В кн.: Арктические тундры и полярные пустыни Таймыра. Л. С. 118–132.
- [Sumina] Сумина О.И. 2020. Классификация растительности массивов байджарахов в двух районах подзоны арктических тундр Сибирского сектора Российской Арктики – Растительность России. 39: 75–99. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2020.39.75>
- [Tikhomirov] Тихомиров Б.А. 1959. О происхождении бугров-байджарахов в связи с термокарстом и динамикой растительности на севере Сибири – В кн.: Материалы по общему мерзлотоведению. М. С. 162–167.

HETEROGENEITY OF VEGETATION COVER OF BAYDZHARAKH MASSIFS (KOTELNY ISLAND, NEW SIBERIAN ISLANDS)

O. I. Sumina

St. Petersburg State University
Universitetskaya Emb., 7/9, St. Petersburg, 199034, Russia
e-mail: o.sumina@spbu.ru

An increasing activity of thermokarst and other thermal denudation processes is noted in many regions of the Arctic. The massifs of baydzharakhs (groups of mounds with surrounding trenches) are one of the thermokarst relief forms. The heterogeneity of their vegetation appears at different levels of the hierarchy: from a mosaic of patches within communities of thermokarst mounds and trenches to the complexity of the supraphytocoenotic levels within entire massifs. The latter ones are a suitable model object to analyze the structure of vegetation territorial units of the first levels due to their substantial separation from surrounding tundra and an evident spatial patterning. The tasks of this study are to elaborate a hierarchical scheme of the heterogeneity of the massif vegetation and to analyze detailed maps made with different approaches of classification of vegetation, namely the ecological-phytocoenotic (on domination principle) and the Braun-Blanquet ones. In 1973–1974, on the Kotelny Island 20 baydzharakh massifs from 750 to 100000 m² were studied. The size, shape and vegetation of thermokarst mounds change during thermal denudation; 6 types of mounds corresponding to its stages were revealed. The massif including the mounds of only one type (“elementary massif”) is a complex of communities (microcombination), but more often it consists of several elementary massifs (mesocombination). The ecological-phytocoenotic classification clearly separates the communities of both mounds and trenches, considering such features as the stage of development, position on the slope, total vegetation coverage, dominant species, etc.

With the Braun-Blanquet approach, the communities of all thermokarst mounds and almost all trenches in the study area were included in the variant *Oxyria digyna* of the zonal association *Salici polaris–Hylocomietum alaskani* Matveyeva 1998. Even the subvariants shown on the detailed maps often do not allow separating the vegetation of mounds and trenches. The elaboration of baydzharakh massifs typology as territorial vegetation units is important to obtain an actual assessment of thermokarst activity in different areas of the Arctic in connection with observing climate changes.

Keywords: thermokarst, baydzharakhs, heterogeneity of vegetation, territorial units, vegetation mapping, ecological-phytocoenotic classification, Braun-Blanquet approach, New Siberian Islands

ACKNOWLEDGEMENTS

The author is deeply grateful to I.N. Safronova, who took part in the data field collecting in 1974, and N.V. Matveyeva for valuable advice on the classification according to the Braun-Blanquet approach.

REFERENCES

- ACIA. 2004. Impact of warming Arctic: Arctic Climate impact assessment. Cambridge University Press. Cambridge. 140 p.
- Aleksandrova V.D. 1980. The Arctic and Antarctic: their division into geobotanical areas. Cambridge, London, New York. 247 p.
- Andreev M.P., Kotlov Yu.V., Makarova I.I. 1996. Checklist of the lichens and lichenicolous fungi of the Russian Arctic – The Bryologist. 99 (2): 137–169. <https://doi.org/10.2307/3244545>.
- Dorogostaiskaya E.V. 1959. O smenakh rastitel'nosti v svyazi s termokarstom na severe Yakutii [On changes in vegetation due to thermokarst in the north of Yakutia] – In: Izvestiya Sibirskogo otdeleniya AN SSSR. 12: 91–100.
- Farquharson L., Mann D.H., Grosse G., Jones B.M., Romanovsky V. 2016. Spatial distribution of thermokarst terrain in Arctic Alaska – Geomorphology. 273: 116–133. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.08.007>.
- Fraser R.H., Kokelj S.V., Lantz T.C., McFarlane-Winchester M., Olthof I., Lacelle D. 2018. Climate sensitivity of High Arctic permafrost terrain demonstrated by widespread ice-wedge thermokarst on Banks Island – Remote Sensing. 10 (6). Paper number: 954. <https://doi.org/10.3390/rs10060954>.
- Frost G.V., Christopherson T., Jorgenson M.T., Liljedahl A.K., Macander M.J., Walker D.A., Wells A.F. 2018. Regional patterns and asynchronous onset of ice-wedge degradation since the mid-20th century in Arctic Alaska – Remote Sensing. 10 (8). Paper number: 1312. <http://doi.org/10.3390/rs10081312>.
- Gorodkov B.N. 1956. The vegetation and soils of the Kotelny island (the New Siberian archipelago) – In: The vegetation of the Far North of the USSR and its utilization. 2: 7–132 (In Russ.).
- Ignatov M.S., Afonina O.M. 1992. Check-list of mosses of the former USSR – Arctoa. 1: 1–85 (In Russ.). <https://doi.org/10.15298/arctoa.01.01>.
- IPNI: The International Plant Names Index. 2021. <http://www.ipni.org> (Accessed 18.02.2022).
- Isachenko T.I. 1969. The structure of the vegetational cover and mapping – Geobotanicheskoe kartografirovaniye. Leningrad. P. 20–32 (In Russ.). <https://doi.org/10.31111/geobotmap/1969.20>.
- Kholod S.S. 1989. The large-scale mapping as a method of detailed study of the vegetation structure (at the instance of Arctic tundra of the Wrangel Island) – Geo-

- botanicheskoe kartografirovaniye. Leningrad. P. 61–71 (In Russ.).
<https://doi.org/10.31111/geobotmap/1989.61>.
- Kholod S.S. 2007. Classification of the Wrangel Island vegetation – *Rastitel'nost' Rossii*. 11: 3–135 (In Russ.).
<https://doi.org/10.31111/vegrus/2007.11.3>.
- Kholod S.S. 2014. Vegetation and permafrost relief in Wrangel Island – *Komarovskiye chteniya*. Vladivostok. 62: 241–313 (In Russ.).
- Kruchinin Yu.A. 1963. Fiziko-geograficheskiye nablyudeniya na ostrove Kotel'nom [Physical and geographical observations on the Kotelny Island] – In: *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo NII*. 224: 143–165 (In Russ.).
- Kruse S., Gerdes A., Kath N.J., Epp L.S., Stoof-Leichsenring K.R., Pestryakova L.A., Herzsuh U. 2019. Dispersal distances and migration rates at the arctic treeline in Siberia – a genetic and simulation-based study – *Biogeosciences*. 16 (6): 1211–1224.
<http://doi.org/10.5194/bg-16-1211-2019>.
- Lara M.J., Chipman M.L., Hu F.S. 2019. Automated detection of thermoerosion in permafrost ecosystems using temporally dense Landsat image stacks – *Remote Sensing of Environment*. 221: 462–473.
<http://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.034>.
- Lavrinenko I.A. 2020. Typology and syntaxonomic composition of vegetation territorial units: novel approach suggested with the case study of Arctic marshes – *Rastitel'nost' Rossii*. 39: 100–148 (In Russ.).
<https://doi.org/10.31111/vegrus/2020.39.100>.
- Lewkowicz A.G., Way R.G. 2019. Extremes of summer climate trigger thousands of thermokarst landslides in a High Arctic environment – *Nature Communications*. 10. Paper number: 1329.
<http://doi.org/10.1038/s41467-019-09314-7>.
- Matveyeva N.V. 1998. Zonation in plant cover of the Arctic. Saint-Petersburg. 220 p. (In Russ.).
- Moon T.A., Overeem I., Druckenmiller M., Holland M., Huntington H., Kling G., Lovecraft A.L., Miller G., Scambos T., Schadel C. et al. 2018. The expanding footprint of rapid Arctic change – *Earths Future*. 7 (3): 212–218.
<http://doi.org/10.1029/2018EF001088>.
- Overland J.E., Wang M.Y., Box J.E. 2019. An integrated index of recent Pan-Arctic climate change – *Environmental Research Letters*. 14 (3). Paper number: 035006.
<http://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf665>.
- Pastick N.J., Jorgenson M.T., Goetz S.J., Jones B.M., Wylie B.K., Minsley B.J., Genet H., Knight J.F., Swanson D.K., Jorgenson J.C. 2019. Spatiotemporal remote sensing of ecosystem change and causation across Alaska – *Global Change Biology*. 25 (3): 1171–1189.
<http://doi.org/10.1111/gcb.14279>.
- Prevey J.S., Rixen C., Ruger N., Hoye T.T., Bjorkman A.D., Myers-Smith I.H., Elmendorf S.C., Ashton I.W., Cannone N., Chisholm C.L. et al. 2019. Warming shortens flowering seasons of tundra plant communities – *Nature Ecology & Evolution*. 3 (1): 45–52.
<http://doi.org/10.1038/s41559-018-0745-6>.
- Selroos J.O., Cheng H., Vidstrand P., Destouni G. 2019. Permafrost thaw with thermokarst wetland-lake and societal-health risks: dependence on local soil conditions under large-scale warming – *Water*. 11 (3). Paper number: 574. <http://doi.org/10.3390/w11030574>.
- Steedman A.E., Lantz T.C., Kokelj S.V. 2017. Spatio-temporal variation in high-centre polygons and ice-wedge melt ponds, Tuktoyaktuk Coastlands, Northwest Territories – *Permafrost and Periglacial Processes*. 28 (1): 66–78.
<http://doi.org/10.1002/ppp.1880>.
- Sumina O.I. 1975. Vegetation of the baydzherakhs of the Kotelny Island (New Siberian Islands) – *Bot. Zhurn.* 60 (9): 1311–1319 (In Russ.).
- Sumina O.I. 1976. Peculiarities of vegetation of hillocks-baydzherakhs with respect to their geographical distribution – *Bot. Zhurn.* 61 (5): 682–690 (In Russ.).
- Sumina O.I. 1977a. *Rastitel'nost' massivov baydzharakhov o. Kotel'nogo (Novosibirskie ostrova). K izucheniyu neodnorodnosti rastitel'nogo pokrova v tundrovoy zone [Vegetation of the baydzherakhs' massifs of the Kotelny Island (New Siberian Islands). To the study of vegetation heterogeneity in tundra zone]: Abstr. Diss. ... Kand. Sci. Leningrad. 21 p. (In Russ.)*.
- Sumina O.I. 1977b. *Rastitel'nost' massivov baydzharakhov o. Kotel'nogo (Novosibirskie ostrova). K izucheniyu neodnorodnosti rastitel'nogo pokrova v tundrovoy zone. [Vegetation of the baydzherakhs' massifs of the Kotelny Island (New Siberian Islands). To the study of vegetation heterogeneity in tundra zone]: Diss. ... Kand. Sci. Leningrad. 215 p. (In Russ.)*.
- Sumina O.I. 1977c. *Opyt izucheniya territorial'nykh yedinit' rastitel'nosti v tundrovoy zone na primere rastitel'nosti baydzharakhov o. Kotel'nogo [The experience of studying of the territorial units of vegetation in the tundra zone on the example of baydzherakhs' vegetation of the Kotelny Island] – In: Tezisy dokladov VVsesoyuznogo Soveshchaniya po klassifikatsii rastitelnosti. Novosibirsk. P. 80–82 (In Russ.)*.
- Sumina O.I. 1979. *Rastitel'nost' baydzharakhov v okrestnostyakh bukhty Marii Pronchishchevoy (Severo-Vostochnyy Taymyr) [Vegetation of baydzherakhs in the vicinity of Mariya Pronchishcheva Bay (northeast of the Taymyr Peninsula)] – In: Arkticheskiye tundry i polyarnye pustyni Taymyra. Leningrad. P. 118–132 (In Russ.)*.
- Sumina O.I. 2020. Classification of vegetation of baydzharakh massifs in two sites of the arctic tundra subzone in the Siberian sector of the Russian Arctic – *Rastitel'nost' Rossii*. 39: 75–99 (In Russ.).
<https://doi.org/10.31111/vegrus/2020.39.75>.
- Tikhomirov B.A. 1959. *O proiskhozhdenii bugrov-baydzharakhov v svyazi s termokarstom i dinamikoy rastitel'nosti na severe Sibiri [On the origin of baydzherakhs-hillocks in connection with thermokarst and vegetation dynamics in the North of Siberia] – In: Materialy po obshchemu merzlotovedeniyu. Moscow. P. 162–167 (In Russ.)*.