

ТИПИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ТЕРМОКАРСТОВЫХ МАССИВОВ ОСТРОВА КОТЕЛЬНОГО (НОВОСИБИРСКИЕ ОСТРОВА)

© 2023 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 21.06.2022 г.

После доработки 06.02.2023 г.

Принята к публикации 28.02.2023 г.

В Арктике таяние многолетней мерзлоты и подземных льдов — одна из современных проблем, требующая постоянного мониторинга. В районах распространения мощных полигонально-жильных льдов вследствие термокарста возникают территории, занятые группами бугров-останцов, разделенных ложбинами-просадками на месте вытаявших ледяных жил. Растительность подобных участков (массивов) представлена территориальными единицами первых уровней размерности с внутри- (мозаичность сообществ) и надфитоценотической (микро- и мезокомбинации: комплексы, их совокупности и ряды) гетерогенностью. Форма, размеры и растительность бугров и ложбин изменяются под влиянием термоденудации, меняется и растительность массива в целом, поэтому она может служить индикатором активности процессов, формирующих массив. Термокарстовый рельеф характерен для ландшафтов Новосибирских островов. По данным описаний 38 массивов, сделанных на о. Котельный в 1974–1975 гг., впервые проведена их типизация как территориальных единиц растительности. Всего выделено и охарактеризовано 7 типов массивов, относящихся к 2 классам: собственно массивы байджарахов (с минеральными буграми) и массивы с торфяными буграми (включает 1 тип массивов). Первый класс объединяет 2 группы типов: слабодифференцированные массивы (микрокомбинации) и дифференцированные массивы (мезокомбинации). В первой группе — 2 типа массивов, во второй — 4. Выделенные типы массивов байджарахов соответствуют последовательным этапам трансформации массива. Гетерогенность растительности массива со временем усложняется, а при его разрушении вновь упрощается: зачаточные массивы представлены микрокомбинациями, группа развитых (дифференцированных) массивов — мезокомбинациями, разрушающиеся массивы — микрокомбинациями. Разработанная типология массивов байджарахов удобна для практической работы и использования при дистанционном мониторинге состояния криолитозоны в целях оценки интенсивности термокарста в различающихся по флоре и растительности районах Арктики.

Ключевые слова: термокарст, байджарахи, торфяники, гетерогенность растительности, территориальные единицы, фитоценохоры, Арктика

DOI: 10.31857/S0006813623030110, **EDN:** VRLVQO

Климатические изменения и связанная с ними активизация термокарста и других процессов термоденудации, отмечаемые в последние годы в Арктике (Mel'nikov, Drozdov, 2015; Fraser et al., 2018; Frost et al., 2018; Lara et al., 2019; Lewkowicz, Way, 2019; Selroos et al., 2019; Vasil'ev et al., 2020), могут привести к непредсказуемому каскаду экологических последствий (Fraser et al., 2018). Термокарст в районах распространения подземных льдов становится причиной разрушения зданий, дорог, трубопроводов и других сооружений. В результате таяния мощных полигонально-жильных льдов дневная поверхность над ними проседает и

образуется сеть ложбин, оконтуривающих бугры-останцы из вмещавших льды отложений. Такие бугры, сложенные минеральным грунтом, называют байджарахами. Они всегда встречаются группами, вместе с ложбинами образуя массив байджарахов — хорошо отграниченный от окружающей тундры участок со сложным растительным покровом, гетерогенность которого проявляется на внутри- и надфитоценотическом уровнях: от мозаики микрогруппировок в пределах сообществ отдельных бугров или ложбин (Sumina, 1977b, 1979) до сложной комплексности целых массивов (Sumina, 2022). Растительность массива



Рис. 1. Байджарахи, о. Котельный, 1974 г.

Fig. 1. Baydzharakhs, Kotelnny Island, 1974.

вов байджарахов — образец фитоценохор первых уровней размерности. Иерархическая схема ее гетерогенности (Sumina, 1977a, b, 2022) включает следующие уровни: 1) микрогруппировки на элементах нанорельефа; 2) сообщества элементов микрорельефа (бугров и ложбин); 3) комплексы сообществ (растительность элементарных массивов); 4) сочетания комплексов (растительность массивов в целом). Форма и растительность отдельных бугров и ложбин изменяются под воздействием термоденудации, при этом меняется и растительный покров целых массивов (Sumina, 1975, 1977a, b, 2020). Территорию любого из них можно разделить на “элементарные массивы” — участки с однотипными буграми и соответствующими им ложбинами (одного или нескольких типов)¹ — в пределах которых начало, скорость и интенсивность термоденудации примерно одинаковы. Каждый элементарный массив — это двучленный или многочленный комплекс — единица уровня микрокомбинации (Isachenko, 1969). Обычно массив байджарахов объединяет несколько элементарных массивов и представляет собой совокупность комплексов или их поясной ряд, т.е. мезокомбинацию (Isachenko, 1969).

Растительность массива байджарахов — индикатор активности формирующих его процессов термоденудации (Sumina, 2020), поэтому в рамках решения актуальной проблемы мониторинга состояния криолитозоны России (Brushkov et al., 2020) может быть привлечена типизация массивов байджарахов, что позволит сравнивать их в разных районах Арктики.

Задача данной работы, продолжающей ранее опубликованный (Sumina, 2022) анализ гетерогенности растительного покрова массивов бай-

джарахов, — создание их типологии как территориальных единиц растительности на примере массивов о. Котельный.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу статьи легли материалы, собранные 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.) в 1974–1975 гг. Район исследований входит в Восточносибирскую провинцию северной полосы подобласти арктических тундр (Aleksandrova, 1980). Зональная растительность — полигональные мохово-лишайниковые арктические тундры (Kruchinin, 1963) с общим проективным покрытием не более 50%: пятна голого грунта окружены мохово-лишайниковой дерниной, в которой преобладают мхи *Ditrichum flexicaule*², *Sanionia uncinata*, *Hylocomium splendens*, лишайники *Thamnolia vermicularis*, *Cetraria ericetorum*, *Flavocetraria cucullata*, *Peltigera rufescens*, *Dactylina arctica* и др. Из сосудистых растений доминирует *Salix polaris*, с ивой содоминируют: *Alopecurus alpinus*, *Luzula confusa*, *Poa alpigena*, *Deschampsia borealis*; обычны *Oxyria digyna*, *Papaver polare*, *Potentilla hyparctica*, *Saxifraga cespitosa* и др. (Sumina, 1977b).

Термокарстовые формы рельефа характерны для ландшафтов Новосибирского архипелага. На о. Котельный массивы байджарахов распространены на водоразделах, по склонам долин рек, ручьев и оврагов, на термоабразионных морских берегах (рис. 1). Кроме того, в широких долинах рек и крупных ручьев встречаются нарушенные термокарстом древние торфяники (рис. 2); некоторые геоморфологи считают их “плосковершинными байджарахами, сложенными торфянистыми отложениями” (Sisko, 1968: 131).

Всего обследовано около 40 термокарстовых массивов (байджарахов и торфяников) площадью 750–10000 м², в которых от 25 до 70% территории занимают бугры (высотой 0.5–5.0 м и диаметром в основании 3–10 м), окруженные ложбинами шириной 2–10 м.

Описание конкретного массива включало: данные о его размерах, положении в рельефе, соотношении площадей бугров и ложбин, особенностях их растительности, наличии термокарстовых водоемов (челбаков)³ и особых отличительных признаков. Для ряда массивов составляли картосхемы растительности методом инструментально-глазомерной съемки в масштабе 1 : 500.

² Названия видов мхов приведены по М.С. Игнатову и О.М. Афонину (Ignatov, Afonina, 1992), лишайников — по М.П. Андрееву с соавторами (Andreev et al., 1996), сосудистых растений — по International Plant Names Index (IPNI, 2021).

³ “Челбак” — название термокарстовых водоемов, распространенное на Новосибирских островах (Gorodkov, 1956; Sisko, 1968).

¹ Типизация сообществ бугров и ложбин опубликована ранее (Sumina, 1977a, b, 2020).



Рис. 2. Плоскобугристый торфяник, о. Котельный, 1974 г.
Fig. 2. Flat-mound peatland, Kotelnny Island, 1974.

Характеризуя растительный покров массива, в качестве основной единицы принимали растительные сообщества бугров и ложбин. Для первых геоботанические описания делали в их границах, для вторых — на прямоугольных площадках около 30 м², что совпадало со средней площадью бугров. В описании отмечали: положение бугра (или ложбины) в пределах массива, увлажнение, особенности нанорельефа, процент пятен грунта или иных эродированных участков и степень их зарастания, физиономические черты сообщества, общее проективное покрытие, проективное покрытие сосудистых растений, мхов и лишайников, проективное покрытие каждого вида.

В дальнейшем была проведена типизация растительных сообществ бугров и ложбин (Sumina, 1977a, b) по эколого-фитоценологическому принципу и выделено 10 и 8 типов сообществ соответственно (табл. 1). Выделенные типы бугров можно рассматривать как ряд стадий их преобразований под влиянием термоденудации (Sumina, 1977a, b, 2020, 2022): тундровый (моховой или лишайниковый) → тундровый эродированный → конусовидный эродированный → разнотравно-лишайниковый → нивальный (это последняя стадия разрушения бугра, рис. 3). На пологих склонах процесс идет несколько иначе: бугры полностью не разрушаются, а зарастают травами — так формируются бугры луговинного типа. Сообщества торфяных бугров относятся к 3 типам, которые образуют следующий ряд: вейниково-моховой → разнотравно-вейниковый → торфяной эродированный.

При типизации массивов основным критерием было разнообразие типов сообществ бугров и ложбин, отражающее гетерогенность его растительности (наличие одного или нескольких элементарных массивов) и степень развития термоденудации. В один тип объединяли массивы с близким набором растительных сообществ буг-

ров и ложбин; сходным образом расположенные в рельефе (на водоразделах, склонах, в долинах); характеризующиеся примерно одинаковой стадией денудации.

Геоботанические названия сложных территориальных единиц растительности формируются по-разному, но, как правило, они довольно громоздки (Lavrinenko, 2020). Называя типы массивов, мы отказались от геоботанических наименований, так как разделяем мнение, что “название — это символ, а не определение” (Kuminova, 1974: 32) — оно должно указывать на основные признаки объекта. При наименовании типов массивов использовали следующий подход: название дается по типу сообществ бугров, характерному для данных массивов, либо сохраняется то название, под которым подобные массивы ранее были описаны в литературе. Использование краткого, а не полного геоботанического названия типов со-

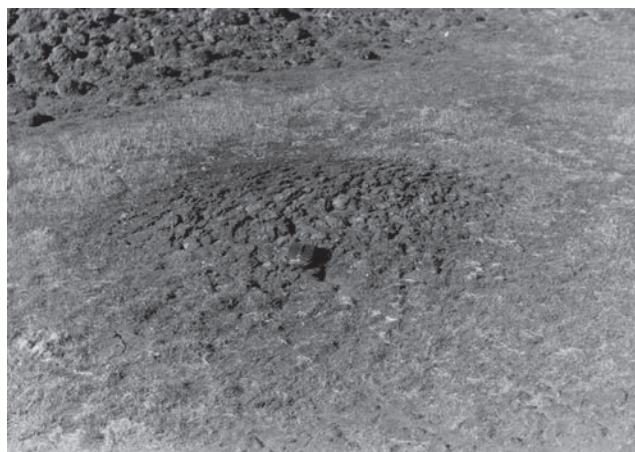


Рис. 3. Последняя стадия разрушения байджараха — размытый нивальный бугор.
Fig. 3. The last stage of the baidzharakh destruction — a washed-out nival mound.

Таблица 1. Типы сообществ бугров и ложбин: основные характеристики
Table 1. Types of thermokarst mound and trench communities: main parameters

Название типа сообществ Name of community type	Краткое название типа Short name of type	Проективное покрытие, % Plant cover, %					Внутриценоотическая гетерогенность Intraphytocenotic heterogeneity
		Общее Total	Сосудистые Vascular plants	Мхи Mosses	Лишайники Lichens		
					Все All lichens	Накипные Crustose	
Бугры / Thermokarst mounds							
Ожиково-злаково-ивково-лишайниково-моховой Mosses-lichens- <i>Salix polaris-Alopecurus alpinus-Luzula confusa</i>	Тундровый моховой Tundra-like with mosses dominating	50–60	30–40	40–50	10–20	10–15	РЦМ
Пестроразнотравно-лисохвостово-ивково-лишайниковый Lichens- <i>Salix polaris-Alopecurus alpinus</i> -forbs	Тундровый лишайниковый Tundra-like with lichens dominating	60–70	30–50	5–20	50	40–45	РЦМ
Пестроразнотравно-злаково-лишайниковый эродированный Lichens-graminoids-forbs, eroded	Тундровый эродированный Eroded tundra-like	20–30	7–20	1–5	3–15	3–15	СПМ
Разнотравно-злаково-эпигейнолишайниковый эродированный Crustose lichens-graminoids-forbs, eroded	Конусовидный эродированный Eroded conical	35–40	5–15	5–10	15–35	15–35	МРМ
Разнотравно-фиппсиево-эпигейнолишайниковый Crustose lichens- <i>Phippsia algida</i> -forbs	Нивальный Nival community-like	70–80	20–30	15–20	40–50	40–50	НМ
Ожиково-ивково-кисличниково-злаково-лишайниковый Lichens-graminoids- <i>Oxyria digyna-Salix polaris-Luzula confusa</i>	Луговинный Meadow-like	60–80	50	10–40	30–50	20–40	НМ
Пестроразнотравно-эпигейнолишайниковый Crustose lichens-forbs	Разнотравно-лишайниковый Forbs and lichens dominating	60–80	20–30	20–25	50–70	45–60	НМ
Ивово-вейниково-ожиково-лишайниково-моховой Mosses-lichens- <i>Luzula nivalis-Calamagrostis holmii-Salix polaris</i>	Вейниково-моховой Mosses and <i>Calamagrostis holmii</i> dominating	50–95	50–60	40–90	15–40	15–30	НМ
Пестроразнотравно-вейниково-лишайниковый Lichens- <i>Calamagrostis holmii</i> -forbs	Разнотравно-вейниковый Forbs and <i>Calamagrostis holmii</i> dominating	40–70	20–40	5–25	20–50	20–40	НМ
Разнотравно-вейниково-лишайниковый эродированный Lichens- <i>Calamagrostis holmii</i> -forbs, eroded	Торфяной эродированный Peat eroded	20	3–5	+	20	15	СПМ

Таблица 1. Окончание

Название типа сообществ Name of community type	Краткое название типа Short name of type	Проективное покрытие, % Plant cover, %					Внутриценогическая гетерогенность Intraphytocenotic heterogeneity
		Общее Total	Сосудистые Vascular plants	Мхи Mosses	Лишайники Lichens		
					Все All lichens	Накрупные Crustose	
Ложбины / Trenches							
Лисохвостово-ивково-лишайниково-моховой Mosses-lichens- <i>Salix polaris-Alopecurus alpinus</i>	Лисохвостовый тундровый Tundra-like with <i>Alopecurus alpinus</i>	60—100	40—55	50—95	15—50	7—30	РЦМ
Лисохвостово-ожиково-ивково-лишайниково-моховой Mosses-lichens- <i>Salix polaris-Luzula confusa-Alopecurus alpinus</i>	Ожиковый тундровый Tundra-like with <i>Luzula confusa</i>	60—100	30—60	60—95	10—55	7—45	РЦМ
Лисохвостово-моховой Mosses- <i>Alopecurus alpinus</i>	Лисохвостовый <i>Alopecurus alpinus</i> dominating	90—100	20—50	80—100	7—20	7—20	НМ
Кисличниково-моховой Mosses- <i>Oxyria digyna</i>	Кисличниковый <i>Oxyria digyna</i> dominating	90—100	20—50	90—95	15—30	15—30	НМ
Злаково-пестроразнотравно-мохово-эпигейнолишайниковый Crustose lichens-mosses-forbs-graminoids	Разнотравно-лишайниковый Forbs and lichens dominating	95	30—50	45—70	30—60	30—60	НМ
Фиппсиево-разнотравно-эпигейнолишайниковый Crustose lichens-forbs- <i>Phippsia algida</i>	Нивальный Nival community-like	15—20	5	7—10	2—7	2—7	НМ
Разнотравно-моховой Mosses-forbs	Челбачный Chelbaks	100	7—15	100	+	+	ГП
Дюпонциево-моховой Mosses- <i>Dupontia fisheri</i>	Дюпонциевый <i>Dupontia fisheri</i> dominating	95—100	30—40	95—100	—	—	ГП

Примечание: Названия типов мозаичности приведены по Н.В. Матвеевой (Matveyeva, 1998): РЦМ – Регулярно-циклическая мозаика; СПМ – Спорадично-пятнистая мозаика; НМ – Нерегулярная мозаика; МРМ – Микропоясный ряд микрогруппировок; ГП – гомогенный покров.

Note. The types of mosaic according to Matveyeva (1998): РЦМ – Regular-cyclic mosaic; СПМ – Sporadically spotted mosaic; НМ – Irregular mosaic; МРМ – Micro-belt row of patches; ГП – Homogeneous cover.

обществ бугров (табл. 1) удобнее с практической точки зрения. С одной стороны, оно проще и подчеркивает, как уже сказано, основную их особенность; с другой – применение предложенного подхода другими исследователями могло бы облегчить сравнение массивов из разных районов Арктики. Анализ литературы показывает, что в разных районах байджарахи обладают внешним

сходством. Авторы публикаций чаще всего описывают бугры с тундровой дерниной, растительностью луговинного типа и эродированные⁴. В то же время, сообщества бугров, относящиеся к одной стадии развития (например, луговинные), по видовому составу в разных районах могут суще-

⁴ По нашим наблюдениям, физиономическое сходство есть и у сообществ ложбин (Sumina, 1976, 2020).

ственно различаться, так что по геоботаническим названиям, учитывающим локальные особенности, не всегда можно судить о сходстве позиции сообществ в динамическом ряду (т.е. о степени развития термоденудации).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Термокарстовые массивы острова Котельного (табл. 2) образуют 2 крупных кластера (классы типов массивов): собственно массивы байджарахов и массивы с торфяными буграми. Различаются они по набору типов сообществ бугров и ложбин, что зависит от субстрата (минерального грунта или торфа). Первый из классов включает 2 группы типов массивов байджарахов: слабодифференцированные (дву- или многочленные комплексы, т.е. микрокомбинации) и дифференцированные (поясные ряды комплексов или их совокупности — мезокомбинации). Группы типов массивов различаются, в первую очередь, по разнообразию сообществ бугров. Массивы из первой группы образованы буграми одного типа, т.е. совпадают с элементарным массивом; сообщества ложбин в них представлены 1–2 типами, причем один из них сходен с растительностью бугров. Такие массивы соответствуют либо началу термокарста, либо последней стадии разрушения массива. Вторая группа типов объединяет массивы с более сложной гетерогенностью растительного покрова, состоящие из нескольких элементарных.

Ниже приведены систематический перечень и описания выделенных типов массивов.

Термокарстовые массивы о. Котельного:

Класс типов массивов: Собственно массивы байджарахов

Группа типов массивов: Слабодифференцированные массивы

Тип массивов:

1. Зачаточный массив
2. Массив с нивальными буграми

Группа типов массивов: Дифференцированные массивы

Тип массивов:

3. Массив с тундровыми эродированными буграми
4. Термокарстовый комплекс
5. Байджараховый цирк
6. Массив с луговинными буграми

Класс типов массивов: Массивы с торфяными буграми

Тип массивов:

7. Плоскобугристый торфяник⁵

Класс типов массивов: Собственно массивы байджарахов

Группа типов: Слабодифференцированные массивы
(табл. 2, 3)

1. Зачаточный массив

Такие массивы в литературе были описаны как начальная стадия их формирования: “зачаточные, эмбриональные байджарахи” (Tikhomirov, 1956, 1959; Mitt, 1959; Karavaeva, 1965). Иначе их можно назвать “массивы с тундровыми буграми” (Sumina, 1977a, b), так как последние представляют собой инициальный этап образования бугров. Такие массивы приурочены к водоразделам и пологим (5–10°) склонам речных долин, встречаясь преимущественно в их верхней части (Mitt, 1959; Sisko, 1968; Sumina, 1977b). Характерно наличие сообществ бугров 1 типа (тундрового мохового или тундрового лишайникового) и ложбин 1–2 типов (лисохвостового тундрового или ожикового тундрового, а также лисохвостового). Невысокие (0.5–0.8 м) бугры диаметром 5–8 м занимают около 40–50% площади массива. Ложбины по характеру растительности мало отличаются от них. Данный тип массивов широко распространен в районе исследований.

2. Массив с нивальными буграми

В литературе подобные массивы не описаны, это заключительная стадия их разрушения. Массивы этого типа приурочены к небольшим глубоким оврагам. Общий вид массива определяют темно-серые нивальные бугры и такие же нивальные ложбины. Сообщества бугров — 1 типа, ложбин — 2 (нивального и кисличникового). На бугры (высота 0.4–1.0 м, диаметр 4–7 м) приходится 25–50% площади. В районе исследований этот тип массивов встречается редко, нами был отмечен только дважды.

Группа типов: Дифференцированные массивы
(табл. 2, 4)

3. Массив с тундровыми эродированными буграми

Похожие массивы были описаны на Восточном Таймыре в районе бухты Прончищевой (Sumina, 1979); это следующая, после зачаточного

⁵ Плоскобугристыми называют торфяники различного генезиса, в данной статье мы рассматриваем только те, которые образовались вследствие термокарста.

Таблица 2. Выделение типов массивов с учетом набора сообществ бугров и ложбин
Table 2. Massif types identification taking into account the set of mound and trench communities.
(The names of the massif types, and mound and trench communities in English see in the Note, under the letters A–G and numbers 1–18)

Название типа массивов Name of the massif type	Зачатоchnый массив (A)					Массив с луговинными буграми (B)					Массив с тундровыми эродированными буграми (C)					Термокарстовый комплекс (D)					Байджаракховый цирк (E)					Массив с нивальными буграми (F)					Плоскобугристый торфяник (G)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38		
Типы сообществ бугров / Types of the thermokarst mound communities																																								
Тундровый моховой (1) Тундровый лишайниковый (2) Тундровый эродированный (3) Конусовидный эродированный (4) Нивальный (5) Луговинный (6) Разнотравно-лишайниковый (7) Вейниково-моховой (8) Разнотравно-вейниковый (9) Торфяной эродированный (10)	+	+	+	+																																				
						+			+	+			+	+							+																			
								+	+				+	+																										
Типы сообществ ложбин / Types of the trench communities																																								
Лисохвостовый тундровый (11) Ожиковый тундровый (12) Лисохвостовый (13) Кисличниковый (14) Разнотравно-лишайниковый (15) Нивальный (16) Челбачный (17) Дюпониевый (18) Число типов бугров Number of mound types Число типов ложбин Number of trench types	+	+	+	+	+	+																																		

Note: Names of massif types: (A) – Embryonal massif; (B) – Massif with meadow-like mounds; (C) – Massif with eroded tundra-like mounds; (D) – Thermokarst complex; (E) – Baidzharakh circus; (F) – Massif with nival community-like mounds; (G) – Massif with flat peat mounds. Names of mound and trench communities: (1) – Tundra-like with mosses dominating; (2) – Tundra-like with lichens dominating; (3) – Eroded tundra-like; (4) – Eroded tundra-like; (5) – Nival community-like; (6) – Meadow-like; (7) – Forbs and lichens dominating; (8) – Mosses and *Calamagrostis holmii* dominating; (9) – Forbs and *Calamagrostis holmii* dominating; (10) – Peat eroded; (11) – Tundra-like with *Alopecurus alpinus*; (12) – Tundra-like with *Luzula confusa*; (13) – *Alopecurus alpinus* dominating; (14) – *Oxyria digyna* dominating; (15) – Forbs and lichens dominating; (16) – Nival community-like; (17) – Chelbaks; (18) – *Dupontia fisheri* dominating.

Таблица 3. Основные характеристики массивов байджарахов, входящих в группу типов “Слабодифференцированные массивы”**Table 3.** Main parameters of the baidzharakh massifs belonging to the group of types “Weakly differentiated massifs”

Тип массивов Type of massifs	Зачаточный массив Embryonal massif				Массив с нивальными буграми Massif with nival community-like mounds	
№ массива в Таблице 2 № of the massif in Table 2	1	2	3	4	28	29
Площадь массива, м ² Massif area, m ²	1750	1200	3500	10000	1500	1500
Площадь бугров, % Area of thermokarst mounds, %	40	40	40	50	25	50
Типы сообществ бугров, % / Types of the thermokarst mound communities, %						
Тундровый моховой Tundra-like with mosses dominating	100	100	100	100		
Нивальный Nival community-like					100	100
Типы сообществ ложбин, % / Types of the trench communities, %						
Лисохвостовый тундровый Tundra-like with <i>Alopecurus alpinus</i>	50	60	60	70		
Ожиковый тундровый Tundra-like with <i>Luzula confusa</i>	50					
Лисохвостовый <i>Alopecurus alpinus</i> dominating		40	40	30		
Кисличниковый <i>Oxyria digyna</i> dominating					5	30
Нивальный Nival community-like					95	70
Число типов бугров Number of mound types	1	1	1	1	1	1
Число типов ложбин Number of trench types	2	2	2	2	2	2

массива, стадия развития термокарста. Массивы этого типа приурочены к умеренно крутым (10–15°) склонам. Характерны тундровые эродированные бугры; благодаря светлому незадернованному суглинку на их вершинах массивы хорошо видны издалека. Сообщества бугров представлены 2 типами (тундровым лишайниковым и тундровым эродированным), ложбин – 2–4 (обычны лисохвостовый тундровый и лисохвостовый типы). На бугры высотой 1.0–1.2 м и диаметром 6–8 м приходится 40–50% площади. Элементарные массивы, в зависимости от их расположения, образуют совокупность комплексов или короткий поясной ряд комплексов (тогда в верхней части

склона находятся тундровые лишайниковые бугры, а тундровые эродированные – ниже). Этот тип массивов широко распространен в районе исследований.

4. Термокарстовый комплекс

Под этим названием В.Д. Александрова (Alexandrova, 1963, 1968) описала такие массивы на о. Большой Ляховский; упоминаются они и в работах других исследователей (Gorodkov, 1956; Kruchinin, 1963; Mikhaylov, 1971). Первоначально мы называли этот тип “челбачный массив” (Sumina, 1977b), чтобы подчеркнуть его особенность

Таблица 4. Основные характеристики массивов байджарахов, входящих в группу типов “Дифференцированные массивы”
Table 4. Main parameters of the baidzharakh massifs belonging to the group of types “Differentiated massifs”

Тип массивов Type of massifs	Массив с луговинными буграми Massif with meadow-like mounds						Массив с тундровыми эродированными буграми Massif with eroded tundra-like mounds				Термокарстовый комплекс Thermokarst complex				Байджараховый цирк Baidzharakh circus		
	7	8	9	10	12		13	14	17		22	20	21	24	26	27	25
№ массива в Таблице 2 № of the massif in Table 2	3000	10000	1500	1500	6500		5000	3500	5000		2000	900	750	4200	2500	1900	17000
Площадь массива, м ² Massif area, m ²	30	35	45	40	35		40	40	50		40	30	40	40	40	30	45
Площадь бугров, % Area of thermokarst mounds, %	Типы сообществ бугров, % / Types of the thermokarst mound communities, %																
Тундровый лишайниковый Tundra-like with lichens dominating	30	55	45	75	35		40	50	5					25			
Тундровый эродированный Eroded tundra-like					30		60	50	95		80	80	55	20	30	30	5
Конусовидный эродированный Eroded conical											20	20	45	10	40	20	90
Нивальный/Nival community-like														45	30	50	5
Луговинный/Meadow-like	70	45	55	25	30												
Разнотравно-лишайниковый Forbs and lichens dominating					5												
Типы сообществ ложбин, % / Types of the trench communities, %																	
Ожиковый тундровый Tundra-like with <i>Luzula confusa</i>	40	85	45	5	35		10		10								
Лисохвостовый тундровый Tundra-like with <i>Alopecurus alpinus</i>				5	50		20	90									
Лисохвостовый <i>Alopecurus alpinus</i> dominating	60	15	40	40	10		15	10	90		40	50	50				
Кисличниковый <i>Oxyria digyna</i> dominating			15	50	5		55				50	30		30	15	5	50
Разнотравно-лишайниковый Forbs and lichens dominating											7						10
Челбачный/Chelbaks											3	20	50				
Нивальный/Nival community-like														70	85	95	40
Число типов бугров Number of mound types	2	2	2	2	4		2	2	2		2	2	2	4	3	3	3
Число типов ложбин Number of trench types	2	2	3	4	4		4	2	2		4	3	2	2	2	2	3



Рис. 4. Термокарстовый комплекс.

Fig. 4. Thermokarst complex.



Рис. 5. Байджараховый цирк.

Fig. 5. Baidzharakh circus.

и избежать возможной терминологической путаницы. Данные массивы приурочены к слабонаклонным поверхностям водоразделов. Характерно размещение массива в неглубокой (1–1.5 м) котловине с крутыми осыпающимися стенками, в центре которой вокруг термокарстового водоемачелбака, располагаются конусовидные эродированные бугры (рис. 4). По краю котловины всегда есть бугры, не оформившиеся до конца: одной стороной они причленяются к стенке котловины, их плоская вершина лежит вровень с окружающей тундрой. Обычно котловина не замкнута — на участке, где уклон поверхности больше, ее стенку размывают талые воды. Для массивов характерны конусовидные эродированные бугры и ложбины челбачного типа. Сообщества бугров представлены 2–3 типами (преимущественно это тундровый эродированный и конусовидный эродированный), ложбин — 3–5 (повсеместно представлены челбачный и лисохвостовый типы). Бугры высотой до 1.5 м и диаметром до 5 м занимают 30–40% площади. Массив включает несколько нерегулярно расположенных элементар-

ных массивов, которые формируют совокупность комплексов. Этот тип массивов довольно часто встречается в районе исследований.

5. Байджараховый цирк

Под этим названием массивы описаны в литературе (Sisko, 1968, 1971; Korotkevich, 1972 и др.), реже используется термин “термокарстовый цирк” (Kruchinin, 1963). Все авторы рассматривают такие массивы как пример максимального разрушения дневной поверхности процессами термоденудации, как наиболее развитую форму “байджарахового рельефа” (рис. 5). Массивы этого типа занимают крутые (более 15°) склоны округлых котловин термокарстового происхождения, поперечник которых составляет 50 м и более. По дну котловины сочится вода, которая, собираясь в ручей, прорезает стенку котловины и впадает в более крупный водоток. Если соседние котловины сливаются, массив занимает огромную территорию. Характерно максимальное разнообразие типов сообществ бугров (3–4) и лож-

Таблица 5. Основные характеристики массивов, входящих в класс типов “Массивы с торфяными буграми”
Table 5. Main parameters of the massifs belonging to the class of types “Massifs with peat mounds”

Тип массивов Type of massifs	Плоскобугристый торфяник Massif with flat peat mounds							
№ массива в Таблице 2 № of the massif in Table 2	30	31	32	33	34	35	38	37
Площадь массива, м ² Massif area, m ²	1500	2100	5000	4500	15000	7000	1750	2100
Площадь бугров, % Area of thermokarst mounds, %	60	55	65	65	40	50	65	70
Типы сообществ бугров, % / Types of the thermokarst mound communities, %								
Вейниково-моховой Mosses and <i>Calamagrostis holmii</i> dominating	95	90	50	70	52	80	25	20
Разнотравно-вейниковый Forbs and <i>Calamagrostis holmii</i> dominating	5	25	50	20	33	5		80
Торфяной эродированный Peat eroded		25	15	10	15	15	75	
Типы сообществ ложбин, % / Types of the trench communities, %								
Лисохвостовый тундровый Tundra-like with <i>Alopecurus alpinus</i>	50	13		65	10			
Лисохвостовый <i>Alopecurus alpinus</i> dominating	8	25	35	15	50	2	80	70
Кисличниковый <i>Oxyria digyna</i> dominating	40	35	10					
Челбачный Chelbaks	2	2	5					
Дюпонциевый <i>Dupontia fisheri</i> dominating		25	50	20	40	98	20	30
Число типов бугров Number of mound types	2	3	3	3	3	3	2	2
Число типов ложбин Number of trench types	4	5	4	3	3	2	2	2

бин (2–5) по сравнению с другими типами массивов. Облик массивов определяют крупные конусовидные эродированные (высотой до 5 м, диаметром до 12 м) и нивальные бугры. Среди типов сообществ ложбин преобладают нивальный и кисличниковый. Бугры занимают 30–45% площади массива и формируют наиболее полно и ясно выраженный пространственно-временной ряд, отражающий стадии их развития: от тундровых — до нивальных (Sumina, 2020, 2022). Эле-

ментарные массивы, полосами вытянутые поперек склона, образуют поясной ряд комплексов. Этот тип массивов широко распространен в районе исследований.

6. Массив с луговинными буграми

Как целое, такие массивы в литературе не описаны, хотя нередко упоминаются бугры-байджарахи, растительность которых близка к луго-

Таблица 6. Общие характеристики выделенных типов массивов байджарахов
Table 6. Main parameters of distinguished baidzharakh massif types

Тип массивов Type of massifs	Площадь, м ² Massif area, m ²	Площадь бугров, % Area of mounds, %	Число типов бугров Number of mound types	Число типов ложбин Number of trench types	Горизонтальная структура растительности Pattern of vegetation cover	Уровень гетерогенности Heterogeneity level
Зачаточный массив Embryonal massif	1200–10000	40–50	1	1–2	Дву- или много- членный ком- плекс Two- or multi- component com- plex	Микрокомби- нация Microcombina- tion
Массив с тунд- ровыми эроди- рованными буграми Massif with eroded tundra- like mounds	3500–5000	40–50	2	2–4	Поясной ряд комплексов или совокупность комплексов Belt row of com- plexes or aggregate of complexes	Мезокомбина- ция Mesocombina- tion
Термокарсто- вый комплекс Thermokarst complex	750–2000	30–40	2–3	2–5	Совокупность комплексов Aggregate of com- plexes	Мезокомбина- ция Mesocombina- tion
Байджарахо- вый цирк Baidzharakh circus	1900–17000	30–45	3–4	2–5	Поясной ряд комплексов Belt row of com- plexes	Мезокомбина- ция Mesocombina- tion
Массив с нивальными буграми Massif with nival community-like mounds	1500	25–50	1	2	Дву- или много- членный ком- плекс Two- or multi- component com- plex	Микрокомби- нация Microcombina- tion
Массив с луго- винными буграми Massif with meadow-like mounds	1500–10000	30–45	2–4	2–4	Поясной ряд комплексов или совокупность комплексов Belt row of com- plexes or aggregate of complexes	Мезокомбина- ция Mesocombina- tion

винному типу (Tikhomirov, 1938; Dorogostayskaya, 1959; Aleksandrova, 1963; Zanolka, 1995; Telyatnikov et al., 2017 и др.). Массивы данного типа соответствуют стадии затухания термокарста. Они встречаются на пологих склонах широких долин с

благоприятными условиями снеговой защиты и увлажнения, которые способствуют обильному разрастанию трав. Густой ярко-зеленый травостой на буграх хорошо заметен издали и определяет облик массивов. Сообщества бугров пред-

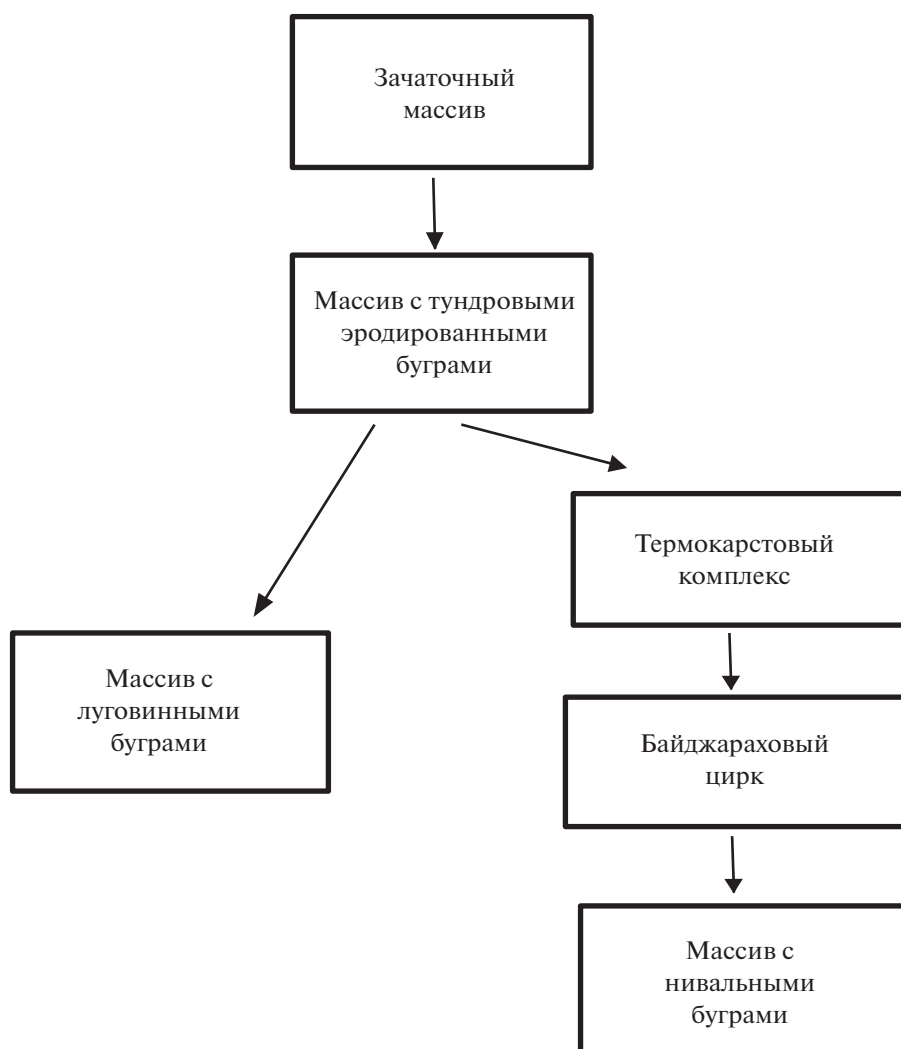


Рис. 6. Этапы развития массива байджарахов.

Fig. 6. Stages of baidzharakh massif development.

ставлены 2–4 типами (обычны луговинный и тундровый лишайниковый), ложбин — также 2–4 (преимущественно ожиковый тундровый, лисохвостовый и кисличниковый типы). На бугры высотой до 1.2 м и диаметром 4–7 м приходится 30–45% площади. Элементарные массивы располагаются довольно четкими полосами поперек склона (образуют поясной ряд комплексов), реже — нерегулярно (совокупность комплексов). Данный тип массивов в районе исследований встречается нечасто.

Класс типов массивов: Массивы с торфяными буграми (табл. 2, 5)

По признакам растительности торфяники хорошо отличаются от массивов байджарахов. Для них характерны сообщества влаголюбивых видов (*Dupontia fisheri*, *Eriophorum scheuchzeri*, *Caltha arctica*, *Arctophila fulva*, *Cardamine pratensis*, *Ranunculus hyperboreus*, *Saxifraga foliolosa*) в ложбинах и доми-

нирование *Calamagrostis holmii* и *Luzula nivalis* в сообществах торфяных бугров.

7. Плоскобугристый торфяник

Плоскобугристые торфяники подробно описаны Н.И. Пьявченко (P'yavchenko, 1955); для Новосибирских островов сведения о них приводят Б.Н. Городков (Gorodkov, 1956), В.Д. Александрова (Aleksandrova, 1966) и Р.К. Сиско (Sisko, 1968). Массивы этого типа приурочены к поймам рек, широким долинам ручьев и низким побережьям лагун. Их облик определяют столообразные торфяные бугры, которые, благодаря слагающему материалу, долго сохраняют свою форму. Наличие торфяных эродированных бугров с плоскими черно-коричневыми верхушками делает массивы заметными издали. Еще один физиономический признак — ярко-зеленый аспект ложбин дюпон-

циевого типа. В каждом массиве представлены 2–3 типа сообществ бугров (вейниково-моховой, разнотравно-вейниковый, торфяной эродированный) и 2–4 типа ложбин (чаще всего дюпоницевый и лисохвостовый). Торфяные бугры занимают 40–70% площади массива, обычно они имеют больший диаметр (8–10 м), чем байджарахи, а их высота редко превосходит 1 м. Только вдоль глубоких (2–2.5 м) ложбин основного стока, напоминающих узкие коридоры, бугры более высокие. Плоскобугристый торфяник включает несколько элементарных массивов, образующих совокупность комплексов.

Таким образом, собственно массивы байджарахов в районе исследований довольно разнообразны (табл. 6). Шесть выделенных типов отражают динамику преобразований ландшафта под влиянием термоденудации (рис. 6). Важно отметить, что со временем горизонтальная структура растительного покрова массива усложняется, а при его разрушении вновь упрощается: зачаточные массивы представлены микрокомбинациями, группа дифференцированных массивов – мезокомбинациями, массивы с нивальными буграми – микрокомбинациями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная типология массивов, образованных буграми и ложбинами, возникшими в результате термокарста и меняющимися под воздействием термоденудации, – это первая попытка систематизировать их разнообразие как территориальных единиц растительности. Сложная гетерогенность растительного покрова массивов байджарахов отражает их динамические изменения. Отказ от геоботанических названий при наименовании типов массивов и использование кратких названий типов сообществ бугров и ложбин позволяет подчеркнуть важные их особенности, но при этом избежать излишней детализации (упоминания конкретных видов и иных индивидуальных признаков сообществ). В результате, предложенный подход может быть удобен для практической работы – при дистанционном мониторинге и оценке интенсивности термокарста и других процессов термоденудации путем сравнения массивов в различающихся по флоре и растительности районах Арктики.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор глубоко признателен И.Н. Сафроновой, участвовавшей в 1974 г. в полевом сборе материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [Aleksandrova] Александрова В.Д. 1963. Очерк флоры и растительности о. Большого Ляховского. – Тр. Арктич. и Антарктич. НИИ. 224: 6–36.
- [Aleksandrova] Александрова В.Д. 1966. К истории растительности Новосибирских островов в послеледниковое время. – Бот. журн. 51 (11): 1580–1592.
- [Aleksandrova] Александрова В.Д. 1968. Динамика растительности термокарстовых комплексов в арктической Якутии. – В кн.: Материалы по динамике растительного покрова. Владимир. С. 144–146.
- 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>
- [Brushkov et al.] Брушков А.В., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Железняк М.Н., Садуртдинов М.Р., Сергеев Д.О., Горобцов Д.Н., Остарков Н.А., Гулидов Р.В., Малкова Г.В., Бадина С.В., Фалалеева А.А., Шелков Я.Ю. 2020. О создании системы государственного геоэкологического мониторинга. – В газете “Вестник инженерных изысканий”. 16 ноября 2020. № 91.
- [Dorogostayskaya] Дорогостайская Е.В. 1959. О сменах растительности в связи с термокарстом на севере Якутии. – Изв. Сиб. отд. АН СССР. 12: 91–100.
- Fraser R.H., Kokelj S.V., Lantz T.C., McFarlane-Winchester M., Olthoff 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. <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. – Arctoa. 1: 1–85. <https://doi.org/10.15298/arctoa.01.01>
- IPNI: The International Plant Names Index. 2021. <http://www.ipni.org> (Accessed 14.06.2022).
- [Isachenko] Исаченко Т.И. 1969. Сложение растительного покрова и картографирование. – Геоботаническое картографирование. С. 20–32. <https://doi.org/10.31111/geobotma/1969.20>
- [Karavaeva] Караева Н.А. 1965. Почвенный покров арктической тундры о. Бол. Ляховского (Северная Якутия). – Почвоведение. 2: 11–25.

- [Korotkevich] Короткевич Е.С. 1972. Полярные пустыни. Л. 420 с.
- [Kruchinin] Кручинин Ю.А. 1963. Физико-географические наблюдения на острове Котельном. — Тр. Арктич. и Антарктич. НИИ. 224: 143–165.
- [Kuminova] Кумина А.В. 1974. Классификация растительности и дробное геоботаническое районирование. — В кн.: Тезисы докл. IV Всес. совещ. по классификации растительности. Львов. С. 31–33.
- Lara M.J., Chipman M.L., Hu F.S. 2019. Automated detection of thermoerosion in permafrost ecosystems using temporally dense Landsat image stacks. — *Remote Sens. Environ.* 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/10.3111/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.
- [Mel'nikov, Drozdov] Мельников В.П., Дроздов Д.С. 2015. Криогенные риски арктических территорий. — В кн.: Труды Междунар. конф. “Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы”. Тюмень. С. 243–246.
- [Mikhaylov] Михайлов И.С. 1971. Анализ пространственной структуры некоторых ландшафтов арктической зоны. — Тр. Арктич. и Антарктич. НИИ. 304: 147–163.
- [Mitt] Митт К.Л. 1959. К геоморфологической характеристике Анабаро-Оленекской приморской низменности. — *Вопросы физ. географии полярных стран.* 2: 186–195.
- [P'yavchenko] Пьявченко Н.И. 1955. Бугристые торфяники. М. 280 с.
- 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>
- [Sisko] Сиско Р.К. 1968. Геоморфологическая характеристика о. Столбового (Новосибирские острова). — Тр. Арктич. и Антарктич. НИИ. 285: 123–142.
- [Sisko] Сиско Р.К. 1971. Физико-географическое районирование и внутриландшафтное деление Новосибирских островов. — Тр. Арктич. и Антарктич. НИИ. 304: 164–186.
- [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. 1977b. 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. 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/10.3111/vegrus/2020.39.75>
- [Sumina] Сумина О.И. 2022. Гетерогенность растительного покрова массивов байджарахов (о. Котельный, Новосибирские острова). — *Бот. журн.* 107 (6): 523–535.
<https://doi.org/10.31857/S0006813622060102>
- [Telyatnikov et al.] Телятников М.Ю., Троева Е.И., Пристяжнюк С.А., Черосов М.М. 2017. Растительность западной части кряжа Прончищева и прилегающей равнины (подзона арктических тундр Якутии). — *Turczaninowia.* 20 (3): 72–94.
<https://doi.org/10.14258/turczaninowia.20.3.8>
- [Tikhomirov] Тихомиров Б.А. 1938. О растительности бугров-байджарахов на севере Якутии. — *Природа.* 11–12: 94–100.
- [Tikhomirov] Тихомиров Б.А. 1956. О происхождении бугров-байджарахов в связи с термокарстом и динамикой растительности на севере Сибири. — В кн.: Тезисы и планы докл. 7 Междувед. совещ. по мерзлотоведению. Ч. 2. М. С. 22–24.
- [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.
- [Vasil'ev et al.] Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А., Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., Малкова Г.В., Облогов Г.Е., Пономарева О.Е., Садуртдинов М.Р., Стрелецкая И.Д., Стрелецкий Д.А., Устинова Е.В., Широков Р.С. 2020. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геоэкологического мониторинга в западном секторе российской Арктики. — *Криосфера Земли.* 24 (2): 15–30.
[https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-2\(15-30\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30))
- [Zanokha] Заноха Л.Л. 1995. Классификация луговых сообществ тундровой зоны полуострова Таймыр: ассоциация *Saxifraga hirculi*-*Poetum alpigeneae*. — *Бот. журн.* 80 (5): 25–35.

TYPOLOGY OF TERRITORIAL VEGETATION UNITS ON THE EXAMPLE OF THERMOKARST MASSIFS ON 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*

In the Arctic, permafrost and underground ice melting is one of the modern problems that requires constant monitoring. In the areas with spreading thick ice-wedge polygonal networks, the territories occupied by groups of mounds separated by trenches formed in the place of melted ice veins are a widespread result of thermokarst. The vegetation of such territories (referred to as massifs) is represented by territorial units of the first hierarchy levels with an intra- (mosaic of patches within communities) and supraphytocenotic (micro- and mesokombinations: complexes, their aggregates and series) heterogeneity. The shape, size and vegetation of the mounds and trenches change under the influence of thermal denudation, and the vegetation of a whole massif also changes, so it can serve as an indicator of thermokarst intensity. The relief formed by thermokarst is typical of the landscapes of New Siberian Islands. According to the descriptions of 38 massifs made on Kotelny Island in 1974–1975, they were for the first time typified as territorial units of vegetation. In total, 7 types of massifs belonging to 2 classes are identified and characterized: *baidzharakh massifs proper* (with mineral mounds) and *massifs with peat mounds* (including 1 type of massifs). The first class comprises 2 groups of types: *weakly differentiated massifs* (microcombinations) and *differentiated massifs* (mesocombinations). In the first group, there are 2 types of massifs, in the second one – 4 types. Six distinguished types of baidzharakh massifs correspond to successive stages of massif transformation (a scheme is given). The heterogeneity of massif vegetation becomes more complicated with time, and becomes simpler again, when the massif is destroyed. Embryonal massifs are represented by microcombinations, a group of developed (differentiated) massifs – by mesocombinations, collapsing massifs – by microcombinations. The developed typology of the baidzharakh massifs as territorial vegetation units is convenient for practical work and using in monitoring and comparative assessment of thermokarst intensity in the Arctic areas with different flora and vegetation.

Keywords: thermokarst, baidzharakhs, peatlands, heterogeneity of vegetation, territorial units, phytocenoses, Arctic

ACKNOWLEDGEMENTS

Author is deeply grateful to I.N. Safronova who took part in the data field collection in 1974.

REFERENCES

- Aleksandrova V.D. 1963. Ocherk flory i rastitel'nosti ostrova Bolshogo Lyakhovskogo [Sketch on the flora and vegetation of the Big Lyakhovskiy Island]. – Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo NII. 224: 6–36 (In Russ.).
- Aleksandrova V.D. 1966. A contribution to the history of the vegetation of Novosibirskiye Islands during the postglacial time. – Bot. Zhurn. 51 (11): 1580–1592 (In Russ.).
- Aleksandrova V.D. 1968. Dinamika rastitel'nosti termokarstovyykh kompleksov v arkticheskoy Yakutii [Vegetation dynamics of thermokarst complexes in the Arctic Yakutia]. – Materialy po dinamike rastitel'nogo pokrova. Vladimir. P. 144–146 (In Russ.).
- 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>.
- Brushkov A.V., Drozdov D.S., Dubrovin V.A., Zheleznyak M.N., Sadurtdinov M.R., Sergeyev D.O., Gorobtsov D.N., Ostarkov N.A., Gulidov R.V., Malkova G.V., Badina S.V., Falaleyeva A.A., Shelkov Ya.Yu. 2020. O sozdaniy sistemy gosudarstvennogo geokriologicheskogo monitoringa [On the development of a state geocryological monitoring system]. – In: gazeta Vestnik inzhenernykh izyskaniy. 16 November 2020, № 91 (In Russ.).
- Dorogostayskaya 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 (In Russ.).
- 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 Kotelnny 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 14.06.2022).
- Isachenko T.I. 1969. The structure of the vegetational cover and mapping — *Geobotanicheskoe kartografirovanie*. Leningrad. P. 20–32 (In Russ.).
<https://doi.org/10.31111/geobotmap/1969.20>
- Karavaeva I.A. 1965. Pochvennyy pokrov arkticheskoy tundry o. Bol. Lyakhovskogo (Severnaya Yakutiya) [Soil cover of the arctic tundra on Bol. Lyakhovsky Island (Northern Yakutia)]. — *Pochvovedeniye*. 2: 11–25 (In Russ.).
- Korotkevich E.S. 1972. Polar deserts. Leningrad. 420 p. (In Russ.).
- Kruchinin Yu.A. 1963. Fiziko-geograficheskiye nablyudeniya na ostrove Kotel'nom [Physical and geographical observations on the Kotelnny Island]. — In: *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo NII*. 224: 143–165 (In Russ.).
- Kuminova A.V. 1974. Klassifikatsiya rastitel'nosti i drobnoye geobotanicheskoye rayonirovaniye [Classification of vegetation and fractional geobotanical zoning]. — In: *Tezisy dokladov IV Vsesoyuznogo Soveshchaniya po klassifikatsii rastitel'nosti*. L'vov. P. 31–33 (In Russ.).
- Lara M.J., Chipman M.L., Hu F.S. 2019. Automated detection of thermoerosion in permafrost ecosystems using temporally dense Landsat image stacks. — *Remote Sens. Environ.* 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. — *Vegetation of Russia*. 39: 100–148 (In Russ.).
<https://doi.org/10.31111/vegus/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.).
- Mel'nikov V.P., Drozdov D.S. 2015. Cryogenic risks at Arctic territories. — In: *Arctic, Subarctic; mosaic, contrast, variability of the Cryosphere*. Proceedings of the International Conference. Tyumen. P. 243–246 (In Russ.).
- Mikhaylov I.S. 1971. Analiz prostranstvennoy struktury nekotorykh landshaftov arkticheskoy zony. [Analysis of the spatial structure of some landscapes of the Arctic zone]. — In: *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo NII*. 304: 147–163 (In Russ.).
- Mitt K.L. 1959. K geomorfologicheskoy kharakteristike Anabaro-Olenekskoy primorskoy nizmennosti [On the geomorphological characteristic of the Anabar-Olenek coastal lowland]. — In: *Voprosy fizicheskoy geografii polyarnykh stran*. Vyp. 2. Moscow. P. 186–195 (In Russ.).
- P'yavchenko N.I. 1955. Bugristyye torfyaniki [Frozen Peatlands]. Moscow. 280 p. (In Russ.).
- 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>
- Sisko R.K. 1968. Geomorfologicheskaya kharakteristika o. Stolbovogo (Novosibirskie ostrova) [Geomorphological characteristics of the Stolbovoy Island (New Siberian Islands)]. — In: *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo NII*. 285: 123–142 (In Russ.).
- Sisko R.K. 1971. Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye i vnutilandshaftnoye deleniye Novosibirskikh ostrovov [Physical-geographical zoning and intralandscape division of the New Siberian Islands]. — In: *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo NII*. 304: 164–186 (In Russ.).
- Sumina O.I. 1975. Vegetation of the baydzherakhs of the Kotelnny 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 Kotelnny 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 Kotelnny Island (New Siberian Islands). To the study of vegetation heterogeneity in tundra zone]: *Diss.* ... Kand. Sci. Leningrad. 215 p. (In Russ.).
- Sumina O.I. 1979. Rastitel'nost baydzharakhov v okrestnostyakh bukhty Marii Pronchishchevoy (Severo-Vostochnyy Taimyr) [Vegetation of baydzherakhs in the vicinity of Mariya Pronchishcheva Bay (northeast of the Taimyr Peninsula)]. — In: *Arkticheskiye tundry i polyarnye pustyni Taimyra*. 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. — *Vegetation of Russia*. 39: 75–99 (In Russ.).
<https://doi.org/10.31111/vegus/2020.39.75>
- Sumina O.I. 2022. Heterogeneity of vegetation cover of baydzharakh massifs (Kotelnny Island, New Siberian Islands). — *Bot. Zhurn.* 107 (6): 523–535 (In Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S0006813622060102>

- Telyatnikov M.Yu., Troeva E.I., Pristyazhnyuk S.A., Cherosov M.M. 2017. The vegetation of western part of the Pronchishchev ridge and the adjacent plain (the Arctic tundra subzone of Yakutia). — *Turczaninowia*. 20 (3): 72–94 (In Russ.).
<https://doi.org/10.14258/turczaninowia.20.3.8>
- Tikhomirov B.A. 1938. O rastitel'nosti bugrov-baydzharakhov na severe Yakutii [On the vegetation of the baydzherakhs-hillocks in the north of Yakutia]. — *Priroda*. 11–12: 94–100 (In Russ.).
- Tikhomirov B.A. 1956. 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: *Tezisy i plany dokladov 7 Mezhdudovomstvennogo soveshchaniya po merzlotovedeniyu. Part 2*. Moscow. P. 22–24 (In Russ.).
- 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.).
- Vasil'yev A.A., Gravis A.G., Gubar'kov A.A., Drozdov D.S., Korostelev Yu.V., Malkova G.V., Oblogov G.E., Ponomareva O.E., Sadurtdinov M.R., Streletskaya I.D., Streletskiy D.A., Ustinova V., Shirokov R.S. 2020. Permafrost degradation: results of the long-term geocryological monitoring in the Western sector of Russian Arctic. — *Kriosfera Zemli*. 24 (2): 15–30 (In Russ.).
[https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-2\(15-30\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30))
- Zanokha L.L. 1995. Classification of meadows communities of the tundra zone in the Taimyr peninsula: the association *Saxifraga hirculi*–*Poetum alpigenae*. — *Bot. Zhurn.* 80 (5): 25–35 (In Russ.).