

БИОМНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Е. А. Белоновская, А. А. Тишков

ФГБУН Институт географии РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 7 сентября 2022 г.

Рассматриваются разные аспекты биомного деления российской Арктики и его значение для оценки климатических и антропогенных изменений экосистем. Показано, что в основе биомной дифференциации Арктики у разных авторов лежит зонально-провинциальный принцип, учитывающий широтный температурный градиент и меридиональный градиент континентальности климата. В итоге непосредственно в российской Арктике для удобства оценки биоразнообразия, реакции экосистем на изменения климата, для формирования репрезентативной сети охраняемых природных территорий и пр. выделяется от 6 до 20 и более биомов. Для характеристики климата и биоразнообразия использованы схемы биомного деления российской Арктики, представленные на существующих вариантах карт биомов России [10; 18]. Приведены количественные характеристики биомов, важные для регламентации хозяйственной деятельности и оптимизации территориальной охраны биоты и экосистем Арктики.

Ключевые слова: российская Арктика, биом, полярные пустыни, тундры, лесотундра, дифференциация, зонально-провинциальный принцип, изменение климата, биоразнообразие.

Введение

Биом — совокупность экосистем природного региона, выделяемого по ландшафтно-климатическому принципу. Понятие «арктический биом» применительно к циркумполярному макрорегиону Арктики имеет важный биогеографический смысл и практическое приложение. С одной стороны, он подчеркивает относительное единство физико-географических условий и биоразнообразия по всему северному полярному и приполярному пространству, а с другой — создает основу для формирования в регионе репрезентативной сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и унификации методов охраны живой природы, например, создания единой Красной книги Арктики. Так, именно биомный подход лежит в основе деятельности всех крупных международных природоохранных организаций — Международного союза охраны природы (IUCN), Комиссии ЮНЕСКО по природному наследию, Всемирного фонда дикой природы (WWF), Арктического совета и др. Его автор М. Удварди [1; 2] предложил сушу Земли разделить на восемь биогеографических областей. Каждая из них содержит несколько биомов. Собственно Арктика в понимании автора — это единый биом «тундра».

Другой классик биогеографии и геоботаники Г. Вальтер [3] для всей планеты выделял единый

«Полярный зонобиом» (полярные пустыни и тундры). Используя исключительно климатические и геоботанические индикаторы, автор не находил достаточно аргументов для его дифференциации даже в отношении российской Арктики, несмотря на то, что начинал свою карьеру как российский геоботаник, хорошо знал природу России и русскоязычную литературу.

Попытки дифференцированно подходить к пространственной биомной структуре российской Арктики с разных позиций и критериев (растительность, почвы, реакция на изменения климата, формирование репрезентативной сети ООПТ и пр.) предпринимались неоднократно [4—8], в том числе и нами [9—15].

Биомное деление Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) использовалось и в издании «Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (Расширенное резюме)» [16], где сделана попытка проследить устойчивость биомов АЗРФ к нарастающим изменениям климата. Здесь именно для соблюдения единства подхода (зонально-провинциального) были выделены следующие биомы: (1) полярные пустыни (берега/внутренние районы), (2) горные полярные пустыни, (3) горные тундры АЗРФ, (4) арктические тундры (берега и континентальные районы), (5) субарктические южные тундры (берега и континентальные районы), (6) субарктические

типичные тундры (берега и континентальные районы), (7) европейские и сибирские лесотундры, (8) восточносибирские типичные и южные тундры (берега и континентальные районы), (9) восточносибирские лесотундры и редколесья, (10) восточносибирские стланики. По нашим оценкам, все биомы Арктики по выделенным критериям (реакция на повышение температуры воздуха, количества осадков, уровня океана, оттаивания многолетнемерзлых грунтов и др.) обладают средней и слабой устойчивостью к климатическим изменениям и сопутствующим им изменениям других абиотических факторов среды, прежде всего мерзлоты. Интегральная оценка позволяет выделить типичные и южные тундры как наименее устойчивые.

Серия исследований, связанных с оценкой репрезентативности глобальной сети ООПТ и разработкой международных мер охраны редких видов и живой природы в целом, базируется не только на специально выделенных для проектов WWF на Земле 200 глобальных экорегионов, аналогов биомов с целевыми задачами сохранения биоразнообразия — Global200 [7; 8]. Применительно к циркумполярной Арктике дифференциация вполне логичная, хотя для российской Арктики такое деление вряд ли отражает известное отечественным исследователям биомное разнообразие макрорегиона. Например, природоохранная практика WWF, включая офис WWF-Россия, реализуется в АЗРФ в трех экорегионах — Баренц-регионе (Нольском), Арктике (Таймырском), а также Беринговоморско-Камчатском и Чукотском. Индексы глобальных экорегионов WWF таковы: РА 1106 — «тундры Нольского полуострова», РА 1107 — «прибрежные тундры Северо-Восточной Сибири», РА 1111 — «Таймырско-Центрально-Сибирские тундры», РА 1104 — «тундры Чукотского полуострова». Принцип биомной дифференциации Арктики в границах, принятых WWF и Арктическим советом (рис. 1), использовался для оценки репрезентативности сети ее ООПТ в российской Арктике неоднократно [4; 6].

В монографии и на опубликованной карте биомов России [10; 11] для более дифференцированного анализа «арктический биом» разделен по зонально-провинциальному принципу с особым вниманием к уникальности природы биомов тундролесий.

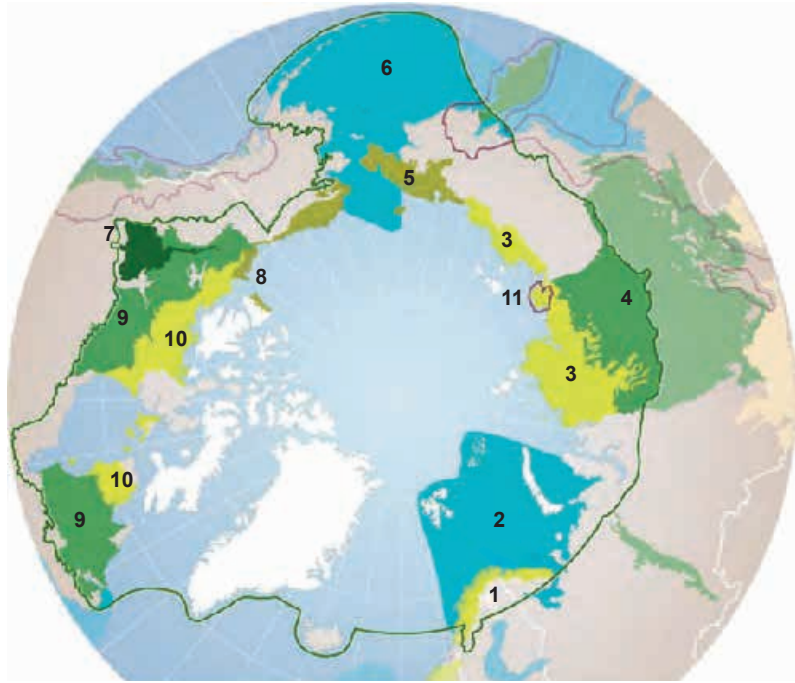


Рис. 1. Биомная дифференциация циркумполярной Арктики по версии WWF. Экорегионы: 1 — альпийские тундры и тайга Фенноскандии, 2 — Баренцево море, 3 — таймырские и сибирские прибрежные тундры, 4 — восточно-сибирская лиственничная тайга, 5 — чукотские прибрежные тундры, 6 — Берингово море, 7 — бореальные леса бассейна Невольничьих озер Канады, 8 — прибрежные тундры северного склона Аляски, 9 — канадские бореальные леса, 10 — канадские тундры «низкой» Арктики, 11 — дельты реки Лена. Цвета: белый — «высокая» Арктика (Гренландия и Канадский архипелаг), желтый — тундры, зеленый и его оттенки — бореальные леса (тайга), голубой — морские биомы (экорегионы), зеленая линия — граница Арктики по версии WWF

Fig. 1. Biome differentiation of the circumpolar Arctic according to WWF. Ecoregions: 1 — Alpine tundra and taiga of Fennoscandia, 2 — the Barents Sea, 3 — Taimyr and Siberian coastal tundra, 4 — East Siberian larch taiga, 5 — Chukchi coastal tundra, 6 — the Bering Sea, 7 — boreal forests of the Canadian Slave Lakes basin, 8 — coastal tundra of the northern slope of Alaska, 9 — Canadian boreal forests, 10 — Canadian tundra of the "low" Arctic, 11 — delta of the Lena River. Colors: white — "high" Arctic (Greenland and the Canadian archipelago), yellow — tundra, green and its shades — boreal forests (taiga), blue — marine biomes (ecoregions), green line — the Arctic border according to WWF

На карте биомов России [11] выделены полярные пустыни, арктические и субарктические (северные, южные) тундры, равнинные и горные (Хибин, Полярного Урала, Колымы и др.) лесотундры (рис. 2). Всего 12 составляющих пространственной дифференциации, позволяющей более корректно оценивать географическую специфику природных (климатических) и антропогенных изменений. Для этих же целей, но для пространственного моделирования и прогноза О. А. Анисимов с соавторами [5] разбили «арктический биом» на 5 зональных пространственных элементов, что позволило прогнозировать изменения их границ в связи с долгосрочными изменениями климата на севере Евразии. Детально они прослежены и в [17].

Наиболее последовательно подходы к дифференциации «арктического биом» в границах России используются в работах, выполненных под редакцией Г. Н. Огуревой [18; 19], в которых в границах АЗРФ, представляющей совокупность субъектов Феде-

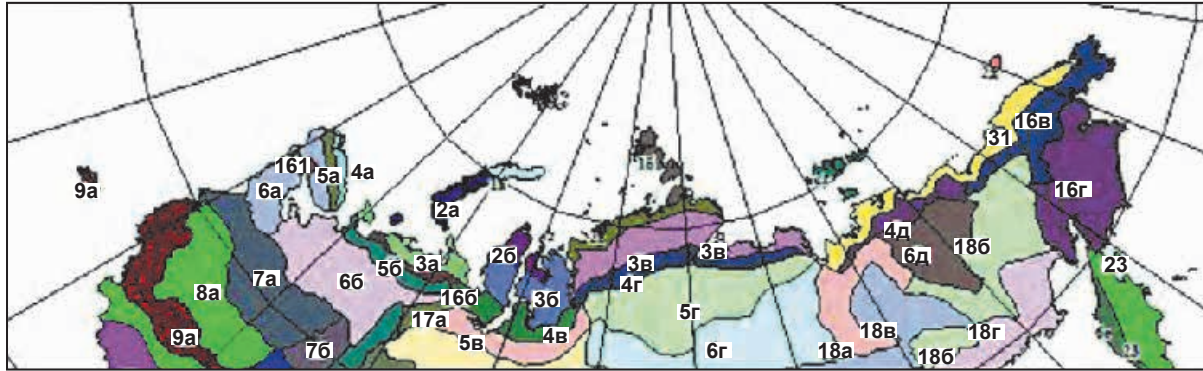


Рис. 2. Фрагмент карты биомов России [10], отражающий многообразие элементов биогеографической дифференциации российской Арктики

Fig. 2. Fragment of the biome map of Russia [10], reflecting the diversity of elements of the biogeographic differentiation in the Russian Arctic

рации и муниципальных образований тундровой и таежной зон, выделяются биомы: 1. Высокоарктический островной (полярно-пустынный); арктическо-тундровые: 2. Новоземельско-Ямало-Гыданский, 3. Таймыро-Восточносибирский, 4. Чукотский; гипоарктическо-тундровые: 5. Кольско-Большеземельско-Тазовский, 6. Таймыро-Среднесибирский, 7. Лено-Колымский; 8. Анадыро-Пенжинский; гипоарктическо-таежные: 9. Кольско-Карельский, 10а. Мезено-Печорский, 11а. Западносибирский северный, 12а. Котуйско-Ленский (Оленёкский), 13а. Нижнеколымский (рис. 3).

С чисто геоэкологических позиций дифференциация «арктического биома» представлена в «Национальном атласе Арктики» 2017 г. [20], в котором помимо собственно карты «Биомы» (1:25 000 000) представлена карта 10 технобиомов («ландшафтно-геохимических территорий») с оценкой влияния на них добычи нефти, газа и минерального сырья, что очень полезно для дифференцированного подхода к анализу состояния природы АЗРФ.

С использованием данных по характеристике биомов российской Арктики [9; 19] и материалов наших публикаций последних лет, в том числе в журнале «Арктика: экология и экономика» [12—15], в статье приводится оценка пространственно-типологической дифференциации «арктического биома» для будущих биогеографических исследований и практики сохранения биоразнообразия АЗРФ.

Материалы и методы

Материалами исследований послужили количественные и качественные данные о природе регионов АЗРФ, выделяемых разными авторами как самостоятельные биомы, а также картографические сведения о границах биомов и распространении отдельных видов арктических растений, животных и их сообществ.

Флористические и фаунистические данные почерпнуты из многочисленных публикаций [12—15; 19; 21]. Оценка синтаксономического разнообразия биома проведена по работам [22—25].

Использовались, но лишь в качестве сравнительных данных, материалы зарубежных баз данных и публикаций, в том числе рабочей группы «Conservation Arctic Flora and Fauna» Арктического совета, например, «Arctic biodiversity assessment. Status and trends in Arctic biodiversity» (<https://portals.iucn.org/library/>). Однако попытки оценить последствия влияния климата на арктическую биоту и биогеографию Арктики в целом, на наш взгляд, были неудачными (https://www.eea.europa.eu/publications/report_2002_0524_154909/biogeographical-regions-in-europe/ArcticReg.pdf/view) именно из-за отсутствия дифференцированного подхода. В ведущем мировом журнале по биогеографии «Journal of Biogeography» включая параллельные выпуски «Global Ecology and Biogeography», «Diversity and Distributions» (<https://www.researchgate.net/journal/Journal-of-Biogeography-1365-2699>), где можно было ожидать материалов по биомной дифференциации Арктики, сравнительно много публикаций частного характера по изменениям отдельных групп арктической биоты в результате потепления и воздействия человека. Обобщающих публикаций в данной области, в том числе для российской Арктики, нет. Одной из причин отсутствия циркумполярных обобщений по климатогенной изменчивости биоты Арктики является недостаток систематических мониторинговых данных о наземной флоре и фауне (птицах, млекопитающих). Наиболее действенной в этом отношении является Циркумполярная программа мониторинга биоразнообразия (CAFF/CBMP) — одна из международных сетей Рабочей группы по биоразнообразию Арктического совета (<https://www.caff.is/monitoring>) и программы «Arctic Terrestrial Biodiversity Monitoring» (<https://www.caff.is/assessment-series/arctic-biodiversity-assessment>), а также подготовка обзоров о состоянии биоразнообразия в Арктике, которые используются и в этой публикации.

Синтез биогеографических последствий климатических изменений на территории АЗРФ как метод

Таблица 1. Характеристики климата тундровых и лесотундровых равнинных биомов российской Арктики (по [19] с дополнениями и уточнениями)

Индекс	Биом	Площадь, км ²	Климатическая область	Тип климата	Средняя температура года, °С	Средняя температура января, °С	Средняя температура июля, °С	Сумма активных температур	Годовая сумма осадков, мм
<i>Полярно-пустынный биом</i>									
1	Высокоарктический островной (полярно-пустынный)	59,1	Атлантико-Европейская	Морской арктический	–12,0...–15,0	–23,1...–29,2	–1,2...+1,6	0	150—200
<i>Арктическо-тундровые</i>									
2	Новоземельско-Ямало-Гыданский	76,7	Атлантико-Европейская	Морской арктический	–10,0...–12,0	–21,0...–24,0	3,6—9,6	0	200—350
3	Таймыро-Восточносибирский	132,4	Арктическая	Резко континентальный	–12,0...–14,0	–32,0...–35,0	1,5—5,0 (8,0)	0	150—300
<i>Гипоарктическо-тундровые</i>									
4	Чукотский	49,2	Арктическая	Морской	–11,0...–14,0	–26,0...26,5	3,2—11,4	0	300—400
5	Кольско-Большеземельско-Тазовский	467,2	Атлантико-Европейская	Субарктический умеренно холодный влажный	–1,0...–10,0	–8,3...–24,0	6,7—9,9	200—600	300—450
6	Таймыро-Среднесибирский	351,4	Субарктический	Резко континентальный	–12,0...–14,0	–28,4...38,4	10,2—12,5	200—600	300—350 (400)
7	Лено-Колымский	179,7	Арктический	Резко континентальный	–13,4...–18,6	–31,7...–37,1	2,2—10,6	0	200—300 (350)
8	Анадыро-Пенжинский	126,5	Субарктический	Умеренно континентальный	–7,5...–8,9	–20,0...28,0	8,0—15,0	400—600 (800)	300—360
<i>Гипоарктическо-таежные (лесотундровые)</i>									
9	Кольско-Карельский	193,5	Атлантико-арктический	Умеренный	0,2...0,4	–11,0...–16,8	17,0—19,0	700—1000	550—600
10	Мезено-Печорский	71,9	Атлантико-арктический	Умеренно континентальный	0,8...–2,6	–14...–18	12,3—14,8	1000	450—500
11	Западносибирский северный	158,7	Арктический	Континентальный	–1,4...–5,7	–24,9...–25,0	15,4—15,5	1200—1300	500—600
12	Котуйско-Ленский (Оленёкский)	126,5	Субарктический	Резко континентальный	–13,4	–38,3	12,3	528	До 300
13	Нижнеколымский	62,8	Субарктический	Резко континентальный	–14,2	–37,9	11,9	300—700	260

Примечания.

1. Цвет заливки означает отнесение биома или группы биомов к зональному типу.
2. В скобках даны максимальные показатели данного параметра климата.

исследований ранее не проводился. Мы использовали его с учетом биомной дифференциации российской Арктики в специальной публикации [14] и развиваем в данной статье. Кроме того, среди

методов анализа выделим сравнительно-географический, позволяющий сопоставить количественные параметры климата, ландшафтов и биоты регионов для обоснования необходимости дифференцирован-

Таблица 2. Оценка устойчивости зональных биомов АЗРФ (берега/внутренние районы) к изменениям климата (при прогнозе на 2025 г. по сценарию, принятому в АСИА, — рост эмиссии CO₂ в два раза, рост концентрации CO₂ в атмосфере на 100 ppm, увеличение глубины сезонно-талого слоя на 25—50%)

Биомы	Факторы прямого действия				
	Повышение температур приземного слоя воздуха (1—2°C)	Подъем уровня моря (10—20 см)	Увеличение глубины сезонно-талого слоя мерзлоты (25—50%)	Рост количества осадков (20%)	Балл устойчивости (от 0 до 12)
Полярные пустыни	+	—/+++	++	++	8
Арктические тундры	++	+ /+++	+	++	9
Субарктические типичные тундры	+	—/++	+	+	5
Субарктические южные тундры	—	—/++	—	+	3
Европейские и сибирские лесотундры	++	++	+	+	6
Восточносибирские субарктические типичные и южные тундры	—	+ /++	—	+	4
Восточносибирские лесотундры и редколесья	++	++	+	+	6
Восточносибирские стланики	++	++	++	++	8

ного подхода в биогеографических исследованиях Арктики в целом и АЗРФ в частности.

Результаты и их обсуждение

Биомная дифференциация российской Арктики и климат. Предпринимая дифференциацию биомов российской Арктики для разных целей, например, для оценки биосферных функций и экосистемных услуг [9; 10], региональных биогеографических эффектов изменений климата [14], рисков инвазий чужеродных растений [21] или для характеристики биоразнообразия [19], авторы не задавались целью достичь единства критериев. Причем зонально-провинциальный подход учитывал в основном сложившийся климатический градиент «с юга на север» и ослабление действия Атлантического и Тихого океанов с запада и востока к центральным районам АЗРФ. Обычно в качестве климатических критериев биомной дифференциации АЗРФ выступают среднесезонные параметры климата (температура, осадки), а также особенности ландшафтного покрова — соотношение площадей зональных, интра- и азонных ландшафтов (табл. 1).

В рамках программы АСИА Арктического совета (<https://acia.amap.no/>) именно биомная дифференциация помогает оценить последствия измене-

ний климата в российской Арктике при прогнозе на 2025 г. по сценарию, принятому в еще 2004 г. (<https://www.amap.no/documents/doc/impacts-of-a-warming-arctic-2004/786>), — рост эмиссии CO₂ в два раза, рост концентрации CO₂ в атмосфере на 100 ppm, увеличение глубины сезонно-талого слоя на 25—50% и др. Наши оценки для АЗРФ (табл. 2) показывают, что риски климатических изменений наиболее высоки для биомов горных тундр и субарктических типичных и южных тундр, особенно восточносибирских, что связано с более низкой устойчивостью к потеплению (например, к сравнительно «быстрому» (десятилетия) заустариванию и облесению — см. [11; 12]).

Климат как критерий биомной дифференциации проявляет свойства изменчивости и для оценки его трендов, характерных для разных биомов российской Арктики (табл. 3). И если в предыдущем случае выявлялась чувствительность биоты и экосистем к климатическим изменениям в разных биомов АЗРФ, то здесь показано, что разные биомы первично сформировались в условиях с разным размахом современных трендов изменений климата. Так, наиболее глубокие изменения климата в XXI в. отмечены в Ямало-Гыданском и Таймырском биомов.

Таблица 3. Современные тренды климата в XXI в. как критерий биомной дифференциации АЗРФ (по [13]), ×10 лет

Тренд	Кольско-Бело-морский биом	Ненецко-Большеземельский биом	Ямало-Гыданский биом	Таймырский биом	Северо-Якутский биом	Северо-Чукотский/Южно-Чукотский биомы
Среднегодовой температуры, °С	0,4	0,5	0,6...0,7	0,8...0,9	0,7	0,5/0,2
Средних зимних температур, °С	0,8	0,0...0,2	0,4...0,5	0,7...0,8	0,0...0,2	0,0/–0,5
Средних летних температур, °С	0,2	0,5	0,8...0,9	1,0	0,8...1,0	0,8—1,0/0,8
Высоты снежного покрова, см	– 1,0...–2,0	+4,0...+6,0	+4,0...+6,0	+8,0...+10,0	–2,0...–4,0	+10,0/–4,0
Суток без снега, ±сут	0,0...+2,0	0,0...–1,0	–4,0...–6,0	–4,0...–8,0	0,0	–4,0/0,0
Количества осадков (к среднемноголетнему за 1936—2010 гг.), ±мм	+100	+50	–50...–100	–50	–50	–100/+100

Характеристика биоразнообразия биомов российской Арктики и их сравнение. Одна из главных задач дифференциации арктического биома России заключается в более корректной в региональном отношении организации экологического мониторинга, эффективном сохранении биоразнообразия, в том числе редких видов, и создании оптимальной и биогеографически репрезентативной сети арктических ООПТ.

Количественные характеристики биоразнообразия биомов представлены в сводке «Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы» [19], которая демонстрирует современное состояние и степень изученности (инвентаризации) разных групп арктической биоты (рис. 3, табл. 4). Интересно, что из-за отсутствия данных о разнообразии отдельных групп флоры и фауны, о состоянии популяций редких видов в отдельных регионах эффективность мероприятий по сохранению биоразнообразия АЗРФ сравнительно низкая. Этот вывод можно сделать и на основании результатов Циркумполярной программы мониторинга биоразнообразия (CAFF/CBMP) — одной из международных сетей рабочей группы по биоразнообразию Арктического совета (<https://www.caff.is/monitoring>) и программы «Arctic Terrestrial Biodiversity Monitoring» (<https://www.caff.is/assessment-series/arctic-biodiversity-assessment>), сосредоточенных в специальном обзоре, где имеются и данные по российской Арктике, например, по мониторингу сосудистых растений [7; 8].

Биомы высокоарктических (полярных) пустынь на арктических архипелагах и островах и биомы арктических тундр (Новоземельско-Ямало-Гыданский,

Таймыро-Восточносибирский и Чукотский), находящиеся на узкой полосе сибирского побережья Северного Ледовитого океана, суммарно занимают площадь 317,4 тыс. км². Разнообразие сосудистых растений небольшое (от 60—90 видов в полярных пустынях до 450—550 видов в арктических тундрах). Более мощное развитие получает мохово-лишайниковый покров, значительные площади занимают снежники и ледники или открытые грунты и выходы горных пород. Чаще всего встречаются сообщества классов *Drabo-Papaveretea* и *Carici-Hylocomietea* — полярных пустынь и арктических кустарничково-моховых тундр соответственно. Разнообразие животных также невелико: максимум 20 видов млекопитающих и до 60 видов птиц.

Биомы типичных (гипоарктических) тундр (Кольско-Большеземельско-Тазовский, Таймыро-Среднесибирский, Лено-Колымский и Анадыро-Пенжинский) занимают 1124,8 тыс. км². Видовое разнообразие сосудистых растений, мохообразных и лишайников здесь заметно возрастает. Растительный покров представлен различными типами тундр: кустарничковыми, кустарничковыми, кустарничково-лишайниковыми, пятнистыми кустарничково-травяными, травяными, кочкарными осоково-пушицевыми классов *Carici-Hylocomietea*, *Loiseleurio-Vaccinetea*, луговинами класса *Carici-Kobresietea*. Разнообразные по видовому составу болота (классы *Oxycocco-Sphagnetetea* и *Scheuchzerio-Caricetea*) занимают значительные площади (более 35% территории). На северо-востоке в Лено-Колымском и Анадыро-Пенжинском биоме встречаются небольшие участки лиственничных редколесий и зарослей кедрового

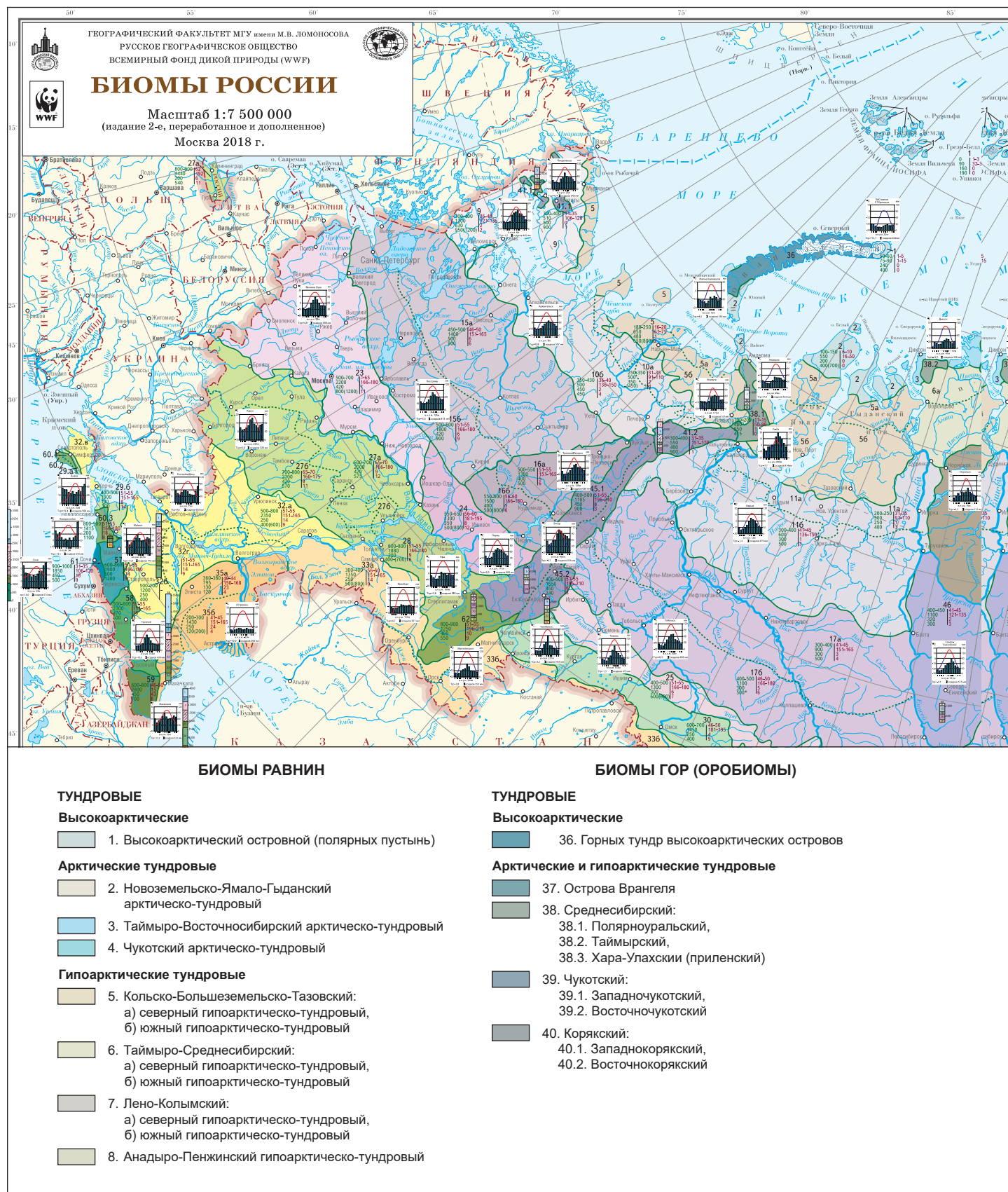
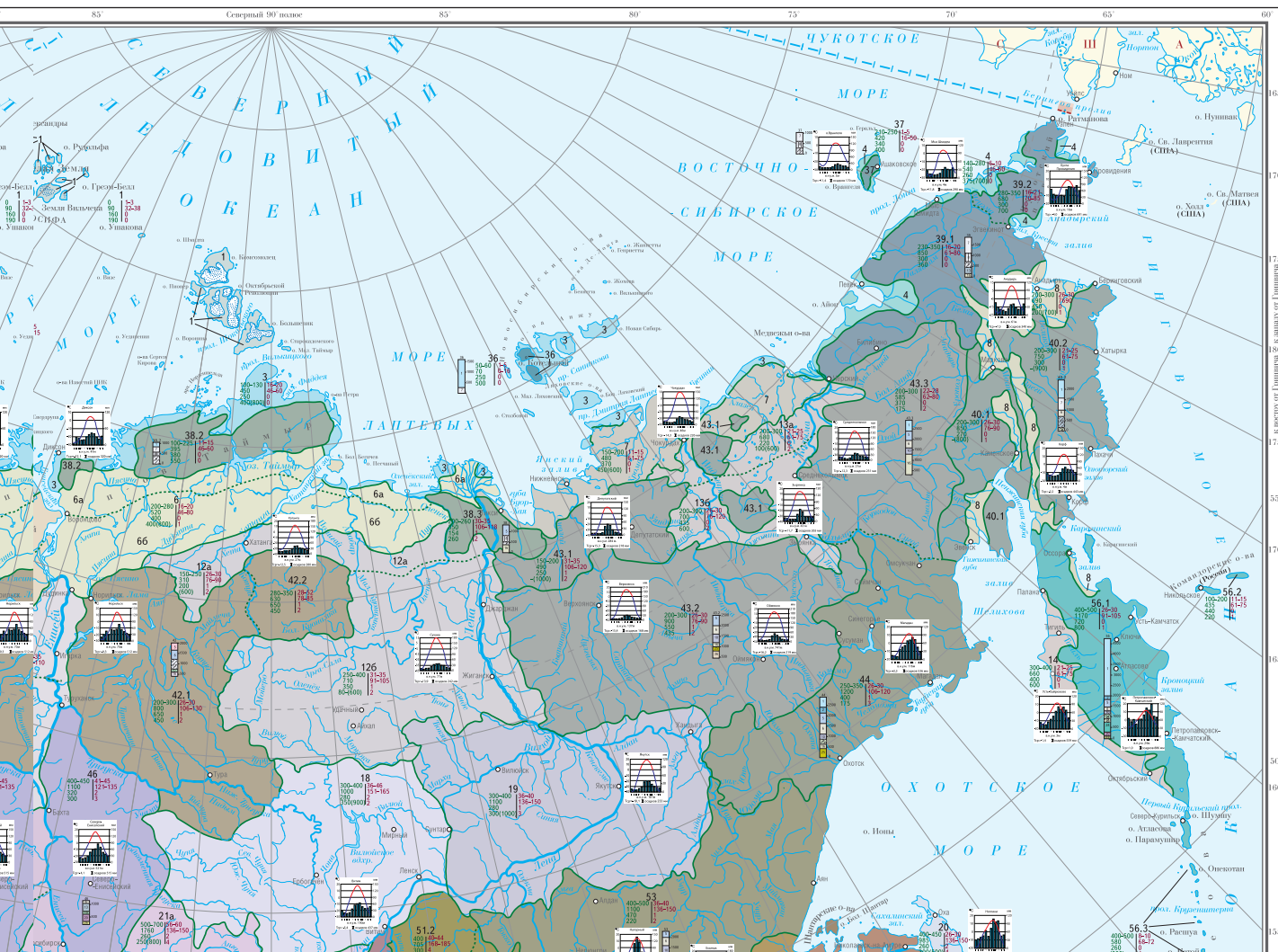


Рис. 3. Фрагмент карты «Биомы России» (2018) с выделяемыми тундровыми и лесотундровыми равнинными и горными биомыми учитывает административные границы арктических регионов
Fig. 3. Fragment of the map "Biomes of Russia" (2018) with distinguished tundra and forest-tundra plain and mountain biomes of the Arctic marking the administrative boundaries of the Arctic regions



ВЫСОТНЫЕ ПОЯСА ОРОБИОМОВ

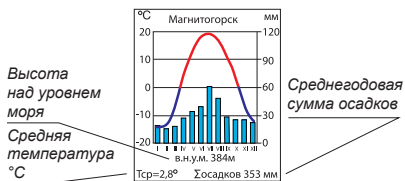
1. Нивальный
2. Субнивный
3. Альпийских лугов, кустарничковых тундр
4. Субальпийских лугов, кустарников и редколесий
5. Гольцово-тундровый
6. Горных тундр (кустарничковых, лишайниковых, моховых)
7. Горных высокоарктических тундр
8. Горных кустарниковых тундр
9. Горных субарктических кустарниковых тундр
10. Кедрового стланика (*Pinus pumila*)

11. Кедрового стланика и сообществ микробиоты
12. Крупных зарослей ольхи и кедрового стланика
13. Кустарниковых ольховых зарослей
14. Редколесий березовых, березово-лиственничных
15. Редин и стлаников (ерников, ольхи, ивняков)
16. Редколесий и фрагментов лиственничных лесов
17. Редколесий и парков с участием темнохвойных сибирских пород
18. Березовых редколесий
19. Редколесий каменной березы

Границы

- региональных биомов
- ... географических вариантов биома

Климатическая характеристика биомов



Индексы

- 21, 39 региональных биомов
- 21а, 6; 39.1, 39.2 географических вариантов биома

Фито- и зооразнообразие биомов (количество видов)

сосудистые растения на 100 км²

сосудистые растения

мохообразные (лишайниковые мхи и печеночники)

лишайники (потенциальное количество видов по экспертной оценке)

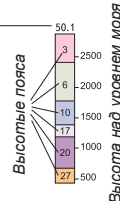
Индекс биома

млекопитающие

птицы (гнездящиеся виды)

пресмыкающиеся

земноводные



российской Арктики. На рисунке выделена граница собственно арктических биомов, не совпадающая с границей АЗРФ, которая

Russian Arctic. The figure highlights the border of the Arctic biomes proper, which does not coincide with the border of the Russian

Таблица 4. Биоразнообразие биомов (по [19] с нашими уточнениями)

Индекс	Биом	Количество видов (оценки на текущий момент)					Рептилий + амфибий
		Сосудистых растений (из них редких)	Мохообразных (из них редких)	Лишайников и грибов (из них редких)	Млекопитающих (из них редких)	Птиц (из них редких)	
Полярно-пустынные биомы							
1	Высокоарктический островной	50—87 (27)	240	400 (до 600)	5	35 (9)	0+0
Арктическо-тундровые биомы							
2	Новоземельско-Ямало-Гыданский	550	295 (1)	400 (до 700)	6—10 (5)	16—50 (10)	0+0
3	Таймыро-Восточносибирский	450 (6)	250	400 (до 800) (5)	16—20	60	0+0
4	Чукотский	544 (до 10)	260	375 (до 700) (5)	10 (15)	62	0+0
Гипоарктическо-тундровые биомы							
5	Кольско-Большеземельско-Тазовский	620—650 (7)	370 (6)	650 (до 800) (1)	16—20 (6)	61—75	1+2
6	Таймыро-Среднесибирский	520 (1)	280	400 (до 800) (5)	20	80 (1)	0+0
7	Лено-Колымский	480	350 (17)	400—450 (до 600)	18 (5)	80	0+1
8	Анадыро-Пенжинский	690	420—450	200 (до 700) (2)	30 (5)	90	0+1
Гипоарктическо-таежные (лесотундровые) биомы							
9	Кольско-Карельский	1200	700 (20)	950 (до 1200) (2)	36—40 (4)	165	2+3
10a	Мезено-Печорский	600—800	450 (9)	450 (до 900)	30—45 (3)	110—175	2+4
11a	Западносибирский северный	600	300 (4)	400 (до 700) (2)	31 (1)	135—150	1+3
12a	Котуйско-Ленский (Оленекский)	700	300—350	77 (до 600—800) (5)	36 (2)	75—90 (3)	1+2
13a	Нижнеколымский	700	300	93 (до 600)	25—30	70—120	0+2

Примечания.

1. Цвет заливки означает отнесение биома или группы биомов к зональному типу.
2. В скобках даны оценки на текущий момент, курсивом — число редких видов.

стланика. Количество млекопитающих и птиц возрастает. Отмечены пресмыкающиеся и земноводные.

Полоса лесотундры и редколесий занимает 874,4 тыс. км² в пределах гипоарктическо-таежных Кольско-Карельского, Мезено-Печерского, Западносибирского северного, Котуйско-Ленского (Оленекского), Нижнеколымского биомов. Увеличивается и разнообразие видов растений и животных главным образом за счет бореальных видов. Участ-

ки тундровых сообществ становятся меньше по площади, появляются островки лесов — еловые и березовые на западе и лиственничные на востоке.

Таким образом, широтные (зональные) различия первичны и проявляются четко по климатическим показателям (возрастанию среднегодовых температур, суммам активных температур и др., см. табл. 4), увеличению количества видов растений и животных и распределению синтаксонов высокого ранга

Таблица 5. Видовое богатство аборигенных и чужеродных сосудистых растений в биомах АЗРФ (по базе данных «Alien plant species» и по [21])

Биом (экорегion) АЗРФ	Число аборигенных видов	Чужеродные виды, число (%)
Кольский	535	104 (16,2)
Канино-Печорский	516	197 (27,8)
Урало-Новоземельский:		
материковая часть	589	59 (9,1)
острова Новая Земля	586	34 (5,5)
Земля Франца-Иосифа	236	41 (14,8)
Западно-Сибирский	413	63 (13,3)
Таймырский	503	59 (10,5)
Анабаро-Ленский	467	20 (4,1)
Яно-Колымский	499	13 (2,5)
Континентально-Чукотский	696	10 (1,4)
Берингийско-Чукотский	665	87 (11,8)
Южно-Чукотский	607	24 (3,8)

(классов и порядков) (табл. 5). При этом группа общих для всех биомов видов животных (млекопитающих и птиц) составляет около 30% общего количества видов. В группе общих для подзон арктических тундр (полярных пустынь) и типичных тундр 10—15% общего видового разнообразия. Группа общих видов для тундр и лесотундр составляет 15%. Остальные доли примерно поровну распределяются по каждой из подзон.

Региональные (секторальные) различия выражены слабее, носят вторичный характер — по присутствию единичных видов растений и животных или синтаксонов ранга союза в отдельных биомах. Например, лемминговидная полевка, исландский песочник в Таймыро-Восточносибирском арктическо-тундровом биоме; лемминг Виноградова, кречет, дутыш, розовая чайка, перепончатопалый песочник в Чукотском арктическо-гипоарктическо-тундровом биоме; амурский лемминг, бурый (желтобрюхий) лемминг, большеухая полевка, американская синьга, тихоокеанский чистик, клотун, кулик-лопатень; союзы *Arcto erythrocarpaе-Salicion* и *Carici scirpoideae-Alnion fruticosae* в Анадыро-Пенжинском гипоарктическо-тундровом биоме, берингийский суслик в биомах 8 и 13 (см. табл. 5); союзы *Carici concoloris-Aulacomion turgidi* и *Carici concoloris-Aulacomion turgidi* встречаются в Лено-Колымском гипоарктическо-тундровом биоме, *Polytrichastro alpini-Alnion fruticosae*, *Polytrichastro alpini-Alnion fruticosae*, *Aulacomnio palustris-Caricion rariflorae* и *Geranium albiflorum-Salicion* в Кольско-Большеземельско-Тазовском гипоарктическо-тундровом биоме и т. п.

Анализ карты [19] демонстрирует интересную закономерность распространения арктических биомов.

Так, граница «западных» Новоземельско-Ямало-Гыданского арктическо-тундрового, Кольско-Большеземельско-Тазовского гипоарктическо-тундрового, Западносибирского северного гипарктическо-таежного (лесотундрового) биомов, с одной стороны, и «восточных» Таймыро-Восточносибирского арктическо-тундрового, Таймыро-Среднесибирского гипоарктическо-тундрового, Котуйско-Ленского гипоарктическо-таежного (Оленёнского) (лесотундрового) — с другой стороны, проходит по долине Енисея, что еще раз подтверждает его значение как важного биогеографического рубежа. Дифференциация северо-восточных Лено-Колымского гипоарктическо-тундрового, Анадыро-Пенжинского гипоарктическо-тундрового и Нижнеколымского гипоарктическо-таежного (лесотундрового) биомов обусловлена в большой степени наличием горных территорий и орографической изоляцией.

Инвазии чужеродных видов растений в биомах российской Арктики. По результатам анализа в АЗРФ отмечено около 300 чужеродных видов растений, 63 (20,9%) из них аборигенные в одном из ее регионов и занесены в другие регионы [21]. Наибольшее разнообразие аборигенных видов сосудистых растений характерно для Чукотки, а наибольшие число и доля чужеродных видов — в западном секторе, в Мезено-Печорском и Кольском биомах (см. табл. 5). Последнее связано с хозяйственным и транспортным освоением региона, центрами добычи углеводородов, а также крупными горнодобывающими и перерабатывающими производствами (в Апатитах, Мончегорске, Воркуте, Усинске) и морскими портами на побережье Баренцева и Белого морей и устья Печоры (Мурманском, Кандалакшей,

Варандеем, Нарьян-Маром). Значительное число чужеродных видов растений отмечено также в Берингско-Чукотском регионе.

Выявляется вполне естественная связь разнообразия заносных видов и их натурализации на сельтебных местообитаниях поселков и городов АЗРФ с фактором времени (их созданием и периодом существования), особенно в районах нового освоения в регионах Западной, Центральной и Восточной Сибири. Поэтому закономерно, что в западном (атлантическом) секторе АЗРФ, где освоение поморами арктических земель (от Кольского полуострова до Печоры, включая Новую Землю) началось еще в XII в. По Северному морскому пути и по рекам с юга к концу XVII — началу XVIII вв. шло освоение арктических территорий Северной Евразии, создавались поселки и фактории. Но наиболее интенсивные процессы промышленного освоения в АЗРФ происходили в первой половине XX в., когда, собственно, и возникли крупные горнодобывающие центры и сеть более мелких поселков (вокруг рудников, приисков и пр.).

Адвентизации арктической флоры в целом способствовало и развитие сети ГУЛАГа, в первую очередь создание при объектах ГУЛАГа сельскохозяйственных производств, использовавших посевной материал и корма для скота, завозимые с юга. Кроме того, именно в 1930-х годах повсеместно в границах АЗРФ создавались сельскохозяйственные опытные станции (Печорская, Ямальская, Ханты-Мансийская и др.), развивались идеи «полярного земледелия» и сеть научно-исследовательских институтов сельского хозяйства Крайнего Севера. В конце 1990-х годов в районах нового освоения АЗРФ стали активно применяться методы биологической рекультивации, в которых широко использовался посевной материал (так называемые травосмеси) из более южных регионов.

Синтаксономическое разнообразие основных растительных сообществ АЗРФ выполнено по сводкам [22; 23] и показано в табл. 6. Отметим, что биомная дифференциация помогает оценить не только приуроченность отдельных синтаксонов к тому или иному биому (экорегionу), но и выявить некоторые биогеографические феномены — преемственность типологических единиц растительности, географию их разнообразия и даже некоторую последовательность проявления по градиентам средних температур, количества осадков и континентальности климата.

Заключение

Биомная дифференциация, как нам видится, может стать основой оптимизации сохранения арктической природы и ее биоразнообразия. В актуальной биогеографии российской Арктики важно выделять инвариантную и мобильную (изменчивую) составляющие, чтобы понять «норму реакции» отдельных представителей биоты и их сообществ на широкий диапазон климатических и антропогенных изменений. Это вос-

требованное самой теорией науки действие существенно расширяет методологию биогеографии при изучении биомов Арктики. К сожалению, внедренные в научную литературу алармистские прогнозы некоторых экологов и климатологов (например, [25; 26]) о возможном исчезновении арктического биома в ближайшие десятилетия из-за потепления климата, отводят современным оценкам арктического биоразнообразия роль архивных материалов.

Но результаты многолетнего мониторинга циклической динамики биоты российской Арктики подтверждают обратное, особенно если проводятся дифференцированно, с учетом ее биомной структуры. Они востребованы именно в сфере охраны природы, для разработки путей адаптации к изменениям климата самих природоохранных мер, для рационального хозяйства (например, в использовании биологических ресурсов, традиционном природопользовании) и населения (например, в оценке распространения природно-очаговых болезней и др.). Это актуально, правда, только в том случае, если выбор объектов и регионов для экологического мониторинга сделан правильно, с учетом биомной дифференциации АЗРФ, что и показали результаты нашего синтеза.

К сожалению, отечественные и зарубежные коллеги стараются обходить стороной вопрос о дифференцированной (побиомной) оценке изменчивости природы Арктики, так как собственно биогеографический синтез климатогенных и антропогенных перестроек с выявлением инвариантной и мобильной составляющих динамики биоты требует масштабов синтеза (например, по площади сопоставимых с АЗРФ), продолжительных (как в некоторых арктических ООПТ) рядов полевых наблюдений и одновременно вовлечения значительных архивов космической съемки, например MODIS, Landsat, Sentinel и др., как это использовалось в некоторых наших публикациях [11—15]. Речь идет не об изменениях собственно арктических рубежей и статуса Палеоарктической области Голарктического царства в Северной Евразии (Арктическая подобласть) в связи с потеплением, а об обратимых и необратимых перестройках в состоянии и распространении биоты отдельных биомов. Конечно, изменения носят циркумполярный характер и характерны для Арктики в целом. Поэтому наши выводы и рекомендации носят универсальный характер.

Близость подходов и методов биомной дифференциации российской Арктики, используемых многочисленными авторами, и применение для нее зонально-провинциального принципа подчеркиваются тем, что в пределах «российского сектора» этого мегарегиона выделяется 5—20 биомов (полярных пустынь, арктических и субарктических тундр, лесотундры, редколесий и тундролесий, стлаников) с разной нормой реакции на природные и антропогенные факторы.

Практически все примеры биомной дифференциации, приведенные в статье, базируются на использовании первично ландшафтно-климатических

Таблица 6. Синтаксономическое разнообразие растительности биомов российской Арктики (по [22; 23] с нашими дополнениями и уточнениями)

Синтаксон (в скобках количество ассоциаций)	Ранг синтаксона	Биомы, индексы (см. [19] и табл. 4)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10a	11a	12a	13a
<i>Drabo corymbosae-Papaveretea dahliani</i>	Класс	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Saxifrago oppositifoliae-Papaveretalia dahliani</i>	Порядок	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Papaverion dahliani</i> (6)	Союз	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Carici arctisibiricae-Hylocomietea alaskani</i>	Класс	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Salici polaris-Hylocomietalia alaskani</i>	Порядок	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Salici polaris-Hylocomion alaskani</i> (7)	Союз	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Poo arcticae-Calamogrostion holmii</i> (3)	Союз	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Carietalia arctisibiricae-lugentis</i>	Порядок	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Dryado octopetalae-Caricion arctisibiricae</i> (14)	Союз	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Salici pulchrae-Caricion lugentis</i> (7)	Союз	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
<i>Carici concoloris-Aulacomion turgidi</i> (2)	Союз	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
<i>Eriophoretalia vaginati</i>	Порядок	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Cassiopo tetragonae-Eriophorion vaginati</i> (3)	Союз	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Loiseleurio procumbentis-Vaccinetea</i>	Класс	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Deschampsio flexuosae-Vaccinietalia myrtilli</i>	Порядок	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Loiseleurio-Arctostaphylion</i> (16)	Союз	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Phyllodoco-Vaccinon myrtilli</i> (3)	Союз	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Polytrichastro alpini-Alnion fruticosae</i> (1)	Союз	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Carici rupestris-Kobresietea bellardii</i>	Класс	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Thymo arcticae-Kobresietalia bellardii</i>	Порядок	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Kobresion-Dryadion</i> (7)	Союз	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Dryadion integrifoliae</i> (2)	Союз	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
<i>Oxytropidion nigrescentis</i> (9)	Союз	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Oxycocco-Sphagneteta</i>	Класс	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Sphagnetetalia medii</i>	Порядок	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.

Синтаксон (в скобках количество ассоциаций)	Ранг синтаксона	Биомы, индексы (см. [19] и табл. 4)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10a	11a	12a	13a
<i>Oxycocco microcarpi</i> - <i>Empetrium hermaphroditum</i> (3)	Союз	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Rubus chamaemori</i> - <i>Dicranum elongatum</i> (5)	Союз	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Scheuchzeria palustris</i> - <i>Caricetum nigrae</i>	Класс	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Caricetalia davallianae</i>	Порядок	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Caricion atrofusco-saxatilis</i> (4)	Союз	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Caricetalia nigrae</i>	Порядок	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Aulacomnium palustris</i> - <i>Caricion rariflorae</i> (4)	Союз	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Caricion stantis</i> (8)	Союз	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Drepanocladum exannulatum</i> (4)	Союз	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Scheuchzeria palustris</i>	Порядок	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Scheuchzeria palustris</i>	Союз	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Caricion rariflorae</i> (5)	Подсоюз	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Salicetum herbaceum</i>	Класс	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Salicetalia herbaceae</i>	Порядок	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Cassiope-Salicion herbaceae</i> (1)	Союз	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cassiope tetragona</i> - <i>Eriophorum vaginatum</i> (3)	Союз	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Saxifraga stellaris</i> - <i>Oxyria digyna</i> (9)	Союз	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Arabidetalia caerulea</i>	Порядок	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Saxifraga oppositifolia</i> - <i>Oxyria digyna</i> (5)	Союз	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Betula carpathica</i> - <i>Alnetum virides</i>	Класс	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+
<i>Salicetalia glauco-lanatae</i>	Порядок	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+
<i>Salicion phylicifoliae</i> (1)	Союз	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.
<i>Arctostaphylos-Salicion</i> (5)	Союз	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Geranium albiflorum-Salicion</i> (3)	Союз	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Aulacomnium turgidum</i> - <i>Salicion glaucae</i> (7)	Союз	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	+	+
<i>Rubus tristis-Alnetum fruticosum</i> (2)	Союз	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Carici scirpoidae</i> - <i>Alnetum fruticosum</i> (2)	Союз	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.

Примечания.

1. Цвет заливки означает отнесение биота или группы биот к зональному типу.
2. Знак «+» означает представленность данного синтаксона на территории биота; «.» — его отсутствие на территории биота.

критериев, в первую очередь зональных (широтных) градиентов климата и провинциальных (меридиональных) градиентов континентальности климата, коррелирующих с удаленностью от Атлантического и Тихого океанов соответственно. Их биогеографические отличия проявляются полно только на стадии анализа состояния биоразнообразия, его количественных характеристик.

Биомная дифференциация российской Арктики позволяет более детально оценивать реакцию биоты и экосистем на изменения климата, проследить за трендами климатических изменений тренды биоразнообразия, выделять пространственные контуры с однотипными реакциями на воздействие климата и хозяйственной деятельности. Отсюда возникает и ее актуальность для дифференцированного подхода к анализу современных природных и антропогенных изменений арктической природы, формирования в российской Арктике репрезентативной и оптимальной сети ООПТ, для сохранения редких видов, планирования и регламентации хозяйственной деятельности.

Статья подготовлена в рамках гранта РНФ № 22-17-00168 «Биогеографические последствия изменений климата в Российской Арктике».

Литература/References

1. Udwardy M. A classification of the biogeographical provinces of the World. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources: Occasional Papers, 1975, no. 18, pp. 5—47.
2. Udwardy M. The IUCN/UNESCO system of biogeographic provinces in relation to the biosphere reserves. 1st Intern. Biosphere Reserve Congr. Minsk, 26 Sept. — 2 Oct., vol. 1. Paris, 1984, pp. 16—19.
3. Walter H., Box E. Global classification of natural terrestrial ecosystem. Vegetatio, 1976, vol. 32, no. 2, pp. 75—81.
4. Особо охраняемые природные территории России: современное состояние и перспективы развития / Авторы-составители В. Г. Кревер, М. С. Стишов, И. А. Онуфреня. — М.: WWF России, 2009. — 459 с. Nature protected areas of Russia: current state and perspectives. V. G. Krever, M. S. Stishov, I. A. Onufrenya. Moscow, WWF-Russia, 459 p. (In Russian).
5. Анисимов О. С., Жильцова Е. Л., Разживин В. Ю. Моделирование биопродуктивности в арктической зоне России с использованием спутниковых наблюдений // Исслед. Земли из космоса. — 2015. — № 3. — С. 60—70. Anisimov O. S., Zhiltsova E. L., Razzhivin V. Yu. Modeling of bioproductivity in the Arctic zone of Russia using satellite observations. Issledovaniya Zemli iz kosmosa, 2015, no. 3, pp. 60—70. (In Russian).
6. Стишов М. С. Особо охраняемые природные территории Российской Арктики: современное состояние и перспективы развития. — М.: WWF-Россия, 2013. — 433 с. Stishov M. S. Nature protected areas of the Russian Arctic: current state and prospects of development. Moscow, WWF-Russia, 2013, 433 p. (In Russian).
7. Daniëls F. J. A., Gillespie L. J., Poulin M. Plants. Arctic Biodiversity Assessment. Status and trends in Arctic biodiversity. Akureyri. Conservation of Arctic Flora and Fauna, 2013, pp. 312—347.
8. Dinerstein E., Olson D. et al. An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm. BioScience, 2017, vol. 67, iss. 6, pp. 534—545.
9. Тишков А. А. Биосферные функции природных экосистем России. — М.: Наука. 2005. — 309 с. Tishkov A. A. Biosphere functions of natural ecosystems of Russia. Moscow, Nauka, 2005, 309 p. (In Russian).
10. Тишков А. А. Карта биомов России // Живая планета. — [Б. м.]: WWF-Россия, 2008. — С. 8. Tishkov A. A. Map of biomes of Russia. Living Planet. [S. l.], WWF-Russia, 2008, p. 8. (In Russian).
11. Белоновская Е. А., Тишков А. А., Вайсфельд М. А. и др. «Позеленение» Арктики и современные тренды ее биоты // Изв. РАН. — Сер. геогр. — 2016. — № 3. — С. 67—82. Belonovskaya E. A., Tishkov A. A., Vaisfel'd M. A., Glazov P. M., Krenke Jr A. N., Morozova O. V., Pokrovskaya I. V., Tsarevskaya N. G., Tertitskii G. M. "Greening" of the Arctic and current trends of its biota. Izv. RAN, Ser. geogr., 2016, no. 3, pp. 28—39. (In Russian).
12. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А. и др. «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 2 (30). — С. 31—44. Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Vaisfel'd M. A. et al. "Greening" of the tundra as a driver of modern dynamics of the Arctic biota. Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy], 2018, no. 2 (30), pp. 31—44. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44. (In Russian).
13. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А. и др. Региональные биогеографические эффекты «быстрых» изменений климата в российской Арктике в XXI в. // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 2 (38). — С. 31—45. Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Vaysfel'd M. A. et al. Regional biogeographic effects of "fast" climate changes in the Russian Arctic in the 21st century. Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy], 2020, № 2 (38), pp. 31—45. (In Russian).
14. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Глазов П. М. и др. Тундра и лес российской Арктики: вектор взаимодействия в условиях современного потепления климата // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 3 (39). — С. 48—61. Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Glazov P. M. et al. Tundra and forest of the Russian Arctic: vector of interaction in conditions of modern climate warming. Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy], 2020, no. 3 (39), pp. 48—61. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-48-61. (In Russian).

15. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Кренке А. Н. и др. Изменения биологической продуктивности наземных экосистем российской Арктики в XXI в. // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, № 1. — С. 29—41.
Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Krenke A. N. et al. Changes in biological productivity of terrestrial ecosystems of the Russian Arctic in the XXI century. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2021, vol. 11, no. 1, pp. 29—41. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-29-4. (In Russian).
16. Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (Расширенное резюме) / Под ред. Б. А. Моргунова. — М.: Науч. мир, 2011. — 200 с.
Diagnostic analysis of the state of the environment of the Arctic zone of the Russian Federation (Extended summary). B. A. Morgunov (ed.). Moscow, Scientific World, 2011, 200 p. (In Russian).
17. Изменения климата в Российской Арктике: риски и новые возможности. — М.: Сколково, 2022. — 105 с.
Climate change in the Russian Arctic: risks and new opportunities. Moscow, Skolkovo, 2022, 105 p. (In Russian).
18. Карта «Биомы России». 1:7 500 000. (Изд. перераб. и доп.) / Под ред. Г. Н. Огуреевой. — М.: WWF России, 2018.
Map "Biomes of Russia". 1:7,500,000. (Ed. reprint and add.). G. N. Ogureeva (ed.). Moscow, WWF Russia, 2018. (In Russian).
19. Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы / Под ред. Г. Н. Огуреевой. — М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2020. — 623 с.
Biodiversity of Russian biomes. Lowland biomes. G. N. Ogureeva (ed.). Moscow, FGBI "IGKE", 2020, 623 p. (In Russian).
20. Национальный атлас Арктики. — М.: Рус. геогр. о-во, 2017. — 496 с.
National Atlas of the Arctic. Moscow, Russian Geographical Society, 2017, 496 p. (In Russian).
21. Морозова О. В., Тишков А. А. Чужеродные виды растений Российской Арктики: пространственное разнообразие, коридоры и локальные инвазии // Рос. журн. биол. инвазий. — 2021. — № 3. — С. 50—62.
Morozova O. V., Tishkov A. A. Alien plant species of the Russian Arctic: spatial diversity, corridors and local invasions. *Russian J. of Biological Invasions*, 2021, no. 3, pp. 50—62. (In Russian).
22. Ермаков Н. Б. Продромус высших единиц растительности России // Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Современное состояние основных концепций науки о растительности. — Уфа: Гилем. — 2012. — С. 377—483.
Ermakov N. B. Prodromus of higher units of vegetation of Russia. *Mirkin B. M., Naumova L. G.* The current state of the basic concepts of vegetation science. Ufa, Gilem, 2012, pp. 377—483. (In Russian).
23. Матвеева Н. В., Лавриненко О. В. Чек-лист синтаксонов Российской Арктики: текущее состояние классификации растительности // Растительность России. — 2021. — № 42. — С. 3—41.
Matveeva N. V., Lavrinenko O. V. Checklist of syntaxons of the Russian Arctic: the current state of vegetation classification. *Vegetation of Russia*, 2021, no. 42, pp. 3—41. Available at: <https://doi.org/10.31111/vegetus/2021.42.3>. (In Russian).
24. Walker D. A., Reynolds M. K., Daniëls F. J. A. et al. The Circumpolar Arctic Vegetation Map. *J. Veg. Sci*, 2005, vol. 16, no. 3, pp. 267—282. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02365.x>.
25. Walker D. A., Daniëls F. J. A., Matveyeva N. V. et al. Circumpolar Arctic Vegetation Classification. *Phytocoenologia*, 2017, Bd. 48, Hf. 2, pp. 181—201. Available at: <https://doi.org/10.1127/phyto/2017/0192>.
26. Bala G., Caldeira K., Mirin A. et al. Multicentury Changes to the Global Climate and Carbon Cycle: Results from a Coupled Climate and Carbon Cycle Model. *J. of Climate*, 2005, vol. 18, iss. 21, pp. 4531—4544.
27. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for Policymakers. P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia et al. (eds.). IPCC, 2020, 41 p.

Информация об авторах

Белоновская Елена Анатольевна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: belena53@mail.ru.

Тишков Аркадий Александрович, член-корреспондент РАН, доктор географических наук, главный научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: tishkov@igras.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Белоновская Е. А., Тишков А. А. Биомная дифференциация российской Арктики // Арктика: экология и экономика. — 2023. — Т. 13, № 1. — С. 18—33. — DOI: 10.25283/2223-4594-2023-1-18-33.

BIOME DIFFERENTIATION IN THE RUSSIAN ARCTIC

Belonovskaya, E. A., Tishkov, A. A.

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received in September 7, 2022

Abstract

The article discusses various aspects of the biome division of the Russian Arctic and its significance for assessing climatic and anthropogenic changes in ecosystems. Different authors base the biome differentiation of the Arctic on the zonal-provincial principle, which takes into account the latitudinal temperature gradient and the meridional gradient of the continentality of the climate. As a result, from 6 to 20 or more biomes are allocated directly for the Russian Arctic to assess conveniently biodiversity, the response of ecosystems to climate change, to form a representative network of protected natural areas, etc. To characterize the climate and biodiversity, the authors use the schemes of biome division of the Russian Arctic, presented on the existing versions of maps of Russian biomes [10; 18]. They give quantitative characteristics of biomes that are important in relation to the regulation of economic activity and optimization of the territorial protection of biota and ecosystems in the Arctic.

Keywords: *Russian Arctic, biome, polar deserts, tundra, forest tundra, differentiation, zonal-provincial principle, climate change, biodiversity.*

The article was prepared within the framework of the Russian National Science Foundation Grant No. 22-17-00168 “Biogeographic consequences of climate change in the Russian Arctic”.

Information about the authors

Belonovskaya, Elena Anatol'evna, PhD of Geography, Leading Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: belena@igras.ru.

Tishkov, Arkadiy Aleksandrovich, Doctor of Geography, Corresponding Member of RAS, Professor, Deputy Director, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: tishkov@biodat.ru.

Bibliographic description of the article

Belonovskaya, E. A., Tishkov, A. A. Biome differentiation in the Russian Arctic. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2023, vol. 13, no. 1, pp. 18—33. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-1-18-33. (In Russian).

© Belonovskaya E. A., Tishkov A. A., 2023