

«ПОЗЕЛЕНЕНИЕ» ТУНДРЫ КАК ДРАЙВЕР СОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ АРКТИЧЕСКОЙ БИОТЫ

А. А. Тишков, Е. А. Белоновская, М. А. Вайсфельд,
П. М. Глазов, А. Н. Кренке, Г. М. Тертицкий
ФГБУН Институт географии РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 19 февраля 2018 г.

В 2014–2017 гг. с использованием дистанционных и наземных исследований проведен анализ разномасштабных, разновременных и разнонаправленных изменений биоты и экосистем российской Арктики в условиях синергизма действий меняющегося климата и расширяющейся хозяйственной деятельности. Результаты первого этапа исследований были опубликованы ранее. Выявлено, что суммарно территории с дестабилизированным режимом развития составляют более 10% площади Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Причины дестабилизации экосистем – «позеленения» тундры связаны в основном с увеличением продуктивности за счет роста проективного покрытия травянистой и кустарниковой растительности. Оно выступает драйвером многих современных процессов динамики арктической биоты (состава, распространения и изменений численности птиц и млекопитающих) и по причинно-следственной цепочке влияет на традиционное хозяйство коренных малочисленных народов Севера и региональные особенности промышленного освоения АЗРФ. Представлены данные об изменениях в динамике численности, распространении и миграциях отдельных представителей арктической биоты – леммингов, дикого северного оленя, россомахи, морских и водоплавающих птиц. «Позеленение» Арктики вносит серьезные коррективы в стратегию сохранения биоты и экосистем, связанную с выполнением обязательств по ряду международных соглашений, в первую очередь Конвенции по изменению климата и Конвенции о биологическом разнообразии.

Ключевые слова: Арктика, арктическая биота и экосистемы, дистанционное зондирование, NDVI, «позеленение» тундры, динамика численности, миграции, ареал, лемминги, водоплавающие птицы, дикий северный олень.

Введение

Мониторинг последствий и адаптаций к изменениям климата арктических экосистем с помощью методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) получает все большее признание. Несмотря на то, что российская орбитальная группировка ДЗЗ, представленная восемью космическими аппаратами — Ресурс-П (3), Канопус-В, Электро-Л (2) и Метеор-М (2), обеспечивает спектральную съемку поверхности Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) в видимом и инфракрасном диапазонах, в случае с глубиной и качеством ретроспективного анализа состояния арктических экосистем предпочтение отдается зарубежным многоспектральным

сканерам и радиометрам с высоким пространственным разрешением [1]. Так, для оценок (расчетов) наиболее интегрального показателя климатогенных изменений — NDVI — используются спутниковые аппараты AVHRR, MODIS и LANDSAT. Они обладают возможностью сканировать поверхность с очень высокой разрешающей способностью и получать спектральную информацию в высоких диапазонах. Наш опыт применения архивов MODIS [2–5] как раз показал перспективы их использования для единовременной оценки изменений продукционных характеристик растительности российской Арктики в XXI в. (с 2000 по 2015 гг.). Можно надеяться, что с началом реализации космической программы «Арктика» и запуском спутников «Арктика-Р» и «Арктика-М» (смещенным на 2018–2019 гг. из-за санкций), предназначенных для радиометрического

анализа экологической обстановки в регионе, возможности для актуального мониторинга состояния экосистем возрастут.

В то же время собственно мониторинг последствий изменений климата для биоты и экосистем АЗРФ не может быть ограничен лишь дистанционными методами, так как они дают представление только о широкомасштабных (в пространственном отношении) и слабо обратимых перестройках биофизических параметров растительности. Требуются подспутниковая верификация и детализация динамических процессов в арктических экосистемах. В отношении изменений растительности требуются учет запасов и продукции фитомассы, измерения текущего дыхания и влажности почв, баланса углерода, транспирации растительного покрова, дифференцированная по группам растений оценка проективного покрытия, замеры высоты фитоценологических горизонтов (для расчета удельной плотности фитомассы) и др. Последний синтез данных по продуктивности арктических экосистем, основанный на полевых измерениях в российской Арктике, был проведен 20 лет назад [6]. Уже в тот период было понятно, что стартует тренд роста продукции арктической растительности за счет продвижения леса на север, выхода кустарников в тундровой зоне из долин на плакор, снижения покрытия лишайников, увеличения доли осок и злаков в покрове и др. Все выявляемые подобные тренды носили региональный, а в некоторых случаях и флуктуационный характер. На конец 1990-х годов приходится также расширение участия адвентивных видов сосудистых растений во флоре хозяйственно осваиваемых арктических территорий [7; 8].

Еще более индикативными свойствами в отношении климата и антропогенной трансформации (опосредованно — через кормовую базу, условия миграций и пр.) обладает животное население Арктики, которое активно функционирует в короткий теплый период и облигатно зависит от продолжительности вегетационного периода, продукции фитомассы и пр. Популяции птиц и млекопитающих Арктики чутко реагируют на любые формы антропогенного влияния на экосистемы. И если в отношении изменчивости климата у биоты имеется целый набор адаптационных качеств, то антропогенные воздействия часто приводят к необратимым последствиям.

Детально оценить и экстраполировать тренды арктической биоты, в том числе катастрофические, связанные со снижением численности и локальным вымиранием популяций животных и необратимой трансформацией флоры и растительности, можно только по материалам наземных исследований.

Настоящая статья посвящена интерпретации трендов биоты, выявляемых с помощью дистанционного зондирования, и тех, которые определяются в процессе наземных исследований, но имеют в своей основе более масштабные явления — «позеленение» Арктики.

Продуктивность арктических экосистем и ее современные тренды

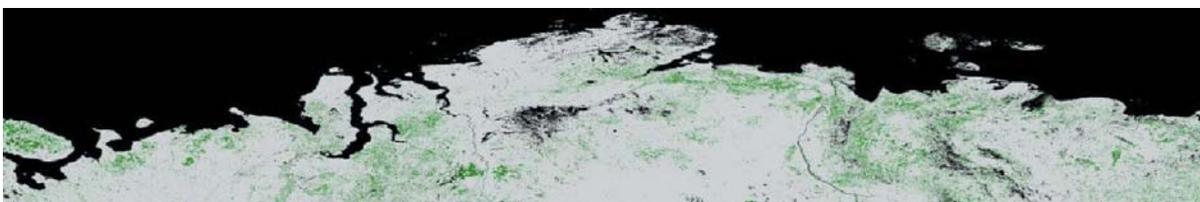
Получаемые со спутников спектральные и радиометрические характеристики арктических наземных экосистем свидетельствуют о возрастании за последние десятилетия усредненного значения нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI), отражающего степень «позеленения» территории, что обусловлено увеличением интенсивности фотосинтеза, надземных запасов и продукции фитомассы в условиях роста продолжительности вегетационного периода, улучшения теплового режима почв и большей доступности питательных веществ для растений.

Коллектив международных экспертов [9] проанализировал данные спутниковых съемок за период с 1982 по 2008 гг. и установил, что в высоких широтах канадской Арктики, северной Аляски, северной Евразии в отдельных районах рост максимальных значений NDVI достигает 15%. Увеличение NDVI авторы связывают с потеплением, обусловленным разрушением многолетнего ледового покрова в 50-километровой зоне вдоль берега, и в целом с сокращением сроков ледового режима. Тенденции, выявленные при анализе спутниковых данных, в последние годы были подтверждены долговременными наземными исследованиями «поведения» тундровой растительности на модельных площадках в рамках международных проектов *ITEX (International Tundra Experiment)* и *BTF (Back to the Future)*. В течение последних 25—30 лет наиболее заметные изменения, в том числе возрастание надземной и подземной фитомассы, увеличение обилия доминирующих видов растений, произошли и в других районах высокоширотной Арктики [10]. Эти изменения, по мнению авторов, были ответом на повышение температуры воздуха за последние десятилетия. Возрастанию запасов фитомассы сопутствовало и увеличение продолжительности вегетационного периода и более глубокое протаивание активного слоя почв. Ранее для всей АЗРФ эти закономерности были отмечены Н. И. Базилевич и А. А. Тишковым [6] при анализе закономерностей продуктивности тундрового биома. На тот период средние параметры запасов и продукции фитомассы были ниже современных и сильно колебались в зависимости от региона (табл. 1). Сейчас можно говорить, что они достоверно выросли в среднем на 10—15%.

Наши данные (рис. 1) подтверждают выявившиеся ранее на локальном и региональном уровнях тренды роста продуктивности зональной растительности в условиях потепления климата, а также как реакцию на нарушения целостности растительного покрова. Но ни в масштабах всей Арктики [12], ни применительно к арктическим регионам северной Евразии [6; 13] сопоставление потерь запасов и продукции фитомассы в результате антропогенной трансформации и их роста в результате

Таблица 1. Зональная дифференциация продукционных характеристик природных экосистем АЗРФ [13 с дополнениями]

Зональные экосистемы	Запас фитомассы, т/га	Запас мортмассы, т/га	Продукция, т/га в год
Полярные пустыни	0,5—2,0	1,0—2,0	0,1—0,3
Арктические тундры	5,0—10,0	10,0—20,0	1,0—3,0
Субарктические тундры	10,0—40,0	20,0—60,0	2,0—4,0
Лесотундра	30,0—100,0	30,0—100,0	3,0—5,0

**Рис. 1. «Позеленение» тундры в российской Арктике. Зеленым цветом выделены районы наиболее существенных изменений продуктивности растительного покрова с 2000 по 2014 гг. (по материалам анализа архивов MODIS)**

потепления и формирования новых местообитаний не проводилось.

Косвенно продуктивность тундр, например, можно оценить через измерение запасов и эмиссии углерода [14]. Понятно, что увеличение минерализации органических соединений, образования CO_2 и минеральных соединений азота при росте активных температур вегетационного периода возможно в тундрах далеко не повсеместно, а преимущественно для экосистем с высокой долей участия в покрове травянистой растительности. Это позволяет предположить, что возможный механизм увеличения продуктивности растений при потеплении климата в Арктике связан с интенсификацией активности микроорганизмов в почве и ростом доступности биогенов для растений. Пик роста продуктивности тундровых ландшафтов пришелся на конец 1990-х — начало 2000-х годов и проявлялся не столько в увеличении прироста растительного покрова *in-situ*, сколько во внутриландшафтном перераспределении растительности и расширении площади ее более продуктивных сообществ: на границе леса и в южных тундрах — лесных и кустарниковых, в типичных тундрах — кустарничковых и травяных, в арктических тундрах — кустарничковых и травяных (злаковых).

Для выявления возможных трендов биологической продуктивности выделенных типов ландшафтного покрова нами был проведен анализ продукта «Yearly Gross productivity», рассчитанного на основе мозаик «Modis». Можно отметить, что средние показатели первичной продукции ландшафтного типа «продуктивный» по сравнению с 2000 г. за отмеченный период снизились на 6,2%, а средние показатели для «низкопродуктивного» покрова упали только на 1,1%. Однако для этих значений еще предстоит

определить долю трендовой составляющей и убрать краткосрочные (погодичные флуктуации NDVI) колебательные процессы, так как многие авторы за последние десятилетия отмечают как раз, наоборот, рост первичной продукции. Например, по данным Второго оценочного доклада Росгидромета 2014 г. [11] он составляет от 0,13% до 1,02% в год от показателей начального года наблюдений (1982 г.).

Для Циркумполярного региона в целом отмечено увеличение параметров NDVI, отражающих степень «позеленения» территории [12]. Для арктических и приарктических территорий России подобные оценки также проведены в целом для зоны [2—5], для островов Колгуев и Вайгач, где рост максимальных значений NDVI составил 15% и 30% соответственно [15]. Здесь оно произошло как за счет увеличения запасов зеленой части фитомассы (трав, листьев кустарников и кустарничков), так и в результате расширения площадей более продуктивных сообществ, таких как сообщества злаков, осок и пушиц («олугование») и ивняков («закустаривание»), хотя на циркумполярной карте изменений MaxNDVI в Арктике для прилегающих к островам материковых территорий Большеземельской тундры отмечены отрицательные тренды MaxNDVI (–4...–6%), а максимальные значения за последние 30 лет показаны для всей канадской Арктики и севера Аляски. В отношении российской Арктики прирост показателей запасов и продукции фитомассы отмечается для юга восточного Таймыра и между речья Анабары и Оленька. Здесь возрастание запасов и продукции фитомассы тесно коррелирует с ростом средних летних температур, увеличением продолжительности вегетационного периода, а также увеличением глубины деятельного слоя [12].



Рис. 2. Дикий северный олень — главный индикатор состояния растительного покрова Арктики, в первую очередь зимних пастбищ

Всегда ли рост продуктивности зональных экосистем можно рассматривать только как позитивный фактор динамики? Принимая во внимание, что аномально высокие температуры, наблюдаемые на территории АЗРФ в последние десятилетия, — это только фрагмент 30—60-летних циклов «ледовитости океана» и, возможно, проявление циклов атмосферной циркуляции, отметим, что «инерция» наблюдаемых климатогенных сукцессий в Арктике может быть очень высокой. Причины здесь кроются в разнонаправленности процессов функционирования экосистемы и их влиянии на тренды температуры, фиксации углерода, протаивания мерзлоты, снегонакопления, альbedo, продолжительности вегетационного периода и пр. Установить вектор изменений оказывается крайне трудно. Рост поступления метана при окислении плейстоценовой органики из тающей мерзлоты [16], как и меняющееся альbedo, накопление снега при закустаривании тундры и прочие климатогенные процессы, усиливает эффект потепления в Арктике. Но, с другой стороны, проявляются процессы с другим знаком вектора. Например, с повышением продуктивности и накопления мортмассы в условиях роста средних температур приземного слоя отмечается подъем уровня мерзлоты из-за усиления теплоизолирующих свойств торфянистого горизонта почвы.

Очевидно, что ответная реакция растительности на абиотические изменения в Арктике не ограничивается изменением индивидуального роста растений и состава арктических сообществ. Например, вышеупомянутая экспансия кустарников и деревьев, как уже показано, способствует аккумуляции снега, увеличению зимних почвенных температур, повышению микробной активности почвы и соответственно накоплению питательных веществ в почве, что, в свою очередь, стимулирует дальнейший рост древесно-кустарникового покрова. Ответы растительности на изменения климата могут быть более

сложными, чем те, которые получены при экспериментах, имитирующих потепление.

Еще более сложными выглядят прямые и опосредованные воздействия роста продуктивности арктических экосистем на современную динамику других групп биоты, прежде всего животных.

«Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты

Каскадный, кумулятивный и синергетический эффекты влияния изменений климата и отчасти антропогенной трансформации, выраженные в трендах продуктивности экосистем Арктики, в свою очередь, влияют и на формирование других трендов биоты.

Ослабление цикличности численности леммингов. Самый ожидаемый из них — изменение характера динамики численности леммингов, исчезновение по всему ареалу выраженной ее цикличности, характерной ранее для многих регионов Арктики. Речь идет о норвежском, копытном и сибирском леммингах. По утверждению Ф. Б. Чернявского [17], «правильная» периодичность пиков численности леммингов свойственна всей тундровой зоне от «Скандинавии до северной Канады». Однако она нарушилась в последние десятилетия почти повсеместно в Евразии у многих групп грызунов, в том числе и у леммингов [18].

На то, что с конца 1990-х годов регулярные вспышки численности леммингов прекратились, обратили внимание и скандинавские, и российские исследователи [19; 20]. Причины радикального изменения популяционной динамики леммингов виделись в изменениях климата: позднее наступление зимы, зимние оттепели, возрастание плотности снежного покрова, затопление нор тальми водами и др. Снижение интенсивного зимнего размножения как раз и «сглаживает» вспышки численности леммингов. Однако, с нашей точки зрения, к этому важному фактору следует добавить и сдвиги в фенологии кормовых растений, которые приводят к более ранним срокам подснежного размножения и увеличению риска гибели животных от низких температур и талых вод.

Почему не работают модели динамики численности леммингов в Арктике, построенные на обратных связях истощения корма и демографии популяций, дающие закономерный трехлетний цикл колебаний численности [21]? Во-первых, они были ориентированы на константность репродуктивного цикла, обусловленного и относительной стабильностью климата. Во-вторых, эндогенные внутривидовые циклы за счет фенологических сдвигов получили импульс для новых адаптаций: внутриландшафтного перераспределения биотопов и сокращения уровня подснежной репродукции. Эти факторы в моделях не учитывались.

Фрагментация ранее сплошного ареала дикого северного оленя. На это явление ранее обратили внимание некоторые исследователи [22; 23],

которые показали формирование «очагов» обитания дикого северного оленя, его «микрораспространения» (рис. 2 и 3). Лимитирующим фактором распространения копытных в данном случае выступают зимние пастбища, участки антропогенной нарушенной тундры, а также увеличение мощности снежного покрова в традиционных местах зимовок.

Дикий северный олень в пределах арктических и приарктических территорий в XXI в. сформировал «очаговый» ареал в Мурманской, Архангельской областях, Ненецком, Ямало-Ненецком, Таймырском и Чукотском автономных округах, в республиках Коми и Саха (Якутия) (см. рис. 3). В целом по России численность дикого северного оленя составляет около 950 тыс. особей (рис. 4).

В европейской части Арктики дикий северный олень обитает в тундрах Мурманской области (см. рис. 3). В южной части архипелага Новая Земля достаточно стабильна «краснокнижная» популяция вида численностью около 5 тыс. голов. В Ненецком автономном округе Архангельской области тундровая форма оленя фактически исчезла к началу 2000-х годов. В северных районах Ямало-Ненецкого автономного округа сосредоточено около 11 тыс. особей. Ядро Надымско-пуровской популяции (см. рис. 3) оценивается по разным источникам от 18 000 до 30 000 голов и сосредоточено южнее Тазовского полуострова.

Во всем Сибирском федеральном округе обитает около 564 тыс. особей, из которых большинство сосредоточено в тундрах Таймыра (рис. 5). Таймырская популяция дикого северного оленя крупнейшая в Евразии. Это биологический ресурс, имеющий огромное биосферное, генетическое и социальное значение, но и она в последние десятилетия фрагментируется, испытывает высокий пресс со стороны браконьерства. Как известно, для северных оленей характерен четкий пространственный

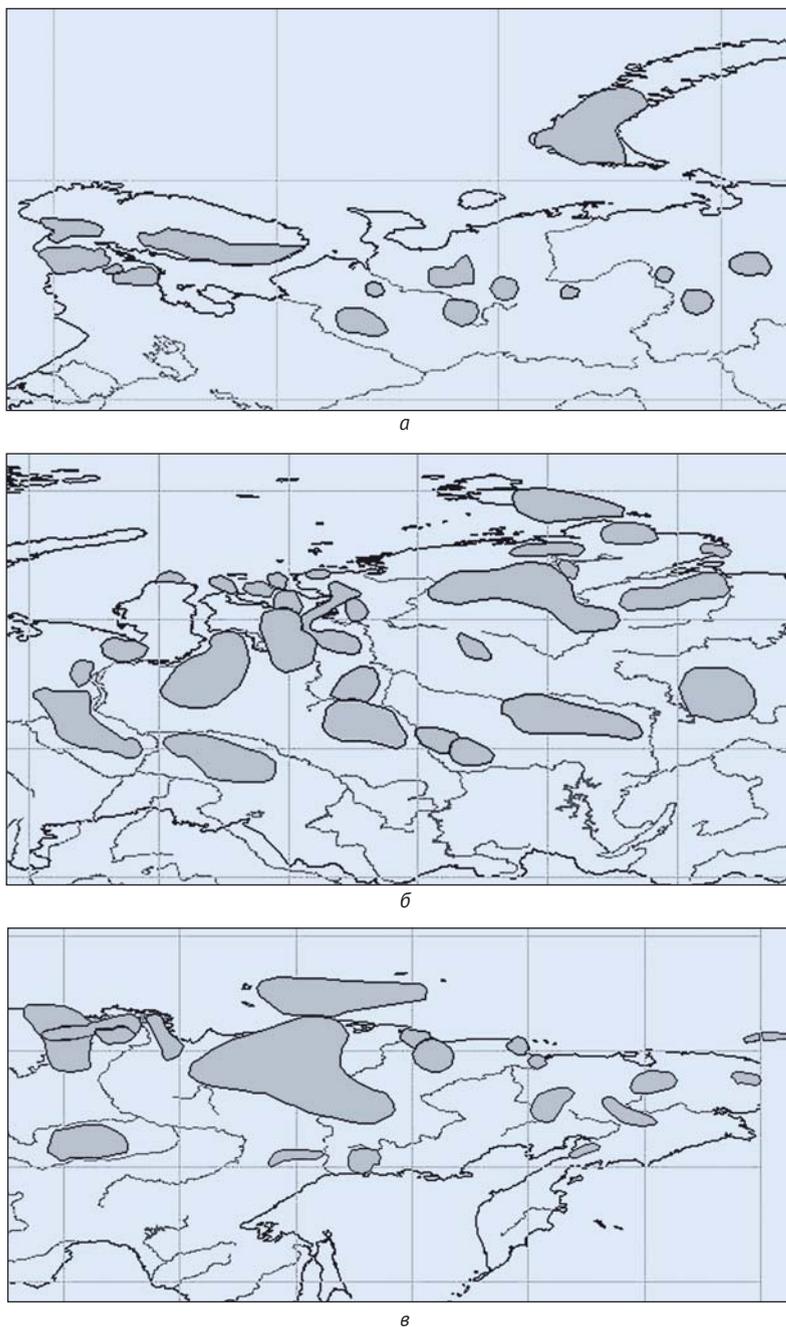


Рис. 3. Популяции дикого северного оленя: европейской России (а), западной и средней Сибири (б) и восточной Сибири (в) [23]

консерватизм, и популяции, если они не подвергаются прямому преследованию, а также трансформации местообитаний, сохраняются в границах своего ареала сотни лет [23]. Между тем практически на всем протяжении ареала местообитания оленей трансформируются, в том числе в результате процессов «позеленения». В тундрах и лесотундре Таймыра состояние оленьих пастбищ вызывает тревогу: покрытие лишайников сократилось с 70% в прежние годы до 17% [24]. На отдельных участках запасы лишайниковых кормов сократились в 10 раз! [24]. Как мы отмечали ранее, идет «делихенизация» тундры [3]. Воздействует на вид и хищническая деятельность волков. В результате численность дикого северного оленя Таймырской популяции

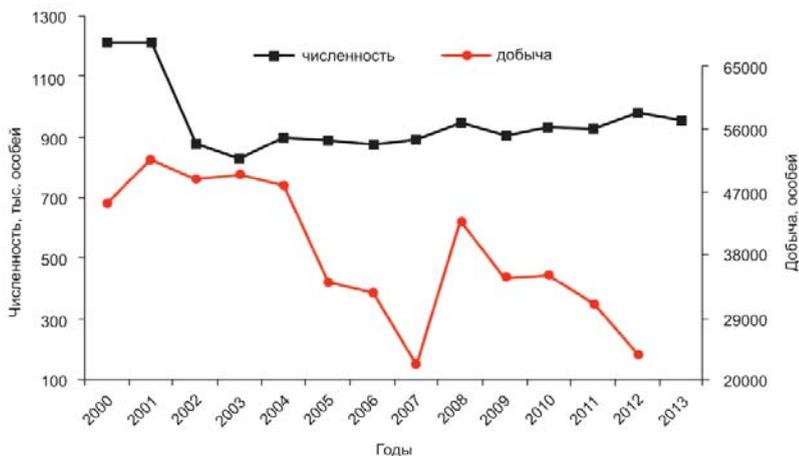


Рис. 4. Численность и добыча дикого северного оленя в России (по данным ФГБУ Центрохотконтроль [26])

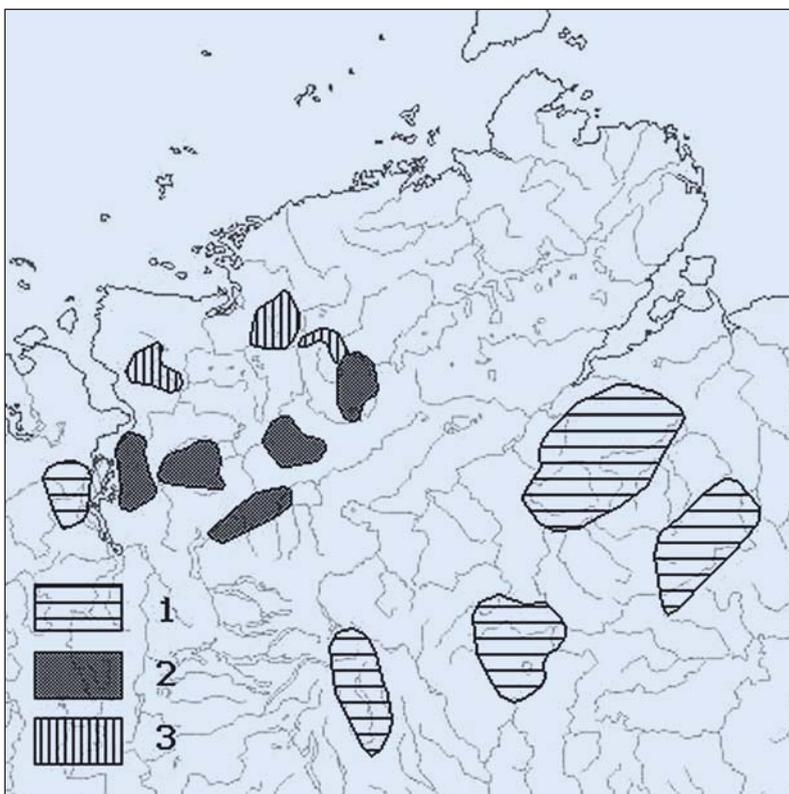


Рис. 5. Зимний (1), отелный (2) и летний (3) ареалы дикого северного оленя на Таймыре в 2000 г. [24]

падает. В Якутии [26] обитает 335,6 тыс. диких северных оленей, а на Чукотке — всего 100 тыс.

В перспективе наибольшего ущерба дикому северному оленю следует ожидать от интенсификации разведки и добычи углеводородов в районах обитания вида, от коренной трансформации экосистем, включая деградацию пастбищ, прямого ущерба от охоты, а местами от волков и преследования со стороны оленеводов. По всей видимости, учитывая синергизм действия изменений климата и высоких темпов освоения АЗРФ и сопряженного с ним сокращения площадей продуктивных оленьих пастбищ, численность дикого

северного оленя будет снижаться, а ареал — фрагментироваться.

Изменение состава фауны и характера распространения млекопитающих АЗРФ. Коренным образом в последние десятилетия менялась фауна наземных млекопитающих российской Арктики: реинтродуцированы типичные арктические виды — овцебык и бизон. Численность первого достигала более 10 тыс. особей в изолированных группировках: полуостров Таймыр, остров Врангеля, полуостров Ямал, Республика Саха (Якутия), но в последние годы падает. Бизон — перспективный вид для редколесий и тундростепей Северо-Востока Сибири.

Росомаха (рис. 6). Ареал вида, как отмечалось выше, охватывает всю таежную зону и вместе с тем практически все тундры (рис. 7). Более того, этот вид неоднократно отмечался на прибрежных участках океана — на полуостровах Канин Нос, Ямал, Гыданский, Таймыр, на плато Пutorан и на островах Большом Ляховском, Новая Сибирь, Врангеля и др. [25].

Численность вида по всему ареалу претерпевала значительные колебания, связанные главным образом с интенсивным истреблением хищника, наносящего, как считалось, урон домашнему оленеводству. В российской Арктике этот вид никогда не считался особо многочисленным, плотность его населения практически везде низкая. В целом в России [26] численность росомахи в 2008 г. составляла 20,47 тыс. особей, в 2009 г. — 19,47, в 2010 г. — 19,66, в 2011 г. — 18,57, в 2012 г. — 19,71, в 2013 г. — 17,87 тыс. особей. Пик численности вида приходился на 1990 г. — 29 тыс., но все последние годы отмечается почти повсеместная депрессия численности за исключением дальневосточной части ареала (рис. 8).

Отрицательный тренд только опосредованно (через снижение численности леммингов, сокращение области обитания дикого

северного оленя) можно объяснить изменениями климата или техногенными воздействиями. Россомаха — зверь исключительно подвижный, способный к дальним миграциям и легко переносящий дефицит кормов за счет перехода на замещающие и второстепенные корма. Главный ущерб виду в настоящее время наносят оленеводы, оснащенные современным снегоходным транспортом и считающие росомаху наряду с волком основным врагом оленей. Следует подчеркнуть, что росомаха при обилии корма способна к весьма продуктивной репродукции и быстрому увеличению поголовья.

Все большую роль в АЗРФ играют бореальные (таежные) виды — бурый медведь, рысь, распространение которых сдвинулось в Арктику на 200—300 км. В противоположном направлении меняются численность и распространение типичных арктических видов — песца и белого медведя. Ареалы, динамика численности и пути миграций у названных видов в течение последних десятилетий подвергались существенным изменениям на фоне быстрого потепления климата и постоянно растущего антропогенного воздействия. Численность популяции белых медведей в российской Арктике оценивается всего в 5—6 тыс. особей и имеет тенденцию к сокращению.

Изменения в распространении и численности морских и водоплавающих птиц Арктики. «Позеленение» Арктики как явление, связанное с кумулятивным эффектом потепления климата, распространяется не только на сушу, но и на море. Здесь в результате роста продолжительности периода открытой воды, поступления органики с речными водами и течениями наблюдается рост продукции фитопланктона и поглощение CO₂. Например, популяции толстоклювой кайры в последнее десятилетие в североатлантических регионах резко снизили численность, что связано с повышением температуры



Рис. 6. Россомаха — вид-индикатор низкой антропогенной нарушенности арктических и приарктических экосистем, в том числе фрагментации ландшафта



Рис. 7. Современный ареал росомахи в России: 1 — видовой ареал, 2 — дальние заходы [25]

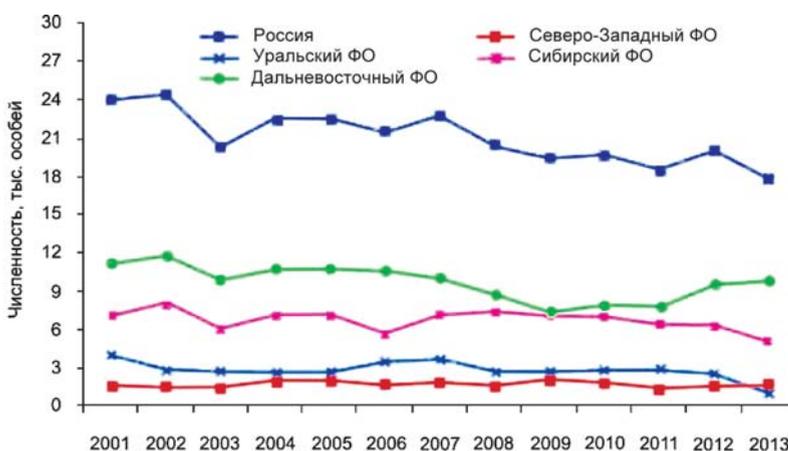


Рис. 8. Динамика численности росомахи на территории России (ФО — федеральный округ) [26]

поверхностных вод морей, которое сдвинуло пик доступности пищевых объектов на более ранний сезон и вызывает массовую гибель птенцов.

Как показали исследования, климатогенные и техногенные изменения арктических морских птиц наиболее ярко проявляются в северной Атлантике, особенно в Баренцевоморском регионе — самом богатом в отношении биоразнообразия. Выявлено, что ключевыми для состояния популяций морских птиц Арктики климатическими параметрами служат изменения сроков схода снежного покрова и границ ледового покрова. Регион населяют примерно 20 млн особей морских птиц более 20 видов, гнездящихся на его островах, архипелагах и берегах. Морские птицы этого региона ежегодно потребляют до 1,2 млн т биоресурсов, из которых 47% — толстоклювая кайра. С 2008 по 2014 гг. в ее популяциях в ряде североатлантических регионов отмечалось резкое снижение численности, что внушает опасения за само существование вида в Арктике. Одна из причин — повышение температуры поверхностных вод морей Северной Атлантики, сдвинувшее в начале XXI в. пик доступности пищевых объектов. Ограниченная доступность корма в период появления птенцов ведет к их повышенной смертности. Это тренд временного разрыва доступности корма и появления птенцов кайры.

На численность других ключевых высокоарктических видов морских птиц влияют иные эффекты изменений климата и техногенные факторы. Так, для типичного обитателя птичьих базаров высокоширотной Арктики люрика (*Alle alle*) оказались важны сроки схода снежного покрова на местах их гнездования. Для другого многочисленного циркумполярного вида — моевки (*Rissa tridactyla*) более значимы межгодовые колебания температуры поверхностного морского слоя воды в весенний период. Важным фактором состояния популяций морских птиц являются условия зимовок, где высоки техногенные нагрузки.

Анализ распространения и численности 34 видов водоплавающих птиц АЗРФ показал существенные сдвиги в распространении (ряд видов значительно расширил ареал), изменениях путей миграций, снижении общей послегнездовой численности (с 17,8 млн в конце XX в. до 15,7 млн в 2016 г.). Более 80% популяции обитает в западной части Арктики. За последние два десятилетия произошли существенные изменения численности белошеюй казарки, белолобого гуся и черной казарки (в азиатской части), краснозобой казарки, малого лебедя, писккульки, морянки, сибирской гаги и морской чернети. Численность белошеюй казарки, существенно расширившей ареал в АЗРФ, поднялась до 760 тыс., т. е. выросла в 5—10 раз за последние 20 лет. По всему ареалу происходит *рост численности малого лебедя, популяций белолобого гуся, зимующих в Европе*. Стабильной с незначительными межгодовыми колебаниями остается численность гуменика, черной

казарки (в западной части ареала) и писккульки. С середины 1970-х годов происходил рост численности и расширение ареала краснозобой казарки. В настоящее время недостаток данных не позволяет достоверно оценить размер популяции. Расширение ее ареала к востоку от Таймыра привело к изменениям пролетных путей и мест зимовок.

В то же время в западном секторе отмечено снижение численности морянки, места зимовок которой расположены на Балтийском море. Количество арктических птиц там в последние десятилетия постоянно снижается, едва достигая 1500 тыс. особей. В восточной части АЗРФ популяции практически всех видов водоплавающих снижают численность, что связано с техногенными воздействиями на пролете и зимовках в Азии.

Современные разнонаправленные тренды в распространении и динамике численности некоторых групп водоплавающих птиц Арктики также связаны с «позеленением» тундры. Например, за последние два десятилетия произошел существенный рост численности белошеюй казарки, белолобого гуся, черной казарки (в азиатской части), краснозобой казарки, малого лебедя, писккульки и других видов, кормовой базой которых является травянистая растительность. В западной части АЗРФ наблюдается в последние десятилетия рост численности многих видов гусеобразных (кроме гуся-писккульки), малого лебедя и снижение численности уток, что напрямую связано с эффектом «позеленения» тундр. Ведь основу питания гусей составляют зеленые части однодольных растений, фитомасса которых растет. А практически все виды арктических уток питаются в основном животными кормами, и их численность зависит от состояния кормовой базы моря и интенсивности воздействия хищников, которые из-за отсутствия циклов у леммингов чаще стали разорять гнезда уток на земле.

Кроме того, потепление климата в Арктике привело к тому, что при отсутствии цикличности в динамике численности леммингов вырос пресс хищников на открыто гнездящихся птиц (раньше это происходило только каждые три-четыре года во время депрессии леммингов). Теперь во многих районах Арктики воздействие песцов и хищных птиц на популяции водоплавающих усилилось. Гуси и лебеди, как более крупные птицы и к тому же сохраняющие пары всю жизнь, имеют значительное преимущество в охране выводка по сравнению с утками. Таким образом, успех размножения у последних существенно снизился, особенно у морянки (табл. 3).

Несомненно, «позеленение» Арктики сказалось и на характере и направлении миграций водоплавающих зеленоядных птиц, в первую очередь гусеобразных. Например, на основании синтеза результатов спутникового слежения за мигрирующими птицами с передатчиками системы GPS-GSM (данные П. М. Глазова), выявлено, что с мест зимовок в Западной Европе на места гнездования

Таблица 3. Современная численность и распространение некоторых видов водоплавающих птиц российской Арктики (оценка, 2015 г.)

Вид	Западный сектор (включая Таймыр)		Восточный сектор		Всего в Арктике	
	Тыс. особей	Доля общей численности в Арктике, %	Тыс. особей	Доля общей численности в Арктике, %	Тыс. особей	Доля общей численности в России, %
Белолобый гусь	1293,0	91	130,8	9	1423,8	95,6
Гуменник	1042,0	95	52,2	5	1094,2	90,4
Малый лебедь	38,2	69	16,9	31	55,1	100,0
Обыкновенная гага	57,4	9	581,5	91	638,9	99,8
Гага-гребенушка	474,9	59	328,0	41	802,9	99,1
Краснозобая казарка	77,7	99	0,45	1	78,15	97,7
Морянка	2751	84	1089,9	16	3840,9	79,8
Пискулька	36,8	96	1,5	4	38,3	64,9
Черная казарка	295,2	100	0	0	295,2	100,0
Белошекая казарка	760,0	100	0	0	760	100,0
Белый гусь	0	0	90,5	100	90,5	100,0
Сибирская гага	0	0	241,01	100	241,01	100,0
Морская чернеть	996,1	93	80,2	7	1076,3	35,9
Кликун	31,9	93	2,23	7	34,13	19,0
Шилохвость	1686,1	86	266,8	14	1952,9	19,5
Хохлатая чернеть	436,3	95	21,3	5	457,6	5,3
Чирок-свистун	411,4	86	65,1	14	476,5	4,4
Обыкновенный гоголь	63,6	98	1,5	2	65,1	2,8

в российской Арктике (остров Колгуев) популяция белолобого гуся выбирает в последнее десятилетие не кратчайший маршрут, которым являлся Беломоро-балтийский пролетный путь, а маршрут через центрально-черноземные регионы России, где весной отмечается обилие кормовых ресурсов (рис. 9). Кроме того, в 2016—2017 гг. получены уникальные данные о миграциях негнездящейся части гусей острова Колгуев в начале лета на Северный Таймыр, что связано с механизмом смены зон в процессе внутрисезонных миграций и более полным использованием кормовых угодий: по месту гнездования высвобождаются кормовые ресурсы для молодых птиц, а популяция своей негнездящейся частью осваивает новые кормовые территории с более низкой плотностью гнездования птиц, что энергетически выгодно. Этот внутривидовой механизм регуляции численности может рассматриваться как

адаптация к климатическим изменениям (к сдвигам вегетации, «позеленению» тундры, ритмике схода снега и пр.).

Заключение

Перестройки биоты и экосистем АЗРФ в результате синергизма действия природных и антропогенных изменений в последние десятилетия охватили значительные площади АЗРФ — 10—20% [2—5]. Второй оценочный доклад Росгидромета по изменениям климата (2014 г.) показал, что для российской Арктики температурные тренды сохраняются. Не так интенсивно, но все же идет потепление — за последние три десятилетия в отдельных регионах АЗРФ среднегодовая температура воздуха поднялась на 1—3°C, площадь морского льда, хотя и с периодическими колебаниями, имеет тренд сокращения. «Позеленение» тундры как эффект кумулятивных

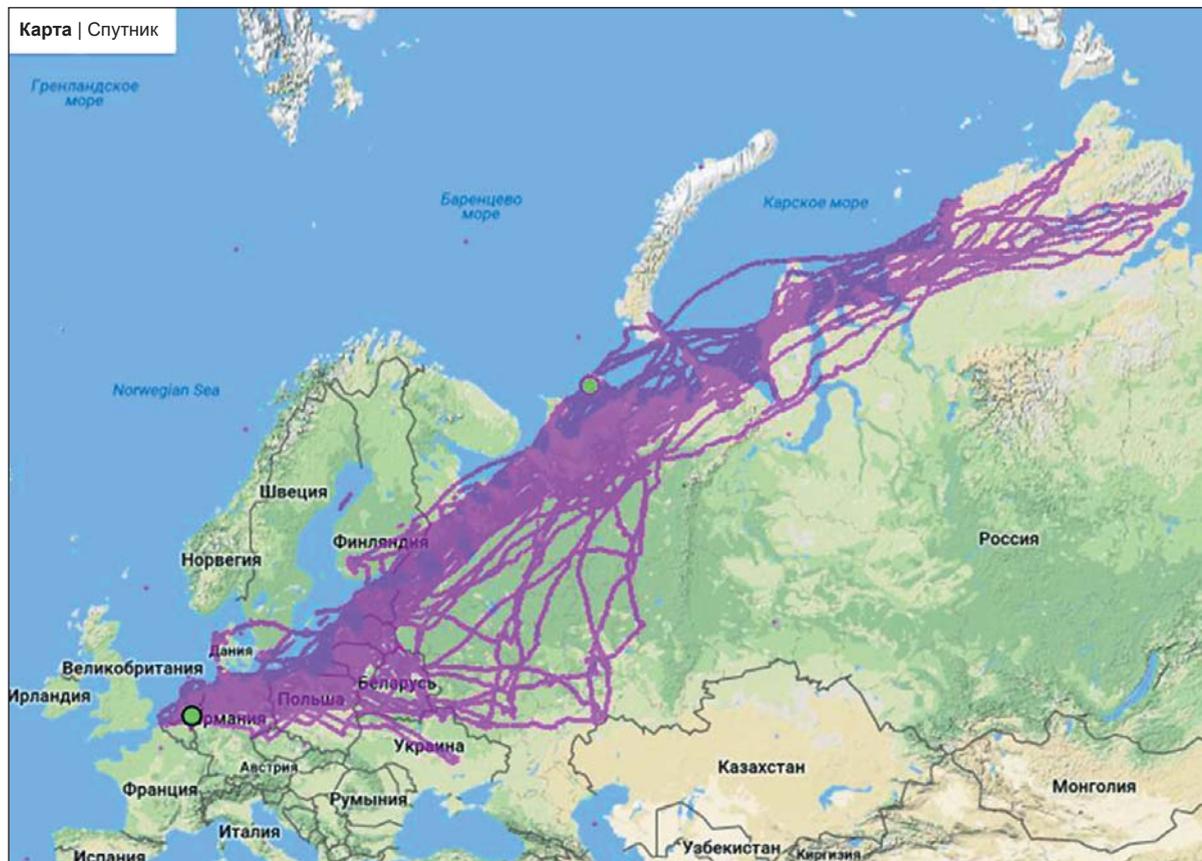


Рис. 9. Пути миграции белолобых гусей, гнездящихся на острове Колгуев и зимующих в Западной Европе. Данные П. М. Глазова 2016–2017 гг., полученные с использованием передатчиков GPS-GSM

и каскадных изменений выступает драйвером перестроек в состоянии арктической биоты, в первую очередь в динамике численности и распространении птиц и млекопитающих. На них климатические изменения действуют преимущественно опосредованно — через изменение продуктивности экосистем, сроки вегетации, биологическую активность почв и трансформацию местообитаний. Механизмы прямого воздействия климата на популяции арктических животных практически не выявляются — их нормы реакции на факторы абиотической среды достаточно широки.

В АЗРФ в условиях меняющегося климата до старта расширения хозяйственного освоения территории, связанного с потеплением климата, надо решить главную задачу сохранения арктического биоразнообразия — расширить сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ), доведя их площадь до 20—30% площади зоны. Сейчас российская Арктика по этому показателю существенно уступает другим регионам Арктики — не более 5—6%. Гренландия полностью представляет собой национальный парк, на Шпицбергене ООПТ занимают более 50%, на Аляске — 40—45%. В границах АЗРФ в наше время существует около 450 ООПТ общей площадью 94,6 млн га. Они

недостаточно репрезентативны и размещены крайне неравномерно. А с «позеленением» тундры мы можем вполне естественно потерять некоторые уникальные типы арктических экосистем с богатой фауной. Так, в сети арктических ООПТ слабо представлены полярные пустыни островов Новой Земли, острова Северная Земля, типичные тундры западной и южной Чукотки и Западного Таймыра, Колымской низменности, Алазейского плоскогорья, тундролесья побережья Кольского полуострова, приокеанического сектора Восточной Сибири, кедровостланниковые и тундростепные экосистемы севера Якутии, верховий реки Анадырь и Корякского нагорья и др.

«Позеленение» Арктики вносит серьезные коррективы в стратегию сохранения биоты и экосистем российской Арктики, связанную с выполнением Россией обязательств по ряду международных соглашений, в первую очередь Конвенции по изменению климата и Конвенции о биологическом разнообразии. И здесь, по-видимому, нужно включить инновационные механизмы сохранения природы, а именно:

- содействовать включению тундр и арктических болот в документы Парижского соглашения (2015 г.) и использовать международный рынок углерода как механизм сохранения биоразнообразия

- и экосистем на ООПТ российской Арктики (механизмы защиты);
- внедрять новые «зеленые стандарты» и Стратегическую экологическую оценку для экспертизы экономических мегапроектов в российской Арктике (механизмы превентивных действий в сохранении природы);
- внедрять новые механизмы «зеленой экономики», учитывающие климатогенные изменения биоты и адаптации для снижения экономических издержек (механизм экономических стимулов);
- развитие сети арктических ООПТ как элементов экологического каркаса, способного в условиях «позеленения» Арктики обеспечить сохранение биологического и экосистемного разнообразия российской Арктики (механизмы адаптации к быстро меняющемуся климату).

Статья подготовлена по результатам исследований по теме «Закономерности современных изменений арктической биоты и экосистем как основа для новых технологий мониторинга и территориальной охраны природы российской Арктики (АЗРФ)» и Государственного задания № 0148-2014-0017 (номер регистрации 01201352483).

Литература

1. Рязанова Н. Е., Сорокин П. А. Опыт применения дистанционного зондирования растительности при исследовании динамики экосистем российской Арктики // *Науки о Земле: вчера, сегодня, завтра: Материалы III Международной научной конференции* (г. Санкт-Петербург, июль 2017 г.). — СПб.: Свое изд-во, 2017. — С. 7—12.
2. Тишков А. А. Современные природные и антропогенные тренды состояния арктических ландшафтов и новый вектор международного научного сотрудничества в российской Арктике // *Соврем. производ. силы*. — 2015. — № 3. — С. 113—128.
3. Тишков А. А., Кренке-мл. А. Н. «Позеленение» Арктики в XXI веке как эффект синергизма действия глобального потепления и хозяйственного освоения // *Арктика: экология и экономика*. — 2015. — № 4 (20). — С. 28—37.
4. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А. и др. «Позеленение» ландшафтов Арктики как следствие современных климатогенных и антропогенных трендов растительности // *Изв. РГО*. — 2016. — Т. 148, № 3. — С. 14—24.
5. Белоновская Е. А., Тишков А. А., Вайсфельд М. А. и др. «Позеленение» Арктики и современные тренды ее биоты // *Изв. Рос. акад. наук. Сер. геогр.* — 2016. — № 3. — С. 28—39. — DOI: <http://dx.doi.org/10.15356/0373-2444-2016-3-28-39>.
6. Bazilevich N. I., Tishkov A. A. Live and dead reserves and primary production in polar desert, tundra and forest tundra of the former Soviet Union // *Ecosystems of the world 3. Polar and alpine tundra* / Ed. F. E. Wielgolaski. — Amsterdam; Lausanne; New York; Oxford; Shannon; Singapore; Tokyo: Elsevier publ., 1997. — P. 509—539.
7. Морозова О. В. Таксономическое богатство флоры Восточной Европы: факторы пространственной дифференциации. — М.: Наука, 2008. — 328 с.
8. Российская Арктика: на пороге катастрофы. — М.: Центр экол. политики России, 1996. — 206 с.
9. Walker D. A., Epstein H. E., Reynolds M. K. et al. Environment, vegetation and greenness (NDVI) along the North America and Eurasia Arctic transects // *Environ. Res. Lett.* — 2012. — 7. — P. 1—17.
10. Callaghan T. V., Johansson M., Key J. et al. Feedbacks and interactions: From the Arctic cryosphere to the climate system // *Ambio*. — 2011. — Vol. 40. — P. 75—86.
11. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Техническое резюме. — М.: Росгидромет, 2014. — 93 с.
12. Bhatt U. S., Walker D. A., Reynolds M. K. et al. Recent declines in warming and arctic vegetation greening trends over pan-Arctic tundra // *Remote Sens (Special NDVI3g Issue)*. — 2013. — № 5. — P. 4229—4254.
13. Тишков А. А. Биосферные функции природных экосистем России. — М.: Наука, 2005. — 309 с.
14. Карелин Д. В., Замолодчиков Д. Г. Баланс углерода в тундре в условиях современного климата: роль подземной составляющей чистой продукции экосистемы // *Докл. Акад. наук*. — 2014. — Т. 458, № 2. — С. 243—245.
15. Лавриненко И. А., Лавриненко О. В. Влияние климатических изменений на растительный покров островов Баренцева моря // *Тр. Карел. науч. центра РАН*. — 2013. — Вып. 6. — С. 5—16.
16. Walter K. M., Zimov S. A., Chanton J. P. et al. Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming // *Nature*. — 2006. — Vol. 443. — P. 71—75.
17. Чернявский Ф. Б., Ткачев А. В. Популяционные циклы леммингов в Арктике: экологические и эндокринные аспекты. — М., 1982. — 163 с.
18. Cornulier Th., Yoccoz N. G., Bretagnolle V. et al. Europe-Wide Dampening of Population Cycles in Keystone Herbivores // *Science*. — 2013. — Vol. 340. — P. 63—66.
19. Kausrud K. L., Mysterud A., Steen H. et al. Linking climate change to lemming cycles // *Nature*. — 2008. — Vol. 456. — P. 93—97.
20. Катаев Г. Д. Мониторинг пространственно-временного распределения норвежского лемминга *Lemmus lemmus* на примере популяции Кольского севера // *Наземные и морские экосистемы. Сер. «Вклад России в Международный полярный год 2007/08»*. — М.: Paulsen, 2011. — С. 325—335.
21. Орлов В. А., Саранча Д. А., Шелепова О. А. Математическая модель динамики численности популяции леммингов (*Lemmus, Dicrostonyx*) и ее использование для описания популяций Восточного Таймыра // *Экология*. — 1986. — № 2. — С. 43—51.

22. Данилкин А. А. Динамика населения диких копытных России: гипотезы, факторы, закономерности. — М.: КМК, 2009. — 310 с.
23. Баскин Л. М. Северный олень. Управление поведением и популяциями. Северное оленеводство и охота. — М.: КМК, 2009. — 300 с.
24. Северный олень в условиях изменяющегося климата / Гос. поляр. акад. — СПб., 2014. — 243 с.
25. Туманов И. Л. Росомаха Палеарктики. — СПб.: Бранко, 2012. — 320 с.
26. Состояние охотничьих ресурсов в Российской Федерации в 2008—2013 гг. — URL: http://www.ohotcontrol.ru/resource/Resources_2008-2013/Resources_2008-2013.php.

Информация об авторах

Тишков Аркадий Александрович, член-корреспондент РАН, доктор географических наук, заместитель директора, Институт географии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: tishkov@biodat.ru.

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

Вайсфельд Михаил Арнольдович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: mvisfeld@mail.ru.

Глазов Петр Михайлович, научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: glazpRech@mail.ru.

Кренке Александр Николаевич, кандидат географических наук, научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: ankrenke@igras.ru.

Тертицкий Григорий Маркович, старший научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: tertitski@mail.ru.

Библиографическое описание данной статьи

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. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44.

“THE GREENING” OF THE TUNDRA AS A DRIVER OF THE MODERN DYNAMICS OF ARCTIC BIOTA

Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Vaisfeld M. A., Glazov P. M., Krenke A. N., Tertytsky G. M.
Institute of geography of the RAS (Moscow, Russian Federation)

The article is based on the results of research on the topic “Regularities of modern changes in the Arctic biota and ecosystems as a basis for new technologies for monitoring and nature conservation of the Russian Arctic (AZRF)” and the state topic № 01201352483.

Abstract

In 2014—2017 with the use of remote and ground-based research, the analysis of different-scale, different-time and multidirectional changes in the biota and ecosystems of the Russian Arctic in the conditions of synergy of the changing climate and expanding economic activity was carried out. The results of the first stage of the research were published earlier. It is revealed that in total territories with the destabilized mode of development make more than 10% of the area of azrf. The reasons for the destabilization of ecosystems — “greening” of the tundra-are mainly due to an increase in productivity due to the growth of the projective cover of grassy and shrub vegetation. It is the driver of many modern processes of dynamics of Arctic biota (composition, distribution and changes in the number of birds and mammals) and the causation chain affects the traditional economy

of the indigenous peoples of the North and regional features of the industrial development of the Russian Arctic. The article presents data on changes in population dynamics, distribution and migration of some representatives of the Arctic biota — lemming, wild reindeer, wolverines, sea and water birds. The greening of the Arctic is making major adjustments to the strategy for the conservation of the biota and ecosystems of the Russian Arctic, related to the implementation of obligations under a number of international agreements, primarily the Convention on climate change and the Convention on biological diversity.

Keywords: Arctic, Arctic biota and ecosystems, remote sensing, NDVI, “greening” of tundra, population dynamics, migrations, area, lemmings, waterfowl, reindeer.

References

1. Ryazanova N. E., Sorokin P. A. Opyt primeneniya distantsionnogo zondirovaniya rastitel'nosti pri issledovanii dinamiki ekosistem rossiiskoi Arktiki. [Experience of application of remote sensing of vegetation in the study of the dynamics of ecosystems of the Russian Arctic]. *Nauki o Zemle: vchera, segodnya, zavtra: Materialy III Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* (g. Sankt-Peterburg, iyul' 2017 g.). St. Petersburg, Svoe izd-vo, 2017, pp. 7—12. (In Russian).
2. Tishkov A. A. Sovremennye prirodnye i antropogennye trendy sostoyaniya arkticheskikh landshaftov i novyi vektor mezhdunarodnogo nauchnogo sotrudnichestva v rossiiskoi Arktike. [Modern natural and anthropogenic trends of Arctic landscapes and a new vector of international scientific cooperation in the Russian Arctic]. *Sovrem. proizvodit. sily*, 2015, no. 3, pp. 113—128. (In Russian).
3. Tishkov A. A., Krenke-ml. A. N. “Pozelenenie” Arktiki v KhKhI veke kak effekt sinergizma deistviya global'nogo potepeniya i khozaistvennogo osvoeniya. [“Greening” of the Arctic in the XXI century as a synergy effect of global warming and economic development]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no. 4 (20), pp. 28—37. (In Russian).
4. Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Vaisfel'd M. A., Glazov P. M., Krenke-ml. A. N., Morozova O. V., Pokrovskaya I. V., Tsarevskaya N. G., Tertitskii G. M. “Pozelenenie” landshaftov Arktiki kak sledstvie sovremennykh klimatogennykh i antropogennykh trendov rastitel'nosti. [“Greening” landscapes of the Arctic as a consequence of modern climate-driven and anthropogenic trends of the vegetation]. *Izv. RGO*, 2016, vol. 148, no. 3, pp. 14—24. (In Russian).
5. Belonovskaya E. A., Tishkov A. A., Vaisfel'd M. A., Glazov P. M., Krenke-ml. A. N., Morozova O. V., Pokrovskaya I. V., Tsarevskaya N. G., Tertitskii G. M. “Pozelenenie” Arktiki i sovremennye trendy ee bioty. [“Greening” of the Arctic and modern trends of its biota]. *Izv. Ros. akad. nauk. Ser. geogr.*, 2016, no. 3, pp. 28—39. Available at: <http://dx.doi.org/10.15356/0373-2444-2016-3-28-39>. (In Russian).
6. Bazilevich N. I., Tishkov A. A. Live and dead reserves and primary production in polar desert, tundra and forest tundra of the former Soviet Union. *Ecosystems of the world 3. Polar and alpine tundra*. Ed. F. E. Wielgolaski. Amsterdam; Lausanne; New York; Oxford; Shannon; Singapore; Tokyo, Elsevier publ., 1997, pp. 509—539.
7. Morozova O. V. Taksonomicheskoe bogatstvo flory Vostochnoi Evropy: faktory prostranstvennoi differentsiatsii. [Taxonomic richness of flora of Eastern Europe: factors of spatial differentiation]. Moscow, Nauka, 2008, 328 p. (In Russian).
8. Rossiiskaya Arktika: na poroge katastrofy. [Russian Arctic: on the verge of catastrophe]. Moscow, Tsentr ekol. politiki Rossii, 1996, 206 p. (In Russian).
9. Walker D. A., Epstein H. E., Reynolds M. K. et al. Environment, vegetation and greenness (NDVI) along the North America and Eurasia Arctic transects. *Environ. Res. Lett.*, 2012, 7, pp. 1—17.
10. Callaghan T. V., Johansson M., Key J. et al. Feedbacks and interactions: From the Arctic cryosphere to the climate system. *Ambio*, 2011, vol. 40, pp. 75—86.
11. Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii: Tekhnicheskoe rezюме. [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Technical summary]. Moscow, Rosgidromet, 2014, 93 p. (In Russian).
12. Bhatt U. S., Walker D. A., Reynolds M. K., Bieniek P. A., Epstein H. E., Comiso J. C., Pinzon J. E., Tucker C. J., Polyakov I. V. Recent declines in warming and arctic vegetation greening trends over pan-Arctic tundra. *Remote Sens (Special NDVI3g Issue)*, 2013, no. 5, pp. 4229—4254.
13. Tishkov A. A. Biosfernye funktsii prirodnikh ekosistem Rossii. [Biosphere functions of natural ecosystems of Russia]. Moscow, Nauka, 2005, 309 p. (In Russian).
14. Karelin D. V., Zamolodchikov D. G. Balans ugleroda v tundre v usloviyakh sovremennogo klimata: rol' podzemnoi sostavlyayushchei chistoi produktsii ekosistemy. [The carbon Balance in the tundra in the modern climate: the role of the underground component of the net production of the ecosystem]. *Dokl. Akad. nauk*, 2014, vol. 458, no. 2, pp. 243—245. (In Russian).
15. Lavrinenko I. A., Lavrinenko O. V. Vliyanie klimaticheskikh izmenenii na rastitel'nyi pokrov ostrovov Barentseva morya. [Influence of climatic changes on vegetation cover of the Barents sea islands]. *Tr. Karel. nauch. tsentra RAN*, 2013, iss. 6, pp. 5—16. (In Russian).
16. Walter K. M., Zimov S. A., Chanton J. P., Verbyla D., Chapin III F. S. Methane bubbling from Siberian thaw

lakes as a positive feedback to climate warming. *Nature*, 2006, vol. 443, pp. 71—75.

17. Chernyavskii F. B., Tkachev A. V. Populyatsionnye tsikly lemmingov v Arktike: ekologicheskie i endokrinnye aspekty. [Population cycles of lemmings in the Arctic. Environmental and endocrine aspects]. Moscow, 1982, 163 p. (In Russian).

18. Cornulier Th., Yoccoz N. G., Bretagnolle V. et al. Europe-Wide Dampening of Population Cycles in Keystone Herbivores. *Science*, 2013, vol. 340, pp. 63—66.

19. Kausrud K. L., Mysterud A., Steen H. et al. Linking climate change to lemming cycles. *Nature*, 2008, vol. 456, pp. 93—97.

20. Kataev G. D. Monitoring prostranstvenno-vremennogo raspredeleniya norvezhskogo lemminga *Lemmus lemmus* na primere populyatsii Kol'skogo severa. [Monitoring spatial-temporal distribution of Norwegian lemming *Lemmus lemmus* by the example of the population of the Kola North]. *Nazemnye i morskije ekosistemy. Ser. "Vklad Rossii v Mezhdunarodnyi polyarnyi god 2007/08"*. Moscow, Paulsen, 2011, pp. 325—335. (In Russian).

21. Orlov V. A., Sarancha D. A., Shelepova O. A. Matematicheskaya model' dinamiki chislennosti populyatsii lemmingov (*Lemmus*, *Dicrostonyx*) i ee ispol'zovanie dlya opisaniya populyatsii Vostochnogo

Taimyra. [Mathematical model of population dynamics of lemmings (*Lemmus*, *Dicrostonyx*) and its use for description of the populations of the Eastern Taimyr Peninsula]. *Ekologiya*, 1986, no. 2, pp. 43—51. (In Russian).

22. Danilkin A. A. Dinamika naseleniya dikikh kopytnykh Rossii: gipotezy, faktory, zakonomernosti. [Population dynamics of wild ungulates in Russia: hypotheses, factors and regularities]. Moscow, KMK, 2009, 310 p. (In Russian).

23. Baskin L. M. Severnyi olen'. Upravlenie povedeniem i populyatsiyami. Severnoe olenevodstvo i okhota. [Reindeer behavior and population management. Reindeer herding and hunting]. Moscow, KMK, 2009, 300 p. (In Russian).

24. Severnyi olen' v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata. [Reindeer in a changing climate]. Gos. polyar. akad. St. Petersburg, 2014, 243 p. (In Russian).

25. Tumanov I. L. Rosomakha Palearktiki. [Wolverine in the Palaearctic]. St. Petersburg, Branko, 2012, 320 p. (In Russian).

26. Sostoyanie okhotnich'ikh resursov v Rossiiskoi Federatsii v 2008—2013 gg. [The condition of hunting resources of the Russian Federation in 2008–2013]. Available at: http://www.ohotcontrol.ru/resource/Resources_2008-2013/Resources_2008-2013.php. (In Russian).

Information about the authors

Tishkov Arkadiy Alexandrovich, Corresponding member of RAS, Doctor of Geographic Sciences, Deputy Director of the Institute of geography of the RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: tishkov@biodat.ru.

Belonovskaya Elena Anatol'evna, Candidate of Geographic Sciences, Leading researcher of the Institute of geography of the RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: belena53@mail.ru.

Vaisfeld Michail Arnoldovich, Candidate of Geographic Sciences, Leading researcher of the Institute of geography of the RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: visfeld@mail.ru.

Glazov Petr Mikhailovich, Researcher of the Institute of geography of the RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: glazpech@mail.ru.

Krenke Aleksandr Nikolayevich, of Geographic Sciences, Researcher of the Institute of geography of the RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: ankrenke@igras.ru.

Tertytsky Grigory Markovich, Senior researcher of the Institute of geography of the RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: tertitski@mail.ru.

Bibliographic description

Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Vaisfeld M. A., Glazov P. M., Krenke A. N., Tertytsky G. M. "The greening" of the tundra as a driver of the modern dynamics of arctic biota. *Arctic: ecology and economy*, 2018, no. 2 (30), pp. 31—44. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44. (In Russian).

© Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Vaisfeld M. A., Glazov P. M., Krenke A. N., Tertytsky G. M., 2018