

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ РОССИИ: ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ, ОЦЕНКИ

А. А. Тишков, Е. А. Белоновская, П. М. Глазов, А. Н. Кренке,
С. В. Титова, Н. Г. Царевская, А. Г. Шматова
ФГБУН Институт географии РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 1 августа 2019 г.

Для трех уровней анализа — национального, регионального и локального — представлены оценки актуальной антропогенной трансформации экосистем Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), полученные с помощью наземных, дистанционных и информационно-статистических технологий. В качестве объекта локального уровня выбран остров Колгуев, где лаборатория биогеографии Института географии РАН около 25 лет проводит комплексные исследования. Показано, что здесь в XXI в. происходят разнонаправленные процессы динамики растительного покрова, в том числе связанные с климатогенными перестройками и в начале века с интенсивным выпасом, а после массовой гибели домашних оленей — с восстановлением растительности. На региональном уровне с помощью дистанционных методов выявлены разномасштабные и разнонаправленные процессы трансформации и восстановления растительности. Например, на Кольском полуострове медленно идет демутация в местах гибели древесно-кустарникового покрова от техногенного загрязнения. Отмечены субъекты АЗРФ, где доминируют по площади деградационные процессы и где преобладают восстановительные процессы. На субглобальном (национальном) уровне суммарно для АЗРФ и прилегающих субарктических территорий оценены масштабы антропогенной трансформации экосистем (около 300 тыс. км²). Это сопоставимо по площади с синергетическим эффектом действия потепления климата и хозяйственной деятельности — площади «позеленения» российской Арктики.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации, антропогенная трансформация экосистем, национальный, региональный и локальный уровень, дистанционное зондирование, «позеленение» тундры, растительность, вторичные сукцессии.

Введение

Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) [1] показал, что в целом к началу XXI в., за исключением «горячих точек», окрестностей крупных поселений и транспортных магистралей антропогенная трансформация экосистем имела очаговый характер и не превышала 1—3% площади региона. Оценки базировались на данных отраслевой и региональной статистики и носили не универсальный по критериям характер, синтез проводился суммированием площадных данных, представленных субъектами Федерации и добывающими компаниями.

Росстат собственно арктические территории не выделял, а зональные оценки были единичными [2—5].

Материалы и методы

В основе наших исследований — данные космической съемки и результаты их дешифрирования с использованием стандартных и оригинальных методик. Оценка антропогенной трансформации арктических экосистем на субглобальном (национальном) уровне проводилась методом интерпретации данных дистанционного зондирования с использованием дискриминантного анализа [6], что позволяет выделить его составляющие, важные для интерпретации результатов. В ходе анализа ищутся такие линейные функции от независимых переменных, для которых минимальна дисперсия внутри классов или макси-

мально расстояние между центрами их тяжести в пространстве переменных. Задача решается построением векторов матрицы $\mathbf{B} \times \mathbf{W}^{-1}$, где \mathbf{B} и \mathbf{W} — межгрупповая и внутригрупповая матрицы вариации. В результате дискретные классы отображаются в непрерывные ортогональные оси. Число осей не может превышать число независимых переменных и/или числа классов без одного ($n-1$).

Средства дискриминантного анализа дают информацию, позволяющую фактически перейти к факторному пространству исследуемого явления — состояния ландшафта. В рамках анализа по F -критерию определяется вклад независимых переменных в различие заданных классов. Так как переменные имеют физический смысл, они могут трактоваться как факторы дифференциации. Значение каждой оси дискриминантного анализа оценивается по собственному значению, канонической корреляции, а статистическая значимость — по критерию χ^2 . Это позволяет определить размерность пространства и создаваемое им разнообразие. Каждая ось анализа дает отображение определенного типа связей объекта с внешними переменными на рассматриваемой территории.

Таким образом, на основе тематической карты получаем возможность построить статистическую модель рассматриваемого явления. Отнесение каждой точки к тому или иному классу осуществляется по частным классифицирующим функциям от этих осей с допущением нормальности распределения дистанций внутри каждого класса. В результате для каждой точки (пикселя) на карте получаем вероятность отнесения ее к каждому классу состояния поверхности. Точка считается принадлежащей к тому классу, для которого вероятность принадлежности максимальная.

Задача построения более детализированной карты актуального состояния растительного покрова АЗРФ и прилегающих территорий не разрешима в рамках дискриминантного анализа, так как он может прогнозировать размещение только существующих, а не новых состояний. Но проблема решается через выделение дискретных состояний с помощью процедуры дихотомической классификации методом K -средних по ортогональным осям дискриминантного анализа [7]. Здесь уже не действует гипотеза нормальности распределения, и дискретные образы получаются более реалистичными. Определить их соответствие исходным состояниям можно, используя средние значения для класса векторов вероятностей, и на этой основе построить скорректированную версию специальной карты. При этом в большинстве случаев можно получить состояния, отсутствующие на исходной карте, но имеющие очевидный физический смысл.

Тестовый анализ производился на композитах изображений системы MODIS TERRA, полученных в летний период с разрешением 500 м. Впервые проводился анализ продолжительного временного

ряда таких изображений с применением описанной методики на столь крупном объекте — АЗРФ и прилегающих территориях. В данном случае были обработаны пять состояний растительного покрова: 2000, 2004, 2008, 2012, 2015 гг., для которого отклонения от зональных состояний за контрольный период рассматривались как трансформация. Распознанные вероятности классов «зональная (продуктивная) растительность» были просуммированы, и таким образом, не заглубляя анализ на уровне индивидуальных спектральных профилей отдельных классов, удалось получить общую «зональную» вероятность для каждого пикселя. На изображении каждому пикселю соответствует значение от 0 до 100, отражающее вероятности отнесения данного пикселя к «зональному». В соответствии с теорией анализа 100 — полное заполнение данного пикселя зональной растительностью, 0 — полное отсутствие зональной растительности. Континуальный ряд чисел был классифицирован в пять классов плотности «зональной» растительности: 0—5, 5—20, 20—40, 40—60, 60—80 (выше 80 значения отсутствуют). Для каждого региона были определены соотношения зональной и трансформированной растительности (в %) и занимаемая ими площадь.

На региональном уровне синтез дистанционных данных 2000—2015 гг. проводился в границах субъектов АЗРФ. Методика подробно описана в [9]. Для анализа были использованы данные «Global Land Analysis & Discovery group» Университета Мэриленда (США)¹ о лесном и кустарниковом покрове за 2000 и 2010 гг., полученные на основе анализа данных снимков среднего разрешения со спутников серии Landsat. Промежуточные данные представляют собой растр разрешением 30×30 м и со значением покрытой зональной растительностью в процентах для каждого пикселя. Для анализа произошедших изменений растительности за 10 лет значения растра за 2000 г. были попиксельно вычтены из значений в растре за 2010 г. Получившийся растр содержит значения изменения покрова в процентах за 10 лет.

Исследования антропогенной динамики экосистем на локальном уровне проводились в типичных тундрах острова Колгуев в Ненецком автономном округе (АО) (рис. 1), где согласно [9] до массового падежа домашних оленей в 2012—2013 гг. около 35% занимали плоскобугристые и полигональные болота и кочкарники с *Eriophorum vaginatum*, ерниковые осоково-кустарничково-моховые тундры (22%), ивняки (13%), луга и ерники на песках (по 8%). Наши исследования дополняют эти оценки, так как включают период продолжавшейся пасквальной дигрессии растительности тундровых пастбищ, когда пастбищные нагрузки превышали допустимые примерно в два раза (до массового падежа оленей),

¹ <https://glad.umd.edu/>.

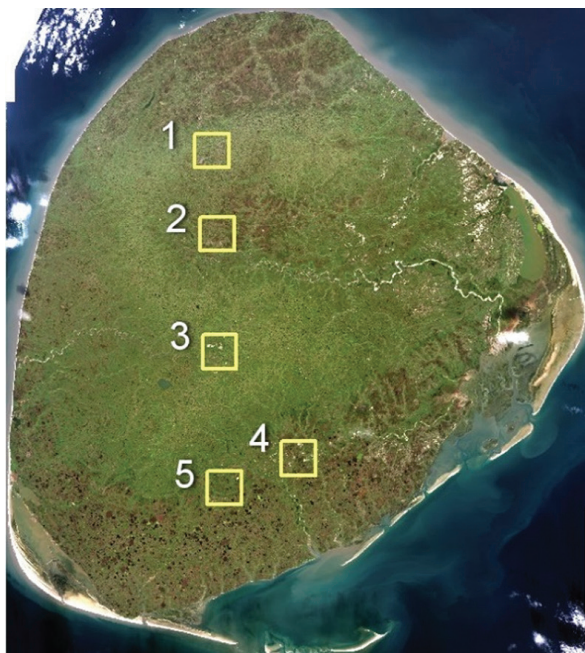


Рис. 1. Остров Колгуев (Ненецкий АО) и распределение пробных площадей (№ 1–5) для оценки трансформации и восстановления растительного покрова

Fig. 1. The Island of Kolguev (Nenets Autonomous Area) and the distribution of sample plots (No. 1–5) for assessing the transformation and restoration of vegetation

и период резкого снижения воздействия оленей на растительность после 2013 г. Были использованы методы дистанционного зондирования и полевого дешифрирования (верификации) снимков. Для этого отбирались снимки Landsat 5—8 за 1994—2017 гг., находящиеся в открытом доступе [10; 11]. Среди них было отобрано 10 снимков второй-третьей декады июля — первой декады августа, так как в эти даты чаще попадались снимки с минимальной облачностью. Работа со снимками проводилась в комбинации красного и двух ближних инфракрасных каналов (пространственное разрешение 30 м). Эта комбинация дает наиболее выраженные цветовые контрасты, так как инфракрасные каналы позволяют точно дешифрировать различия во влажности и выделять водные объекты и пески, а сочетание красного и инфракрасного каналов удобны для анализа растительности [12].

Дешифрирование снимков проведено методом неконтролируемой классификации (IsoData) с экспертным присвоением значений полученным классам, основанном на полевой верификации данных. Для классификации снимков и первичной обработки был использован программный пакет SCANEX Image Processor. Классификацию проводили в три этапа. Сначала выделяли классы «воды» и «пески» как наиболее контрастные по спектральным характеристикам. Затем пиксели, принадлежащие этим классам, удаляли (маскировали) на исходном снимке, сужая диапазон значений при последую-

щей классификации. На следующем этапе выделяли типы растительности. Наиболее контрастные классы: сухих лишайниковых тундр, болот и сообщества с высоким запасом фитомассы, куда попадали как ивняки (*Salix spp.*), так и осоковые сообщества. Не-контрастный класс с множеством переходных форм с другими классами формировали мохово-кустарничковые тундры. На третьем этапе оставались продуктивные сообщества кустарников и осок, с которыми проводились операции по разделению.

Для сравнения результатов по годам были выбраны площадки 5×5 км в разных ландшафтах острова (см. рис. 1). Самые южные площадки — в местах наибольшего распространения кустарников, северные — наименьшего. Конкретное место выбиралось так, чтобы оно покрывалось всеми обработанными снимками и чтобы на нем отсутствовали реки, вносящие разброс в значения площади песков и воды. Для каждой площадки посчитана площадь, занятая развеваемыми песками, водоемами и кустарниками. Далее цифры обрабатывались и анализировались в программе Excel. В анализ антропогенной динамики растительного покрова были включены кустарниковые сообщества и открытые развеваемые пески.

Результаты и их обсуждение

Факторы и общие тренды антропогенной трансформации экосистем АЗРФ

Рост экологической напряженности в АЗРФ связан с явной недооценкой важности сохранения экологического баланса между сохранением хрупкой природы региона и необходимостью освоения его ресурсов. В стране нет единого органа государственного управления АЗРФ, нет для этого и соответствующей нормативно-правовой основы. В итоге в регионе доминирует корпоративная практика, в ряде случаев подменяющая и территориальное планирование, и учет и оценку последствий хозяйственной деятельности. Снижение экономической активности в АЗРФ в 1990-х годах не компенсировало остроту накопленных экологических проблем вследствие их игнорирования. Проведенный в начале XXI в. диагностический анализ [1] показал, что современное состояние окружающей среды и земель АЗРФ быстро ухудшается, требуются разработка и принятие неотложных мер не только по ликвидации прошлого и снижению существующего ущерба природной среде, но и по предотвращению более серьезных потенциальных экологических угроз в связи с планами развития наземной транспортной инфраструктуры, освоением новых месторождений углеводородов, расширением активности Минобороны России и движения судов по Северному морскому пути.

Лидирующие позиции в антропогенной трансформации земель в АЗРФ занимает промышленное освоение территории, хотя наши исследования показали, что в начале XXI в. приоритет в дестабилиза-

ции состояния арктических экосистем на просторах северной Евразии перешел к синергетическому воздействию потепления климата и активизации хозяйственной деятельности [13—15], которые привели к «озеленению» тундры, развитию «кумулятивного» и «каскадного» эффектов, дающих рост площади нарушений и после их прекращения. Мы не воспринимаем «озеленение» Арктики (рост продуктивности и проективного покрытия растительности) как позитивное для природной экосистемы явление. Поэтому полученные результаты «сплошного» единовременного учета его последствий дистанционными методами (сопоставление и анализ данных архивов MODIS 2000 и 2015 гг.) — площадь «дестабилизации среды» на арктических и субарктических территориях [8] около 300 тыс. км², т. е. около 10% — мы расцениваем как важную генерализованную оценку актуальной трансформации экосистем АЗРФ (не только механического или химического разрушения, но и динамических перестроек биоты и ее функций).

Первые современные оценки трансформации земель были даны в середине 1990-х годов в монографии «Российская Арктика: на пороге катастрофы» [2]. В рамках текущих оценок, осуществляемых Институтом географии РАН в начале XXI в., была подготовлена сводка «Изменения природной среды России в XX веке», в которой мы обобщили имеющиеся на тот момент материалы [16]. Детальный анализ текущего состояния и прогноз изменений АЗРФ позволил выделить пять интегральных групп факторов, которые определяют актуальную антропогенную трансформацию экосистем.

Первая группа — загрязнение окружающей среды. Несомненно, отраслевая специфика хозяйственного освоения и промышленного развития территорий АЗРФ определяет формирование импактных районов, испытывающих последствия атмосферного загрязнения и действия других факторов, вызывающих деградацию земель: Западно-Кольского, Центрально-Кольского, Архангельского, Тимано-Печорского, Новоземельского, Ямальского, Нижне-Обского, Норильского, Яно-Индигирского, Западно-Чукотского и Восточно-Чукотского. В импактных районах АЗРФ было выделено более 100 «горячих точек», в пределах которых происходят экстремально высокое (многократно превышающее нормативное) загрязнение природы, деградация экосистем, ухудшение состояния здоровья населения [1].

Вторая группа — механическое нарушение почвенно-растительного покрова. В АЗРФ можно выделить следующие виды деятельности, которые являются его источниками: горно-перерабатывающая, целлюлозно-бумажная и металлургическая промышленность, предприятия по добыче, переработке и транспортировке нефти и газа; гидротехнические сооружения; строительство и эксплуатация линейных сооружений (нефте- и газопроводы, железные и автомобильные дороги, ЛЭП и др.); военные объ-

екты; предприятия ЖКХ; сельскохозяйственное производство.

«Площадная» трансформация и фрагментация растительного покрова АЗРФ наиболее явно проявляются в «горячих точках» и импактных районах в результате увеличения техногенных нагрузок, а также вследствие синергизма действия изменений климата и хозяйства на режим вечномерзлых грунтов. Наиболее часто непосредственно деградация растительности обусловлена загрязнением, вырубкой лесов и кустарников, перевыпасом домашних оленей, транспортными нарушениями, «ландшафтными» пожарами и т. д.

Полярные пустыни фактически сохраняют целостность, имея «очаги» деградации вокруг полярных станций, объектов Минобороны и ФСБ (пограничные войска). Они, за исключением незначительных прибрежных участков, не претерпели антропогенных изменений. *Арктические, типичные и кустарниковые тундры* вовлечены в хозяйственное освоение более существенно: здесь сосредоточены основные объекты нефтегазового комплекса страны в Ненецком и Ямало-Ненецком АО, горнодобывающие производства Таймырского и Чукотского АО и севера Республики Саха (Якутия). Суммарно же механически трансформированные земли тундр составляют уже до 3% общей площади материковой части АЗРФ, однако в окрестностях медно-никелевых комбинатов Норильска, Мончегорска и Печенги по-прежнему в радиусе десятков километров разрушен почвенный покров, отмечается трансформация природных ландшафтов, уничтожена растительность в результате выбросов в атмосферу соединений серы и азота. В последнее десятилетие именно в этих районах отмечены процессы восстановления древесной-кустарниковой и тундровой растительности.

Трансформация *пастбищ домашнего северного оленя*, занимающих в общей сложности в АЗРФ более 334,7 млн га, в настоящее время достигает 70%, особенно в Ямало-Ненецком АО. В разных регионах лесотундры и северной тайги на Кольском полуострове, в Западной и Северо-Восточной Сибири участки техногенных нарушений в местах добычи нефти, газа и других ресурсов минерального сырья занимают 3—8%. К этому следует добавить и участки техногенной дефляции, которые, например, в Ненецком и Ямало-Ненецком АО занимают сотни тысяч гектаров (к началу 2000-х годов только в последнем — 309 тыс. га [17]).

В некоторых регионах АЗРФ сократились разнообразие и площади прибрежных, долинных и дельтовых экосистем — лугов, зарослей кустарников, долинных лесов и пр. В отличие от более южных биомов здесь именно прибрежные районы на реках оказываются наиболее хозяйственно освоенными. Практически все населенные пункты приурочены к рекам. Но в последние десятилетия именно водораздельные пространства региона стали ареной очагового, а затем и фронтального хозяйственного освоения,

что закономерно привело к распространению повсеместно антропогенной фрагментации экосистем. Крупные участки фрагментации сформировались в низовьях реки Печоры в Ненецком АО, вокруг Воркуты в Республике Коми, на полуострове Ямал (группы месторождений Северо-, Западно- и Южно-Тамбейское, Тасийское, Малыгинское, Сядорское, Ново-Портовское, Нурминское, Мало-Ямальское, Ростовцевское, Арктическое, Средне-Ямальское, Хамбатеиское, Нейтинское, Каменномыское), в Норильском промышленном районе, вокруг алмазодобывающих и угольных предприятий Республики Саха (Якутия) и золотодобывающих районов Чукотского АО. Это относится и к районам восточного побережья архипелага Новая Земля, где ранее проходили испытания ядерного оружия, а сейчас восстанавливается инфраструктура Минобороны.

К проблеме антропогенной трансформации относятся и накопление твердых отходов производства и потребления на вовлеченных в хозяйство территориях. Ежегодно в АЗРФ образуется до 1 млрд т отвальных пород и твердых отходов. Значительные площади отвалов и твердых отходов сосредоточены в Мурманской области, в низовьях Печоры, на юге Ямала, вокруг Норильска, на севере Якутии. Последствиями нерегламентированного накопления отходов являются постоянное загрязнение земель, грунтовых вод и почв, деградация биоты.

По оценкам [18], на побережье вдоль Северного морского пути сосредоточено до 4 млн т промышленного и строительного мусора и до 12 млн железных бочек. Они накапливались здесь более 70 лет и не вывозились для захоронения или утилизации. Согласно оценкам, включенным в обоснование работ по очистке Арктики, только на арктических островах хранится до 1,5 млн бочек, 150 тыс. т металлолома.

Активизация деструктивных мерзлотных процессов (к ним относятся деформация грунтов, термокарст и термоэрозия) проявляется особенно интенсивно в очагах промышленного освоения и вдоль линейных сооружений. Потепление и подъем уровня моря обуславливают интенсификацию термоабразии арктических берегов, затопления и засоления приморских равнин.

Берега арктических морей России от Кольского полуострова до восточной оконечности Чукотского полуострова простираются на 22 635 км, а с учетом берегов арктических островов длина береговой линии возрастает до 36 136 км. Антропогенная составляющая абразивных процессов определяется здесь тем, что к естественным экзогенным факторам (волны, режим морского льда, температура воздуха, состав и льдистость отложений) добавляются факторы техногенного разрушения и интенсивности движения морского транспорта. Поэтому максимальные темпы этих процессов (до 10 м в год и выше) наблюдаются в пределах Ямало-Гыданской части Карского моря и в районе от устья реки Хатанга до Чаунской губы.

Характерной особенностью современной антропогенной трансформации АЗРФ является собственно *фрагментация экосистем* от точечных очагов нарушений с незначительной полосой природно-антропогенных переходных зон (экотонов) до роста их площади в связи с прокладкой линейных сооружений, соединяющих очаги трансформации.

Третья группа — антропогенные изменения биоразнообразия и сокращение запасов биоресурсов. Общий тренд изменения биоразнообразия в АЗРФ соответствует мировым тенденциям [19]: снижение качества среды обитания растительного и животного мира, утрата мест обитания и падение численности популяций в результате хозяйственного освоения и климатических изменений на фоне повышенной уязвимости экосистем Арктики. Масштабное освоение и потепление сделали удаленные районы АЗРФ более доступными для человека и увеличили нагрузку на биоту: происходит трансформация местообитаний редких видов [20], обеднение биоразнообразия, сокращение численности популяций. Например, имеется угроза снижения численности крупнейшей в мире уникальной таймырской популяции дикого северного оленя с ареалом, охватывающим практически весь полуостров Таймыр и юг Эвенкии. По оценкам Научно-исследовательского института сельского хозяйства Крайнего Севера (Норильск), ежегодная гибель оленей в результате браконьерского отстрела и травмирования при добыче пантов может превышать прирост популяции — около 80 тыс. голов [21].

Среди проблем антропогенной трансформации экосистем АЗРФ можно отметить и деградацию биоразнообразия за счет биотических инвазий и преднамеренной интродукции чужеродных видов, а также широкую экспансию на север многих видов сорных растений и синантропных животных, вытесняющих аборигенную флору и фауну.

Четвертая группа — ухудшение среды обитания коренного населения АЗРФ и условий традиционного природопользования. Оно лежит в основе этнического и культурного разнообразия коренного населения и является индикатором экологического благополучия Арктики. Антропогенное воздействие испытывают *до 40% площадей традиционного природопользования*: Кольский (Ловозеро), Тимано-Печорский, Новоземельский, Воркутинский, Пер-Надымский, Ямальский, Средне-Обский, Норильский, Анабарский, Яно-Индибирский, Валькумейский, Библибинский ареалы традиционного хозяйства. Изъятие здесь значительных участков земель может привести к разрыву целостности угодий, а также вызвать нарушение не только почвенно-растительного покрова, но и мерзлотного и гидрологического режима территорий. Возросшие в последнее десятилетие темпы расширения нефтегазовой отрасли в АЗРФ создали новые угрозы традиционному образу жизни малочисленных народов Севера [9].

Пятая группа — негативные последствия глобальных изменений климата, которые общепри-

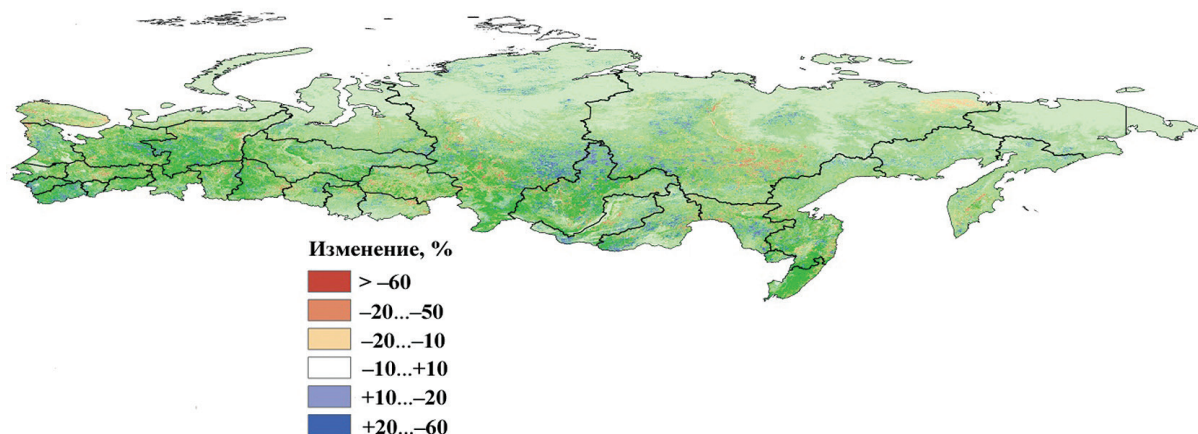


Рис. 2. Интегральная оценка трансформации (изменений состояния) экосистем АЗРФ и прилегающих территорий в 2000–2015 гг. с помощью дистанционного зондирования (композицы изображений MODIS TERRA)
 Fig. 2. Integral assessment of the transformation (state changes) of the ecosystems in the Russian Arctic and adjacent territories in 2000–2015, using remote sensing (composites of images MODIS TERRA)

знанно считаются антропогенными. По данным Пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) 2014 г. [22], включающего специальный раздел «Воздействие на природу и человека», и Второго оценочного доклада Росгидромета по изменению климата [23], в АЗРФ сохраняется ряд трендов, влияющих на биоту и состояние экосистем [8].

Результаты интегральной оценки антропогенной трансформации на субглобальном (национальном) и региональном уровнях

Как уже отмечалось, ни Росстат, ни ежегодные федеральные доклады о состоянии окружающей среды не дают актуальных сведений о площадях трансформированных экосистем АЗРФ и их динамике.

Наши данные (рис. 2), полученные дистанционными методами, с одной стороны, подтверждают выявившиеся ранее на локальном и региональном уровнях тренды роста продуктивности зо-

нальной растительности в условиях синергизма действия потепления климата и хозяйственной деятельности — «позеленения» [13–15], а с другой — показывают масштабы трансформации зональных экосистем, теряющих свойства естественного функционирования. Результаты «сплошного» одновременного учета последствий этого явления (сопоставление данных архивов MODIS 2000 и 2015 гг.) — антропогенная трансформация наблюдается на около 10% площади АЗРФ и прилегающих территорий.

Тестовый анализ на композитах изображений системы MODIS TERRA, полученных за летний период с разрешением 500 м, был также проведен с применением описанной выше методики «дробно» для пяти состояний растительного покрова: 2000, 2004, 2008, 2012, 2015 гг. Полученные данные обобщены в табл. 1 и 2. Они представляют собой результат сравнительных оценок антропогенной трансформации экосистем для АЗРФ.

Таблица 1. Общий разностный результат изменений площадей арктических и субарктических регионов России с разными показателями трансформации и восстановления растительного покрова с 2000 по 2015 гг., км²

Регион	Значительная деградация	Средняя деградация	Стабильный покров	Восстановление	Значительное восстановление
Архангельская область	2 042	7 268	396 683	5 780	1 330
Ненецкий АО	1 586	11 364	162 157	1 653	49
Магаданская область	1 127	10 762	411 981	37 102	427
Камчатский край	13 417	28 555	394 203	34 368	1 757
Тюменская область	59 905	162 411	1 060 299	126 824	25 561
Республика Коми	42 035	98 927	634 028	99 235	26 964

Регион	Значительная деградация	Средняя деградация	Стабильный покров	Восстановление	Значительное восстановление
Мурманская область	12 692	41 057	86 345	4 084	723
Республика Саха (Якутия)	79 536	247 562	2 540 310	204 930	11 662
Чукотский АО	17	2 990	706 292	12 057	124
Красноярский край	58 496	128 389	1 924 399	188 327	40 389
Ямало-Ненецкий АО	7 904	30 645	681 323	27 497	2 931
Ханты-Мансийский АО (Югра)	19 769	49 060	401 218	55 843	8 910
Республика Карелия	10 690	21 740	122 673	19 377	6 040

Таблица 2. Общий разностный результат изменений доли площади арктических и субарктических регионов России с разными показателями деградации и восстановления растительного покрова с 2000 по 2015 гг., %

Регион	Значительная деградация	Средняя деградация	Стабильный покров	Восстановление	Значительное восстановление
Архангельская область	0,49	1,76	96,03	1,40	0,32
Ненецкий АО	0,90	6,43	91,71	0,93	0,03
Магаданская область	0,24	2,33	89,29	8,04	0,09
Камчатский край	2,84	6,05	83,46	7,28	0,37
Тюменская область	4,17	11,32	73,89	8,84	1,78
Республика Коми	4,66	10,98	70,35	11,01	2,99
Мурманская область	8,76	28,33	59,59	2,82	0,50
Республика Саха (Якутия)	2,58	8,03	82,37	6,64	0,38
Чукотский АО	0,00	0,41	97,89	1,67	0,02
Красноярский край	2,50	5,49	82,24	8,05	1,73
Ямало-Ненецкий АО	1,05	4,08	90,81	3,66	0,39
Ханты-Мансийский АО (Югра)	3,70	9,17	75,02	10,44	1,67
Республика Карелия	5,92	12,04	67,96	10,73	3,35

Анализ материалов табл. 1 и 2 показывает следующее. В большинстве рассмотренных регионов площади деградирующих экосистем преобладают над восстанавливающимися растительный покров территориями. Доля площадей экосистем со стабильным состоянием (неизменяемым в период 2000—2015 гг.) составляет от 60% (Мурманская область)

до 98% (Чукотский АО); сравнительно благополучное состояние (выше 95% территорий со стабильным и восстанавливающимся покровом) отмечено помимо Чукотки еще и в Архангельской и Магаданской областях. Якутия, Ненецкий и Ямало-Ненецкий АО имеют близкие к средним показатели, но баланс трансформированных и восстанавливаемых площа-

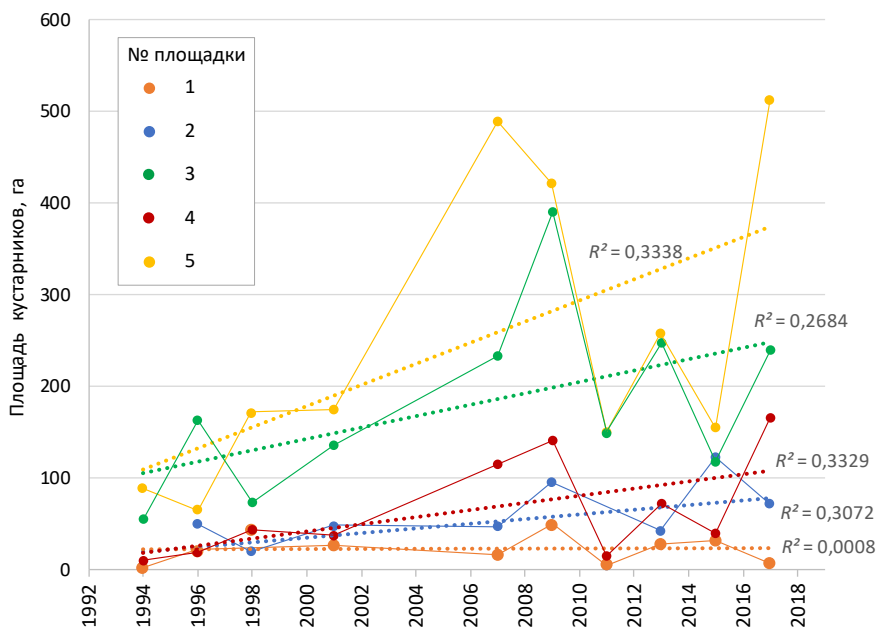


Рис. 3. Динамика площади кустарников на пробных площадках № 1–5 на острове Колгуев (см. рис. 1) в период с 1994 по 2017 гг. Пунктиром обозначена линейная регрессия
 Fig. 3. The dynamics of the area of shrubs at test sites No. 1–5 on the Island of Kolguev (see Fig. 1) in the period from 1994 to 2017. The dotted line indicates linear regression

дей в них все же в сторону первых. Наиболее катастрофические ситуации по абсолютным показателям отмечаются в Тюменской области, Республике Коми и Красноярском крае (по 200–300 тыс. км²), но по относительным показателям лидируют Мурманская область (около 37%), Республика Карелия (около 18%), Тюменская область и Республика Коми (около 15,5%).

Сопоставление данных дистанционного анализа с декларируемыми данными о масштабах деградации земель АЗРФ в Государственном докладе «О состоянии окружающей среды в Российской Федерации» и в аналогичных региональных докладах, на наш взгляд, позволило бы получать более корректные и дифференцированные данные о процессах антропогенного нарушения земель. Но это специальная работа, требующая унификации показателей и согласования критериев оценки.

Опыт оценки трансформации арктических экосистем на локальном уровне

Целостную картину процессов антропогенной трансформации арктической растительности и ее динамики может дать изучение изменений площади кустарников и развееваемых песков на тундровых пастбищах острова Колгуев (Ненецкий АО), состояние растительности которых детально изучено на период до 2013 г. [9], т. е. до проявления эффектов массового падежа домашних оленей в 2013–2014 гг.

Анализ площадей, занимаемых кустарниками, по всем пяти пробным площадкам показал, что на

большинстве из них (кроме самой северной) есть тренд увеличения площади, однако в одном случае (площадка 3) изменения не были статистически значимыми. Если сравнить значения площадей до 2002 г. и после 2006 г. для площадок с наибольшим изменением покрытия кустарниками (рис. 4), то наблюдается повышение его средних значений. Однако различия не всегда статистически достоверны. Разброс значений связан с тем, что на результат влияют конкретные условия времени съемки, в том числе влажность, интенсивность вегетации в конкретный год и сезон.

В качестве одного из показателей антропогенной трансформации экосистем оценивалась динамика площади открытых песков, подверженных дефляционным процессам, в очагах нарушений покрова домашними оленями. На всех исследованных площадках с 1994 г. по 2010–2012 гг. наблюдался рост площади, обусловленный ростом пастбищных нагрузок, а потом ее сокращение. По данным Нарьян-Марской сельскохозяйственной станции, приведенным в [9], в 2010 г. на острове было учтено 7,5 тыс. голов оленей, принадлежащих совхозу, и 500 частных оленей, выпасалось до 2 тыс. одичавших животных. Реальная численность оленей по нашим данным к 2013 г. составляла уже около 12 тыс., т. е. превышала допустимую оленеемкость пастбищ почти в 1,5 раза по обеспеченности летними и осенними пастбищами и в 2–2,5 раза по зимним пастбищам. В 2013–2014 гг. произошел массовый падеж оленей. В результате нагрузка на пастбища резко снизилась, началось восстановле-

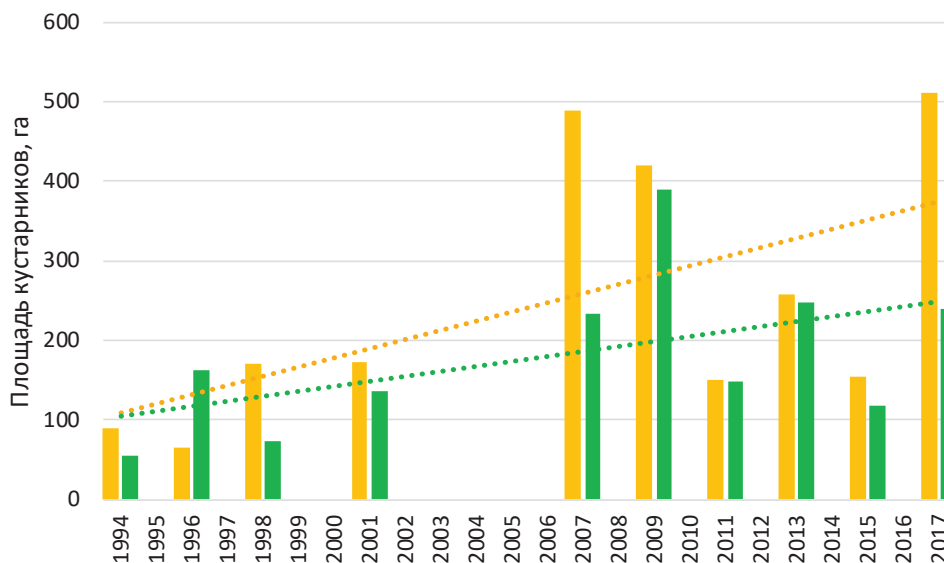


Рис. 4. Изменения площади кустарников и ее средних показателей на пробных площадках № 3 (зеленый цвет) и 5 (оранжевый цвет) в периоды 1994–2002 и 2007–2017 гг.

Fig. 4. Changes of the area of shrubs and its average indicators at test sites No. 3 (green) and 5 (orange) in the periods 1994–2002 and 2007–2017

ние растительности, в том числе зарастание песков. Для демонстрации разнонаправленных процессов построены графики динамики площади песков за 1994–2011 и 2013–2017 гг. (рис. 5 и 6).

В ряде случаев сокращение площади открытых песков наблюдалось уже в 2011 г., а иногда и в 2009 г. (рис. 6а), что объясняется снижением сезонных пастбищных нагрузок на отдельные участки после их быстрой дигрессии.

Заключение

Разномасштабные оценки динамики антропогенной трансформации экосистем АЗРФ показывают, что на фоне изменений климата, которые в целом усиливают эти процессы, происходит увеличение площади деградируемых экосистем как за счет накапливаемого эффекта, так и вследствие медленных процессов восстановления. Известно, что продолжительность восстановления арктических экосистем на первичных субстратах составляет первые тысячи лет, а вторичных сукцессий — до 100 и более лет [16].

В АЗРФ и на прилегающих территориях процессы антропогенной трансформации распространены более чем на 300 тыс. км². Процессы «позеленения» Арктики, которые связаны с ростом NDVI (продуктивности растительности), нельзя рассматривать как «позитивные» и «компенсационные» в отношении процессов трансформации. И те и другие дестабилизируют естественный ход функционирования арктических экосистем. Площади деградированных земель растут и в большинстве регионов

превалируют над площадью восстанавливаемых после нарушений земель.

Сравнительно низкая фрагментация регионов АЗРФ (исключение составляют Мурманская область и Ямало-Ненецкий АО) позволяет заключить, что «очаговый» характер антропогенной трансформации экосистем не перерастет в «фронтальный», который может привести к усилению деградации природы, развитию масштабных криогенных процессов и замедлению восстановления растительности.

Антропогенная трансформация экосистем однозначно сокращает пространство, занимаемое местообитаниями аборигенной арктической биоты, в том числе популяций редких видов. В качестве компенсации деградационных процессов в АЗРФ необходимо развивать сеть особо охраняемых природных территорий, которые по примеру других арктических государств (США, Норвегии, Дании, Швеции, Канады и др.) должны занимать до 20–50% территорий и акваторий.

Одним из важных результатов нашей работы можно считать обоснование разработки нового алгоритма дистанционного мониторинга состояния экосистем АЗРФ, позволяющего получать на разных пространственных уровнях детальную информацию об экосистемах. Имеющийся опыт [8; 15; 24] показывает его эффективность. Такая научно-практическая разработка могла быть создана в рамках национальных проектов «Экология» и «Наука» (2019–2024 гг.) и Комплексного проекта развития Северного морского пути (2015–2030 гг.).

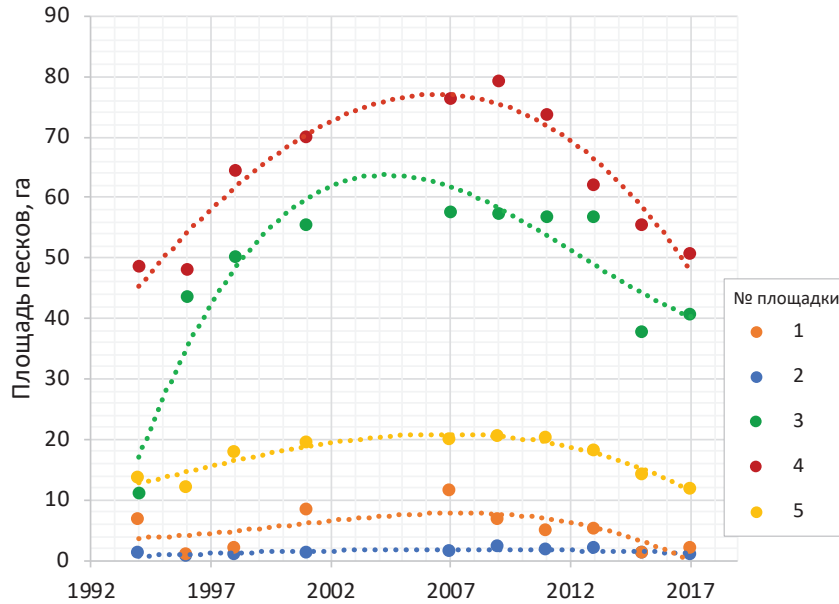


Рис. 5. Динамика площади открытых песков на острове Колгуев в период с 1994 по 2017 гг. Пунктиром обозначена линия тренда
 Fig. 5. The dynamics of the open sand area on the Island of Kolguev (see. Fig. 1) in the period from 1994 to 2017. The dotted line indicates the trend line

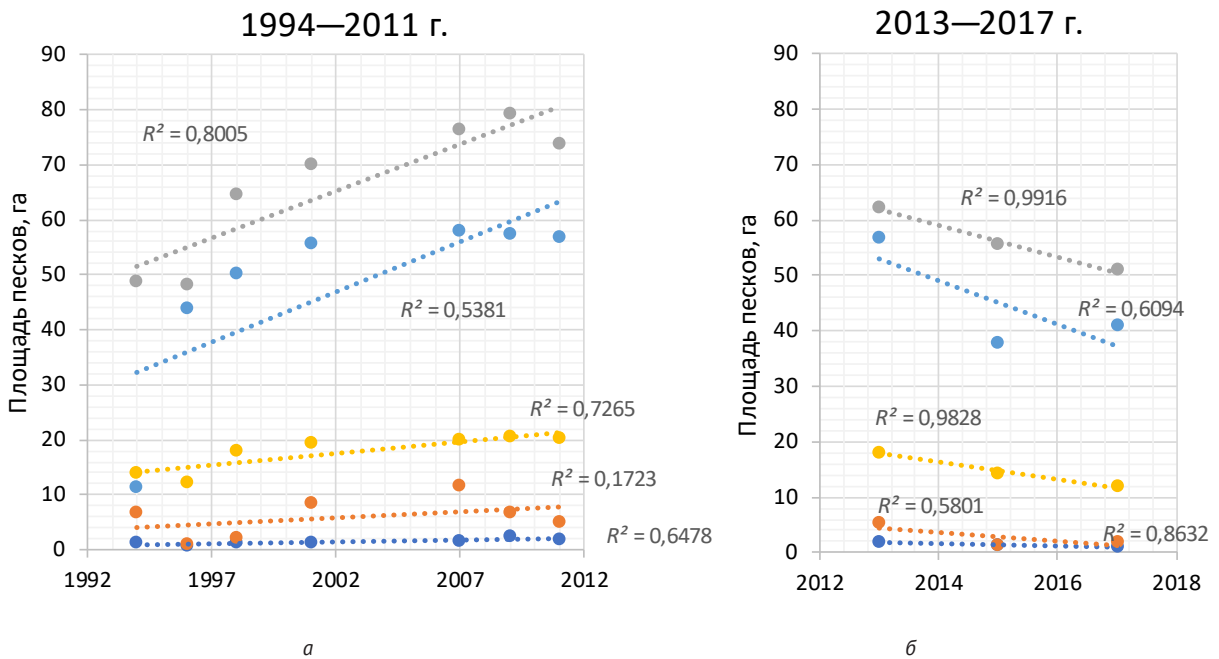


Рис. 6. Изменения площади открытых песков на острове Колгуев в периоды 1994–2011 гг. (а) и 2013–2017 гг. (б)
 Fig. 6. Changes of the open sand area on the Island of Kolguev (see. Fig. 1) in the periods 1994–2011 (a) and 2013–2017 (b)

Работа выполнена по гранту РФФИ №18-05-60057 «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты» и по теме госзадания Института географии РАН № 0148-2019-0007 «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого при-

родопользования». Расчеты площадей деградированных земель на региональном уровне проведены по гранту № 25/2018/РГО-РФФИ «Оценка и картографирование изменений состояния Великого Евразийского природного массива как фактора глобальной экологической стабильности и источника экосистемных услуг».

Литература

1. Гордеев В. В., Данилов А. А., Евсеев А. В. и др. Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (Расширенное резюме) / Отв. ред. Б. А. Моргунов. — М.: Науч. мир, 2011. — 200 с.
2. Российская Арктика: на пороге катастрофы / Ред.: А. В. Яблоков, В. Н. Калякин, Г. Е. Вильчек. — М.: Центр экол. политики России, 1996. — 208 с.
3. Природная среда Европейской части СССР (опыт регионального анализа) / Ред. А. Ф. Мандыч. — М.: Ин-т географии АН СССР, 1989 — 229 с.
4. Первый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в России» / Ред. А. М. Амирханов, В. Ю. Ильешенко, А. А. Тишков. — М.: Госкомэкологии России, 1997. — 170 с.
5. Состояние биологического разнообразия природных экосистем России / Под ред. В. А. Орлова, А. А. Тишкова. — М.: НИИ-Природа, 2004. — 116 с.
6. Пузаченко Ю. Г., Дьяконов К. Н., Алещенко Г. М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения. География и мониторинг биоразнообразия. — М.: Изд-во Науч. и учебно-метод. центра, 2002. — 432 с.
7. Кренке А. Н., Пузаченко Ю. Г. Построение карты ландшафтного покрова на основе дистанционной информации // Экол. планирование и управление. — 2008. — № 2 (7). — С. 10—25.
8. Тишков А. А., Вайсфельд М. А., Глазов П. М. и др. Биотически значимые тренды климата и динамика биоты российской Арктики // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 1 (33). — С. 71—87. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-71-87.
9. Лавриненко О. В., Лавриненко И. А. Растительный покров оленьих пастбищ острова Колгуев: преемственность исследований и современные подходы // Труды международной научной конференции, посвященной 300-летию основания БИН РАН: Ботаника: История, теория, практика. — СПб., 2014. — С. 124—131.
10. United State Geological Survey. — URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
11. Елсаков В. В. Пространственная и межгодовая неоднородность изменений растительного покрова тундровой зоны Евразии по материалам съемки MODIS 2000—2016 гг. // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. — 2017. — Т. 14, № 6. — С. 56—72. — DOI:10.21046/2070-7401-2017-14-6-56-72.
12. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM+. — URL: <http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html>.
13. 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—38.
14. 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. 28—39. — DOI: 10.15356/0373-2444-2016-3-28-39.
15. 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.
16. Тишков А. А. Современное состояние и изменения наземных экосистем Российской Арктики // Изменения природной среды России в XX веке. — М.: Молнет, 2012. — С. 86—103.
17. Цибульский В. Р., Валеева Э. И., Арефьев С. П. и др. Природная среда Ямала. — Тюмень, 1995. — 104 с.
18. Мизин И. А. Современные проблемы удаления ТБО из труднодоступных районов российской Арктики. — URL: <https://docplayer.ru/28505043-Sovremennye-problemy-udaleniya-tbo-iz-trudnodostupnyh-rayonov-rossiyskoy-arktiki.html>.
19. Tishkov A. Conservation of Russian Arctic biodiversity // Geography, Environment, Sustainability. — 2012. — Vol. 5, № 3. — P. 20—27.
20. Присяжная А. А., Круглова С. А., Хрисанов В. Р., Снакин В. В. Картографирование охраняемых на федеральном уровне видов растений в Арктической зоне Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 1 (33). — С. 61—70. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-61-70.
21. Манкеев В. М., Клоков К. Б., Колпацников Л. А., Михайлов В. В. Северный олень в условиях изменяющегося климата. — СПб.: ГПА, 2014. — 244 с.
22. Кокорин А. О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. — М.: Всемир. фонд дикой природы (WWF), 2014. — 80 с.
23. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Техническое резюме. — М.: Росгидромет, 2014. — 94 с.

Информация об авторах

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

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

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

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

Титова Светлана Владимировна, научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: sanoruss@yandex.ru.

Царевская Надежда Григорьевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: ngtsar@yandex.ru.

Шматова Анастасия Геннадиевна, аспирант, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: a/shmatova@yandex.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Тишков А. А., Белоновская Е. А., Глазов П. М. и др. Антропогенная трансформация арктических экосистем России: подходы, методы, оценки // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 4 (36). — С. 38—51. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-38-51.

ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF THE RUSSIAN ARCTIC ECOSYSTEMS: APPROACHES, METHODS, ASSESSMENTS

Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Glazov P. M., Krenke A. N., Titova S. V., Tsarevskaya N. G., Shmatova A. G. Institute of Geography, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received on August 1, 2019

Abstract

For the national, regional, and local analysis levels, assessments of actual anthropogenic transformation of ecosystems in Arctic zone of the Russian Federation are presented. Data were obtained using terrestrial, remote and statistical information technologies. The Island of Kolguev is chosen as a local level object, where the biogeography laboratory of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences has been conducting complex researches for about 25 years. It is shown that here in the XXI century multidirectional processes of vegetation dynamics occur. The processes are associated with climatogenic restructuring, intensive grazing at the beginning of the century and restoration of vegetation after the mass death of domestic deer. At the regional level, using remote sensing methods, multidimensional and multidirectional processes are identified — transformations and restoration of vegetation. For example, on the Kola Peninsula at the sites of destruction of the tree-shrub cover from technogenic pollution slow recovering of the cover occurs. The subjects of the Russian Arctic are noted where degradation processes dominate and where restoration processes predominate. At the subglobal (national) level, the scale of anthropogenic transformation of ecosystems is assessed for the Russian Arctic and adjacent subarctic territories (about 300 thousand km²). It is comparable in area with the synergistic effect of climate warming and economic activity — the area of “greening” in Russian Arctic.

Keywords: Arctic zone of the Russian Federation; anthropogenic transformation of ecosystems; national, regional and local levels; remote sensing, “greening” of tundra; vegetation, secondary succession.

The research is done in the framework of the RFBR grant No. 18-05-60057 “Greening” the tundra as a driver of the current dynamics of the Arctic biota” and according to the topic of the State assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences No. 0148-2019-0007 “Assessment of physical, geographical, hydrological and biotic environmental changes and their implications for laying the foundations of sustainable nature management”. Calculations of the degraded areas at the regional level are carried out under grant No. 25/2018/RGS-RFBR “Assessment and mapping of changes in the state of the Great Eurasian Natural Massif as a factor in global environmental stability and a source of ecosystem services.”

References

1. Gordeev V. V., Danilov A. A., Evseev A. V., Kochemasov Yu. V., Luk'yanov Yu. S., Lystsov V. N., Moiseenko T. I., Murashko O. A., Nemirovskaya I. A., Patin S. A., Solomatin V. I., Sotskov Yu. P., Strakhov V. V., Tishkov A. A., Treger Yu. A., Shishova O. N. Diagnosticheskiy analiz sostoyaniya okruzhayushchei sredy Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii (Rasshirennoe rezyume). [Diagnostic analysis of the Arctic zone environment of the Russian Federation (Extended summary)]. Otv. red. B. A. Morgunov. Moscow, Nauch. mir, 2011, 200 p. (In Russian).
2. Rossiiskaya Arktika: na poroge katastrofy. [Russian Arctic: on the verge of disaster]. Red.: A. V. Yablokov, V. N. Kalyakin, G. E. Vil'chek. Moscow, Tsentr ekol. politiki Rossii, 1996, 208 p. (In Russian).
3. Prirodnaya sreda Evropeiskoi chasti SSSR (opyt regional'nogo analiza). [Russian Arctic: on the verge of disaster]. Red. A. F. Mandych. Moscow, In-t geografii AN SSSR, 1989, 229 p. (In Russian).
4. Pervyi natsional'nyi doklad "Sokhranenie bioraznobraziya v Rossii". [First National Report "Biodiversity Conservation in Russia"]. Red. A. M. Amirkhanov, V. Yu. Il'yashenko, A. A. Tishkov. Moscow, Goskomekologii Rossii, 1997, 170 p. (In Russian).
5. Sostoyanie biologicheskogo raznobraziya prirodnnykh ekosistem Rossii. [The state of biological diversity of natural ecosystems in Russia]. Pod red. V. A. Orlova, A. A. Tishkova. Moscow, NIA-Priroda, 2004, 116 p. (In Russian).
6. Puzachenko Yu. G., D'yakonov K. N., Aleshchenko G. M. Raznobraziye landshafta i metody ego izmereniya. Geografiya i monitoring bioraznobraziya. [Diversity of the landscape and methods of its measurement. Geography and monitoring of biodiversity]. Moscow, Izdvo Nauch. i uchebno-metod. tsentra, 2002, 432 p. (In Russian).
7. Krenke A. N., Puzachenko Yu. G. Postroenie karty landshaftnogo pokrova na osnove distantsionnoi informatsii. [Making a map of landscape cover based on distance information]. Ekol. planirovanie i upravlenie, 2008, no. 2 (7), pp. 10—25. (In Russian).
8. Tishkov A. A., Vaisfel'd M. A., Glazov P. M., Morozova O. V., Puzachenko A. Yu., Tertitskii G. M., Titova S. V. Bioticheski znachimye trendy klimata i dinamika bioty rossiiskoi Arktiki. [Biologically significant climate trends and biota dynamics in the Russian Arctic]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2019, no. 1 (33), pp. 71—87. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-71-87. (In Russian).
9. Lavrinenko O. V., Lavrinenko I. A. Rastitel'nyi pokrov olen'ikh pastbishch ostrova Kolguev: preemstvennost' issledovaniy i sovremennye podkhody. [Vegetation cover of deer pastures of Kolguev Island: continuity of research and modern approaches]. Trudy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 300-letiyu osnovaniya BIN RAN: Botanika: Istoriya, teoriya, praktika. St. Petersburg, 2014, pp. 124—131. (In Russian).
10. United State Geological Survey. Available at: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
11. Elsakov V. V. Prostranstvennaya i mezhgodovaya neodnorodnost' izmenenii rastitel'nogo pokrova tundrovoi zony Evrazii po materialam s"emki MODIS 2000—2016 gg. [Spatial and interannual heterogeneity of changes in the vegetation cover of Eurasian tundra: Analysis of 2000–2016 MODIS data]. Sovrem. problemy distants. zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2017, vol. 14, no. 6, pp. 56—72. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-56-72. (In Russian).
12. Interpretatsiya kombinatsii kanalov dannykh Landsat TM / ETM+. [Interpreting Landsat TM / ETM + Data Channel Combinations]. Available at: <http://gislab.info/qa/landsat-bandcomb.html>. (In Russian).
13. Tishkov A. A., Krenke Jr A. N. "Pozelenenie" Arktiki v XXI veke kak effekt sinergizma deistviya global'nogo potepleniya i khozyaistvennogo osvoiniya. ["Greening" of the Arctic in the 21st century as an effect of synergy between global warming and economic development]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2015, no. 4 (20), pp. 28—38. (In Russian).
14. 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. "Pozelenenie" Arktiki i sovremennye trendy ee bioty. ["Greening" of the Arctic and current trends of its biota]. Izv. RAN. Ser. Geogr, 2016, no. 3, pp. 28—39. DOI: 10.15356/0373-2444-2016-3-28-39. (In Russian).
15. Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Vaisfel'd M. A., Glazov P. M., Krenke A. N., Tertitskii G. M. "Pozelenenie" tundry kak draiver sovremennoi dinamiki arkticheskoi bioty. ["Greening" of the tundra as a driver of modern dynamics of the Arctic biota]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2018, no. 2 (30), pp. 31—44. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44. (In Russian).
16. Tishkov A. A. Sovremennoe sostoyanie i izmeneniya nazemnykh ekosistem Rossiiskoi Arktiki. [Changes in the natural environment of Russia in the twentieth century]. Izmeneniya prirodnoi sredy Rossii v XXI veke. Moscow, Molnet, 2012, pp. 86—103. (In Russian).
17. Tsubul'skii V. R., Valeeva E. I., Arefev S. P., Mel'tser L. I., Moskovchenko D. V., Gashev S. N., Brusynina I. N., Sharapova T. A. Prirodnaya sreda Yamala. [The natural environment of Yamal]. Tyumen', 1995. 104 p. (In Russian).
18. Mizin I. A. Sovremennye problemy udaleniya TBO iz trudnodostupnykh raionov rossiiskoi Arktiki. [Current problems of solid waste removal from hard-to-reach areas of the Russian Arctic]. Available at: <https://docplayer.ru/28505043-Sovremennye-problemy-udaleniya-tbo-iz-trudnodostupnykh-rayonov-rossiyskoy-arktiki.html>. (In Russian).
19. Tishkov A. Conservation of Russian Arctic biodiversity // Geography, Environment, Sustainability, 2012, vol. 5, no. 3, pp. 20—27.
20. Prisyazhnaya A. A., Kruglova S. A., Khrisanov V. R., Snakin V. V. Kartografirovanie okhranyaemykh na federal'nom urovne vidov rasteniy v Arkticheskoi zone Rossiiskoi Federatsii. [Mapping of plant species pro-

tected at the federal level in the Arctic zone of the Russian Federation]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2019, no. 1 (33), pp. 61—70. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-61-70. (In Russian).

21. *Makeev V. M., Klovov K. B., Kolpashchikov L. A., Mikhailov V. V.* Severnyi olen' v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata. [Reindeer in a changing climate]. St. Petersburg, GPA, 2014, 244 p. (In Russian).

22. *Kokorin A. O.* Izmenenie klimata: obzor Pyatogo otsenochного doklada MGEIK. [Climate Change: A Re-

view of the IPCC Fifth Assessment Report]. Moscow, Vsemir. fond dikoi prirody (WWF), 2014, 80 p. (In Russian).

23. *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii: Tekhnicheskoe rezyume.* [Roshydromet Second Assessment Report on Climate Change and its Consequences in the Russian Federation: Technical Summary]. Moscow, Rosgidromet, 2014, 94 p. (In Russian).

Information about the authors

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.

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

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

Krenke Aleksandr Nikolaevich, PhD of Geography, Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: ankrenke@mail.ru.

Titova Svetlana Vladimirovna, Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: canopuss@yandex.ru.

Tsarevskaya Nadezda Grigorievna, PhD of Biological Science, Leading Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: ngtsar@yandex.ru.

Shmatova Anastasiya Gennadievna, Postgraduate, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: a/shmatova@yandex.ru.

Bibliographic description

Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Glazov P. M., Krenke A. N., Titova S. V., Tsarevskaya N. G., Shmatova A. G. Anthropogenic transformation of the Russian Arctic ecosystems: approaches, methods, assessments. *Arctic: Ecology and Economy*, 2019, no. 4 (36), pp. 38—51. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-38-51. (In Russian).

© Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Glazov P. M., Krenke A. N., Titova S. V., Tsarevskaya N. G., Shmatova A. G., 2019