

Экология и природопользование
Фахретдинов А.В., Тигеев А.А.

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Научная статья

УДК 528.873; 581.524.441; 636.294; 504.052

doi: 10.17072/2079-7877-2023-3-106-119

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ОЛЕНЬИХ ПАСТБИЩ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Артур Венерович Фахретдинов^{1*}, Александр Анатольевич Тигеев²

^{1*}, ²Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС

^{1*}arthurfahretdinov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8975-9771>, Author ID: 1135747, SPIN: 6893-9480, WoS Researcher ID: HKN-6575-2023

²ttrruubbaa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5449-5086>, Author ID: 124760, SPIN: 3978-3615, Scopus ID: 57202682147, Web of Science Researcher ID: AAR-1831-2020

Аннотация. Проведено исследование современных изменений растительного покрова оленьих пастбищ в подзонах северной и южной тундры полуострова Ямал. На основе полевых материалов и данных дистанционного зондирования Земли определена площадь участков, нарушенных выпасом в период с 2013 по 2022 г. Обработка снимков Landsat-8 и Landsat-9 с применением метода полуавтоматической классификации позволила выделить наиболее типичные экотопы с характерными растительными сообществами, включая выбитые оленями участки с нарушенными растительными сообществами и дефляционные обнажения. Выявлено, что из-за высокой концентрации оленей в южных районах полуострова Ямал площадь территории, нарушенной интенсивным выпасом, в 7,7 раз больше, чем в подзоне северных субарктических тундр. Погодные аномалии определяют характер сезонной миграции оленей и влияют на степень трансформации растительности в результате выпаса. В 2014 г. произошло усиление нагрузки на экосистемы в южной тундре, в 2016 наблюдались наиболее благоприятные условия для миграции на летние пастбища в северной тундре. Возрастание численности поголовья в южных районах полуострова обуславливает выраженный положительный тренд в динамике нарушенных выпасом оленьих площадей (2,1% в год) и практически его полное отсутствие для северной тундры. По этой же причине интенсивный выпас в южной тундре в значительной мере способствует увеличению площади песчаных обнажений ($r = 0,94$). Тренд роста значений NDVI, отмечаемый в тундрах Западной Сибири многими исследователями, нами в подзоне южных субарктических тундр не выявлен. Здесь выпас оленей и большая площадь нарушенных земель тундр приводят к снижению фотосинтетически активной фитомассы.

Ключевые слова: тундра, полуостров Ямал, олени пастбища, нарушение растительного покрова, дистанционное зондирование, классификация, NDVI

Для цитирования: Фахретдинов А.В., Тигеев А.А. Оценка динамики растительного покрова оленьих пастбищ полуострова Ямал при помощи метода полуавтоматической классификации спутниковых снимков // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 3(66). С. 106-119. doi: 10.17072/2079-7877-2023-3-106-119.

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-3-106-119

ASSESSMENT OF THE VEGETATION DYNAMICS OF REINDEER PASTURES IN THE YAMAL PENINSULA USING A SEMI-AUTOMATIC CLASSIFICATION METHOD OF SATELLITE IMAGES

Artur V. Fakhretdinov^{1*}, Alexander A. Tigeev²

^{1*}, ²Tyumen Scientific Centre SB RAS, IPOS

^{1*}arthurfahretdinov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8975-9771>, Author ID: 1135747, SPIN: 6893-9480, WoS Researcher ID: HKN-6575-2023

²ttrruubbaa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5449-5086>, Author ID: 124760, SPIN: 3978-3615, Scopus ID: 57202682147, Web of Science Researcher ID: AAR-1831-2020

Abstract. The research on current changes in the vegetation cover of reindeer pastures in the subzones of northern and southern tundra of the Yamal peninsula was carried out. The area of the sites disturbed by reindeer grazing from 2013 to 2022 was identified based on field and remote sensing data. Processing of Landsat-8 -9 images using the semi-automatic classification method made it possible to highlight the most common ecotopes with their inherent plant communities, including reindeer-damaged areas



with disturbed plant communities and deflationary outcrops. It was revealed that due to the high concentration of reindeers in the southern regions of the Yamal peninsula, the area of the territory disturbed by intensive reindeer grazing is 7.7 times larger than in the subzone of northern subarctic tundra. The weather anomalies determine the character of seasonal reindeer migration and have an impact on the degree of the vegetation transformation caused by grazing. In 2014, the load on ecosystems in the southern tundra increased, and the best conditions for reindeer migration to the summer pastures in the northern tundra were in 2016. The herd expansion in the peninsula's south causes an expressed positive trend in the dynamics of areas degraded by reindeer grazing (2.1% per year) and practically its absence for the northern tundra. For the same reason, intensive grazing in the southern tundra significantly contributes to the increase in the area of sandy outcrops ($r = 0.94$). The growth trend of the NDVI values noted by many researchers in the tundra of Western Siberia, has not been noted by us in the subzone of the southern subarctic tundra. Here, reindeer grazing and a large area of disturbed tundra lead to a decrease in photosynthetically active phytomass.

Keywords: tundra, Yamal peninsula, reindeer pastures, disturbance of vegetation cover, remote sensing, classification, NDVI

For citation: Fakhretdinov A.V., Tigeev A.A. (2023). Assessment of the vegetation dynamics of reindeer pastures in the yamal peninsula using a semi-automatic classification method of satellite images. *Geographical Bulletin*. No. 3(66). Pp. 106-119. doi: 10.17072/2079-7877-2023-3-106-119.

Введение

Важнейшей отраслью традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера является оленеводство, которое базируется на естественной кормовой базе. Крупнейшим центром оленеводства в мире является Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО). Среди всех северных народов ненцы достигли наибольших успехов в оленеводстве, сделав его основой собственной культуры и регионального экономического развития. В последние десятилетия проблема кормовой базы стала крайне острой. Нынешнее поголовье северных оленей (*Rangifer tarandus*) в ЯНАО почти в два раза превышает расчётную оленеемкость пастбищ [14]. В летний период большая часть оленьих стад сосредоточена на полуострове Ямал, пастбища которого не выдерживают интенсивной нагрузки. В результате перевыпаса растительность глубоко трансформирована и неуклонно утрачивает ресурсный потенциал [3; 19]. Ямальская тундра является примером значительной деградации растительного покрова под влиянием чрезмерного выпаса [5; 20].

Сокращение площади пастбищ вызвано также развитием инфраструктуры газодобывающего комплекса. Ямал является ключевым для развития газовой отрасли России в XXI в. По данным ПАО «Газпром», на полуострове Ямал и приямальском шельфе Карского моря сосредоточено 20,4 трлн куб. м газа, добыча которых будет продолжаться не менее 100 лет [7]. Промышленное освоение полуострова приводит к разрушению растительного покрова, снижению качества кормовых угодий, сокращению объема кормовых запасов [15], из сельхозоборота выводятся десятки тысяч гектаров тундровых пастбищ [8]. По данным Департамента природно-ресурсного регулирования ЯНАО, нехватка пастбищ вызвала снижение поголовья оленей в последнее пятилетие с 788 до 630 тыс. голов [10].

Также необходимо отметить, что нарушение растительного покрова изменяет температурный режим пород и ведет к активизации криогенных процессов – термоэрозии, термокарста, солифлюкции. Лишайники и кустарники, являющиеся наиболее ценной кормовой базой для оленей, не успевают восстанавливаться, необратимо меняется состав на менее питательную растительную основу (травы) [24; 27]. Деградация многолетнемерзлых пород приводит к вспышкам сибирской язвы в популяциях северного оленя (2016 г.), как результат активизации «старых» почвенных очагов [23]. Глобальные изменения климата обуславливают увеличение частоты аномальных погодных явлений, последствия которых влияют на состояние кормовых угодий. Так, летняя жара 2013 г., иссушившая тундру, сменилась аномальной погодой в осеннее время. Из-за раннего снегопада и ледяных дождей в южных тундрах и в местах, граничащих с переходами через р. Обь, на снегу сформировалась многослойная ледяная корка, ограничившая доступ оленей к пастбищам. Истощение животных по мере движения к зимним ягельникам привело к массовому падежу [22]. Поэтому оценка современной динамики растительного покрова оленьих пастбищ,

Экология и природопользование
Фахретдинов А.В., Тугеев А.А.

являясь важным прогностическим показателем, крайне актуальна для поддержания традиционного природопользования и сохранения целостности экосистем.

В последнее десятилетие было проведено большое количество исследований, направленных на анализ современной динамики растительного покрова тундр, в том числе тундр на полуострове Ямал. Данные эти весьма противоречивы. Так, были выявлены значительные нарушения растительного покрова оленьих пастбищ в районе Бованенковского месторождения [32; 33] и статистически значимый тренд снижения фитомассы, определенный по значениям NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованного относительного индекса растительности, являющегося простым показателем количества фотосинтетически активной биомассы [29]. Однако для южной части месторождения за период с 1988 по 2009 г. тренд NDVI был положительный, что, по мнению авторов, связано с формированием микроклимата в результате интенсивного строительства и активной хозяйственной деятельности, приводящей к повышению среднегодовых значений температуры воздуха [25]. Последующие исследования показали, что тренды NDVI на Бованенковском месторождении незначимы, тенденции изменения состояния растительного покрова отсутствуют [18].

Региональные обобщения динамики значений NDVI также неоднозначны. Исследования, базировавшиеся на наблюдениях в период с 1980 до середины 2000-х гг., выявили на полуострове Ямал незначительное повышение значений NDVI [36]. За период 1984–2012 гг. обнаружен положительный тренд NDVI («позеленение») в девяти из одиннадцати исследованных ландшафтов тундр Западной Сибири [30]. В южной части полуострова Ямал отмечен интенсивный рост NDVI, коррелирующего с продуктивностью сообществ и годичным фотосинтетическим стоком углерода [11]. Однако в последние годы положительный тренд NDVI не проявляется. На ключевых участках в подзоне южных тундр полуострова Ямал с 2001 по 2018 г. было выявлено снижение средних ($NDVI_{mean}$) и максимальных ($NDVI_{max}$) значений индекса за вегетационный период, что обусловлено влиянием выпаса оленей [5]. Исследование межгодовой изменчивости и трендов для тундровой зоны Западной Сибири показало медленное снижение NDVI, начавшееся в 2006 г., с последующим восстановлением, произошедшим в 2011 г. [34].

Проблема эффективного использования пастбищных ресурсов требует точной оценки современного экологического состояния растительного покрова – соотношения коренных и нарушенных фитоценозов, направления изменений под влиянием климатических факторов и антропогенного воздействия. В этом отношении эффективным подходом является сочетание традиционных методов геоботаники с дистанционными методами. Эффективность использования данных спутниковой съёмки при изучении современных изменений растительного покрова пастбищ северного оленя доказана на примере Тиманской тундры [13] и юга полуострова Ямал [5].

Район исследования и методика выполнения работы

Полуостров Ямал, совпадающий территориально с Ямальским районом и омываемый с запада Карским морем (в том числе Байдарацкой губой), с востока – Обской губой, располагается на северо-западе ЯНАО. Климат Ямала – субарктический в южных районах и арктический на севере. Средние температуры января составляют от -23 до -27°C , июля – от $+3$ до $+9^{\circ}\text{C}$. Количество осадков в среднем 300–400 мм/год. Высота снежного покрова составляет от 40 до 60 см [2]. Северо-Ямальская низменность, которая тянется от Байдарацкой губы на юге до северного побережья, занимает большую часть полуострова. На берегу Надымской Оби, на юге, вытянутой полосой располагается Нижнеобская низменность. Между ними пролегает Южно-Ямальская возвышенность. Почти вся территория Ямала находится в зоне тундры, в подзонах арктической, типичной и южной тундр, а южная часть, занимаемая Нижнеобской низменностью, – в зоне лесотундры

Экология и природопользование
Фахретдинов А.В., Тигеев А.А.

согласно схеме ландшафтного районирования [2]. Административный центр Ямальского района расположен в селе Яр-Сале, где находится одно из крупнейших оленеводческих предприятий – «Ярсалинское» [16].

Для исследования были выбраны участки, находящиеся в ландшафтных подзонах субарктической северной и субарктической южной тундры, каждый площадью 50 x 50 км (рис. 1). Выбор участков и временны́х интервалов исследования определён следующими причинами: 1) положением исследуемых участков в двух ландшафтных подзонах на пути миграции оленей; 2) подробной изученностью территории в ходе полевых работ авторами в 2019 и 2022 гг.; 3) наличием набора безоблачных спутниковых сцен Landsat, полученных для разных лет съёмки.

На территориях были проведены геоботанические исследования по стандартной методике [21]. При прохождении маршрута исследования (25 км) в пределах каждого из участков выполнялось по 10 описаний на площадках размером 10 x 10 м с указанием основных групп ассоциаций растительности, их видового состава по ярусам (кустарниковый, травяно-кустарничковый, мохово-лишайниковый), степени нарушенности растительного покрова. Динамика растительного покрова, в том числе на территориях, нарушенных выпасом оленей, определялась по мультиспектральным спутниковым снимкам Landsat-8 и Landsat-9 (OLI) для 2013–2014 гг., 2016–2017 гг. и 2022 г. Такая выборка обусловлена периодами резких колебаний численности поголовья в эти годы. В зимний период 2013–2014 гг. в связи с выпавшими осадками в виде дождя наблюдалось образование непробиваемого ледяного наста на снежном покрове. В результате отмечался многочисленный падеж домашних оленей от бескормицы.

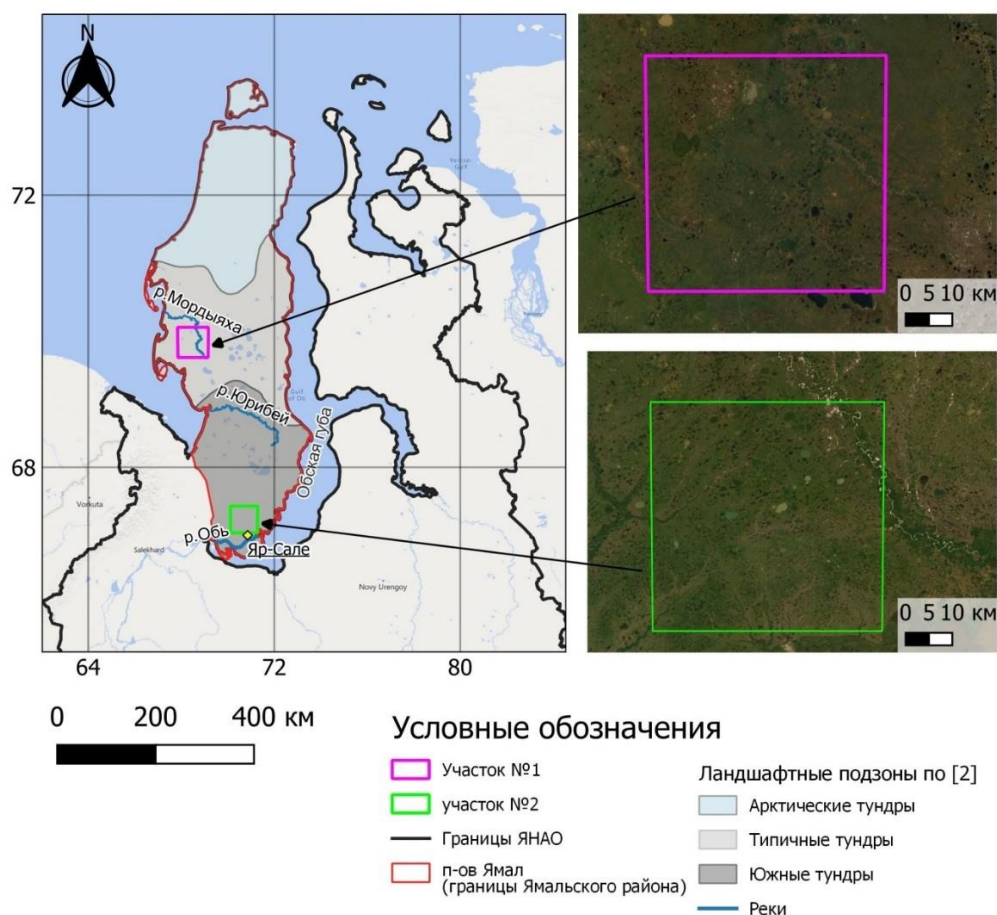


Рис. 1. Карта-схема размещения исследуемых участков на полуострове Ямал
Fig. 1. Map of the research sites on the Yamal Peninsula

Экология и природопользование
Фахретдинов А.В., Тугеев А.А.

Использовались космоснимки второй половины июля, т.е. периода максимального развития растительного покрова. Подобранные сцены проходили радиометрическую и атмосферную коррекцию. Создание классифицированного растрового изображения проводилось с помощью плагина полуавтоматической классификации (SCP) методами «минимального расстояния» (Minimum Distance) и «спектрального угла» (Spectral Angle Mapping) в программном комплексе QGIS. Для классификации было выбрано пять типов поверхности в северной тундре и шесть – в южной. Критерием для определения количества типов было определение максимальной достоверности дешифрирования. Поэтому, в отдельных случаях, во избежание некорректного разделения пикселей по типам поверхностей с близкими значениями спектральных характеристик производилось объединение нескольких экотопов, занятых сходными фитоценозами. К примеру, высококустарниковые тундры водоразделов незначительно отличаются от долин рек с преобладанием ивняков, что определило обобщение их в единый класс. Для сравнительного анализа пространственных и межгодовых изменений учитывалась площадь в процентах, занимаемая выделенным классом.

(NDVI) рассчитывался также в плагине SCP, значения которого были получены для каждого класса отдельно посредством инструментария модуля GDAL. Это позволило выявить степень трансформации растительного покрова поврежденных выпасом территорий, в том числе в годы кризисных явлений для ямальского оленеводства. Для определения статистических зависимостей NDVI с основными метеопараметрами (температура атмосферного воздуха и сумма осадков за летние периоды) был получен массив данных с ближайших к исследуемым участкам метеостанций «Марресаля» и «Яр-Сале» [1].

Результаты

Интенсивность автотранспортных потоков

Структура растительного покрова ключевых участков

На основе анализа и дешифрирования спутниковых снимков был выделен ряд основных типов поверхности с наиболее характерными для них растительными сообществами и вычислена доля территории (в процентах), занимаемая каждым из них в пределах выбранных участков (табл. 1, 2). На участке в северной тундре преобладают кустарниковые травяно-кустарничково-моховые (*Salix glauca*, *Betula nana*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Carex arctisibirica*, *Eriophorum angustifolium*, *Aulacomnium turgidum*, *Polytrichum commune*) дренированные тундры, осложненные заболоченными травяно-моховыми с ивой сообществами речных долин (*Salix lanata*, *Equisetum arvense*, *Carex concolor*, *Dicranum angustum*, *Hylocomium splendens*). Менее распространены, но играют заметную роль заболоченные кустарничково-мохово-травяные с ивой и ерником тундры (*Rubus chamaemorus*, *Carex stans*, *Drepanocladus exannulatus*) в комплексе с травяно-моховыми болотами (*Carex rariflora*, *Carex rotundata*, *Eriophorum vaginatum*, *Calliergon stramineum*, *Aulacomnium palustre*). Для участка в южной тундре типичны кустарничково-моховые, местами с ольховником, тундры (*Duschekia fruticosa*, *Rubus arcticus*, *Ledum decumbens*, *Polytrichum jensenii*, *Dicranum fuscescens*) в сочетании с осоково-мохово-лишайниковыми болотами (*Carex rariflora*, *Carex chordorrhiza*, *Sphagnum balticum*, *Polytrichum strictum*, *Cladonia arbuscula*, *Cetraria islandica*). Здесь же отмечается появление кустарничково-мохово-лишайниковых тундр (*Salix nummularia*, *Ledum decumbens*, *Arctous alpina*, *Cladonia concifera*, *Alectoria nigricans*, *Polytrichum hyperboreum*), не отмеченных на участке севернее. Поврежденные выпасом оленей тундры в обеих подзонах травяно-кустарничково-лишайниково-моховые по составу (*Ledum decumbens*, *Hierochloë alpina*, *Carex arctisibirica*, *Empetrum subholarticum*, *Ochrolechia frigida*, *Aulacomnium turgidum*) (рис. 2). Согласно ранее проведенным исследованиям в подзоне южной тундры [9], проективное покрытие растительности на большинстве площадей составляет в среднем 70-

Экология и природопользование
Фахретдинов А.В., Тигеев А.А.

80%. Растения находятся в угнетённом состоянии. Кормовая ценность пастбищ снижена. Отмечалось, что кормовые запасы на деградированных участках в южных тундрах Ямала, по сравнению с запасами 1990-х гг., снизились у кустарников – в 35 раз, трав – в 19 раз, лишайников – в 18 раз, кустарничков – в 3,5 раза.



Рис. 2. Растительные сообщества поврежденных выпасом оленей территорий на участках: а – в северной тундре (2022 г.); б – в южной тундре (2019 г.)

Fig. 2. Plant communities of territories damaged by reindeer grazing on the sites: a) in the northern tundra (2022), б) in the southern tundra (2019)

Изменение площадей групп ассоциаций растительности

Выполненная классификация характеризуется достаточно хорошим уровнем достоверности (>70% для участка южной тундры (коэф. χ «каппа» 0,68) и >80% в северной тундре (коэф. χ «каппа» 0,77)) согласно матрице ошибок (наилучший результат демонстрирует метод «спектрального угла»). Меньшее значение достоверности в южной тундре можно объяснить близкими по спектральным характеристикам территориями с фитоценозами, в которых участие принимают лишайники (в одном случае – ненарушенные, в другом – выбитые оленями), в результате чего возможны ошибки распознавания [17]. В целом, неидеальный результат достоверности обусловлен большим охватом исследуемой территории и сходством по флористическому составу нарушенных и ненарушенных растительных сообществ.

Анализ выделенных классов показал, что площадь выбитых оленями тундр в пределах южного участка превосходит северный в 7,7 раз (12,3 и 1,59%, соответственно, для периода 2013–2022 гг.) (табл. 1, 2, рис. 3). Такие различия можно объяснить более высокой концентрацией оленей в южных районах полуострова Ямал, где имеются сравнительно больше и доступнее кормовые угодья благодаря ландшафтным условиям, что определяет высокую нагрузку на фитоценозы.

Таблица 1

Распределение площадей выделенных классов на участке в подзоне северных субарктических тундр
Distribution of the areas of the allocated classes on the site in the subzone of the northern subarctic tundra

№ n/n	Тип поверхности	Занимаемая территория, %				
		2013 г	2014 г	2016 г	2017 г	2022 г
1	Песчаные обнажения	1,35	2,11	2,56	1,67	1,1
2	Нарушенные травяно-кустарничково-лишайниково-моховые тундры	1,22	1,08	3,65	0,85	1,17
3	Ерниково-ивняковые травяно-кустарничково-моховые и мохово-лишайниковые тундры водоразделов в сочетании с заболоченными травяно-моховыми с ивой долинами рек и долинообразными понижениями	54,9	49,9	43,2	34,34	71,7

Экология и природопользование
Фахретдинов А.В., Тигеев А.А.

Окончание табл. 1

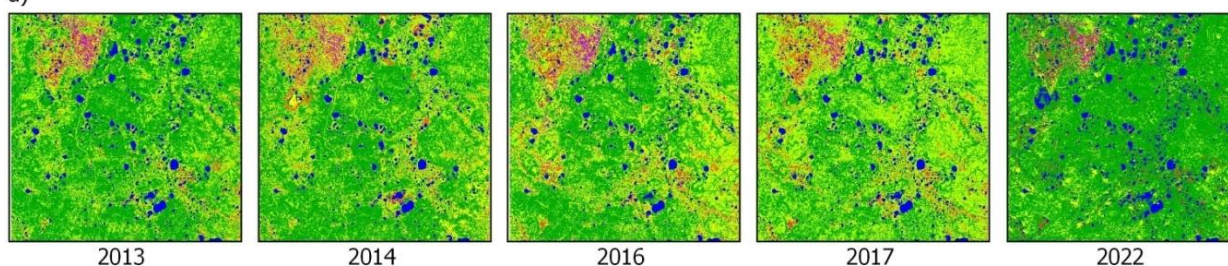
№ n/n	Тип поверхности	Занимаемая территория, %				
		2013 г	2014 г	2016 г	2017 г	2022 г
4	Плоские слабодренированные водоразделы с кустарничково-мохово-травяными с ивой и ерником заболоченными тундрами в сочетании с осоково-сфагновыми и осоково-гипновыми болотами	32,4	34,35	42,3	50,4	14,4
5	Недренированные водоразделы и поверхности речных долин с кустарничково-осоково-сфагновыми и осоково-гипновыми болотами	3,70	5,47	5,33	5,89	3,89

Таблица 2

Распределение площадей выделенных классов на участке в южной тундре
Distribution of the areas of the allocated classes on the site i of the southern tundra

№ n/n	Тип поверхности	Занимаемая территория, %				
		2013 г	2014 г	2016 г	2017 г	2022 г
1	Песчаные обнажения	1,28	1,50	1,50	2,10	2,38
2	Нарушенные травяно-кустарничково-лишайниково-моховые тундры	9,51	10,1	8,52	16,8	16,5
3	Дренированные выпуклые водоразделы с кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами	14,8	7,49	7,44	8,31	7,74
4	Кустарничково-моховые тундры в сочетании с осоково-мохово-лишайниковыми болотами	35,0	45,5	44,7	47,4	37,9
5	Ивняково-ольховниковые луговые и травяно-моховые, местами с лиственницей и березой долины рек	9,96	15,5	8,61	3,63	8,93
6	Пушицево-осоковые болота	16,6	6,02	16,3	8,35	14,4

а)



б)

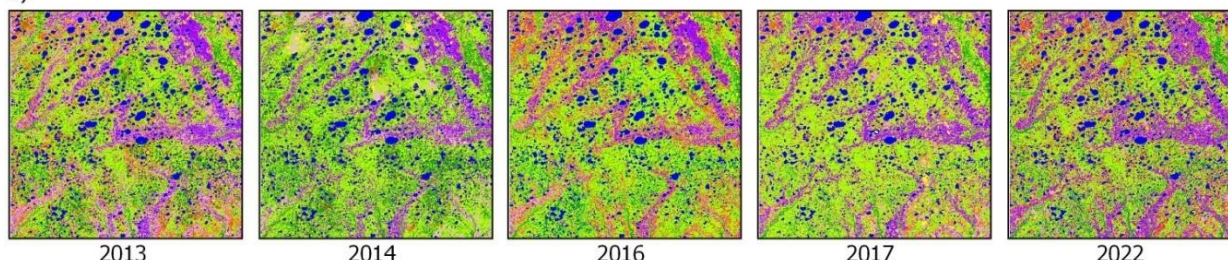


Рис. 3. Динамика выделенных классов с характерными фитоценозами на участках: а – в северной тундре; б – в южной тундре (табл. 1, 2)

Fig. 3. Dynamics of selected classes with typical plant communities on the sites:
а) in the northern tundra, б) in the southern tundra (tables 1, 2)

Анализ хронологии изменений площади нарушенных участков показал, что наблюдаются выраженный положительный тренд в динамике деградированных выпасом

Экология и природопользование
Фахретдинов А.В., Тигеев А.А.

олений земель в южной тундре (2,1% в год), и практически его отсутствие в северной тундре (рис. 4,а).

В северной тундре площадь нарушенных участков от года к году изменяется незначительно, в пределах 1%. Исключением стал 2016 г., когда поврежденных площадей стало больше в 3 раза, несмотря на падеж оленей в районе исследования, связанный со вспышкой сибирской язвы. При этом в тот же год на участке в южной тундре площадь нарушенных земель была, напротив, минимальной за рассматриваемый период. Как известно, 2016 г. был аномально теплым [6], что способствовало раннему наступлению вегетационного периода и послужило благоприятным условиям для каслания на летние пастбища в северной тундре. Перераспределение стад послужило причиной роста площади нарушений в северной тундре и снижения – в южной. Наблюдается заметная отрицательная связь в изменении затронутых выпасом территорий на исследуемых участках ($r = -0,58$). Так, в годы после 2013 и 2016 гг. в северной тундре отмечалось снижение деградированных земель, в то время как на южном участке происходило их увеличение. Согласно [6] зимой и весной 2013–2014 гг. произошёл крупный падеж оленей из-за неблагоприятных погодных условий в летне-осенний период, в связи с чем ослабленные животные не могли добраться до привычных летних пастбищ, что обусловило усиление нагрузки на зимние кормовые угодья на юге Ямала. Аналогичная ситуация, вероятно, сложилась и в 2017 г., так как предыдущий год отличался аномальными погодными условиями и эпизодическим снижением численности поголовья [23]. При этом площадь нарушенных территорий возросла почти в 2 раза, оставшись на таком же уровне (16–17%) в 2022 г. Стабилизация площади нарушенных участков свидетельствует о снижении пастбищной нагрузки и подтверждается статистикой поголовья оленей, согласно которой численность оленей в ЯНАО сократилась с 788 тыс. голов в 2017 г. до 630 тыс. – на начало 2022 г. [10].

Широко распространены на Ямале песчаные обнажения, обусловленные как природными, так и антропогенными факторами, так как ежегодное выедание и вытаптывание растительного покрова оленями способствуют усилению эоловых процессов на незакрепленных грунтах положительных элементов рельефа под действием сильных ветров (рис. 5). На участках исследования площадь песков (в обеих подзонах 1,75%) меньше, чем в среднем на Ямале (5,5%) [4]. Однако тенденции изменения площадей дефляционных образований разнонаправлены – в северной тундре отмечается их снижение, а в южной тундре, наоборот – возрастание (рис. 4,б).

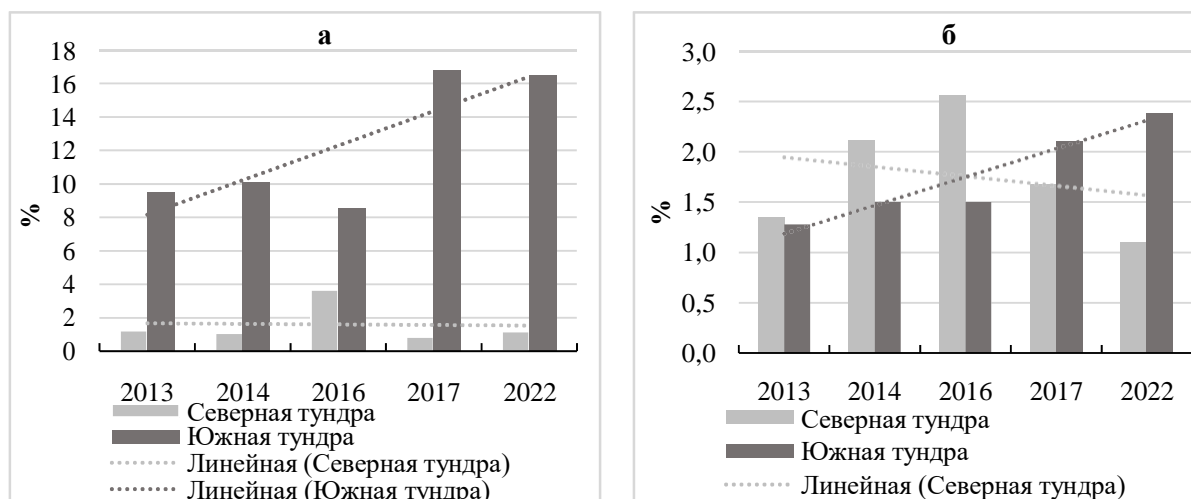


Рис. 4. Хронология изменений площадей в северной и южной тундре за период с 2013 по 2022 г.: а – нарушенных выпасом оленей; б – песчаных обнажений.

Fig. 4. Chronology of changes in areas in the northern and southern tundra for the period from 2013 to 2022. a) disturbed by grazing deer, b) sandy outcrops.

Экология и природопользование
Фахретдинов А.В., Тугеев А.А.

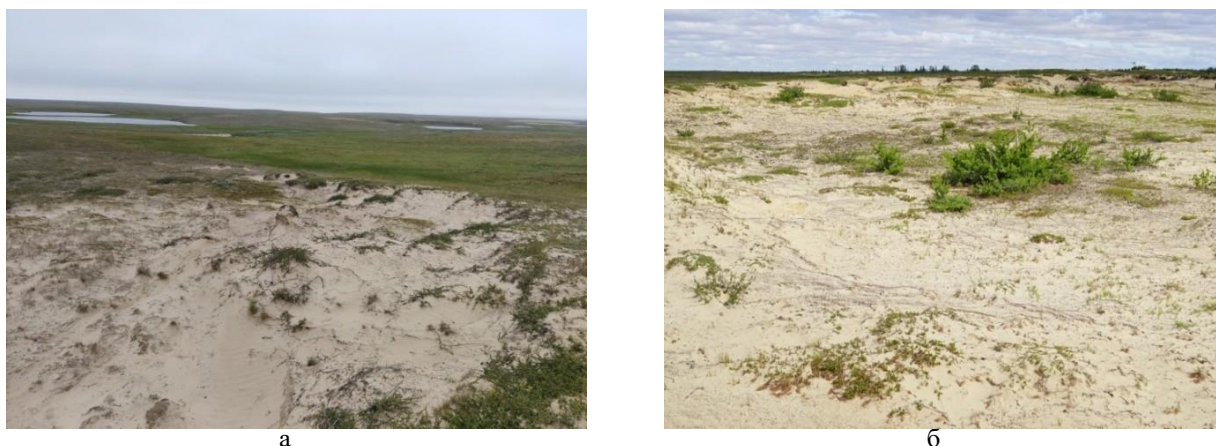


Рис. 5. Дефляционные обнажения на участках: а – в северной тундре (2022 г.); б – в южной тундре (2019 г).
Fig. 5. Deflationary outcrops on the sites: a) in the northern tundra (2022), b) in the southern tundra (2019).

Сопоставление количества нарушенных выпасом оленей территорий с площадью песчаных обнажений на участках исследования выявило сильную взаимосвязь между ними в южной тундре и несколько меньшую в северной тундре (коэффициенты парной корреляции составили 0,94 и 0,72, соответственно). Это свидетельствует о том, что интенсивный выпас в южной тундре вносит сравнительно бóльший вклад в деградацию фитоценозов за последнее десятилетие и подтверждает вывод [12] об увеличении скорости образования песчаных обнажений и сокращении лишайниковых тундр с начала XXI в. Отрицательный тренд в развитии дефляционных процессов в северной тундре можно аналогично объяснить снижением численности оленей за этот же период.

Факторы, определяющие изменения растительного покрова

Одним из следствий климатических изменений является «позеленение» тундр, фиксируемое по величине вегетационного индекса [29]. Значение NDVI за рассматриваемый период для нарушенных площадей составило для северной тундры в среднем 0,53, для южной тундры – 0,58, что позволяет характеризовать растительный покров как «разреженный» [35]. NDVI кустарниковых тундр и долин рек показал средние значения 0,65–0,69 и 0,78, для болотных комплексов – 0,59 и 0,64 (с наибольшими значениями в южной тундре).

В последние годы отмечалось увеличение NDVI в тундрах с доминированием кустарниковых видов [26]. Нами в северной тундре пик развития фотосинтетически активной биомассы на деградированных выпасом оленей тундрах был отмечен в аномально теплое лето 2016 г. (NDVI – 0,58, средняя летняя температура – 11,7°C), несмотря на то, что в этот период была определена наибольшая площадь нарушенности растительных сообществ. Вероятно, климатический фактор в этот год оказал более сильное воздействие, чем фактор выпаса оленей. Выявлена сильная зависимость вегетационного индекса нарушенного растительного покрова на северном участке от июньских температур ($r = 0,86$).

Экология и природопользование
Фахретдинов А.В., Тугеев А.А.

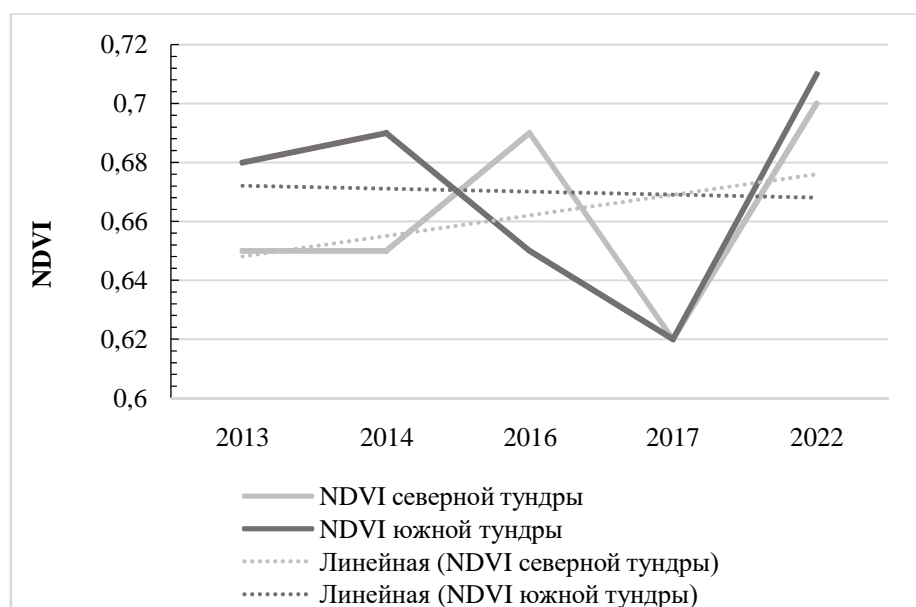


Рис. 6. Изменчивость июльских значений NDVI на исследуемых участках за период с 2013 по 2022 г.

Fig. 6. Variability of July NDVI values in the research sites for the period from 2013 to 2022

Вегетирующая растительность в южной тундре не показывает заметной зависимости от летних температур, но хорошо коррелирует с суммой осадков за июль ($r = 0,71$). Таким образом, несмотря на увеличение максимальных значений NDVI в тундровой зоне из-за увеличения температуры воздуха, тенденция развития растительного покрова в районах южной тундре в большей мере осложняется нагрузкой на экосистемы, связанной с выпасом оленей [36]. Это подтверждает и «несущественный» тренд максимальных значений NDVI в южной тундре, рассчитанный за последние 10 лет ($-0,003 < \beta < 0,003$), согласно [31] (рис. 6).

Отсутствие тренда роста NDVI на обследованных участках на фоне общего «позеленения» полярных регионов в целом [28; 36] и тундр Западной Сибири в частности [29] указывает на снижение фитомассы растительных сообществ под влиянием оленеводческой деятельности. Воздействие этого фактора на изменчивость вегетационного индекса в южной тундре, вероятно, даже более значимо, чем влияния основных метеопараметров [5], так как выявлена сильная отрицательная сопряженность с общей численностью поголовья оленей в регионе ($r = -0,92$). Напротив, в северной тундре западной части полуострова отмечен выраженный положительный тренд ($\beta > 0,006$), что показывает отсутствие значимых изменений количественных показателей растительного покрова за исключением локальных территорий, нарушенных выпасом оленей (рис. 6).

Выводы

Использование космоснимков с пространственным разрешением 30 м и полевые обследования с описанием групп ассоциаций растительности и ландшафтных условий изучаемой местности позволили выделить поврежденные оленями площади, основные сопредельные ландшафты с характерными фитоценозами и участки дефляционных обнажений. Применение методов полуавтоматической классификации космоснимков дает возможность достаточно четко определять пространственную структуру территорий, нарушенных в результате выпаса оленей, оценить динамику межгодовых изменений их площадей. Выявлено, что южные тундровые ландшафты испытывают значительную нагрузку, обусловленную интенсивным выпасом оленей, превосходя долю нарушенных площадей на западных участках северной тундры Ямала более чем в 7 раз. Усиление выпаса в южной части тундровой зоны, связанное во многом с аномальными погодными условиями и отсутствием возможности миграции оленей до привычных северных пастбищ в отдельные

годы, определило тенденцию к возрастанию в среднем на 2,1%/год площади нарушенных участков в последнее десятилетие. В 2017–2022 гг. произошла стабилизация вследствие сокращения поголовья оленей. Площадь дефляционных обнажений хорошо коррелирует с площадью нарушенных вследствие выпаса участков (в обеих подзонах $r > 70$), что говорит о роли пастбищной нагрузки в развитии эоловых процессов.

Слабый отрицательный тренд максимальных значений NDVI свидетельствует о деградации фитоценозов, обусловленной увеличением поголовья оленей, в подзоне южной тундры полуострова Ямал за последние десять лет несмотря на наблюдающуюся положительную тенденцию продуктивности растительных сообществ в Арктике. В северной тундре едва заметный положительный тренд в развитии растительных сообществ отмечается лишь на участках, нарушенных выпасом.

Список источников

1. Архив погоды [Электронный ресурс]. URL: http://pogoda-service.ru/archive_g sod.php (дата обращения: 14.10.2022).
2. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: Изд-во Омской картографической фабрики, 2004. 303 с.
3. Богданов В.Д., Головатин М.Г. Сибирская язва на Ямале: экологический взгляд на традиционное оленеводство // Экология. Екатеринбург: УрО РАН. 2017. № 2. С. 77–82.
4. Богданов В.Д., Головатин М.Г., Морозова Л.М., Эктова С.Н. Социально-экологические условия промышленного освоения полуострова Ямал // Экономика региона. 2012. № 3(31). С. 141–150.
5. Веселкин Д.В., Морозова Л.М., Горбунова А.М. Снижение значений NDVI в южных тундрах Ямала в 2001–2018 гг. коррелирует с численностью домашних северных оленей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 2. С. 143–155. DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-2-143-155
6. Волковицкий А.И., Терехина А.Н. Современные проблемы ямальского оленеводства: дискуссии и перспективы // Этнография. 2020. № 2(8). С. 152–169. DOI 10.31250/2618-8600-2020-2(8)-152-169
7. Газпром. Месторождения Ямала [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gazprom.ru/projects/yamal/> (дата обращения: 12.10.2022).
8. Головнев А.В., Абрамов И.В. Олени и газ: стратегии развития Ямала // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2014. № 4(27). С. 122–131.
9. Горбунова А.М. Изменение кормовых запасов оленьих пастбищ в южных субарктических тундрах Ямала // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02(205). С. 26–32. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-26-32
10. Доклад об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2021 году. [Электронный ресурс]. URL: <https://yanao.ru/dokumenty/93506/> (дата обращения: 09.10.2022).
11. Елсаков В.В. Использование материалов спутниковых съемок для анализа значений хлорофилльного индекса тундровых фитоценозов // Исследование Земли из космоса. 2013. № 1. С. 60–70. DOI 10.7868/S0205961413010016
12. Елсаков В.В., Морозова Л.М. Спутниковые технологии в исследованиях растительного покрова оленьих пастбищ п-ова Ямал // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2018. № 4(101). С. 21–23.
13. Елсаков В.В., Щанов В.М. Современные изменения растительного покрова пастбищ северного оленя Тиманской тундры по результатам анализа данных спутниковой съёмки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 128–142. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-128-142
14. Зуев С.М. Оленеводство в Ямало-Ненецком автономном округе: перспективы и проблемы // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2015. № 3(88). С. 103–107.
15. Иванов В.А. Оленеводство в арктическом субрегионе: состояние и направления развития // Регион: Экономика и социология. 2014. № 2(82). С. 39–51.
16. Квашин Ю.Н. Ненецкое оленеводство в XX-начале XXI века. Тюмень: Колесо, 2009. 164 с.
17. Корниенко С.Г. Оценка влияния разработки Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения на состояние территории лесотундры по данным ИСЗ Landsat // Исследование Земли из космоса. 2009. № 4. С. 78–87.
18. Корниенко С.Г. Характеристика антропогенных трансформаций ландшафтов в районе Бованенковского месторождения по данным спутников Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 106–129. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-2-106-129

Экология и природопользование

Фахретдинов А.В., Тугеев А.А.

19. Кряжимский Ф.В., Маклаков К.В., Морозова Л.М., Эктова С.Н. Системный анализ биогеоценозов полуострова Ямал: имитационное моделирование воздействия крупнотадного оленеводства на растительный покров // Экология. 2011. № 5. С. 323–333.
20. Магомедова М.А., Морозова Л.М., Эктова С.Н., Ребристая О.В., Чернядьева И.В., Потемкин А.Д., Князев М.С. Полуостров Ямал: растительный покров. Тюмень: Сити Принт, 2006. 360 с.
21. Полевая геоботаника. Т.3 / под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. М., Л.: Наука, 1964. 530 с.
22. Романенко Т.М., Вылко Ю.П., Филиппова А. Б. Современные проблемы землеустройства оленьих пастбищ // Интерактивная наука. 2017. № 1(11). С. 91–94. DOI 10.21661/г-116394
23. Селянинов Ю.О., Егорова И.Ю., Колбасов, Д.В., Листищенко А.А. Сибирская язва на Ямале: причины возникновения и проблемы диагностики // Ветеринария. 2016. № 10. С. 3–7.
24. Форбс Б., Штаммлер Ф., Кумпула Т., Месчтыб Н., Паюнен А., Каарлеярви В. Ямальские оленеводы, газодобыча и изменение окружающей среды: Адаптивный потенциал кочевого хозяйства и его ограничения // Экологическое планирование и управление. 2011. № 1. С. 52–68.
25. Якубсон К.И., Корниенко С.Г., Разумов С.О., Дубровин В.А., Крижук Л.Н., Ястреба Н.В. Геоиндикаторы изменения окружающей среды в районах интенсивного освоения нефтегазовых месторождений и методы их оценки // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2012. № 2(6). С. 22.
26. Beck P.S.A., Goetz S.J. (2011). Satellite observations of high northern latitude vegetation productivity changes between 1982 and 2008: ecological variability and regional differences. *Environmental Research Letters*. Vol. 6. No. 4. P. 045501. DOI:10.1088/1748-9326/6/4/045501
27. Degteva A., Nellemann C. (2013) Nenets migration in the landscape: Impacts of industrial development in Yamal peninsula, Russia. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*. Vol. 3 No.15. P. 1–22. DOI:10.1186/2041-7136-3-15.
28. Epstein H.E., Myers-Smith I., Walker D.A. (2013). Recent dynamics of arctic and subarctic vegetation. *Environmental Research Letters*. Vol.8. No.1. Pp.015040. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/015040
29. Esau I., Miles V.V., Davy R., Miles M.W. (2016) Trends in normalized difference vegetation index (NDVI) associated with urban development in northern West Siberia. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Vol.16. No.15. Pp.9563–9577. DOI 10.5194/acp-16-9563-2016.
30. Frost G.V., Epstein H.E., Walker D.A. (2014). Regional and landscape-scale variability of Landsat-observed vegetation dynamics in northwest Siberian tundra // *Environmental Research Letters*. Vol.9. No.2. Pp.025004 DOI:10.1088/1748-9326/9/2/025004.
31. Goetz Sc., Bunn A.G., Fiske G.J., Houghton R.A. (2005). Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance // *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)*. Vol.102. No.38. Pp.13521–13525. DOI:10.1073/pnas.0506179102.
32. Kumpula T., Pajunen A., Kaarlejärvi E., Forbes B.C., Stammli F. (2011). Land use and land cover change in Arctic Russia: Ecological and social implications of industrial development. *Global Environmental Changing*. Vol.21. No.2. Pp.550–562. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2010.12.010.
33. Kumpula T., Forbes B.C., Stammli F., Meschtyb N. (2012). Dynamics of a coupled system: multi-resolution remote sensing in assessing social-ecological responses during 25 years of gas field development in Arctic Russia. *Remote Sensing*. Vol.4 No.4. Pp.1046–1068. DOI:10.3390/rs4041046.
34. Miles V. V., Esau I. (2016). Spatial heterogeneity of greening and browning between and within bioclimatic zones in northern West Siberia // *Environmental Research Letters*. Vol.11. No.11. Pp.115002. DOI 10.1088/1748-9326/11/11/115002.
35. NDVI. Теория и практика. [Электронный ресурс]. URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения 12.10.2022).
36. Walker D.A., Leibman M.O., Epstein H.E. et al. (2009). Spatial and temporal patterns of greenness on the Yamal Peninsula, Russia: interactions of ecological and social factors affecting the Arctic normalized difference vegetation index. *Environmental Research Letters*. Vol.4, No.4. Pp. 045501. DOI:10.1088/1748-9326/4/4/045004.

References

1. Weather archive (2022), available at: http://pogoda-service.ru/archive_gsod.php (Accessed 14 October 2022).
2. Atlas of the Yamalo-Nenets Autonomous Region (2004), Omsk: Omskaya kartograficheskaya fabrika, Omsk, Russia.
3. Bogdanov V.D., Golovatin M.G. (2017), “Anthrax in Yamal: an ecological view on traditional reindeer husbandry”, *Ekologiya*, no. 2, pp. 77–82.
4. Bogdanov V.D., Golovatin M.G., Morozova L.M., Ektova S.N. (2012), “Socio-ecological conditions of industrial development of the Yamal peninsula”, *Economy of regions*, no. 3(31), pp. 141–150.
5. Veselkin D.V. Morozova L.M. Gorbunova A.M. (2021), “Decrease of NDVI values in the southern tundra of Yamal in 2001–2018 correlates with the size of domesticated reindeer population”, *Sovremennye problemy*

Экология и природопользование
Фахретдинов А.В., Тугеев А.А.

- distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 18, no. 2, pp. 143–155, DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-2-143-155
6. Volkovitskii A.I., Terekhina A.N. (2020), “The contemporary issues of Yamal reindeer herding: discussions and perspectives”, *Etnographia*, no. 2(8), pp. 152–169, DOI 10.31250/2618-8600-2020-2(8)-152-169
 7. Gazprom. Oil and gas producing areas of Yamal (2022), available at: <https://www.gazprom.ru/projects/yamal/> (Accessed 12 October 2022).
 8. Golovnev A.V., Abramov I.V. (2014), “Reindeer and gas: development strategies of Yamal”, *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, no. 4(27), pp. 122–131.
 9. Gorbunova A.M. (2021), “Change of feed stocks in southern subarctic tundra of Yamal”, *Agrarnyi vestnik Urala*, no. 02(205), pp. 26–32, DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-26-32
 10. Report on the environmental situation in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug in 2021 (2021), available at: <https://yanao.ru/dokumenty/93506/> (Accessed 09 October 2022).
 11. Elsakov V.V. (2013), “Use of the satellite data in chlorophyll index investigation at tundra communities”, *Issledovanie zemli iz kosmosa*, no. 1, pp. 60–70, DOI 10.7868/S0205961413010016
 12. Elsakov V.V., Morozova L.M. (2018), “Satellite monitoring of the vegetation cover of reindeer pastures of the Yamal peninsula”, *Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District*, no. 4(101), pp. 21–23.
 13. Elsakov V.V., Shchanov V.M. (2019), “Current changes in vegetation cover of Timan tundra reindeer pastures from analysis of satellite data”, *Sovremennye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 16, no. 2, pp. 128–142, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-128-142
 14. Zuev S.M. (2015), “Reindeer husbandry in the Yamalo-Nenets autonomous district: prospects and problems”, *Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District*, no. 3(88), pp. 103–107.
 15. Ivanov V.A. (2014), “Reindeer breeding in the Arctic subregion: current state and directions for the development”, *Region: ekonomika i sotsiologiya*, no. 2(82), pp. 39–51.
 16. Kvashnin Ju.N. (2009), *Neneckoe olenevodstvo v XX-nachale XXI veka* [Nenets reindeer husbandry in XX-the early XXI century], Koleso, Tyumen, Russia.
 17. Kornienko S.G. (2009), “Estimation of Urengoy’s oil and gas deposit mining impact on a condition of forest tundra landscape using Landsat data”, *Issledovanie zemli iz kosmosa*, no. 4, pp. 78–87.
 18. Kornienko S.G. (2022), “Characteristics of anthropogenic transformations of landscapes in the area of Bovanenkovo gas field based on Landsat satellite data”,
 19. *Sovremennye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 19, no. 2, pp. 106–129, DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-106-129
 20. Krjazhimskij F.V., Maklakov K.V., Morozova L.M., Jektova S.N. (2011), “System analysis of biogeocenoses of the yamal peninsula: simulation of the impact of large-herd reindeer breeding on vegetation”, *Ekologia*, no. 5, pp. 323–333.
 21. Magomedova M.A., Morozova L.M., Jektova S.N., Rebristaja O.V., Chernjad'eva I.V., Potemkin A.D., Knjazev M.S. (2006), *Poluostrov Yamal: rastitel'nyi pokrov* [Yamal peninsula: vegetation cover], Tyumen, Siti Print, Russia.
 22. Lavrenko E.M., Korchagina A.A. (e.d.) (1964), *Polevaya geobotanika*, M.L.: Nauka, Moscow, USSR.
 23. Romanenko T.M. Vylko Ju. P., Filippova A.B. (2017), “Modern problems of land management of reindeer pastures”, *Interaktivnaya nauka*, no. 1(11), pp. 91–94, DOI 10.21661/r-116394
 24. Seljaninov Ju.O., Egorova I.Ju., Kolbasov, D.V., Listishenko A.A. (2016), “Anthrax in Yamal: reemergence causes and diagnostic issues”, *Veterinary medicine*, no. 10, pp. 3–7.
 25. Forbs B., Shtammler F., Kumpula T., Messhtyb N., Pajunen A., Kaarlejarvi V. (2011), “Yamal reindeer herders, gas production and environmental change: Adaptive potential of nomadic farming and its limitations”, *Ekologicheskoe planirovanie i upravlenie*, no. 1, pp. 52–68.
 26. Beck P.S.A., Goetz S.J. (2011). Satellite observations of high northern latitude vegetation productivity changes between 1982 and 2008: ecological variability and regional differences. *Environmental Research Letters*. Vol. 6. No. 4. P. 045501. DOI:10.1088/1748-9326/6/4/045501
 27. Degteva A., Nellemann C. (2013) Nenets migration in the landscape: Impacts of industrial development in Yamal peninsula, Russia. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*. Vol. 3 No.15. P. 1–22. DOI:10.1186/2041-7136-3-15.
 28. Epstein H.E., Myers-Smith I., Walker D.A. (2013). Recent dynamics of arctic and subarctic vegetation. *Environmental Research Letters*. Vol.8. No.1. Pp.015040. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/015040
 29. Esau I., Miles V.V., Davy R., Miles M.W. (2016) Trends in normalized difference vegetation index (NDVI) associated with urban development in northern West Siberia. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Vol.16. No.15. Pp.9563–9577. DOI 10.5194/acp-16-9563-2016.
 30. Frost G.V., Epstein H.E., Walker D.A. (2014). Regional and landscape-scale variability of Landsat-observed vegetation dynamics in northwest Siberian tundra // *Environmental Research Letters*. Vol.9. No.2. Pp.025004 DOI:10.1088/1748-9326/9/2/025004.

Экология и природопользование

Фахретдинов А.В., Тигеев А.А.

31. Goetz Sc., Bunn A.G., Fiske G.J., Houghton R.A. (2005). Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance // PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America). Vol.102. No.38. Pp.13521–13525. DOI:10.1073/pnas.0506179102.
32. Kumpula T., Pajunen A., Kaarlejärvi E., Forbes B.C., Stammli F. (2011). Land use and land cover change in Arctic Russia: Ecological and social implications of industrial development. *Global Environmental Changing*. Vol.21. No.2. Pp.550–562. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2010.12.010.
33. Kumpula T., Forbes B.C., Stammli F., Meschtyb N. (2012). Dynamics of a coupled system: multi-resolution remote sensing in assessing social-ecological responses during 25 years of gas field development in Arctic Russia. *Remote Sensing*. Vol.4 No.4. Pp.1046–1068. DOI:10.3390/rs4041046.
34. Miles V. V., Esau I. (2016). Spatial heterogeneity of greening and browning between and within bioclimatic zones in northern West Siberia // *Environmental Research Letters*. Vol.11. No.11. Pp.115002. DOI 10.1088/1748-9326/11/11/115002.
35. NDVI. Теория и практика. [Электронный ресурс]. URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения 12.10.2022).
36. Walker D.A., Leibman M.O., Epstein H.E. et al. (2009). Spatial and temporal patterns of greenness on the Yamal Peninsula, Russia: interactions of ecological and social factors affecting the Arctic normalized difference vegetation index. *Environmental Research Letters*. Vol.4, No.4. Pp. 045501. DOI:10.1088/1748-9326/4/4/045004.

Статья поступила в редакцию: 02.02.2023; одобрена после рецензирования: 22.05.2023; принята к опубликованию: 12.09.2023.

The article was submitted: 2 February 2023; approved after review: 22 May 2023; accepted for publication: 12 September 2023.

Информация об авторах

Артур Венерович Фахретдинов

младший научный сотрудник Тюменского научного центра СО РАН, Институт проблем освоения севера; 625026, Россия, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86
e-mail: arthurfahretdinov@gmail.com

Information about the authors

Artur V. Fakhretdinov

Researcher, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Institute of Problems of Northern Development
86 Malygina str., 625026, Tyumen, Russia

Александр Анатольевич Тигеев

кандидат географических наук, старший научный сотрудник Тюменского научного центра СО РАН, Институт проблем освоения севера; 625026, Россия, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86
e-mail: ttrruubbaa@mail.ru

Alexander A. Tigeev

Candidate of Geographical Sciences, Senior Scientist, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Institute of Problems of Northern Development
86 Malygina str., 625026, Tyumen, Russia

Вклад авторов

Фахретдинов А.В. – Идея исследования, сбор и обработка данных, составление методики выполнения исследования, создание графических материалов, написание результатов работы, формулировка выводов, оформление рукописи.

Тигеев А.А. – Обоснование концепции исследования, описание района исследования, научное редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Artur V. Fakhretdinov – research idea, data collection and processing, drawing up the methodology of the study, creating graphic materials, writing the results of the study, formulation of conclusions, getting the material ready for publication.

Alexander A. Tigeev – substantiation of the research concept, describing of the research area, scientific text editing.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.