

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ТРАДИЦИОННОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

© М.К. Скрицкая, Ю.В. Петров

Тюменский государственный университет, г. Тюмень

Аннотация. Актуальность. В современных социально-экономических и геоэкологических условиях в Ямальском районе оленеводство стало одним из источников существенного антропогенного воздействия на окружающую природную среду, что требует соответствующей разработки превентивных мероприятий для сохранения устойчивости местных уникальных ландшафтов. **Цель работы.** В работе представлен анализ четырех картографических методов мониторинга экологического (геоэкологического) состояния оленьих пастбищ на основе данных дистанционного зондирования Земли на примере Ямальского района (зона тундры, Крайний Север Западной Сибири) и разработан алгоритм их применения для организации мониторинга традиционного природопользования на полуострове Ямал. **Методы исследования.** Материалами для исследования послужили, а) общедоступные материалы дистанционного зондирования Земли, отражающие временную динамику воздействия на ландшафты территории за несколько десятилетий активного антропогенного воздействия; б) материалы органов государственной власти и местного самоуправления по результатам организации управления оленеводством; в) данные государственной статистики и г) научные статьи по аналогичным исследованиям отечественных и зарубежных авторов. В исследовании использованы методы анализа данных, сравнительный и эмпирический метод. **Результаты работ.** С учетом существующих наработок в сфере использования картографических методов мониторинга состояния оленьих пастбищ и результатов исследования разработан алгоритм анализа и мониторинга состояния оленьих пастбищ Ямальского района посредством использования материалов дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: традиционное природопользование, оленеводство, мониторинг, дистанционное зондирование Земли, Ямальский район, тундра.

Формат цитирования: Скрицкая М.К., Петров Ю.В. Разработка алгоритма дистанционного мониторинга экологического состояния территорий традиционного природопользования // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2024. Том 9. №1 (35). С. 56-61. DOI: 810.25744/genb.2024.99.98.008

Введение. Традиционное природопользование (ТПП) на сегодняшний день является важной частью культуры и хозяйства коренного населения многих стран, включая Россию. На сегодняшний день стремительно изменяется характер традиционного природопользования, что также характерно для разных его отраслей во многих регионах мира. В России наиболее проблемной отраслью является оленеводство на полуострове Ямал. Данная территория особенна тем, что на ней сочетается две противоположных отрасли хозяйства – промышленность и сельское хозяйство, представленное традиционным природопользованием. Воздействие двух данных сфер деятельности на экосистемы тундры полуострова Ямал влечет за собой определенные экологические риски. С учетом текущего состояния территории пастбищ на полуострове важно не только правовое регулирование соблюдения прав коренного населения, но и мониторинг использования ресурсов для ведения традиционного хозяйства, что требует разработки различных эффективных методов. Наиболее актуальными на сегодняшний день

являются методы исследования на основе материалов дистанционного зондирования Земли.

Цель исследования: разработка методики мониторинга экологического состояния территорий ТПП на основе материалов дистанционного зондирования Земли, на примере Ямальского района. Задачи: исследование характера ведения современного ТПП и анализ методов его мониторинга; характеристика территории наиболее масштабного распространения оленеводства в России – Ямальского района; исследование современных методов мониторинга территорий ТПП на основе материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ); апробирование методов ДЗЗ для мониторинга воздействия ТПП на окружающую природную среду на примере оленеводства в Ямальском районе Ямало-Ненецкого автономного округа. Объект исследования: территория современного оленеводства в Ямальском районе Ямало-Ненецкого автономного округа. Предмет исследования: методы мониторинга воздействия оленеводства на окружающую природную среду в Ямальском районе Ямало-Ненецкого автономного округа.

Основная часть.

Методы. В исследовании использованы методы анализа данных, сравнительный и эмпирический метод. Информационной базой исследования послужили общедоступные материалы ДЗЗ, научные статьи, статистические материалы, данные профильных органов государственной исполнительной власти РФ, субъектов РФ и органов местного самоуправления. Для оценки информационной базы и системы мониторинга экологического состояния территорий традиционного природопользования Ямальского района были направлены запросы в государственные территориальные органы власти. Было проведено интервью с членом Правления Ямальского районного общественного движения КМНС «Ямал» и получены материалы схем миграции оленей на полуострове Ямал, на которых был построен дальнейший ход исследования.

Территория исследования. Ямальский район расположен в пределах полуострова Ямал (площадь 122 000 км²) за Северным полярным кругом и входит в Арктическую зону Российской Федерации. Территория исследования отличается суровыми климатическими условиями и уязвимой природной средой [8]. Полуостров Ямал расположен в зоне тундр и делится на 3 зоны: зона арктических, типичных и южных тундр [6]. Из-за особенностей рыхлых и сильно опесчаненных подстилающих пород и ветрового режима в осенне-зимний период, деградация растительного покрова в результате перевыпаса на Ямале способствует формированию песчаных обнажений по положительным элементам рельефа, а вследствие ветровой эрозии зарастание крупных обнажений диаметром до 1000 м и более стано-

вится невозможным [4, 16]. В результате постепенно происходит «опустынивание» территории полуострова Ямал: совокупная площадь песков на полуострове составляет 5,5% площади суши, а на Среднем Ямале локально достигает 19% [3, 15]. В подзоне арктических тундр на водоразделах характерны полидоминантные лишайниково-моховые и мохово-лишайниковые фитоценозы. Важнейшим компонентом зоны типичных (северных субарктических) тундр являются мхи, травы (злаки осоки и пушицы) и лишайники, а южные субарктические тундры занимают кустарничковые, прежде всего, ерниковые водоразделы в сочетании с травяно-моховыми, кустарничково-моховыми и кустарничково-лишайниково-моховыми тундрами [1]. Запасы злаковых и осоковых в травянистых сообществах практически не изменяются в северной и восточной части полуострова, однако снизились уже в 2 раза в западной части, где проходят прогонные пути [6].

Ямальский район, как и в целом Ямало-Ненецкий автономный округ, является ярким примером территории, где одновременно сочетаются масштабное нефтегазовое освоение (на сегодняшний день открыто более 32 месторождений с запасом более чем на 10 триллионов кубометров природного газа) и традиционное хозяйствование коренных малочисленных народов Севера (по состоянию на начало 2023 года насчитывает 620 тыс. голов оленей (по данным Департамента агропромышленного комплекса ЯНАО) при проектной оленеёмкости пастбищ 452 тыс. оленей [10, 11, 13]).

Результаты. Для выполнения работы были использованы космоснимки, взятые из открытого источника [12]. Для скачивания снимков 1980–2000 гг. использовались материалы спут-

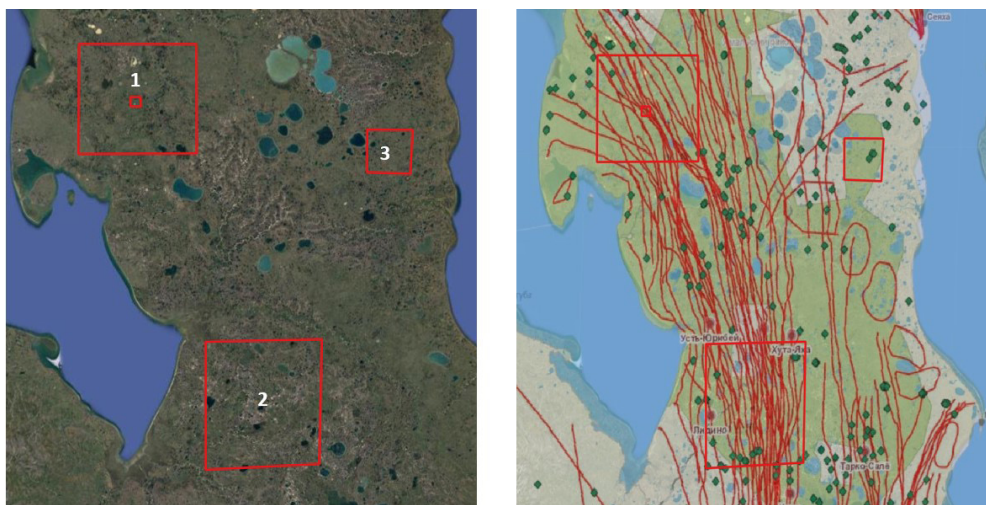


Рис. 1. Территория проведения исследования

ника Landsat 1–5, Landsat 4–5; для снимков 2000–2011 гг. – Landsat-7, для снимков 2011–2023 гг. – Landsat 8–9. Основными параметрами при отборе снимков являлись: дата, облачность, наличие необходимых для анализа спектральных каналов, территориальная принадлежность. Снимки подбирались исходя из условия соответствия одинаковому вегетационному периоду, поэтому все снимки подбирались строго за июль, когда летняя вегетация достигает максимума. Приемлемой облачностью для анализа является 20–40%, что сужает диапазон числа возможных для анализа снимков. В результате работы было отобрано и скачано с открытого ресурса 15 космических снимков с набором всех необходимых спектральных каналов за период 1982–2023 гг. за каждые 10 лет для ретроспективной оценки изменений. Скачивание более ранних снимков не представляется возможным, так как дистанционный мониторинг Земли ведется с начала 1980-х гг., а также согласно литературе [2, 5, 7, 14, 17, 18] проблема превышения оленеемкости на Ямале стала проявляться с начала 1990-х гг. Обработка снимков проводилась в программе QGIS 3.32.

С учетом масштабов территории исследования,

а также ее труднодоступности дистанционные методы исследования имеют особую актуальность. В случае с выделением участков, нарушенных в результате перевыпаса, необходим подбор таких инструментов, которые позволяют анализировать оголенные участки почвы и состояние растительности. Для отбора наиболее релевантных инструментов для дальнейшей работы был проведен SWOT-анализ имеющихся инструментов оценки деградации растительности и выбраны наиболее подходящие: синтез Red-Green-Blue, синтез Swir-NIR-Red, индекс NDVI, модуль Value Tool. Для оценки применимости конкретного инструмента в исследовании нами были сопоставлены и проверены несколько способов дешифрирования космических снимков оленьих пастбищ для разработки методики проведения дальнейшей аналитической работы.

Для проведения сравнительного анализа картографических инструментов были выбраны 3 территории (рис. 1), которые являются показательными для проверки точности методики. Выбор участков осуществлялся на основании карты-схемы путей миграции оленьих стад на территории Ямальского района, переданной Управлением по делам малочисленных народов Севера ЯНАО, а

Таблица 1

Результаты применения инструментов анализа деградированных участков оленьих пастбищ

Участок Метод		Участок 1 (поверенный полевыми исследованиями)	Участок 2 (концентрация путей миграции по материалам карты-схемы)	Участок 3 (минимальное воздействие по материалам карты-схемы)
Естественные цвета (Red-Green-Blue)		Визуально видны, но трудно различимы изменения в размерах участков, занятых песком	Хорошее качество для рассмотрения отдельных деталей, однако различия в площади опесчаненных участков не видны	Значительных различий между двумя участками разных лет не выявлено, есть проблемы с анализом из-за параметров снимка 2023 года
Комбинация SWIR-NIR-Red		Отчетливо видны изменения площади опесчаненных участков	Значительные изменения между снимками разных лет не различимы	Отчетливо просматриваются все участки, значительных изменений не выявлено
NDVI _{max}	2023	0,478282	0,544986	0,464365
	2013	0,485607	0,512348	0,472992
	2003	0,462069	0,639535	0,575
	1993	0,663551	0,656566	0,68
	1983	0,133333	-	0,217391
модуль Value Tool	2023	0,315432	0,228638	0,296499
	2013	0,334629	0,200130	0,330752
	2003	0,296296	0,177304	0,473684
	1993	0,402299	0,278688	0,137724
	1983	0,025641	-	0,020979

также ранее проведенных исследований.

Первый участок для проверки методов анализа деградированных участков был взят из уже осуществленного исследования, где были установлены нарушенные опесчаненные участки, что говорит о репрезентативности участка для исследования [9, 19]. Второй участок выбран авторами на основе карты-схемы миграции оленей в Ямальском районе, полученной от государственного органа, так как он находится в пределах южной тундры на пересечении большого количества маршрутов миграции оленей, соответственно обладает характеристиками территории с высокой нагрузкой на растительный и почвенный покров. Третий участок выбран на основании карты-схемы миграции оленей как фоновый, где происходит наименьшее воздействие на растительность и почву и не предполагается значительных изменений за указанный промежуток 1983-2023 гг.

Для визуальной оценки площади нарушенных участков были применены способы сочетания спектральных каналов для получения естественного изображения (Red-Green-Blue) с последующей процедурой обработки снимка для повышения качества – паншарпенинга и применения комбинации SWIR-NIR-Red. Для получения точных расчетных количественных результатов был применен метод расчета индекса NDVI (ве-

гетационный индекс) и модуль программы QGIS Value Tool (инструмент, позволяющий делать запрос информации о пикселе растра). Результаты проведенного анализа представлены в таблице 1.

Построен следующий алгоритм дистанционного мониторинга экологического состояния оленьих пастбищ посредством анализа космоснимков (рис. 2).

Так как на сегодняшний день не существует универсальной методики дистанционного мониторинга экологического состояния оленьих пастбищ, а имеющиеся исследования в основном связаны с автоматизированными методами анализа космоснимков, выбранный алгоритм для методики позволяет осуществлять детальный и многосторонний анализ участков при использовании более доступных инструментов. Также необходимо отметить, что для уникальных природно-климатических и социально-экологических условий Ямальского района применение общедоступных источников информации является практическим инструментом организации и регулирования традиционного природопользования в условиях сопутствующего антропогенного воздействия от недропользования.

На основе данных, полученных в результате проведенного анализа, возможно выделение наиболее проблемных участков и последующая разработка мероприятий по регулированию тради-

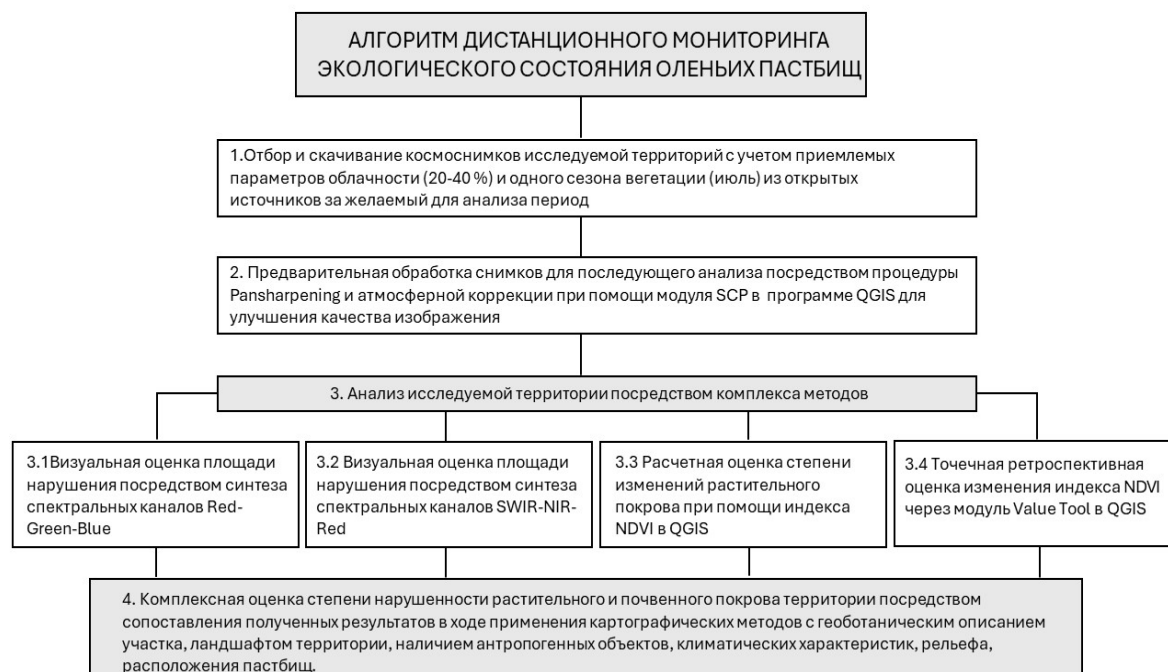


Рис. 2. Алгоритм методики для дистанционного мониторинга экологического состояния оленьих пастбищ

ционного природопользования для предотвращения негативных последствий. Дифференциация определённых участков по степени и характеру антропогенного воздействия позволит в дальнейшем государственную организацию традиционного природопользования производить с учётом фиксации экологического состояния.

Выводы. В результате проделанной работы сделаны выводы о том, что для объективной оценки состояния пастбищ необходимо одновременное использование нескольких инструментов. Естественное сочетание цветов (Red-Green-Blue) детально показывает наличие антропогенных объектов на территории, сочетание каналов SWIR-NIR-Red позволяет четко разглядеть оголенные участки почвы и песков, образованных в результате деградации пастбищ. Метод NDVI дает возмож-

ность визуализации количественного результата степени деградации растительности для определенного участка, увидеть статистику изменений за несколько лет. Инструмент Value Tool дает точную информацию о конкретной точке участка сразу за несколько временных промежутков. Для эффективного проведения мониторинга состояния территории пастбищ необходимо сочетание приведенных методов, что отражено в разработанном алгоритме дистанционного мониторинга. Таким образом, построенный алгоритм будет использован в дальнейшем исследовании последствий антропогенного воздействия на оленей пастбища Ямала и проведении анализа экологической ситуации Ямальского района, информация о которой необходима при разработке стратегии природопользования в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Тюменской области. М.: Главное Управление геодезии и картографии при Совете министров СССР. 1971. Вып. 1. 171 с.
2. Блинова Э.А., Чёрная В.В., Кочуров Б.И. Деградация экосистем городских территорий (на примере парка имени А.В. Белякова, г. Рязань) // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2023. Т. 8. №3 (33). С. 12-18. DOI 10.25744/genb.2023.33.3.002.
3. 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. DOI: 10.17059/2012-3-13
4. Кулюгина Е.Е. Растительность песчаных обнажений припечорских тундр // Растительность России. 2008. №12. С. 39-61.
5. Логинов В.Г., Игнатьева М.Н., Балащенко В.В. Вред, причиненный ресурсам традиционного природопользования, и его экономическая оценка // Экономика региона. 2017. Т. 13. №2. С. 396-409.
6. Магомедова М.А., Морозова Л.М., Эктова С.Н., Ребристая О.В. и др. Полуостров Ямал: растительный покров. Тюмень: Сити-пресс, 2006. 360 с.
7. Малюгин Д.В., Петров Ю.В. Загрязнение тяжелыми металлами грунтовых вод, снега и почв восточного административного округа Г. Тюмени // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Т. 7. №3 (29). С. 38-45. DOI 10.25744/genb.2022.20.43.005
8. Муниципальный округ Ямальский район: официальный сайт. Салехард. URL: <https://yam.yanao.ru/> (дата обращения: 19.12.2023).
9. Фахретдинов А.В., Тугеев А.А. Оценка динамики растительного покрова оленьих пастбищ полуострова Ямал при помощи метода полуавтоматической классификации спутниковых снимков // Географический вестник. 2023. №3 (66). С. 106-119.
10. Южаков А.А., Деттер Г.Ф. Трансформация оленеводства Арктики в условиях рыночной экономики (на примере Ямала) // Арктика: экология и экономика. 2020. Т. 40. С. 139-150. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-139-150
11. Andronov, S., Lobanov, A., Popov, A., Shadyko, O., Bogdanova, E., Yuzhakov, A., Raheem, D., Kobelkova, I. (2022). "The Relationships among Microelement Composition of Reindeer Meat (Rangifer tarandus) and Adaptation: A Systematic Review and Meta-Analysis", *Sustainability*, Vol. 14 No. 3. DOI 10.3390/su14031173.
12. EarthExplorer. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 19.12.2023).
13. Istomin, K. V. (2020). "Post-Soviet Reindeer Herders: Between Family and Collective Herding", *Region: Regional studies of Russia, Eastern Europe and Central Asia*, Vol. 9, pp. 25-52. DOI: 10.1353/reg.2020.0005
14. Loginov, V.G., Ignatyeva, M.N., Naumov, I.V. (2020). "Reindeer husbandry as a basic sector of the traditional economy of indigenous ethnic groups: Present and future", *Regional Science Policy and Practice*. DOI 10.1111/rsp3.12370.
15. Sandford, S. (1976). "Pastoralism under pressure", *ODI Revue*, №2, pp. 45-46.
16. Shamrikova, E.V., Zhangurov E.V., Kulyugina E.E., Korolev M.A., Kubik O.S., Tumanova E.A. (2020). "Soils and the Soil Cover of Mountainous Tundra Landscapes on Calcareous Rocks in the Polar Urals: Diversity, Taxonomy, and Nitrogen and Carbon Patterns", *Eurasian Soil Science*, Vol. 53 №9, pp. 1206-1221. DOI 10.1134/S106422932009015X.
17. Tatarkin, A.I., Loginov, V.G., Ignat'eva, M.N., Balashenko, V.V. (2016). "A Method for assessing the consequences of commercial fishing for fish resources of Yamal", *Russian Journal of Ecology*, Vol. 47. №6, pp. 580-581. DOI 10.1134/S1067413616060126.
18. Tatarkin, A. I., Loginov, V. G., Zakharchuk, E. A. (2017). "Socioeconomic problems in development of the Russian Arctic zone", *Herald of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 87 №1, pp. 12-21. DOI 10.1134/S101933161701004X.
19. Walker, D.A., Leibman, M.O., Epstein, H.E., Forbes, B.C., Bhatt, U.S., Raynolds, M.K., Comiso, J.C., Gubarkov, A.A., Khomutov, A.V., Jia, G.J., Kaarlejärvi, E., Kaplan, J.O., Kumpula, T., Kuss, P., Matyshak, G., Moskalenko, N.G., Orekhov, P., Romanovsky, V.E., Ukraintseva, N.G., Yu, Q. (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

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR REMOTE MONITORING OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE TERRITORIES OF TRADITIONAL NATURE MANAGEMENT

© M.K. Skritskaya, Yu.V. Petrov

University of Tyumen, Tyumen

Abstract. Relevance. In modern socio-economic and geoeological conditions in the Yamal region, reindeer husbandry has become one of the sources of significant anthropogenic impact on the environment, which requires the appropriate development of preventive measures to preserve the stability of local unique landscapes. **Goal.** The paper presents an analysis of four cartographic methods for monitoring the ecological (geoeological) condition of deer pastures based on remote sensing data from the Yamal region (tundra zone, Far North of Western Siberia) and develops an algorithm for their application to organize monitoring of traditional nature management on the Yamal Peninsula. **Research methods.** The materials for the study were: a) publicly available materials of remote sensing of the Earth, reflecting the temporal dynamics of the impact on the landscapes of the territory over several decades of active anthropogenic impact; b) materials of state authorities and local governments based on the results of the organization of reindeer husbandry management; c) data from state statistics and d) scientific articles on similar studies by domestic and foreign authors. The research uses data analysis methods, comparative and empirical methods. **Results of the work and discussion.** Taking into account the existing developments in the field of using cartographic methods for monitoring the state of deer pastures and the results of the study, an algorithm for analyzing and monitoring the state of deer pastures in the Yamal region through the use of remote sensing materials has been developed.

Keywords: traditional nature management, reindeer husbandry, monitoring, remote sensing of the Earth, Yamal district, tundra.

REFERENCES

1. Atlas of the Tyumen region. M.: Main Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR, 1971. Issue 1. 171 p.
2. Blinova, E.A., Chernaya, V.V. & Kochurov, B.I. (2023), "The Urban areas ecosystem degradation (by the Example of the Park named After A.V. Belyakov, Ryazan)", *Grozny Natural Science Bulletin*, №3 (33), pp. 12-18. DOI 10.25744/genb.2023.33.3.002
3. Bogdanov, V.D., Golovatin, M.G., Morozova, L.M. & Ektova, S.N. (2012), "Socio-ecological conditions of industrial development of the Yamal Peninsula", *The economy of the region*, №3 (31), pp. 141-150. DOI: 10.17059/2012-3-13
4. Kulyugina, E.E. (2008), "Vegetation of sandy outcrops of the Pripechorsk tundras", *Vegetation of Russia*, №12, pp. 39-61.
5. Loginov, V.G., Ignatieva, M.N. & Balashenko, V.V. (2017), "Damage caused to the resources of traditional nature management and its economic assessment", *The economy of the region*, T. 13, №2, pp. 396-409.
6. Magomedova, M.A., Morozova, L.M., Ektova, S.N. & Ribbed, O.V. et al, (2006), Yamal Peninsula: vegetation cover, Tyumen: City Press, 360 p.
7. Malyugin, D.V. & Petrov, Yu.V. (2022), "Heavy metal pollution of groundwater, snow and soils of the Eastern administrative district of Tyumen", *Grozny Natural Science Bulletin*, №3 (29), pp. 38-45. DOI 10.25744/genb.2022.20.43.005.
8. Yamalsky district Municipal District: official website. Salekhard. URL: <https://yam.yanao.ru/> (accessed: 12/19/2023).
9. Fakhretudinov, A.V. & Tigeev, A.A. (2023), "Assessment of the dynamics of vegetation cover of reindeer pastures of the Yamal Peninsula using the method of semi-automatic classification of satellite images", *Geographical Bulletin*, №3 (66), pp. 106-119.
10. Yuzhakov, A.A. & Dettler, G.F. (2020), "Transformation of reindeer husbandry in the Arctic in a market economy (on the example of Yamal)", *Arctic: ecology and economics*, Vol. 40, pp. 139-150. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-139-150.
11. Andronov, S., Lobanov, A., Popov, A. & Shaduyko, O. et al, (2022), "The Relationships among Microelement Composition of Reindeer Meat (*Rangifer tarandus*) and Adaptation: A Systematic Review and Meta-Analysis", *Sustainability*, Vol. 14, №3. DOI 10.3390/su14031173.
12. EarthExplorer. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 19.12.2023).
13. Istomin, D.V. (2020), "Post-Soviet Reindeer Herders: Between Family and Collective Herding", *Region: Regional studies of Russia, Eastern Europe and Central Asia*, Vol. 9, pp. 25-52. DOI: 10.1353/reg.2020.0005
14. Loginov, V.G., Ignatyeva, M.N. & Naumov, I.V. (2020), "Reindeer husbandry as a basic sector of the traditional economy of indigenous ethnic groups: Present and future", *Regional Science Policy and Practice*. DOI 10.1111/rsp3.12370.
15. Sandford, S. (1976), "Pastoralism under pressure", *ODI Revue*, №2, pp. 45-46.
16. Shamrikova, E.V., Zhangurov E.V., Kulyugina E.E. & Korolev M.A. et al, (2020), "Soils and the Soil Cover of Mountainous Tundra Landscapes on Calcareous Rocks in the Polar Urals: Diversity, Taxonomy, and Nitrogen and Carbon Patterns", *Eurasian Soil Science*, Vol. 53, №9, pp. 1206-1221. DOI 10.1134/S106422932009015X.
17. Tatarkin, A.I., Loginov, V.G., Ignat'eva, M.N., Balashenko, V.V. (2016), "A Method for assessing the consequences of commercial fishing for fish resources of Yamal", *Russian Journal of Ecology*, Vol. 47, №6, pp. 580-581. DOI 10.1134/S1067413616060126.
18. Tatarkin, A.I., Loginov, V.G., Zakharchuk, E.A. (2017), "Socioeconomic problems in development of the Russian Arctic zone", *Herald of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 87, №1, pp. 12-21. DOI 10.1134/S101933161701004X.
19. Walker, D.A., Leibman, M.O., Epstein, H.E., Forbes, B.C., Bhatt, U.S., Raynolds, M.K., Comiso, J.C., Gubarkov, A.A., Khomutov, A.V., Jia, G.J., Kaarlejärvi, E., Kaplan, J.O., Kumpula, T., Kuss, P., Matyshak, G., Moskalenko, N.G., Orekhov, P., Romanovsky, V.E., Ukraintseva, N.G., Yu, Q. (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, №4, pp. 045501. DOI: 10.1088/1748-9326/4/4/045004.