

Проведение социально-экологической оценки территории района сельского поселения Хатанга с применением БПЛА в рамках комплексной экспедиции Русского географического общества «Арктика. Генеральная уборка» 2023–2024 годов

Я. О. Лебедев^{1,5,6}, Д. А. Кобец², К. Д. Скобелев^{1,5},
А. Е. Гнеденко³, Г. Д. Пономарев⁴

¹ Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», Мытищи, Московская обл., 141006, Россия
E-mail: ya.lebedev@eipc.center

² Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия
E-mail: kobets@d902.iki.rssi.ru

³ Институт географии РАН, Москва, 119017, Россия
E-mail: gnedenko.a.e@mail.ru

⁴ Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, Нижний Новгород, 603005, Россия
E-mail: grigoriy.ponomarev@gmail.com

⁵ МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, 119454, Россия
E-mail: skobelev@mirea.ru

⁶ Российский университет дружбы народов, Москва, 117198, Россия

Приводятся результаты работ в Арктической зоне Российской Федерации (на примере с.п. Хатанга), выполненных в рамках комплексной экспедиции Русского географического общества в 2023–2024 гг. Климатические изменения и антропогенная нагрузка на хрупкие экосистемы Арктики ведут к активной трансформации территории, создавая новые вызовы как экосистемам, так и проживающему на этих территориях населению, включая малочисленные коренные народы, что неминуемо сказывается и на традиционных видах их деятельности. Актуализация картографического базиса (создание нового картографического материала на основе ортофотопланов территорий) позволяет не только оценить масштаб и скорость происходящих трансформаций, но и уточнить на местности данные, полученные посредством спутникового мониторинга. Подобные актуализированные материалы являются необходимыми при проведении комплексных натурных исследований, социально-экономической и стратегической социально-экологической оценке территорий. Отмечено, что применение беспилотных летательных аппаратов на пространствах Арктической зоны позволяет уточнить информационные продукты, полученные на основе данных дистанционного зондирования Земли, актуализировать и детализировать картографическую информацию при проведении комплексных экологических и социально-экономических исследований, частично нивелируя труднодоступность местности.

Ключевые слова: Арктика, БПЛА, Хатанга, ортофотоплан, русловые процессы, эрозионные процессы

Одобрена к печати: 23.09.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-5-435-443

Введение

Исследования, проводимые на пространствах, относящихся к территориям Арктической зоны Российской Федерации, связаны со значительными транспортными и климатическими сложностями, вместе с тем актуальность их реализации в полной мере соответствует содержанию Указа Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» и Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утв. Указом Президента Российской Федерации 28 февраля 2024 г. № 145).

В 2023–2024 гг. в рамках реализации проекта Русского географического общества «Арктика. Генеральная уборка» в с.п. Хатанга была проведена механическая очистка части территорий, загрязнённых различными видами отходов, образованных в результате ранее осуществлённой хозяйственной деятельности, а также выполнена предварительная оценка степени загрязнения территории и возникших негативных последствий от антропогенного воздействия на окружающую среду. Так только за июль–август 2024 г. на специализированную площадку был перемещён металлолом и прочие отходы с береговой линии р. Хатанги массой не менее 500 т (Булдакова, 2024).

Цель научных исследований в рамках экспедиции состояла в проведении стратегической социально-экологической оценки территории. Для объективной оценки возможных для реализации стратегий развития данной территории архивных материалов оказалось недостаточно ввиду утраченной ими актуальности по отношению к текущему состоянию природных и социально-экономических систем, а также вследствие естественных трансформаций ландшафтов Арктической зоны РФ, в том числе в связи с развитием русловых и иных процессов. Так, ещё в процессе рекогносцировочного обследования территории были выявлены многочисленные явления, связанные с развитием термокарстовых и оползневых процессов, изменениями очертаний береговой линии, образованием новых сезонных водотоков, с сукцессией на нарушенных участках и другими свидетельствами глубокой трансформации когда-то исследованной и обжитой территории.

Материалы и методы

Методические подходы стратегической социально-экологической оценки позволяют выявлять объективные закономерности эволюции экосистем и природных комплексов (Скобелев и др., 2024), определить приоритеты сохранения и развития территории с учётом её культурного наследия, направлений формирования инфраструктуры экологического туризма и других аспектов. Проведение стратегической социально-экологической оценки позволяет оценить возможности для долговременного социально-экономического развития территории с учётом потенциальных экологических рисков, ограничивающих возможности реализации тех или иных проектов промышленного освоения. Для проведения такой оценки необходимы комплексные исследования как природной, так и социально-экономической направленности. Вместе с тем первоочередной задачей выступала актуализация картографических материалов, позволивших оценить масштаб антропогенного воздействия (в том числе накопленного воздействия на окружающую среду) на территории, а также создание картографического базиса для оценки последующих трансформаций (мониторинг негативных процессов).

Исследования охватывали как непосредственно селитебные территории, так и окрестные территории, представляющие собой ненарушенные (фоновые) или условно-ненарушенные (условно-фоновые) хозяйственной деятельностью ландшафты под различными растительными сообществами. Пространственное расположение различных растительных сообществ определялось на основе карты растительного покрова (Барталев и др., 2011), полученной на основе обработки спутниковых данных прибора MODIS специалистами ИКИ РАН (рис. 1, см. с. 437), с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019), развиваемого при поддержке Минобрнауки РФ (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8).

Данные карты строятся ежегодно на всю территорию Российской Федерации с пространственным разрешением порядка 230 м на пиксель и классифицируют поверхность по 23 различным типам территорий. Согласно данным карт растительного покрова за 2023 г., для территорий окрестностей Хатанги наиболее характерными были следующие типы растительных сообществ (рис. 2, см. с. 437): болота (территории с избыточным увлажнением, покрытые растительностью), редины хвойные листопадные (лиственничные) (территории, занятые отдельно стоящими деревьями или разреженными насаждениями лиственницы), лиственные кустарники (сообщества низкорослых, стелющихся кустарников (карликовая берёза,

полярные ивы)), реки и водоёмы (водоёмы, а также прибрежные участки открытой воды), кустарниковая тундра (территории с доминированием кустарников высотой более 40 см (карликовая берёза, различные виды ивы, иногда с примесью можжевельника, ольхи, кедрового стланика)), открытые грунты и выходы горных пород (территории заняты растительностью менее чем на 20 %).

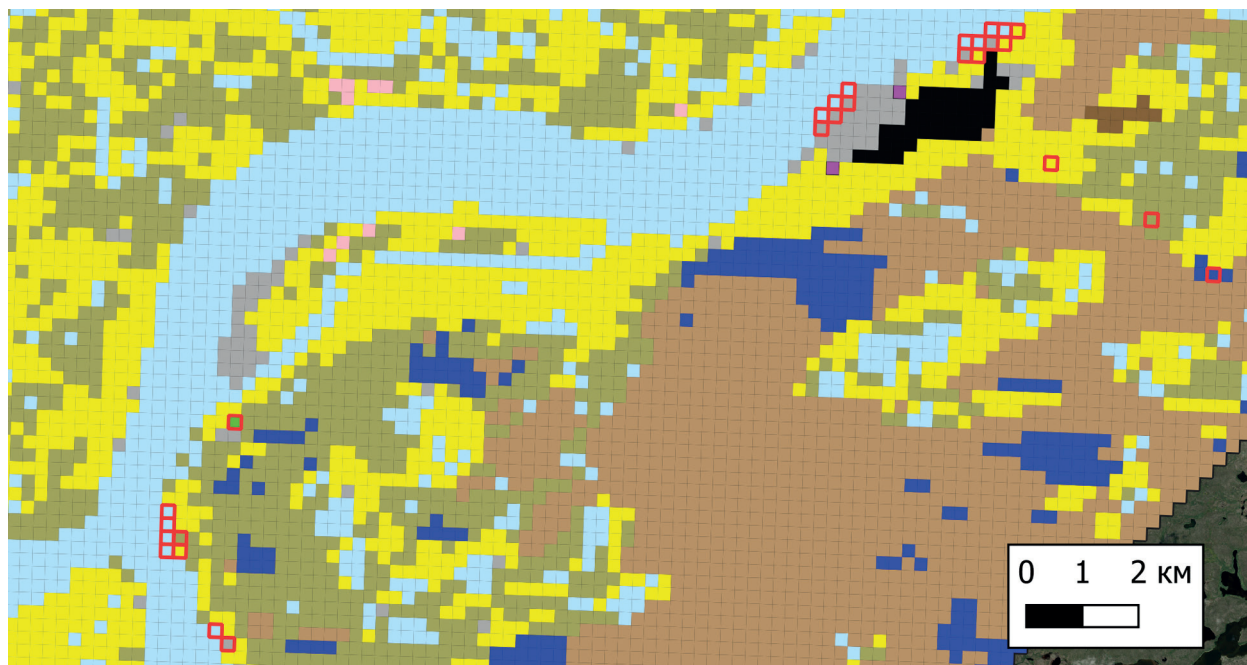


Рис. 1. Фрагмент карты растительного покрова в окрестностях с.п. Хатанга (красным выделены границы обследованных территорий), легенда типов территорий приведена на рис. 2

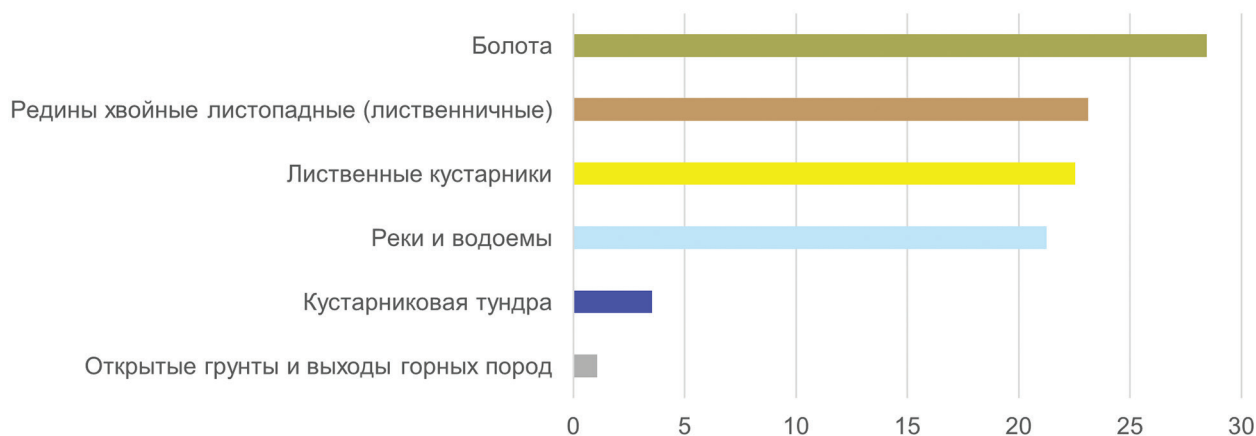


Рис. 2. Доля площади (в %) наиболее характерных для окрестностей с.п. Хатанга типов территорий (доля остальных классов пренебрежимо мала)

Для съёмки фоновых (условно-фоновых) территорий и загрязнённых участков прибрежных склонов и береговой линии р. Хатанги протяжённостью свыше 1250 м в 2023–2024 гг. использовались беспилотные летательные аппараты (БПЛА) модели DJI Mini 2. При проведении съёмки перекрытие кадров составляло порядка 70 %, высота съёмки была установлена на 30 м. Низкая высота и большая площадь перекрытия кадров были необходимы для обеспечения максимально высокого пространственного разрешения итогового ортофотоплана

на селитебные территории пришлось 160 снимков. Точность привязки полученных ортофотопланов имеет аппаратную погрешность ± 26 см (± 10 см при фиксации в 2023 г., ± 16 см при фиксации в 2024 г.).

Территории, окружающие Хатангу, являются слабообжитыми, часто труднодоступными, по отношению к хозяйственному освоению, заброшенными, о чём свидетельствуют многочисленные случаи загрязнения территорий антропогенным и техногенным мусором. По мере отдаления от населённого пункта антропогенная нагрузка на территорию снижается, условно-фоновые территории сменяются фоновыми, а картографическая основа территории исследований испытывает значительную генерализацию и становится непригодной для проведения точных исследований. Кроме того, пересечённый характер местности или растительность лесотундры далеко не всегда позволяет выявить характерные особенности территории с поверхности, в отличие от фиксации сверху при помощи БПЛА (рис. 3).



Рис. 3. Полигональные тундры на местности и при построении ортофотоплана территории исследований (красным выделены границы исследуемого пикселя карты растительности)

Отдельные территории, отнесённые в момент полевых исследований к условно-фоновым, в результате обследования территории посредством БПЛА впоследствии были нами отнесены к антропогенно нарушенным в результате выявления многочисленных контуров от дорог и заросших объектов, которые не были обнаружены при натурных обследованиях (рис. 4, см. с. 439).

Так же БПЛА был использован при обследовании береговой линии р. Хатанги вдоль одноимённого сельского поселения. Пространственное разрешение итогового ортофотоплана для Хатанги составило 1,5 см на пиксель, цифровая модель рельефа получена в разрешении 7 см на пиксель, что не только даёт высокоточную информацию о состоянии береговой зоны, но также является качественной основой для организации мониторинга.

Полученные изображения трёхмерного пространства береговой зоны и селитебной территории с. п. Хатанга позволяют с высокой точностью перейти к исследованиям поверхности территории в четырёхмерном пространстве посредством мониторинга через серии разновременных снимков, отражающих изменения мелких форм морфоскульптуры рельефа для изучения происходящих в ландшафтах процессов и явлений (после выявления и уточнения во время натурных обследований).

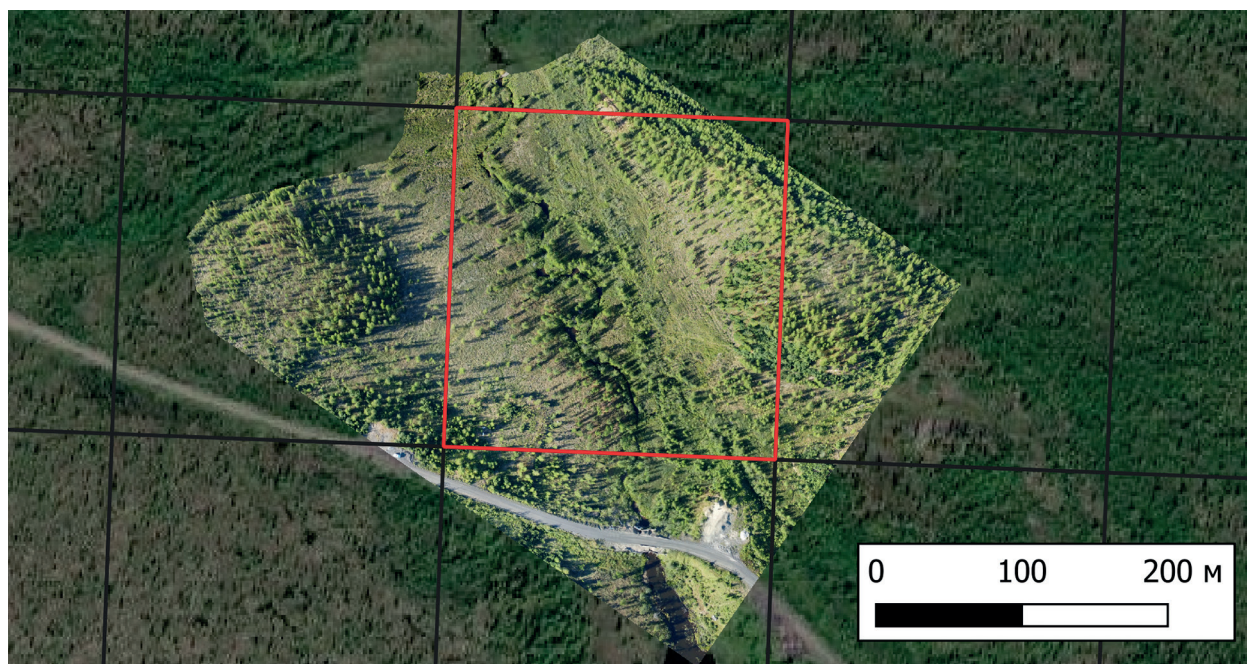


Рис. 4. Уточнение антропогенной нагрузки на территорию исследований посредством БПЛА (красным выделены границы исследуемого пикселя карты растительности)

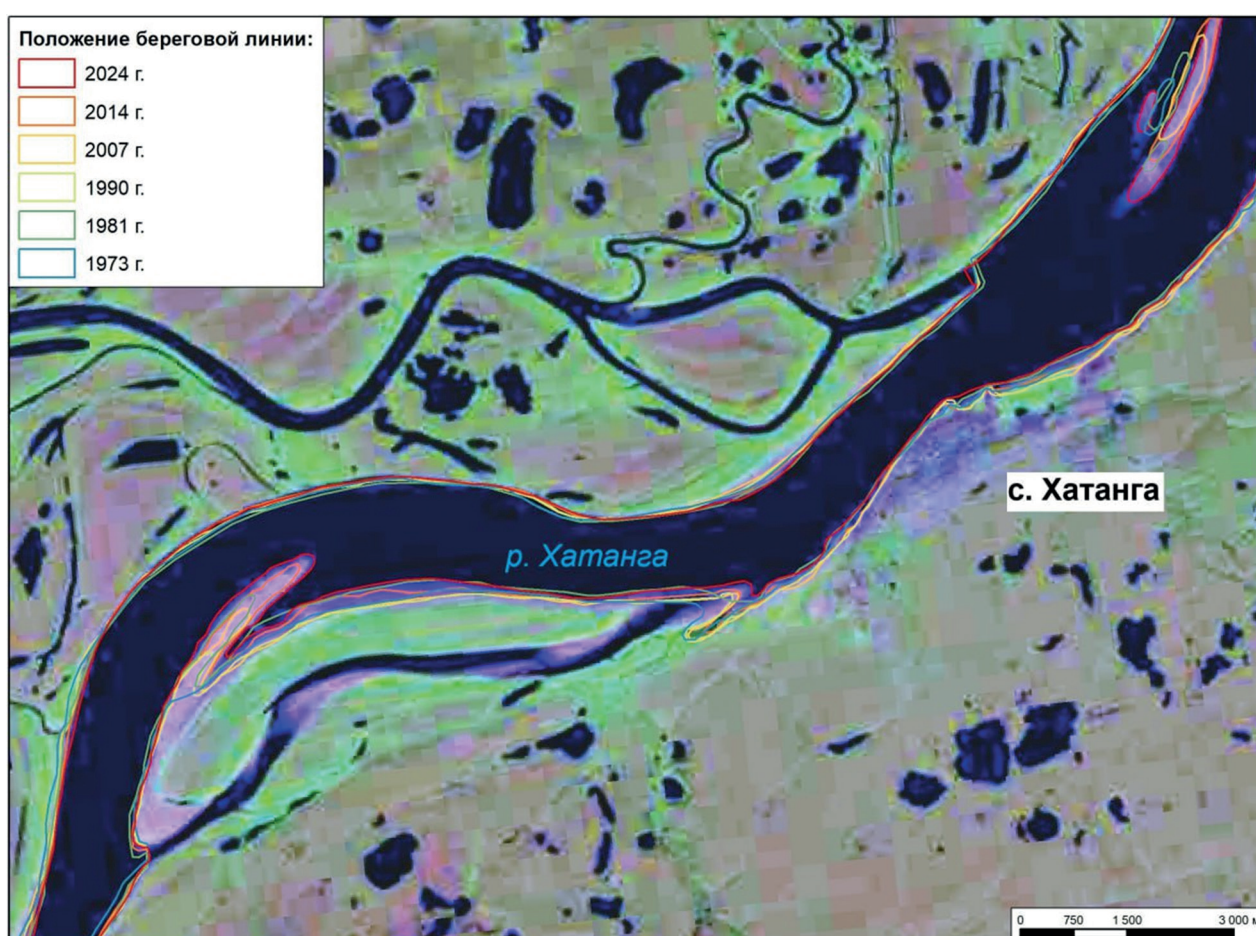


Рис. 5. Пространственные изменения береговой линии в окрестностях с. п. Хатанга с 1973 по 2024 г.

Для анализа русловых процессов были проанализированы коллекции спутниковых снимков Landsat-1...-5 MSS (*англ.* Multispectral Scanner System), Landsat-4, -5 TM (*англ.* Thematic Mapper) и Landsat-7 ETM+ (*англ.* Enhanced Thematic Mapper Plus) с 1973 по 2024 г. (EarthExplorer, U.S. Geological Survey). Из проанализированных материалов следует, что заметного изменения положения коренного берега не происходило, тем не менее заметно увеличилась площадь отмелей и внутрирусловых островов (*рис. 5*, см. с. 439).

Выявленные изменения на значительной части береговой линии по коренному берегу в окрестностях Хатанги не превышают возможную ошибку определения положения из-за пространственного разрешения снимка (30 м на пиксель). Изменения береговой линии могут быть связаны с взаимоисключающими причинами:

- 1) уменьшением количества осадков и увеличением межени р. Хатанги, вместе с тем уменьшение количества осадков ускоряет пространственную транспирацию и способствует увеличению мощности сезонно-деятельностного слоя (сезонно-талого слоя), что, в свою очередь, может способствовать увеличению количества несвязных многолетней мерзлотой четвертичных осадочных отложений, поступающих в твёрдый сток р. Хатанги;
- 2) увеличением количества осадков и увеличением вместе с этим количества четвертичных осадочных отложений, поступающих в твёрдый сток р. Хатанги в связи с активизацией эрозийных процессов.

Вместе с тем использование БПЛА делает доступным построение детальных ортофотопланов, посредством которых трансформация береговых линий может быть представлена изменениями конфигурации изогипс и объёмного сложения береговых отложений.

Проведённые в летний период в 2023 и 2024 гг. измерения позволили заложить основу мониторинга береговых процессов р. Хатанги в районе одноимённого сельского поселения. Полученные материалы позволили выявить области высокого правого берега, подверженные изменениям (например, обрушению и приседанию поверхности, вследствие развития термокарстовых процессов) (*рис. 6*).



Рис. 6. Соотношение ортофотопланов береговой линии с. п. Хатанга в 2023 и 2024 гг.

Углубление промоин в высоком правом берегу р. Хатанги по результатам двухлетнего мониторинга составило от 0 ± 26 до 120 ± 26 см. На приведённом выше изображении видно, что помимо высокого берега отмечены изменения положения объектов, расположенных в р. Хатанге, что объясняется нами изменением уровня воды в реке (разница меженных значений), а также в районе хозяйственных построек, что объясняется нами разницей отражения при разном уровне освещённости объектов, существующей погрешностью измерений или непосредственно процессами эрозионного разрушения (и оползания) берега, так как отдельные постройки непосредственно граничат с эрозионными формами рельефа (рис. 7).



Рис. 7. Эрозионные процессы на высоком правом берегу р. Хатанги

Следует отметить, что проблема процесса разрушения высокого правого берега р. Хатанги была отмечена администрацией с. п. Хатанга, что послужило основой для разработки проекта берегоукрепительных сооружений. Полученный нами материал позволит в будущем оценить эффективность реализации мероприятий, направленных на укрепление берега.

Выводы

В результате проведённого нами исследования:

1. Построены детальные ортофотопланы восьми территорий (в том числе четырёх прибрежных), затрагивающих шесть различных типов растительного покрова.
2. Отмечено развитие русловых процессов р. Хатанги, связанных с увеличением площади отмелей и внутрирусловых островов.
3. Подтверждено развитие процесса углубления промоин в высоком правом берегу р. Хатанги, для разных участков берега промоины увеличились от 0 ± 26 до 120 ± 26 см.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № FSFZ-2024-0040 «Разработка научно-обоснованных предложений по восстановлению потенциала и созданию инфраструктуры для обеспечения устойчивого социально-экономического развития отдалённых территорий (на примере с.п. Хатанга)». Работы по анализу спутниковых снимков выполнены в рамках гранта Российского научного фонда № 22-17-00168-П «Биогеографические последствия изменений климата в российской Арктике», <https://rscf.ru/project/22-17-00168/>. Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

Литература

1. Барталев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302.
2. Булдакова М. Добровольцы РГО очистили более 40 квадратных километров села Хатанга // <https://доброволецарктики.рф/news/>. 22.08.2024.
3. Лупян Е. А., Прошин А. А., Буцев М. А. и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
4. Скобелев Д. О., Гусева Т. В., Тихонова И. О., Доброхотова М. В. О развитии стратегической социально-экологической оценки в Российской Федерации // Естественно-гуманитарные исследования. 2024. № 4 (54). С. 463–471.
5. Юферев В. Г., Кулик К. Н., Рулев А. С., Мушаева К. Б., Кошелев А. В., Дорохина З. П., Березовикова О. Ю. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: Всероссийский научно-исслед. ин-т агролесомелиорации, 2010. 102 с.
6. Rulev A. S., Yuferev V. G. The catena-logistical approach to the estimation and mapping of erosion processes on water catchment areas with the use of spaceaerophotos // Proc. 10th Intern. Symp. River Sedimentation “Effects of River Sediments and Channel Processes on Social, Economic and Environmental Safety”. М., 2007. P. 348–355.

Conducting a socio-ecological assessment of the territory of the Khatanga rural settlement area using UAVs as part of a comprehensive expedition “Arctic. General Cleanup” of the Russian Geographical Society in 2023–2024

Ya. O. Lebedev^{1,5,6}, D. A. Kobets², K. D. Skobelev^{1,5},
A. E. Gnedenko³, G. D. Ponomarev⁴

¹ Research Institute “Environmental Industrial Policy Center”
Mytishchi, Moscow Region 141006, Russia
E-mail: ya.lebedev@eipc.center

² Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: kobets@d902.iki.rssi.ru

³ Institute of Geography RAS, Moscow 119017, Russia
E-mail: gnedenko.a.e@mail.ru

⁴ Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University
Nizhny Novgorod 603005, Russia
E-mail: grigoriy.ponomarev@gmail.com

⁵ MIREA — Russian Technological University, Moscow 119454, Russia
E-mail: skobelev@mirea.ru

⁶ RUDN University, Moscow 117198, Russia

The article presents the results of work in the Arctic zone of the Russian Federation (using the example of the village of Khatanga) carried out as part of a comprehensive expedition of the Russian Geographical Society in 2023–2024. Climate change and anthropogenic pressure on the fragile ecosystems of the Arctic are leading to an active transformation of the territory, creating new challenges for both ecosystems and the population living in these territories, including small indigenous peoples, which inevitably affects, among other things, their traditional activities. Updating the cartographic basis (creation of new cartographic material based on orthophotoplans of territories) allows one not only assessing the scale and speed of ongoing transformations, but also refining on the ground the data

obtained by satellite monitoring. Such updated materials are necessary when conducting comprehensive field studies, socio-economic and strategic socio-environmental assessment of territories. It is noted that the use of unmanned aerial vehicles (UAV) in the Arctic zone makes it possible to refine information products based on remote sensing data, update and detail cartographic information during comprehensive environmental and socio-economic research, partially leveling the inaccessibility of the area.

Keywords: Arctic, UAV, Khatanga, orthophotoplane, riverbed processes, erosion processes

Accepted: 23.09.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-5-435-443

References

1. Bartalev S. A., Egorov V. A., Ershov D. V., Isaev A. S., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Uvarov I. A., Mapping of Russia's vegetation cover using MODIS satellite spectroradiometer data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, V. 8, No. 4, pp. 285–302 (in Russian).
2. Buldakova M., RGS volunteers cleared more than 40 square kilometers of the village of Khatanga, <https://доброволецарктики.рф/news/>, 22.08.2024 (in Russian).
3. Loupian E. A., Proshin A. A., Bourtsev M. A. et al., Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, V. 16, No. 3, pp. 151–170 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
4. Skobelev D. O., Guseva T. V., Tikhonova I. O., Dobrokhotova M. V., On the development of the strategic socio-environmental assessment in the Russian Federation, *Natural-Humanitarian Studies*, 2024, No. 4 (54), pp. 463–471 (in Russian).
5. Yuferev V. G., Kulik K. N., Rulev A. S., Mushaeva K. B., Koshelev A. V., Dorokhina Z. P., Berezovikova O. Yu., *Geoinformatsionnye tekhnologii v agrolesomelioratsii* (Geoinformation technologies in agroforest-melioration), Volgograd: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut agrolesomelioratsii, 2010, 102 p. (in Russian).
6. Rulev A. S., Yuferev V. G., The catena-logistical approach to the estimation and mapping of erosion processes on water catchment areas with the use of spaceaerophotos, *Proc. 10th Intern. Symp. River Sedimentation "Effects of River Sediments and Channel Processes on Social, Economic and Environmental Safety"*, Moscow, 2007, pp. 348–355.