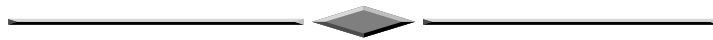


# ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ



УДК 528.7(202):[626.871.2+621.43](571/64)  
DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-45-53

## Мониторинг изменения состояния растительного покрова на участке трассы трубопровода проекта «Сахалин-2» по данным космических съемок

*А. А. Верхотуров<sup>1</sup>, В. А. Мелкий<sup>1\*</sup>, Д. В. Долгополов<sup>2</sup>, Д. В. Лисицкий<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис», г. Иннополис, Российская Федерация

<sup>3</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: vamelkiy@mail.ru

**Аннотация.** Строительство подземных магистральных нефтегазовых трубопроводов приводит к существенным изменениям природных ландшафтов. Во время строительства магистральных трубопроводов производятся рубки лесных массивов. При наличии горного рельефа и обильных осадков высока вероятность развития экзогенных геологических процессов. Контроль восстановления растительного покрова на трубопроводах очень важен, особое внимание следует уделять мониторингу при проложении трасс через особо охраняемые природные территории. В статье приводятся результаты оценки характера и динамики восстановления растительного покрова на участке трассы трубопровода проекта «Сахалин-2» в заказнике «Долинский» на основе полевых исследований, результатов расчета NDVI по данным регулярных космических съемок среднего разрешения при помощи геоинформационных технологий. Цель исследования – анализ изменения состояния растительного покрова, определяемого по количеству фотосинтетически активной биомассы (расчет NDVI) на основе данных космического мониторинга. Методы: дешифрирование и анализ космических снимков с космических аппаратов семейства Landsat и Sentinel-2 за период с 2001 по 2021 гг., геоинформационное картографирование изменения состояния растительности на платформе ArcGIS. В результате выделены пять этапов изменения состояния растительного покрова в исследуемом интервале времени. Результаты свидетельствуют о восстановлении растительного покрова спустя 10 лет после завершения строительства трубопровода. Отмечено хорошее восстановление долинных лесов и травяного покрова. Разреженная растительность распространена на участках трубопровода, на которых не проводилась биологическая рекультивация. В итоге проведенной работы выявлено увеличение NDVI, а, следовательно, наличие хороших условий произрастания растительных сообществ, характерных для исследованного участка трубопровода проекта «Сахалин-2» после завершения строительных работ.

**Ключевые слова:** дешифрирование космических снимков, геоинформационное тематическое картографирование, охрана природы, Landsat, Sentinel, ArcGIS, NDVI

### *Введение*

Нефтегазовая отрасль играет важную социально-экономическую роль в Сахалинской области. С развитием проектов по разработке месторождений нефти и газа на се-

веро-восточном шельфе Сахалина активно начал развиваться трубопроводный транспорт этих ресурсов. Самым масштабным является транссахалинская трубопроводная система «Сахалин-2», протянувшаяся с севера на юг на 800 км.

Строительство трубопроводов приводит к значительным изменениям естественных ландшафтов, а его эксплуатация несет в себе риски, которые могут привести к локальной или даже региональной экологической катастрофе. В условиях горного рельефа и обильных осадков высока интенсивность развития экзогенных геологических процессов (эрозия, оползни и др.) [1–10]. Поэтому крайне важно проведение качественных работ по рекультивации, которая, согласно Госстандарту, заключается в задержании отвода посевом трав. Нарушение почвенно-растительного покрова в совокупности с активной эро-

зией приводит к увеличению количества взвешенных веществ в реках, что в свою очередь негативно сказывается на их нерестовом потенциале. Для определения качества мероприятий по рекультивации необходимо вести наблюдения за изменениями состояния растительного покрова после завершения строительства.

Цель исследования – оценка характера восстановления растительного покрова на участке трассы трубопровода проекта «Сахалин-2» в пределах заказника «Долинский» (рис. 1) с использованием данных космических съемок среднего разрешения и ГИС-технологий.

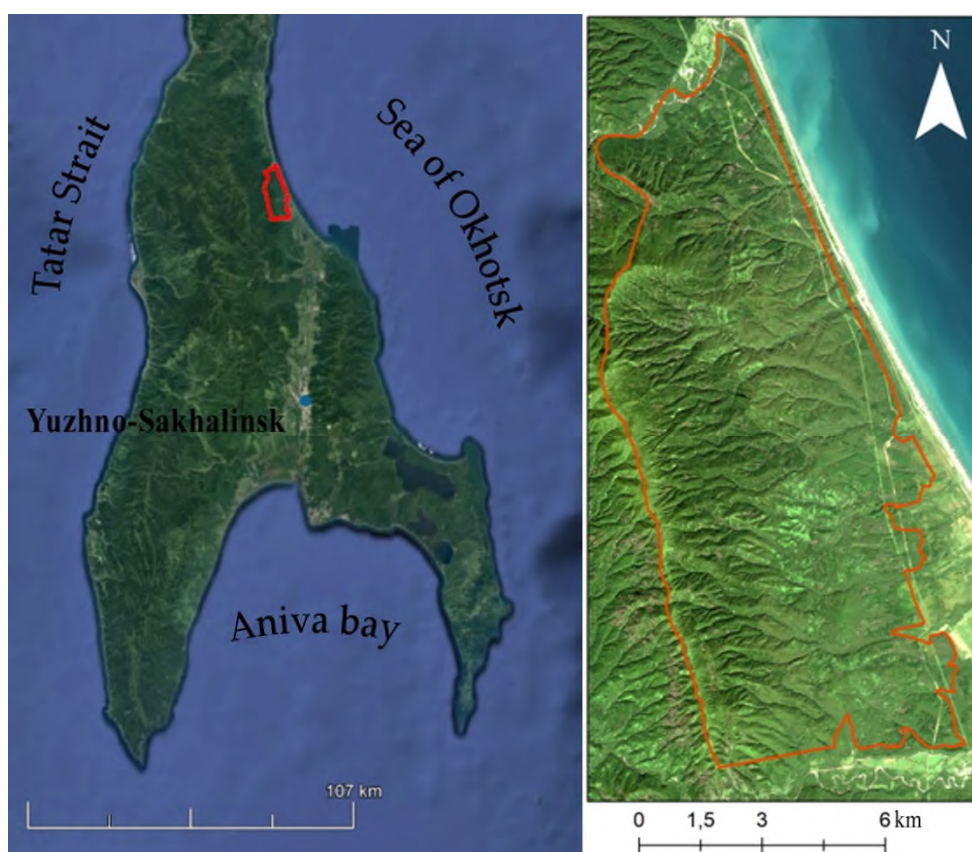


Рис. 1. Район исследования

В ходе исследования решались следующие задачи:

- подбор репрезентативных разновременных космических снимков среднего разрешения на район исследования;
- анализ хода изменений NDVI на участке трассы трубопровода;
- выполнение полевых подспутниковых наблюдений для полученных фактических ре-

зультатов о современном состоянии растительного покрова изучаемого объекта.

### *Материалы и методы исследования*

Основными материалами послужили спутниковые снимки за период с 2001 по 2021 гг., полученные с космических аппаратов семейства Landsat и Sentinel-2 [11–13]. При подборе

снимков учитывалась дата съемки в течение вегетационного периода (август – сентябрь), а также минимальное количество облаков над интересующей областью.

Растительный покров изучался в летний сезон 2021 г. на отдельных участках трассы магистрального трубопровода с использованием хорошо известных методов заложения эталонных тестовых площадок для подспутниковых наблюдений и геоботанических маршрутов [14–18].

Анализ динамики восстановления растительного покрова на трассе трубопровода в пределах заказника «Долинский» производился посредством расчета, нормализованного относительного вегетационного индекса (NDVI) в геоинформационной среде, хорошо

зарекомендовавшего себя в ходе других исследований [19–25].

### Результаты и обсуждение

Динамика изменения состояния растительности в результате воздействия при строительстве трубопровода определена в результате дешифрирования космических снимков на всей территории заказника «Долинский». Вегетационный индекс NDVI показал высокую чувствительность к изменениям в растительном покрове (таблица). Основываясь на его изменениях, на наблюдаемой территории построены схемы, позволяющие оценить состояние растительного покрова в 2001, 2009 и 2020 гг. соответственно (рис. 2).

Суммарные площади полигонов с различными значениями NDVI по годам, %

Дата съемки \ Значение NDVI	14.08.2001	07.08.2007	11.09.2011	10.08.2014	14.09.2020
<0,1	–	0,35	–	–	–
0,1–0,3	–	56,4	6,36	0,18	0,03
0,3–0,5	68,8	34,8	40,46	10,63	2,56
0,5–0,7	31,2	8,45	48,6	32,33	24,56
>0,7	–	–	4,58	56,86	72,85

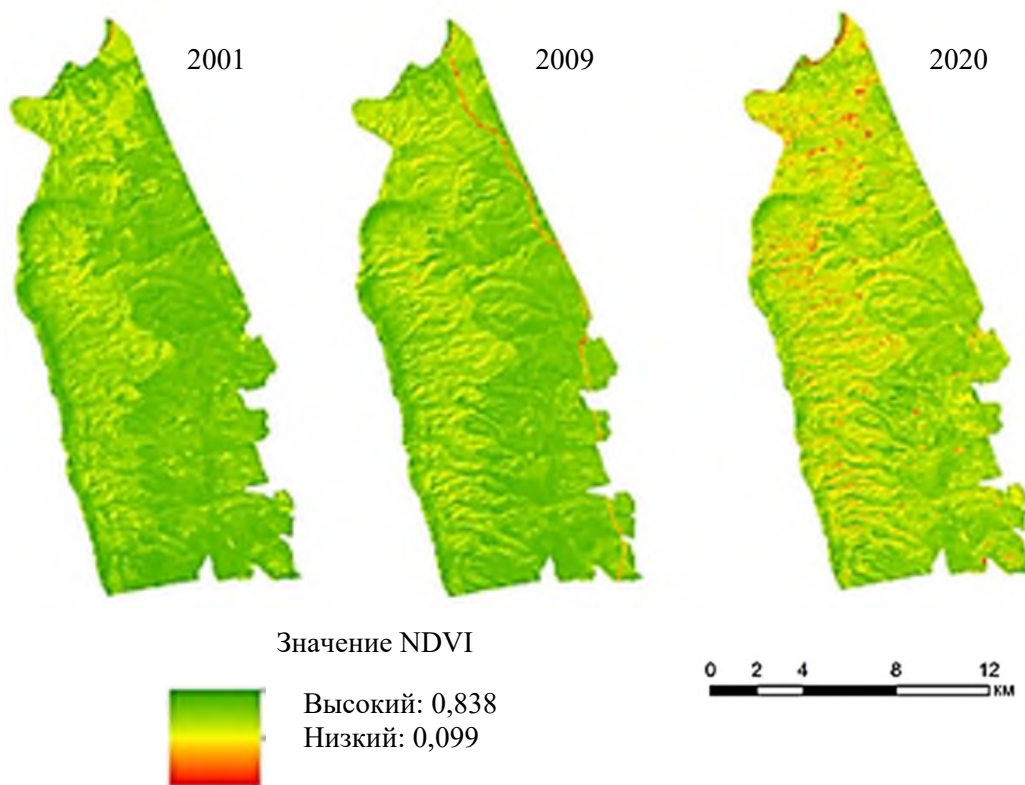


Рис. 2. Изменение фитомассы растительного покрова в заказнике «Долинский» по NDVI [26]

Для территории участка трубопровода построены графики, отображающие динамику вегетационного индекса в течение времени. На графиках (рис. 3) можно выделить пять этапов изменения состояния растительного покрова:

- ненарушенное состояние (до 2004 г.);
- резкое ухудшение (2004–2007 гг.);
- слабое восстановление (2007–2010 гг.);
- резкое восстановление (2010–2014 гг.);
- стабилизация восстановления с небольшим ростом (после 2014 г.).

Во время строительства магистрального трубопровода (2004–2007 гг.) производились рубки лесных массивов в полосе трассы. При этом наибольшие изменения претерпели пихтово-еловые леса, смешанные березово-пихтово-еловые леса, а также массивы культур лиственницы и сосны, посаженные ранее. Так, отчетливо видно падение средних значений вегетационного индекса в этот промежуток времени с  $0,65 (\pm 2)$  в 2001–2004 гг. до минимума (0,3) в 2007 г. Минимальные и максимальные значения вегетационного индекса во многом повторяют ход изменений средних значений NDVI.

В последующие три года (2008–2010 гг.) проводимые мероприятия по рекультивации, а также естественное зарастание земель, нарушенных в ходе строительства трубопровода, отличалось весьма низкой результатив-

ностью, о чем говорит незначительный прирост средних значений вегетационного индекса до 0,33.

В период с 2011 по 2013 гг. ситуация с зарастанием трассы значительно улучшалась: средние значения NDVI находились в интервале 0,5–0,53.

К 2014 г. средние значения вегетационного индекса достигли 0,69, и в последние годы находится в пределах 0,72–0,77. Данные результаты свидетельствуют о достаточно хорошем восстановлении растительного покрова, представленного преимущественно травянистой растительностью. На месте долинных лесов активно распространяется ивняк, он же занимает увлажненные места сведения березовых лесов, покрывавших пространство междуречий.

Минимальные значения NDVI в то же время находились в пределах 0,18–0,35, что объясняется следующими факторами. Во-первых, трассу трубопровода периодически очищают от подроста древесной растительности и кустарников. Во-вторых, отдельные участки трассы (крутые склоны и пересечение тектонических разломов) намеренно не задернованы (рис. 4). Эти участки с поверхности засыпаны щебнем, на котором крайне медленно заселяется растительность, представленная разреженным покровом разнотравья.

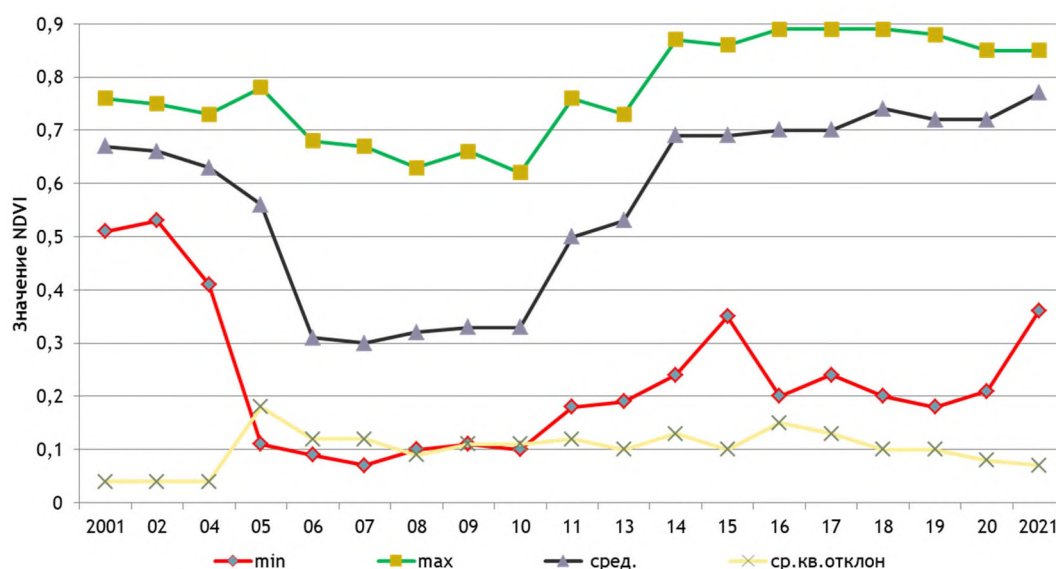


Рис. 3. Динамика состояния растительного покрова на участке трубопровода проекта «Сахалин-2»



Рис. 4. Общий вид растительного покрова на участке трубопровода проекта «Сахалин-2» [26]

### ***Заключение***

Использование вегетационного индекса, рассчитанного на основе периодических космических съемок, позволило наглядно представить состояние растительного покрова и динамику его восстановления на участке трассы трубопровода проекта «Сахалин-2» в заказнике «Долинский».

Растительный покров восстановился на всей трассе спустя 10 лет после завершения строительства трубопровода. Отмечено хорошее восстановление долинных лесов и травяного покрова.

Разреженная растительность распространена на участках трубопровода, на которых не проводилась биологическая рекультивация.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Адам А. М., Мамин Р. Г. Природные ресурсы и экологическая безопасность Западной Сибири. – 2-е изд. – М. : НИА-Природа, 2001. – 164 с.
2. Баборыкин М. Ю. Сходимость результатов дистанционного метода дешифрирования с полевыми работами на линейном объекте. На примере оползневого участка // Изв. Томского политехнического ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 7. – С. 161–175. – DOI 10.18799/24131830/2020/7/2727.
3. Долгополов Д. В., Баборыкин М. Ю., Мелкий В. А. Мониторинг опасных геологических процессов при строительстве и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования Земли // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 4 : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. № 1. – С. 25–32. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-4-1-25-32.
4. Долгополов Д. В. Использование данных дистанционного зондирования Земли при формировании геоинформационного пространства трубопроводного транспорта // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 151–159. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-151-159.

5. Евсеева Н. С., Окишев П. А. Экзогенные процессы рельефообразования и четвертичные отложения суши : учеб. пособие. Ч. I. – Томск : Изд. НТЛ, 2010. – 300 с.
6. Зверев А. Т. Инженерная геодинамика. – М. : МИИГАиК, 2013. – 323 с.
7. Парначев В. П. Основы геодинамического анализа. – Томск : СКК-Пресс, 2006. – 256 с.
8. Рычагов Г. И. Общая геоморфология. – М. : Изд-во Московского ун-та : Наука, 2006. – 416 с.
9. Мелкий В. А., Верхотуров А. А., Долгополов Д. В., Бурькин А. Н., Ильин В. В., Гальцев А. А., Зарипов О. М., Новиков Д. Г., Белянина Я. П., Еременко И. В. Экологический мониторинг и мероприятия по снижению уровня возможного негативного воздействия трубопроводов (проект «Сахалин-2») на окружающую среду острова Сахалин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 4. – С. 101–108.
10. Hamblin W. K. The Earth's Dynamic Systems : a textbook in physical geology.– 2nd ed. – Minneapolis : Burgess Pub. Co., 1978. – 490 p.
11. Landsat Missions. United States Geological Survey (USGS) [Electronic resource]. – 2022. – Mode of access: <https://www.usgs.gov/media/images/9-millionth-scene-added-usgs-landsat-archive> (accessed 20 April, 2022).
12. Landsat Science (Website NASA (National Aeronautics and Space Administration) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://landsat.gsfc.nasa.gov> (accessed 20 April, 2022).
13. Sentinel Missions. Website ESA (European Space Agency) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (accessed 20 April 2022).
14. Братков В. В., Заурбеков Ш. Ш., Мелкий В. А., Вазарханов И. С. Геоэкология : учеб. Сер. Бакалавриат и магистратура. – М. : Кнорус, 2021. – 280 с.
15. Жарников В. Б. Рациональное использование земель и основные условия его реализации // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 171–179.
16. Карпик А. П. Оценка возможностей мониторинга земель территорий спутниковым методом // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2–1. – С. 3–6.
17. Купцова О. В., Лобищева И. И., Верхотуров А. А., Мелкий В. А. Исследование влияния зон разломов территории заказника «Долинский» (о. Сахалин) на состояние его растительного покрова с использованием материалов дистанционного зондирования Земли // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 75–85. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-75-85.
18. Кашницкий А. В., Балашов И. В., Лупян Е. А., Толпин В. А., Уваров И. А. Создание инструментов для удаленной обработки спутниковых данных в современных информационных системах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 1. – С. 156–170.
19. Братков В. В., Воробьев В. А., Мелкий В. А., Верхотуров А. А. Картографирование динамики растительных сообществ северной части бореальных лесов острова Сахалин на основе данных дистанционного зондирования Земли // Мониторинг. Наука и технологии. – 2020. – Вып. 3. – С. 6–13. – DOI 10.25714/MNT.2020.45.001.
20. Верхотуров А. А., Мелкий В. А. Картографирование растительных сообществ подзоны темнохвойных лесов юга Сахалина на основе космических съемок // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 60–72. – DOI 10.35595/2414-9179-2020-4-26-60-72.
21. Голубева Е. И., Каширина Е. С., Новиков А. А., Глухова А. В. Использование индекса NDVI для геоэкологической оценки особо охраняемых природных территорий на примере города Севастополя // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий : Материалы Междунар. конф. – М. : Изд-во Московского ун-та, 2019. Т. 25. Ч. 1. – С. 320–331. – DOI 10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331.
22. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28–32.
23. Черепанов А. С. Вегетационные индексы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98–102.
24. Gitelson A. A., Merzlyak M. N. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves // International Journal of Remote Sensing. – 1997. – No 18, Iss. 12. – P. 2691–2698. – DOI 10.1080/014311697217558.
25. Sabirov R. N., Melkiy V. A., Verkhoturov A. A. Analysis transformation of forests of the Southern Sakhalin by remote sensing data using geoinformation technologies [Electronic resource] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "II All-Russian Scientific-Technical Conference "Digital Tech-

nologies in Forest Sector". – 2021. Vol. 806. – P. 012027. – Mode of access: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/806/1/012027/pdf>.

26. Лобищева И. И. Усовершенствование технологии дешифрирования растительных сообществ особо охраняемых природных территорий по космическим снимкам на примере острова Сахалин : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2021. – 24 с.

### Об авторах

*Алексей Александрович Верхотуров* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра коллективного пользования.

*Вячеслав Анатольевич Мелкий* – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности.

*Даниил Валентинович Долгополов* – кандидат технических наук, руководитель направления Центра ГИС.

*Дмитрий Витальевич Лисицкий* – доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института стратегического развития.

Получено 28.04.2022

© *А. А. Верхотуров, В. А. Мелкий, Д. В. Долгополов, Д. В. Лисицкий, 2022*

## Monitoring changes in the state of vegetation cover on the section of the Sakhalin-2 project pipeline route according to space imagery data

*A. A. Verhoturov<sup>1</sup>, V. A. Melkiy<sup>1\*</sup>, D. V. Dolgoplov<sup>2</sup>, D. V. Lisitskiy<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Autonomous non-profit organization of higher education "Innopolis University", Innopolis, Russian Federation

<sup>3</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: [vamelkiy@mail.ru](mailto:vamelkiy@mail.ru)

**Abstract.** The construction of underground main oil and gas pipelines leads to significant changes in natural landscapes. During the construction of main pipelines, felling of forest massifs is carried out. There is a high probability of the development of exogenous geological processes in the presence of mountainous relief and abundant precipitation. Revegetation control of pipelines is very important, and special attention should be paid to control when laying pipelines through specially protected natural areas. The article presents the results of assessing the nature and dynamics of the restoration of the vegetation cover on the section of the Sakhalin-2 gas pipeline in the Dolinsky sanctuary based on the results of calculating NDVI from satellite images using geoinformation technologies, and checking the results by field research data. The purpose of the research is to analyze the change in the state of the vegetation cover, determined by the volume of phytomass (calculation by NDVI) based on space monitoring data. Methods: interpretation and analysis of space images from spacecraft of the Landsat and Sentinel-2 family for the period from 2001 to 2021, geoinformation mapping of changes in the state of vegetation on the ArcGIS platform. Results: 5 stages of change in the state of the vegetation cover in the studied time interval were identified. The results show re-vegetation 10 years after the completion of the pipeline. Good restoration of valley forests and grass cover was noted. Sparse vegetation is common in sections of the pipeline where biological reclamation has not been carried out. As result of work carried out, an increase in NDVI revealed, and, consequently, the presence of good conditions for the growth of plant communities, typical for the investigated section of the pipeline of the Sakhalin-2 project after completion of construction work.

**Keywords:** satellite image interpretation, geographic information thematic mapping, nature conservation, Landsat, Sentinel, ArcGIS, NDVI

## REFERENCES

1. Adam, A. M., & Mamin, R. G. (2001). *Prirodnyye resursy i ekologicheskaya bezopasnost' Zapad-noy Sibiri [Natural resources and environmental safety of Western Siberia]* (2nd ed.). Moscow: NIA-Priroda Publ., 164 p. [in Russian].
2. Baborykin, M. Yu. (2020). Convergence of the results of interpretation remote method with field work on a linear object. On the example of landslide plot. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]*, 331(7), 161–175. doi: <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/7/2727> [in Russian].
3. Dolgoplov, D. V. Baborykin, M. Yu., & Melkiy, V. A. (2021). Monitoring of Hazardous geological processes in the Construction and Operation of Pipeline transport facilities by Remote sensing data. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2021: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 4, no. 1. Distantionnye metody zondirovaniia Zemli i fotogrammetriia, monitoring okruzhaiushchei sredy, geoekologiiia [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2021: International Scientific Conference: Vol. 4, No. 1. Earth Remote Sensing Methods and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology]* (pp. 25–32). Novosibirsk: SSUGT Publ. Retrieved from <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-4-1-25-32> [in Russian].
4. Dolgoplov, D. V. (2020). Use of Earth remote sensing data for Formation of Geodata space of Pipeline transport. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(3), 151–159. Retrieved from <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-3-151-159> [in Russian].
5. Evseeva, N. S., & Okishev, P. A. (2010). *Ekzogennye protsessy rel'efoobrazovaniia i chetvertichnye otlozheniia sushy: ch. 1 [Exogenous processes of relief formation and Quaternary land deposits: Part I]*. Tomsk: NTL Publ., 300 p. [in Russian].
6. Zverev, A. T. (2013). *Inzhenernaia geodinamika [Engineering geodynamics]*. Moscow: MIIGAiK Publ., 323 p. [in Russian].
7. Parnachev, V. P. (2006). *Osnovy geodinamicheskogo analiza [Fundamentals of geodynamic analysis]*. Tomsk: SKK-Press Publ., 256p. [in Russian].
8. Rychagov, G. I. (2006). *Obshchaia geomorfologiiia [General geomorphology]*. Moscow: Moscow SU Publ., Nauka Publ., 416 p. [in Russian].
9. Melkiy, V. A., Verkhoturov, A. A., Dolgoplov, D. V., Burykin, A. N., Ilin, V. V., Galtsev, A. A., Zaripov, O. M., Novikov, D. G., Belyanina, Ya. P., & Eremenko, I. V. (2015). Environmental monitoring and measures to reduce level of possible negative impact of pipelines (Sakhalin-2 project) on the environment of Sakhalin Island. *Izvestia vuzov. Geodeziya I aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 4, 101–108 [in Russian].
10. Hamblin, W. K. (1978). *The Earth's Dynamic Systems* (2d ed.). Minneapolis: Burgess Pub. Co., 490 p.
11. Landsat Missions. (2022). United States Geological Survey (USGS). Retrieved from <https://www.usgs.gov/media/images/9-millionth-scene-added-usgs-landsat-archive> (accessed 20 April, 2022).
12. Landsat Science. (n. d.). Website NASA (National Aeronautics and Space Administration) Retrieved from <https://landsat.gsfc.nasa.gov> (accessed 20 April, 2022).
13. Sentinel Missions. (n. d.). Website ESA (European Space Agency). Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (accessed 20 April, 2022).
14. Bratkov, V. V., Zaurbekov, Sh. Sh., Melkiy, V. A., & Vazarkhanov, I. S. (2021). *Geoekologiiia [Geoecology]*. Moscow: Knorus Publ., 280 p. [in Russian].
15. Zharnikov, V. B. (2017). Rational land use and basic condition of its realization *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(3), 171–179 [in Russian].
16. Karpik, A. P. (2012). Evaluation of the possibilities of monitoring land territories by satellite method. *Izvestia vuzov. Geodeziya I aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, No. 2–1, 3–6 [in Russian].
17. Kuptsova, O. V., Lobishcheva, I. I., Verkhoturov, A. A., & Melkiy, V. A. (2021). Study of influence of the fault zones on vegetation cover of the state territory of the nature sanctuary "Dolinsky" (Sakhalin Island) using Earth's remote sensing data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(5), 75–85 [in Russian].
18. Kashnitskiy A. V., Balashov I. V., Lupyan E. A., Tolpin V. A., & Uvarov I. A. (2015). Creating tools for remote processing of satellite data in modern information systems. *Sovremennye problemy distantionnogo*



*zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space]*, 12(1), 156–170 [in Russian].

19. Bratkov, V. V., Vorob'ev, V. A., Melkiy, V. A., & Verkhoturov, A. A. (2020). Mapping of dynamics of plant communities of northern part of the boreal forests of Sakhalin island by remote sensing data. *Monitoring. Nauka i tekhnologii [Monitoring. Science & Technologies]*, 45, 6–13. Retrieved from <https://doi.org/10.25714/MNT.2020.45.001> [in Russian].

20. Verkhoturov, A. A., & Melkiy, V. A. (2020). Mapping of vegetation communities of the subzone of dark coniferous forests of the South Sakhalin based on space surveys. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoi konferentsii InterKarto. InterGIS: T. 26, no. 2 [Proceedings of the International Conference InterCarto. InterGIS: Vol. 26, No. 2]* (pp. 60–72). Retrieved from <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-4-26-60-72> [in Russian].

21. Golubeva, E. I., Kashirina, E. S., Novikov, A. A., & Glukhova, A. V. (2019). Using the NDVI index for geo-ecological estimation of specially protected natural territories by the example of Sevastopol. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoi konferentsii InterKarto. InterGIS: T. 25, ch. 1. Geoinformatsionnoe obespechenie ustoichivogo razvitiia territorii [Proceedings of the International Conference InterCarto. InterGIS: Vol. 25, Part 1. Geoinformation Support for Sustainable Development of Territories]* (pp. 320–331). Retrieved from <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331> [in Russian].

22. Cherepanov, A. S., & Druzhinina, E. G. (2009). Spectral properties of vegetation and vegetation indices. *Geomatika [Geomatics]*, 3, 28–32 [in Russian].

23. Cherepanov, A. S. (2011). Vegetation indices. *Geomatika [Geomatics]*, 2, 98–102 [in Russian].

24. Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1997). Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 18(12), 2691–2698. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/014311697217558>.

25. Sabirov, R. N., Melkiy, V. A., & Verkhoturov, A. A. (2021). Analysis transformation of forests of the Southern Sakhalin by remote sensing data using geoinformation technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Vol. 806. Series "II All-Russian Scientific-Technical Conference "Digital Technologies in Forest Sector" (P. 012027)*. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/806/1/012027/pdf>.

26. Lobishcheva, I. I. (2021). Improving the technology for deciphering plant communities of specially protected natural areas using satellite images on the example of Sakhalin Island. *Extended abstract of candidate's thesis*. Novosibirsk: SSUGT Publ., 24 p. [in Russian].

#### Author details

Alexey A. Verhoturov – Ph. D., Senior Researcher, Center of Collective Use.

Vyacheslav A. Melkiy – D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcanic Hazards.

Daniil V. Dolgopолоv – Ph. D., Head of the Direction of the GIS Center.

Dmitry V. Lisitsky – D. Sc., Professor, Head of Research Institute of Strategic Development.

Received 28.04.2022

© A. A. Verkhoturov, V. A. Melkiy, D. V. Dolgopолоv, D. V. Lisitsky, 2022