

## Мониторинг состояния природной среды территорий активного вулканизма

*А. А. Верхотуров<sup>1\*</sup>*

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

\* e-mail: ussr-91@mail.ru

**Аннотация.** Состояние окружающей природной среды в условиях активного вулканизма зависят от силы и частоты извержений. Для понимания масштабов и характера изменений в природной среде территорий, прилегающих к активным вулканам, необходимо ведение мониторинга, основанного на использовании данных дистанционного зондирования Земли. Цель работы – обобщить результаты авторских исследований и работ предшественников, а также предложить технологию мониторинга состояния природной среды территорий с активным вулканизмом. В работе использованы методы дешифрирования космических снимков, полевых наблюдений, геоинформационный и ретроспективный анализ. Разработанная технология может способствовать оперативной оценке воздействия на состояние окружающей среды, а также прогнозированию вулканической опасности для территорий, прилегающих к активным вулканам. Результаты исследования подтверждают опасность вулканических процессов для компонентов окружающей среды. Наблюдается зависимость между мощностью отложенных тефры и скоростью протеканием сукцессии.

**Ключевые слова:** состояние природной среды, космические снимки, мониторинг, извержения вулканов, вегетационный индекс

## Monitoring state of natural environment of territories with active volcanism

*A. A. Verkhoturov<sup>1\*</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

\* e-mail: ussr-91@mail.ru

**Abstract.** State of natural environment in situation of active volcanism depends on power and frequency of eruptions. To understand scale and nature of changes in essence environment of the territories adjacent to active volcanoes, it is necessary to conduct monitoring based on the use of remote sensing data of the Earth. Purpose of the work is to summarize the results of the author's research and the work of his predecessors, as well as to propose a technology for monitoring state of natural environment of territories with active volcanism. The research uses methods of decoding satellite images, field observations, geoinformation and retrospective analysis. The developed technology can contribute to operational assessment of impact on state of environment, as well as prediction of volcanic hazards for territories adjacent to active volcanoes. The results of research confirm danger of volcanic processes for environmental components. There is a relationship between thickness of tephra deposits and rate of succession.

**Keywords:** state of the natural environment, space images, monitoring, volcanic eruptions, vegetation index

## ***Введение***

Извержения вулканов – весьма грозные природные явления, несущие потенциальную опасность, как для человека, так и биоты [1]. Состояние окружающей природной среды в условиях активного вулканизма не отличается устойчивостью. Степень изменчивости отдельных компонентов среды во многом зависят от силы и частоты вулканических извержений [2-4].

Современный уровень развития средств дистанционного зондирования Земли позволяет проводить экологический мониторинг вулканоопасных территорий, а накопленный архив космических снимков способствует выявлению масштабов изменчивости природной среды и пониманию её реакции на подобные проявления эндогенной геодинамики [5]. Исследование эруптивной деятельности вулканов с оценкой их последствий на окружающую среду позволит повысить точность реконструкций масштабов древних извержений, а также произвести районирование прилегающих к вулканам территорий по степени опасности.

Цель работы – обобщить результаты авторских исследований и работ предшественников, а также предложить технологию мониторинга состояния природной среды территорий с активным вулканизмом.

## ***Методы и материалы***

В качестве исходных данных в исследовании были использованы космические снимки спутников Sentinel-2 и Landsat, а также опубликованные материалы предшественников и результаты собственных полевых наблюдений.

Оценка изменчивости растительного покрова осуществлялась на основе ретроспективного анализа временного ряда рассчитанных значений вегетационного индекса (NDVI) [6, 7]. Для обеспечения возможности сравнения NDVI изображений за разные промежутки времени, исходные космические снимки проходили процедуру атмосферной коррекции по методу The Dark Object Subtraction [8].

Для вычисления статистики растра NDVI в пределах области интереса, которая зачастую соответствует территории вулканического острова, необходимо обрезать исходный космический снимок. Положение береговой линии достаточно уверенно дешифрируется по синтезированным изображениям в комбинации NIR-SWIR-RED.

Ключевые этапы исследования можно отражены в технологической схеме (рис. 1).

## ***Результаты и обсуждение***

Результаты проведенного исследования позволяют оценить пространственно-временные изменения состояния окружающей среды на территории Курильских островов в результате периодического воздействия вулканических извержений.



Рис. 1. Технологическая схема подготовки и обработки материалов для ведения мониторинга вулcanoопасных территорий

Так анализ хода средних значений NDVI на острове Райкоке позволяет предположить, что процесс сукцессии после крупного извержения 1924 года к 2019 г. еще не был завершен (Рис. 2). Травянистой и травяно-кустарниковой растительностью было покрыто 80 % площади острова в 2018 г. В результате извержения 2019 года средние значения NDVI составили 0,02. В 2021 г. сомкнутый растительный покров составил 0,03 % от площади острова. Кроме того сильные изменения претерпели очертания береговой линии и вулканической постройки.

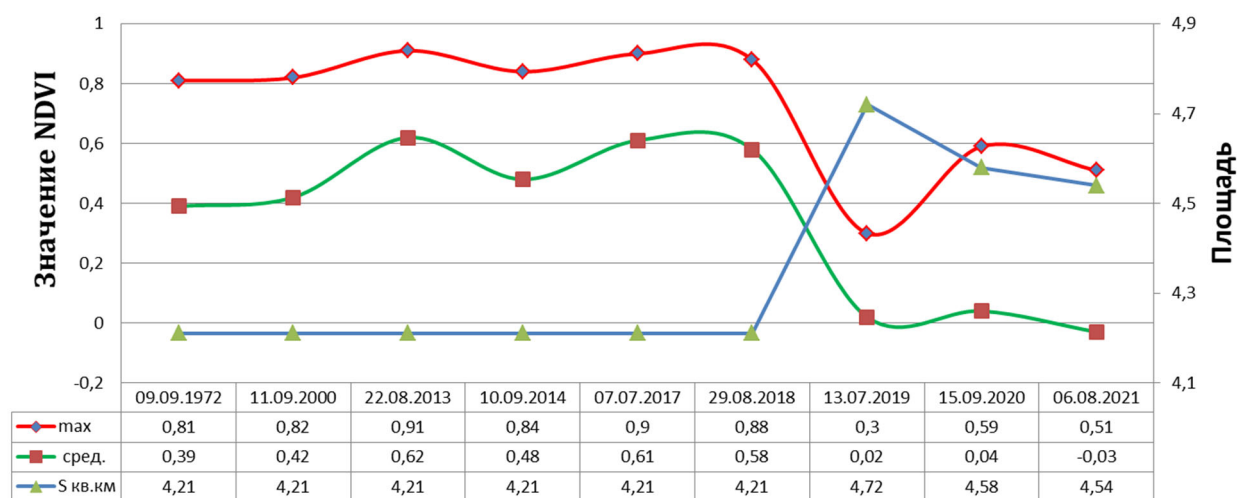


Рис. 2. Временной ход изменения площади острова Райкоке и значений NDVI

Сильные извержения вулкана Чикурачки зафиксированы в 1853 и 1986 гг. [9, 10] Однако периодические более слабые извержения также оказывали заметное воздействие на состояние компонентов окружающей среды (Рис.3). Четко выделяются три района поражения растительного покрова, имеющий веерный и в меньшей степени радиальный характер [11]. Сопоставив результаты расчета вегетационного индекса с данными о мощности отложения тефры по [10] можно судить о скорости протекания сукцессии. Так для появления сомкнутого растительного покрова в условиях острова Парамушир на пепловых отложения, мощностью до 1 м необходимо около 160 лет, при мощности до 0,4 м - порядка 40–50 лет. Что достаточно хорошо согласуется с результатами подобных исследований на вулканах Тятя и Алаид [12, 13].

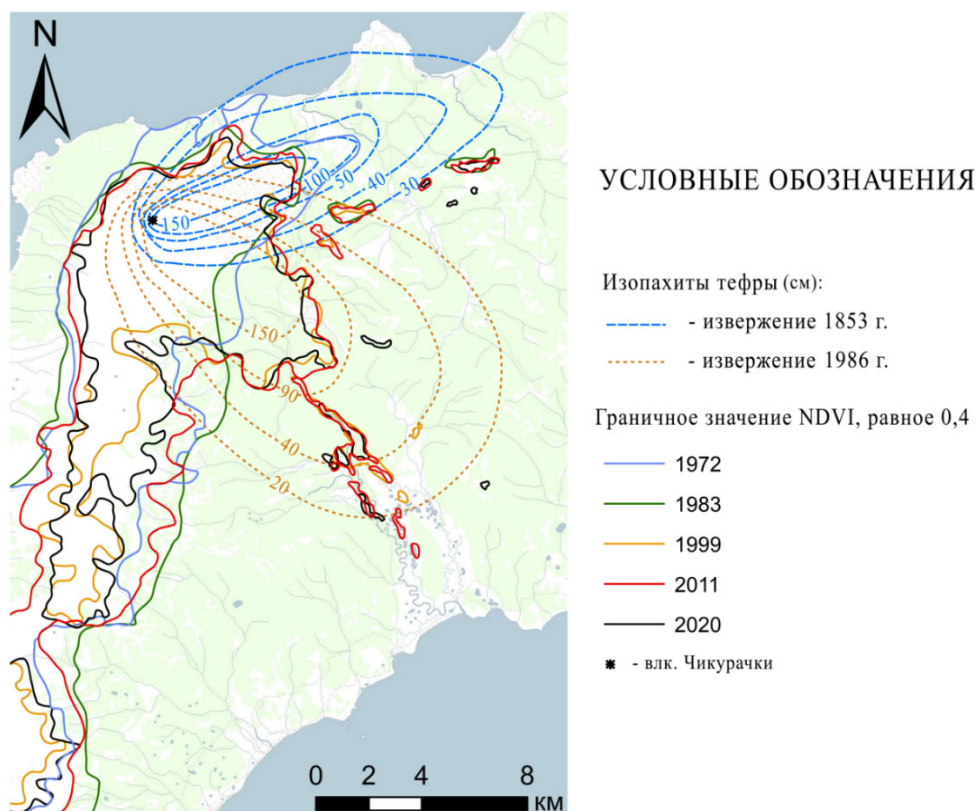


Рис. 3. Динамика границы между нарушенным и здоровым растительным покровом после периодических извержений вулкана Чикурачки

На острове Атласова самым худшим зарастанием характеризуются районы лавовых потоков, где спустя полвека сосудистые растения занимают лишь 3,53 % поверхности лавового поля.

### *Заключение*

Результаты проведенного исследования подтверждают опасность негативного воздействия вулканических процессов на компоненты окружающей среды. Выявлена прямая зависимость между мощностью отложений тефры и скоростью протекания сукцессии.

Динамика и характер восстановления растительного покрова в результате эффузивно-эксплозивных извержений вулканов могут быть оценены и охарактеризованы на больших площадях с помощью доступных данных дистанционного зондирования среднего разрешения.

Технология, разработанная в процессе исследования, может способствовать оперативной оценке воздействия вулканических извержений на состояние окружающей среды, а также районированию территории и прогнозированию вулканической опасности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дегтерев А.В., Чибисова М.В. Извержение вулкана Райкоке в июне 2019 г. (о. Райкоке, центральные Курильские острова). Геосистемы переходных зон, 2019. Т. 3. № 3. С. 304–309. DOI: 10.30730/2541-8912.2019.3.3.304-309.
2. Schutter A., Kervyn M., Canters F., Bosshard-Stadlin S.A., Songo M.A.M., Mattsson H.B. Ash fall impact on vegetation: a remote sensing approach of the Oldoinyo Lengai 2007–08 eruption. *Journal of Applied Volcanology*, 2015. V. 4. № 15. P. 1–18. DOI: 10.1186/s13617-015-0032-z
3. Teltcher K., Fassnacht F. E. Using multispectral Landsat and Sentinel-2 satellite data to investigate vegetation change at Mount St. Helens since the great volcanic eruption in 1980. *Journal of Mountain Science*, 2018. V. 15. Iss. 9. P. 1851–1867. DOI: 10.1007/s11629-018-4869-6
4. Newhall C.G., Self S. The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J. of Geophysical Research*, 1982. V. 87 (C2). P. 1231–1238. DOI: 10.1029/jc087ic02p01231
5. Гришин С.Ю., Белоусов А.Б., Белоусова М.Г., Аугер А., Козырев И.А. Эксплозивное извержение острова-вулкана райкоке (Курилы) в 2019 г.: пирокластические отложения и их воздействие на рельеф и экосистемы. *Вулканология и сейсмология*, 2021. № 6. С. 30–42. DOI: 10.31857/S0203030621050023.
6. Черепанов А.С. Вегетационные индексы. *Геоматика*, 2011. № 2. С. 98–102.
7. 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: Издательство Московского университета*, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 320–331. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331
8. Moravec D., Komárek J., López-Cuervo Medina S., Molina I. Effect of Atmospheric Corrections on NDVI: Intercomparability of Landsat8, Sentinel-2, and UAV Sensors. *Remote Sens*, 2021, V. 13. P. 3550. DOI: 10.3390/rs13183550
9. Горшков Г.С. *Вулканизм Курильской островной дуги*. М: Наука, 1967. 287 с.
10. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г., Гришин С.Ю., Крестов П.В. Исторические извержения вулкана Чикурачки (о. Парамушир, Курильские острова). *Вулканология и сейсмология*, 2003. № 3. С. 15–34.
11. Верхотуров А.А., Мелкий В.А. Геоинформационный анализ изменчивости состояния природной среды после извержений вулкана Чикурачки по данным дистанционного зондирования земли. *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 2021. Т. 27. № 1. С. 292–303. – DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-292-303.
12. Верхотуров А.А. Анализ изменений состояния экосистем на острове Атласова (Курильские острова). *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*, 2020. Т. 25. № 3. С. 139–150. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-139-150

© А. А. Верхотуров, 2022