

А.А. Верхотуров¹, В.А. Мелкий²

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПОСЛЕ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНА ЧИКУРАЧКИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

АННОТАЦИЯ

Эксплозивные извержения вулканов представляют определенную опасность для природной среды, транспортных коммуникаций и иных объектов хозяйственной деятельности людей в связи с тем, что во время таких извержений в течение продолжительного времени в атмосферу может поступать до нескольких кубических километров вулканических пеплов и аэрозолей. Исследование масштабов воздействия извержений вулканов на прилегающую территорию и определение их последствий способствует обоснованной оценке вулканической опасности и возможных рисков при ведении хозяйственной деятельности и обеспечению безопасного расположения населенных пунктов, предприятий, линий морского и воздушного сообщения. Чикурачки является одним из наиболее активных вулканов на территории Курильской островной дуги. В трудах вулканологов приводятся данные о его извержениях в 1853–1859, 1958, 1961, 1964, 1973, 1986, 2002, 2003, 2005, 2007, 2008, 2015, 2016 гг. В качестве средства оценки состояния природной среды применялся вегетационный индекс (NDVI). Граница, разделяющая районы с нарушенным и здоровым растительным покровом, принята по изолинии со значением NDVI равным 0,4. Составлена карта-схема динамики граничных изолиний по вегетационному индексу с 1972 по 2020 гг. Выявлена динамика растительного покрова в северо-восточном, юго-восточном и южном секторах относительно вулкана Чикурачки. Северо-восточный сектор испытал сильное негативное воздействие извержения вулкана Чикурачки в 1853 г., в более позднее время (2007 и 2015 гг.) в этом направлении наблюдались только пеплопады. К 2020 г. за пределами изолинии NDVI = 0,4 растительный покров почти целиком восстановился. Юго-восточный сектор пострадал во время извержения 1986 года, он также подвергался периодическим выпадениям тефры и пеплопадам в течении 2002–2016 гг. Растительность была полностью уничтожена на расстоянии до 9 км от кратера вулкана, погибли долинские леса на реке Тухарка. В южном секторе в верхней части хребта Вернадского суровые условия произрастания не позволяют растительности восстановиться в течении десятилетий. В то же время на восточных и западных склонах хребта, после извержений с отложением тефры небольшой мощности, ольховый стланник восстанавливается через несколько лет. Результаты исследования могут быть использованы при прогнозировании вулканической опасности и оперативной оценке воздействия вулкана на природную среду территорий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: эксплозивное извержение, тефра, дешифрирование космических снимков, геоинформационный анализ, Чикурачки

¹ Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Центр коллективного пользования, ул. Науки, 1Б, 693022, г. Южно-Сахалинск, Россия; *e-mail*: ussr-91@mail.ru

² Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Лаборатория вулканологии и вулканоопасности, ул. Науки, 1Б, 693022, г. Южно-Сахалинск, Россия; *e-mail*: vamelkiy@mail.ru

Alexey A. Verkhoturov¹, Vyacheslav A. Melkiy²

GEOINFORMATION ANALYSIS OF VARIABILITY STATE OF THE NATURAL ENVIRONMENT AFTER ERUPTION OF THE CHIKURACHKI VOLCANO BY REMOTE SENSING DATA

ABSTRACT

Explosive volcanic eruptions pose certain danger for natural environment, transport communications and other objects of human economic activity due to the fact that during such eruptions, up to several cubic kilometers of volcanic ash and aerosols can enter to atmosphere in long time. The research of extent of the impact of volcanic eruptions on surrounding area and the determination of their consequences contributes to reasonable assessment of volcanic hazard and possible risks in time conduct of economic activities and ensuring for safe location of settlements, enterprises, sea way and air lines. Chikurachki volcano is one from most active on territory of the Kuril Island Arc. In articles of volcanologists is information about eruptions in 1853–1859, 1958, 1961, 1964, 1973, 1986, 2002, 2003, 2005, 2007, 2008, 2015, 2016. The vegetation index (NDVI) used as means of assessing state of the natural environment. The boundary dividing areas with disturbed and healthy vegetation cover taken along isoline with NDVI value of 0.4. Schematic maps of the dynamics of boundary isolines according for the vegetation index from 1972 to 2020 has been compiled. The dynamics of vegetation cover in the north-eastern, south-eastern and southern sectors relative to Chikurachki volcano is revealed. The north-eastern sector experienced strong negative impact of eruption of the Chikurachki volcano in 1853, at later (2007 and 2015) only ash falls were observed in this direction. The vegetation cover outside the isoline NDVI = 0.4 has almost completely recovered to 2020. The south-eastern sector damaged during eruption of 1986, and was also subject for periodic tephra precipitation and ash falls during 2002–2016. Vegetation was completely destroyed at distance of 9 km from the crater of the volcano, and also valley forests on Tukharka River were destroyed. In southern sector in upper part of the Vernadsky Ridge, harsh growing conditions do not allow vegetation to recover for decades. At the same time, on eastern and western slopes of the ridge, after eruptions with deposition of tephra by layer of small thickness, alder elfin restoration few years. The results of the research can be used in forecasting volcanic hazards and rapid assessment of impact on natural environment of territories adjacent to volcanoes of this type as a result of volcanic eruptions.

KEYWORDS: explosive eruption, tephra, satellite image decoding, geoinformation analysis, Chikurachki

ВВЕДЕНИЕ

Опасность сильных эксплозивных извержений вулканов для хозяйственного освоения территорий связана с тем, что во время таких извержений в течение нескольких часов или дней в атмосферу может поступать до нескольких кубических километров вулканических пеплов и аэрозолей, которые затем выпадают на окружающие вулкан земли [Neal *et al.*, 2009, 2010; Гордеев *и др.*, 2016; Тихонов *и др.*, 2011].

¹ Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern branch of Russian Academy of Sciences, Center for collective use, Nauki str., 1B, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; *e-mail*: ussr-91@mail.ru

² Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern branch of Russian Academy of Sciences, Laboratory of Volcanology and volcano hazard, Nauki str., 1B, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; *e-mail*: vamelkiy@mail.ru

Чикурачки является одним из наиболее активных вулканов Курильской островной дуги (рис. 1). Имеются сведения о его извержениях в 1853–1859, 1958, 1961, 1964, 1973, 1986, 2002, 2003, 2005, 2007, 2008, 2015, 2016 гг. [Горшков, 1967; Гуценко, 1979; Гирина и др., 2008, 2016; Овсянников, Муравьев, 1992; Абдурахманов, Федорченко, 1976; Рыбин и др., 2016, 2017].

Долгосрочный анализ восстановления экосистем после катастрофических эксплозивных извержений представляет большой интерес для более глубокого понимания реакции природной среды на подобные явления. Несмотря на то, что исследование вулканической активности и последствий извержений на основе данных дистанционного зондирования Земли в научной литературе достаточно широко освещено в трудах вулканологов, результаты пространственно-временных наблюдений за динамикой сукцессии с применением аэрокосмоснимков приводятся весьма редко. В статье оцениваются масштабы нарушенности экосистем и характер процессов восстановления после извержений вулкана Чикурачки по данным многозональных космических съемок со спутников Landsat.

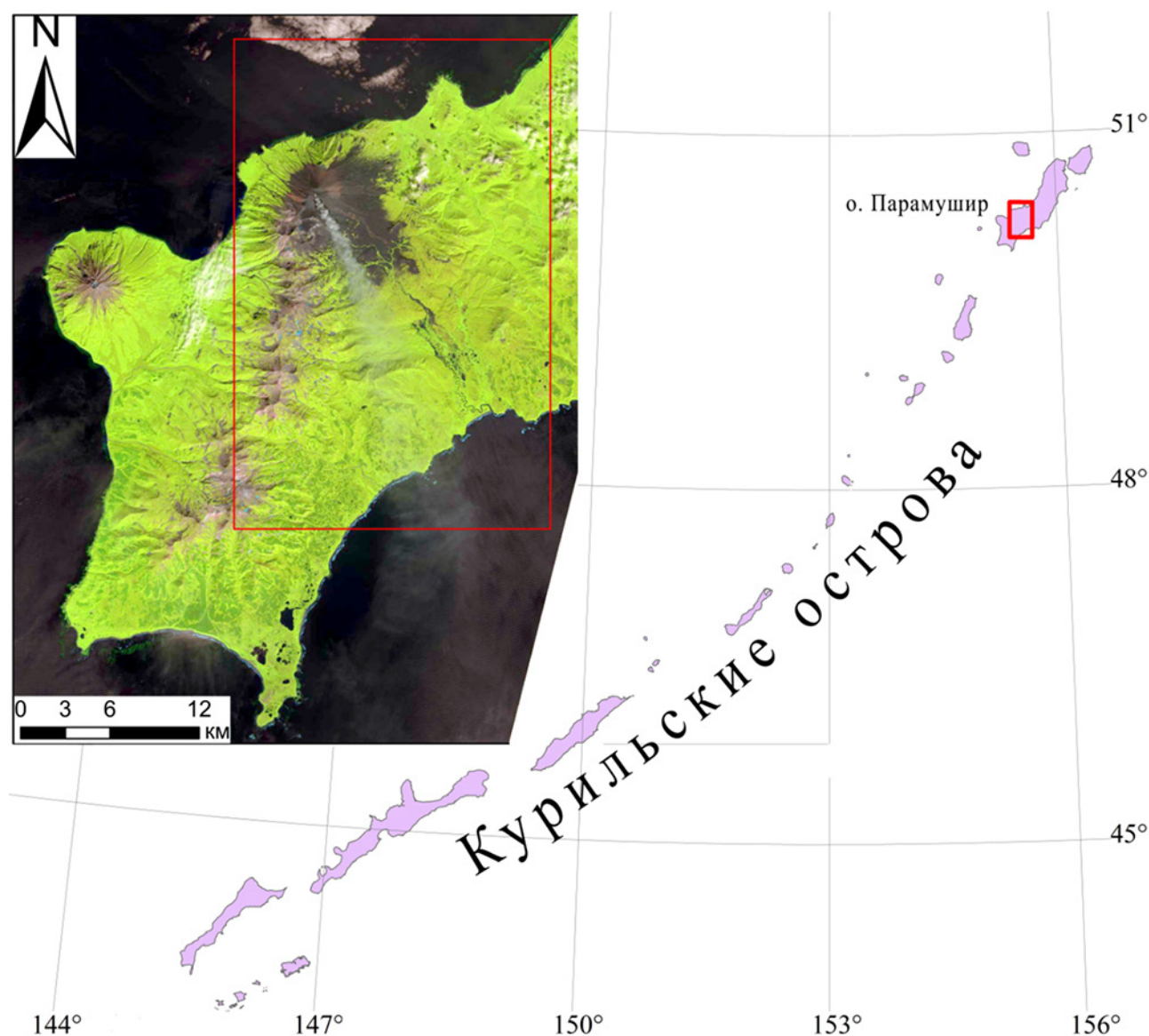


Рис. 1. Местоположение вулкана Чикурачки (о. Парамушир) на космическом снимке Landsat-8 от 30 августа 2016 г.

Fig. 1. Location of the Chikurachki volcano (Paramushir Island) on image from the Landsat-8 satellite dated August 30, 2016.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Высокая активность вулкана Чикурачки требует особого внимания к исследованиям процессов, которые на нем происходят, поэтому актуальны все доступные снимки со спутников серии Landsat¹. Безусловно, важными критериями при подборе снимков служили вегетационный период (с июля по сентябрь) и минимальное покрытие интересующей области облаками. Так были отобраны снимки за 1972, 1983, 1999–2020 гг.

В исследовании применялся ранее разработанный и апробированный на вулкане Алаид алгоритм подготовки материалов для последующего анализа воздействия вулканических извержений на состояния природной среды [Верхотуров, 2020].

Современные геоинформационные системы (QGIS, ArcGIS) обладают широким функционалом для подготовки, обработки растров, векторизации и подсчета пространственно-количественных показателей. В качестве оценочного средства состояния природной среды в течение нескольких десятилетий, находящихся под воздействием периодических вулканических извержений, применялся нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI) [Черепанов, 2011; Верхотуров, Мелкий, 2020; Голубева, 2019; Каширина, Новиков, 2016]:

$$NDVI = \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \right), \quad (1)$$

где ρ_{NIR} – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

ρ_{RED} – отражение в красной области спектра.

Для площадной оценки районов с различными значениями NDVI производилась обучаемая классификация с последующей векторизацией полигонов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения причин и характера изменчивости состояния природной среды в южной части острова Парамушир после извержений вулкана Чикурачки нами рассмотрена история его эруптивной деятельности (табл. 1, 2). В результате изучения характера эруптивной деятельности вулкана Чикурачки, а также материалов предшественников, определены извержения, оказавшие наибольшее воздействие на состояние природной среды. Такими событиями являются извержения 1853 и 1986 гг.

Главным индикатором состояния окружающей природной среды является растительный покров, оценка скорости восстановления которого проводилась на основе обработки в ГИС данных дистанционного зондирования.

Для анализа изменений природной среды отобраны пять основных сцен с временным интервалом в 10 лет (± 1 год), за исключением периода с 1983 по 1999 гг., по причине отсутствия архивных космических снимков в это время.

После проведения стандартных операций по подготовке космоснимков был составлен временной ряд карт-схем, отражающий значения NDVI на прилегающей к вулкану территории (рис. 2). По карт-схемам можно произвести предварительную качественную оценку изменения фитомассы. Основные изменения вегетационного индекса приурочены к северо-востоку и юго-востоку от вулкана Чикурачки.

Результаты исследования изменений экосистемы на острове Атласова, который находится в схожих природно-климатических условиях, показали, что за границу,

¹ Landsat Missions. Сайт United States Geological Survey (USGS) Доступно на: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions> (дата обращения 25.03.2021).

разделяющую районы с нарушенным и здоровым растительным покровом, можно принять значение NDVI равное 0,4. Так была составлена карта-схема динамики граничных изолиний со значением вегетационного индекса с 1972 по 2020 гг., на которую для сравнения были нанесены изопахиты тефры сильнейших извержений вулкана Чикурачки [Белоусов и др., 2003] (рис. 3).

Табл. 1. Сведения об исторических извержениях вулкана Чикурачки в период 1853–1986 гг. по Белоусову с соавторами [Белоусов и др., 2003] с изменениями

Table 1. Information about historical eruptions of the Chikurachki volcano in period 1853–1986 from Belousov and co-authors [Belousov et al., 2003] with changes

Дата (начало–конец)	Тип извержения	VEI	Высота колонны (км)	Краткая характеристика	Вид и объем продуктов	Ссылка
15.12.1853	экс-пл.-эфф. (плин.)	4	–	Сильное извержение. Грубая тефра 1 км ³ , лавовый поток (?)	–	Дитмар, 1901; Горшков, 1954;
1853–1859	–	2	–	Слабые извержения. Формирование внутреннего кратера	–	Горшков, 1967
26.05.1958–27.05.1958	экспл. (ст.)	2	0,5	Слабые пепловые взрывы с интервалом 3–10 мин, свечение кратера, образование СЗ бокки: колодца 75х50 м, глубиной 5–50 м	Шлаки пористые, бомбы и пепел	Шилов, Воронова, 1962
02.05.1961–07.08.1961	экспл. (вул.)	1	0,3–0,4	Вспышки в кратере и пепловые выбросы. Извержение из СЗ бокки	Тонкий пепел и лахары	Федорченко, Шилов, 1963
01.02.1964 – 28.02.1964	экспл. (ст.)	2	2,7	Выбросы раскаленного материала. Пепловая туча.	Пепел, лахары	Абдурахманов, Федорченко, 1976
20.09.1967	экспл. (вулк.)	–	–	–	–	Абдурахманов и Федорченко, 1976
06.09.1973 – 20.09.1973 (04.09.1973–08.09.1973)	экспл. (вулк.)	2	1–3	Пепловые тучи. Прорыв СЗ бокки.	Пепел 0,004 км ³	Белоусов и др., 2003
19.11.1986–25.11.1986	экс-пл.-эфф. (плин.)	4	2–9	Сильное извержение. Пепловая туча, выбросы раскаленного материала на высоту 1 км, пирокластические потоки, излияние лавы	Грубая тефра ~ 0,1 км ³ , пирокластический поток, лавовый поток 0,018 км ³	Овсянников и Муравьев, 1992; Siebert L., 2010

Примечания: Типы извержений: эфф. – эффузивные, экспл. – эксплозивные, фр. – фреатические, пл. – плининские извержения, вул. – вулканские, ст. – стромболианские. Типы извержений, высоты эруптивных облаков и объемы изверженных продуктов приведены по данным первоисточников. Высоты эруптивных облаков по первоисточнику даны относительно кратера (1816 м).

Табл. 2. Сведения об извержениях вулкана Чикурачки в период с 2002 по 2021 гг.
Table 2. Information about eruptions of the Chikurachki volcano in 2002–2021.

Дата (начало–конец)	Тип извержения	VEI	Высота колонны (км)	Краткая характеристика	Вид и объем продуктов	Ссылка
25.01.2002 – 30.04.2002	экспл. (вулк.)	2	0,15–0,3	Газово-пепловые выбросы. Извержение из Ю–ЮЗ бокки	Пепел	Гирина и др., 2008; Рыбин и др., 2016; Global Volcanism Program, 2021
17.04.2003 – 16.06.2003	экспл. (вулк.)	2	4,2	Пепловые выбросы на высоту 4,2 км Шлейф пепла на 700 км.	Пепел	Гирина и др., 2008; Рыбин и др., 2017; Global Volcanism Program, 2021
04.03.2005 – 07.04.2005	экспл. (вулк.)	1	до 1	Слабые газово-пепловые выбросы. На снимках TERRA и NOAA шлейфы на 40 км на ССЗ и 70 км В	Пепел	Гирина и др., 2008; Рыбин и др., 2016; Global Volcanism Program, 2021
19.03.2007 – 07.04.2007	экспл. (вулк.)	2	3,3	Пепловые выбросы на высоту 3,3 км н.у.м. Шлейф пепла до 350 км на В, С, СВ, Ю, ЮЗ	Пепел	Гирина и др., 2008; Рыбин и др., 2016; Global Volcanism Program, 2021
19.08.2007 – 20.10.2007	экспл. (вулк.)	2	до 4,8	Сначала пепловые выбросы на высоту 4,8 км н.у.м. Шлейф пепла более 250 км на СВ, В, ЮВ. Затем пепловые выбросы до 3,2 км н.у.м.	Пепел	Гирина и др., 2009; Рыбин и др., 2016; Global Volcanism Program, 2021
29.07.2008 – 15.08.2008	экспл. (вулк.)	2	6,1	Сначала пепловые выбросы на высоту 6,1 км н.у.м. Шлейф пепла более 30 км на ЗЮЗ, Ю. Затем (1–8.08) пепловая туча поднималась до 2,7 км. н.у.м. Пепловый шлейф более 60 км на СЗ, З, С.	Пепел	Рыбин и др., 2016; Global Volcanism Program, 2021
15.02.2015 – 19.02.2015	экспл. (вулк.)	3	7,5	Пепловые выбросы достигали 7,5 н.у.м. пепловые шлейфы до 600 км на ЮВ, СВ, ЮЗ.	Пепел	Рыбин и др., 2017; Girina et al., 2016 Global Volcanism Program, 2021
28.03.2016 – 31.03.2016	экспл. (вулк.)	2	4	Пепловые выбросы на высоту 4 км н.у.м. Шлейф пепла на 600 км ($S=13\ 676\ \text{км}^2$) на ЮЮВ, меньше на ЮВ, ЮЗ, ЗЮЗ.	Пепел. Отложения на $S=510\ \text{км}^2$	Гирина и др., 2016; Гирина и др., 2019; Global Volcanism Program, 2021
27.07.2016	экспл. (вулк.)	2	до 5	Умеренные выбросы на высоту 4–5 км н.у.м. Шлейф на 180 км на СВ.	Пепел	Гирина и др., 2019; Global Volcanism Program, 2021
17.08.2016 – 18.08.2016	экспл. (вулк.)	2	до 2,5	Пепловые выбросы до 2,5 км н.у.м. Шлейф до 140 км на СВ от вулкана.	Пепел	Гирина и др., 2019; Global Volcanism Program, 2021
30.08.2016	экспл. (вулк.)	1(?)	–	Пепловый шлейф, протянувшийся до 35 км на ЮВ от вулкана.	Пепел	Гирина и др., 2019; Global Volcanism Program, 2021

Примечания: условные обозначения и сокращения те же, что и в табл. 1.

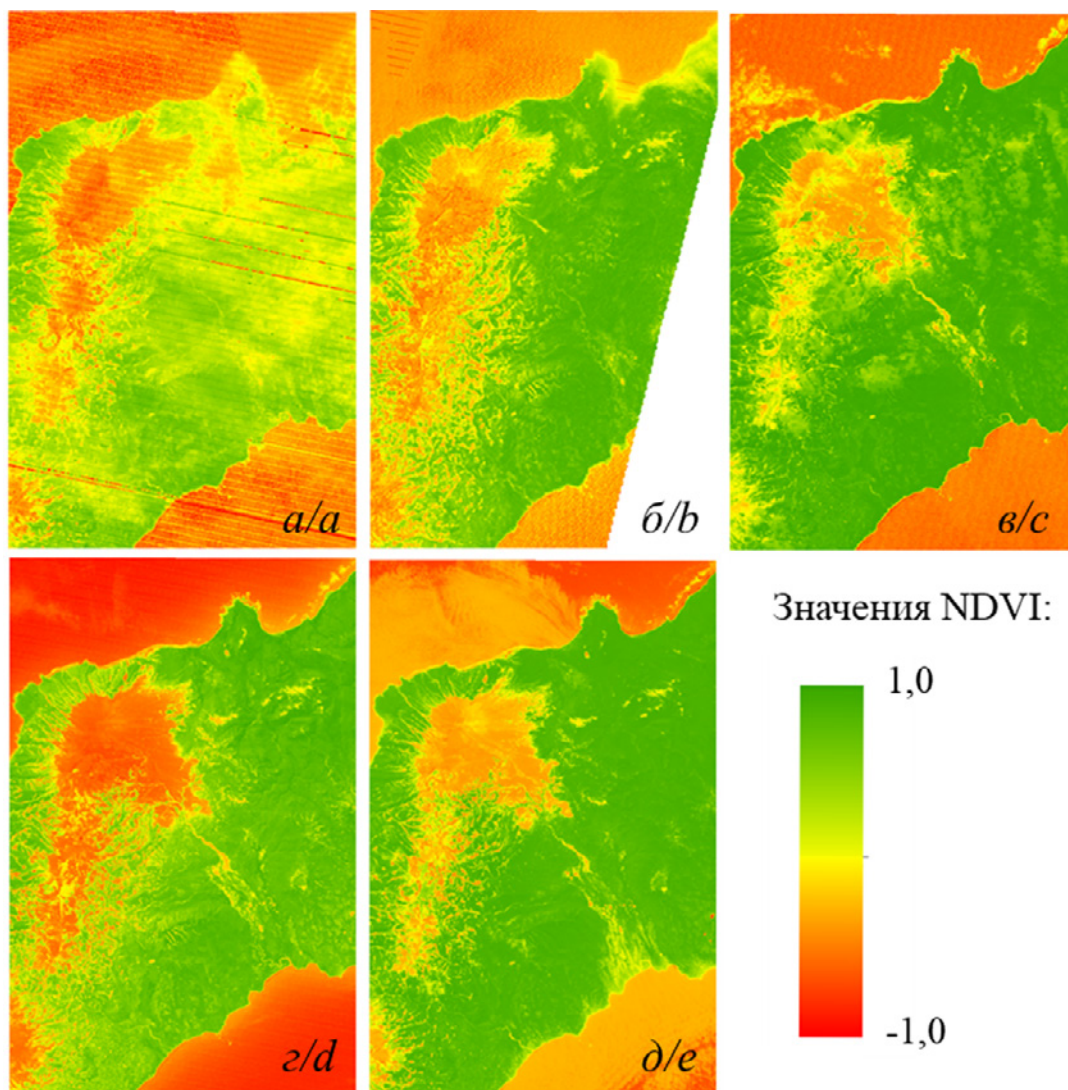


Рис. 2. Результаты расчетов NDVI для территории, прилегающей к вулкану Чикурачки: а – 1972 г., б – 1983 г., в – 1999 г.; г – 2011 г.; д – 2020 г.

Fig. 2. Results NDVI calculations for territory adjacent to the Chikurachki volcano: а – in 1972, б – in 1983, в – in 1999; г – in 2011; д – in 2020

Периодические извержения вулкана Чикурачки оказывают заметное влияние на состояние природной среды прилегающей территории. При этом поражение растительного покрова имеет явно выраженный веерный и в меньшей степени радиальный характер, что связано с направлением ветра во время извержений, который контролирует зоны отложения тefры.

В наибольшей степени пострадал юго-восточный сектор, в результате мощного извержения 1986 года, когда был практически полностью уничтожен растительный покров на расстоянии до 9 км от кратера вулкана. Из-за сошедшего лахара, погибли долинные леса на реке Тухарка. Также в течение 2002–2016 гг. в секторе отмечались эпизодические пеплопады.

Сильное извержение 1853 г. в значительной степени изменило облик природной среды северо-восточного сектора. Следы этого негативного воздействия сохраняются и сегодня. В более позднее время (2007 и 2015 гг.) в этом направлении наблюдались только пеплопады, которые препятствуют естественному ходу восстановления растительности в данном секторе. Стоит отметить, что к 2020 г. растительный покров практически восстановился за пределами изолинии NDVI = 0,4, где мощность отложений тefры составляет менее 1,5 м.

В южном секторе, в более суровых условиях верхней части хребта Вернадского, растительности крайне трудно восстановиться в течение десятилетий. В то же время на восточных и западных склонах хребта, в случае извержений с отложением тефры небольшой мощности, ольховый стланик восстанавливается уже через несколько лет.

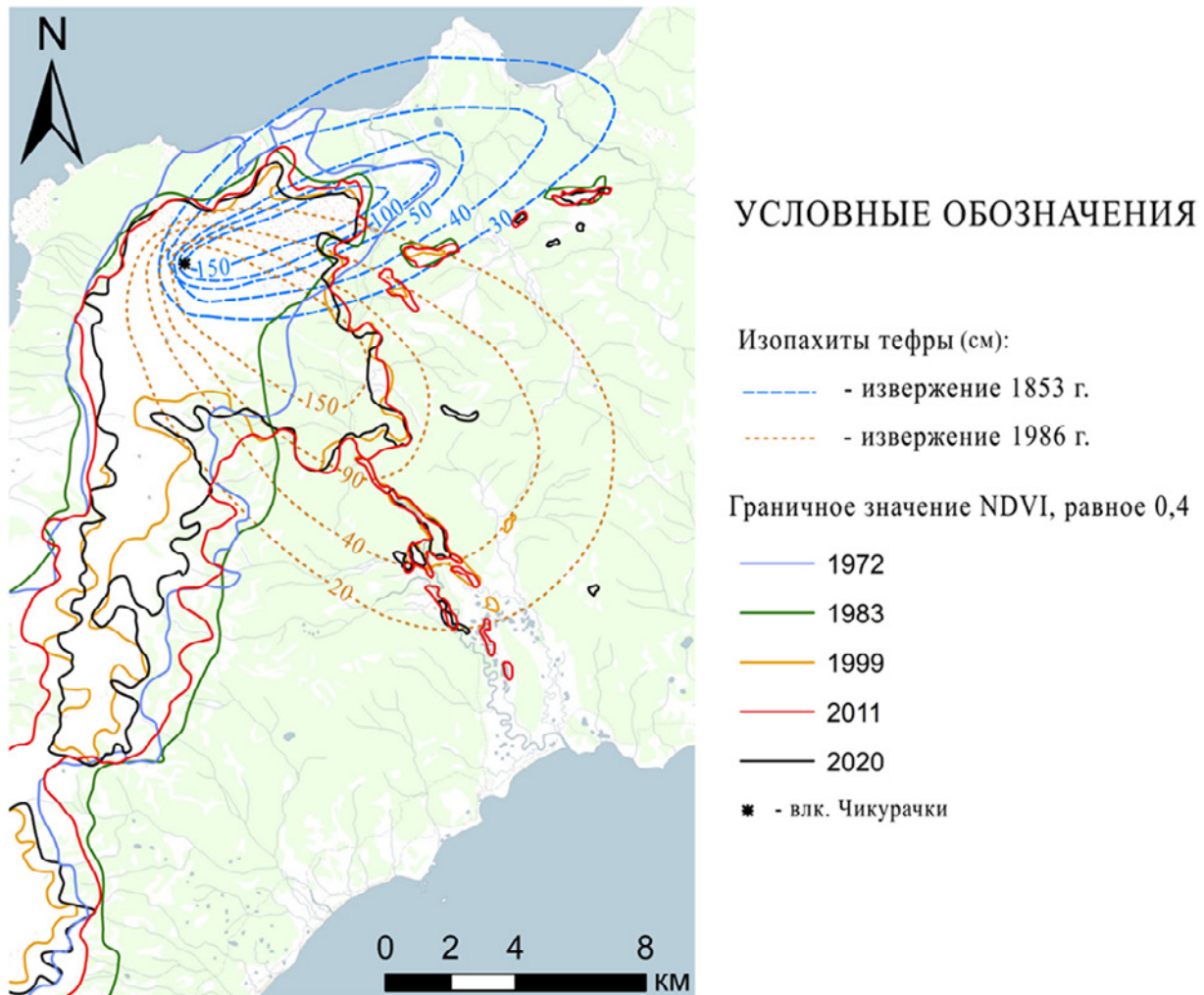


Рис. 3. Временная динамика границы между нарушенным и здоровым растительным покровом после периодических извержений вулкана Чикурачки
 Fig. 3. Temporal dynamics of the boundary between disturbed and healthy vegetation cover after periodic eruptions of the Chikurachki volcano

ВЫВОДЫ

Динамика восстановления растительного покрова после периодических эффузивно-эксплозивных и эксплозивных извержений вулкана Чикурачки оценена на больших площадях с помощью инструментария геоинформационных систем с использованием космических снимков среднего разрешения.

Анализ данных показал, что за границу, разделяющую районы с нарушенным и сплошным растительным покровом в условиях северных Курильских островов, можно принимать изолинию со значением NDVI равным 0,4.

Проведенные исследования могут в дальнейшем способствовать прогнозированию вулканической опасности и оперативной оценке воздействия на природную среду территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдурахманов А.М., Федорченко В.М.* О вулканической активности на Курильских островах в 1973 г. и о некоторых не зафиксированных ранее извержениях. Вулканы Курильской островной дуги и острова Сахалин. Тр. СахКНИИ. 1976. Вып. 48. С. 114–118.
2. *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.
3. *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: <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-3-139-150>.
4. *Верхотуров А.А., Мелкий В.А.* Картографирование растительных сообществ подзоны темных хвойных лесов юга Сахалина на основе космических съемок. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26. Ч. 4. С. 60–72. DOI: <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-4-26-60-72>.
5. *Гирина О.А., Малик Н.А., Котенко Л.В.* Активность вулкана Чикурачки (о. Парамушир, Северные Курилы) в 2002–2007 гг. по данным KVERT. Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. 2008. № 1. Вып. 11. С. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-2-235-239>.
6. *Гирина О.А., Маневич А.Г., Нуждаев А.А., Сорокин А.А.* Извержение вулкана Чикурачки (о. Парамушир, северные Курилы) в 2016 г. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 235–239. DOI: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-2-235-239>.
7. *Гирина О.А., Ушаков С.В., Малик Н.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Нуждаев А.А., Демянчук Ю.В., Котенко Л.В.* Действующие вулканы Камчатки и о-ва Парамушир Северных Курил в 2007 г. Вулканология и сейсмология. 2009. № 1. С. 3–20.
8. *Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Нуждаев А.А., Петрова Е.Г.* Извержения вулканов Камчатки и Северных Курил в 2016 г. и их опасность для авиации. Вулканология и сейсмология. 2019. № 3. С. 34–48. <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019334-48>.
9. *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: <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331>.
10. *Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А., Романова И.М., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Лупян Е.А., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Уваров И.А., Бурцев М.А., Сорокин А.А., Королев С.П., Верхотуров А.Л., Крамарева Л.С.* Информационная система VolSatView для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил. Вулканология и сейсмология. 2016. № 6. С. 62–77. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0203030616060043>.
11. *Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М: Наука, 1967. 287 с.
12. *Горшков Г.С.* Вулканы острова Парамушир и их состояние летом 1953 г. Бюллетень вулканологических станций. 1954. № 22. С. 9–29.
13. *Гущенко И.И.* Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 476 с.
14. *Дитмар К.* Поездки и пребывание в Камчатке в 1851–1855 гг. СПб., 1901. Ч. 1. 767 с.
15. *Каширина Е.С., Новиков А.А.* Использование ГИС для расчета рекреационных нагрузок на особо охраняемых природных территориях. Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2016. Т. 22. № 2. С. 174–181. DOI: <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2016-2-22-174-181>.

16. *Овсянников А.А., Муравьев Я.Д.* Извержение вулкана Чикурачки в 1986 г. Вулканология и сейсмология, 1992. № 5–6. С. 3–20.
17. *Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Чибисова М.В., Гурьянов В.Б., Коротеев И.Г.* Вулканическая активность на Курильских островах в 2012–2015 гг. Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. 2016. Т. 30. № 2. С. 77–87.
18. *Рыбин А.В., Чибисова М.В., Дегтерев А.В., Гурьянов В.Б.* Вулканическая активность на Курильских островах в XXI в. Вестник ДВО РАН. 2017. № 1. С. 51–61.
19. *Тихонов И.Н., Рыбин А.В., Чибисова М.В.* Некоторые закономерности времени возникновения сильных извержений вулканов Курильской островной дуги. Литосфера. 2011. № 3. С. 135–144.
20. *Федорченко В.И., Шилов В.Н.* Извержение вулкана Чикурачки (о-в Парамушир) в 1961 г. Бюллетень вулканологических станций. 1963. № 34. С. 36–43.
21. *Черепанов А.С.* Вегетационные индексы. Геоматика. 2011. № 2. С. 98–102.
22. *Шилов В.Н., Воронова Л.Г.* Состояние действующих вулканов северной группы Курильских островов летом 1959 г. и некоторые сведения об извержении вулкана Чикурачки в мае 1958 г. Тр. СахКНИИ. 1962. Вып. 12. С. 114–126.
23. *Girina O.A., Melnikov D.V., Manevich A.G., Demyanchuk Yu.V., Nuzhdaev A.A., Petrova E.V.* Kamchatka and North Kurile Volcano Explosive Eruptions in 2015 and Danger to Aviation. Geophysical research abstracts. 2016. V. 18. P. 2101. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5179.4001>.
24. Global Volcanism Program, 2013. Volcanoes of the World, v. 4.10.0 (14 May 2021). Venzke, E (ed.). Smithsonian Institution. Downloaded 3 March 2021. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW4-2013>.
25. *Neal C.A., Girina O.A., Senyukov S.L., Rybin A.V., Osiensky J., Izbekov P., Ferguson G.* Russian eruption warning systems for aviation. Natural Hazards. 2009. V. 51. No. 2. P. 245–262. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9347-6>.
26. *Neal C.A., Herrick J.A., Girina O.A., Chibisova M.V., Rybin A.V., McGimsey R.G., Dixon J.* 2010 Volcanic activity in Alaska, Kamchatka, and the Kurile Islands: Summary of events and response of the Alaska Volcano Observatory. 2014. 76 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.3133/sir20145034>.
27. *Siebert L., Simkin T., Kimberly P.* Volcanoes of the World. Third edition. Smithsonian institution, University of California Press, 2010. 551 p.

REFERENCES

1. *Abdurakhmanov A.I., Fedorchenko V.I.* About volcanic activity on the Kuril Islands in 1973 and about some previously unreported eruptions. Volcanoes of the Kuril Island arc and Sakhalin Island. SakhCSRI DVSC of the USSR Academy of Sciences. Yuzhno-Sakhalinsk, 1976. V. 48. P. 114–118. (in Russian).
2. *Belousov A.B., Belousova M.G., Grishin S.Yu., Krestov P.V.* Historical Eruptions of Chikurachki Volcano. Paramushir I., Kuriles. Journal of Volcanology and Seismology. 2003. No. 3. P. 15–34. (in Russian).
3. *Cherepanov A.S.* Vegetative indexes. Geomatics. 2011. No. 2. P. 98–102. (in Russian).
4. *Ditmar K.* Trips and stay in Kamchatka in 1851–1855. St. Petersburg, 1901. V. 1. 767 p. (in Russian).
5. *Fedorchenko V.I., Shilov V.N.* Eruption of the Chikurachki volcano (Paramushir Island) in 1961. Bulletin of Volcanological stations. 1963. No. 34. P. 36–43. (in Russian).
6. *Girina O.A., Malik N.A., Kotenko L.V.* 2002–2007 activity of Chikurachki volcano (Paramushir island, northern Kuriles) based on KVERT data. Bulletin of Kamchatka regional Association “Educational-Scientific Center”. Earth Sciences. No. 1. Iss. 11. 2008. P. 67–73. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-2-235-239>.
7. *Girina O.A., Manevich A.G., Melnikov D.V., Nuzhdaev A.A., Petrova E.V.* 2016 Volcano Eruptions in Kamchatka and the Northern Kuriles and Their Danger to Aviation. Journal of

Volcanology and Seismology. 2019. No. 3. P. 34–48. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019334-48>.

8. *Girina O.A., Manevich A.G., Nuzhdaev A.A., Sorokin A.A.* 2016 explosive eruption of Chikurachki volcano (Paramushir Island, Northern Kuriles). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* (Current problems in remote sensing of the Earth from space). 2016. V. 13. No. 2. P. 235–239. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-2-235-239>.

9. *Girina O.A., Melnikov D.V., Manevich A.G., Demyanchuk Yu.V., Nuzhdaev A.A., Petrova E.V.* Kamchatka and North Kurile Volcano Explosive Eruptions in 2015 and Danger to Aviation. *Geophysical research abstracts*. 2016. V. 18. P. 2101. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5179.4001>.

10. *Girina O.A., Ushakov S.V., Malik N.A., Manevich A.G., Mel'nikov D.V., Nuzhdaev A.A., Demyanchuk Yu.V., Kotenko L.V.* The active volcanoes of Kamchatka and Paramushir Island, North Kuriles in 2007. *Journal of Volcanology and Seismology*. 2009. V. 3. No. 1. P. 1–17.

11. Global Volcanism Program, 2013. *Volcanoes of the World*, v. 4.10.0 (14 May 2021). *Venzke, E.* (ed.). Smithsonian Institution. Downloaded 3 March, 2021. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW4-2013>.

12. *Golubeva E.I., Kashirina E.S., Novikov A.A., Glukhova E.V.* Using the NDVI index for geo-ecological estimation of specially protected natural territories by the example of Sevastopol. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference*. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 320–331. DOI: <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331>.

13. *Gorshkov G.S.* Volcanism of the Kuril Island Arc. Moscow: Nauka, 1967. 287 p. (in Russian).

14. *Gorshkov G.S.* Volcanoes of Paramushir Island and their state in the summer of 1953. *Bulletin of Volcanological stations*. 1954. No. 22. P. 9–29. (in Russian).

15. *Gordeev E.I., Girina O.A., Romanova I.M., Mel'nikov D.V., Manevich A.G., Lupyan E.A., Efremov V.Y., Kashnitskii A.V., Uvarov I.A., Burtsev M.A., Sorokin A.A., Korolev S.P., Verkhoturov A.L., Kramareva L.S.* The VolSatView information system for monitoring the volcanic activity in Kamchatka and on the Kuril islands. *Journal of Volcanology and Seismology*. 2016. V. 10. No. 6. P. 382–394. (in Russian). DOI: 10.7868/S0203030616060043.

16. *Gushchenko I.I.* Volcanic eruptions of the world. Moscow: Nauka, 1979. 476 p. (in Russian).

17. *Kashirina E.S., Novikov A.A.* Using of GIS for estimation of the recreational loads on natural protected areas. *Proceedings of the International conference “InterCarto. InterGIS”*. 2016. 22 (2). P. 174–181. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2016-2-22-174-181>.

18. *Neal C.A., Girina O.A., Senyukov S.L., Rybin A.V., Osiensky J., Izbekov P., Ferguson G.* Russian eruption warning systems for aviation. *Natural Hazards*. 2009. V. 51. No. 2. P. 245–262. DOI: <https://doi.org/10.3133/sir20145034>.

19. *Neal C.A., Herrick J.A., Girina O.A., Chibisova M.V., Rybin A.V., McGimsey R.G., Dixon J.* 2010 Volcanic activity in Alaska, Kamchatka, and the Kurile Islands: Summary of events and response of the Alaska Volcano Observatory. 2014. 76 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.3133/sir20145034>.

20. *Ovsyannikov A.A., Murav'ev Ya.D.* The eruption of the Chikurachki volcano in 1986. *Volcanology and Seismology*. 1992. No. 5–6. P. 3–20. (in Russian).

21. *Rybin A.V., Degterev A.V., Chibisova M.V., Guryanov V.B., Koroteev I.G.* Volcanic activity on the Kuril Islands in 2012–2015. *Bulletin of Kamchatka regional Association “Educational-Scientific Center”*. Earth Sciences. 2016. V. 30. No. 2. P. 77–87. (in Russian).

22. *Rybin A.V., Chibisova M.V., Degterev A.V., Guryanov V.B.* Volcanic activity on the Kuril Islands in the XXI century. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2017. No. 1. P. 51–61. (in Russian).

23. *Tikhonov I.N., Rybin A.V., Chibisova M.V.* Some regularity of the time of strong volcanoes eruptions beginning in the Kuril Island arc. *Lithosphere*. 2011. No. 3. P. 135–144. (in Russian).

24. *Shilov V.N., Voronova L.G.* State of active volcanoes of northern group of the Kuril Islands in the summer of 1959 and some information about eruption of the Chikurachki volcano in May 1958. Tr. SakhCSRI. 1962. V. 12. P. 114–126. (in Russian).
 25. *Siebert L., Simkin T., Kimberly P.* Volcanoes of the World. Third edition. Smithsonian institution, University of California Press, 2010. 551 p.
 26. *Verkhoturov A.A.* Analysis of changes in the State of ecosystems on Atlasova Island (Kuril Islands). Vestnik SGUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies), V. 25. No. 3. P. 139–150. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-3-139-150>.
 27. *Verkhoturov A.A., Melkiy V.A.* Mapping of vegetation communities of the subzone of dark coniferous forests of the South Sakhalin based on space surveys. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2020. V. 26. Part 4. P. 60–72. DOI: <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-4-26-60-72>. (In Russian).
-