ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

УДК 504(571.645)

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-139-150

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ НА ОСТРОВЕ АТЛАСОВА (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)

Алексей Александрович Верхотуров

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, Россия, ул. Науки, 1Б, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра коллективного пользования, e-mail: ussr-91@mail.ru

Территория Курильских островов представляет собой цепь вулканических построек и подвержена, в определенной степени, вулканопасности. Остров Атласова сложен продуктами деятельности вулкана Алаид, для которого характерна эффузивно-эксплозивная деятельность. В статье приводится анализ изменений состояния экосистем острова Атласова, которые периодически подвергаются воздействию при активизации деятельности вулкана Алаид. При эксплозивных извержениях на поверхность выносятся большое количество пирокластического материала: глыбы, бомбы, тефра, лапилли и вулканический пепел, который переносится в атмосфере на очень большие расстояния. Экосистемы подвергаются воздействию при выпадении пирокластики на значительной площади островной суши. В настоящем исследовании была поставлена цель по выявлению на основе многозональных космических снимков среднего разрешения характера и масштабов изменений состояния экосистем, подвергавшихся воздействию вулканических извержений. Анализ данных, полученных с космических систем Landsat и Sentinel за период с 1972 по 2020 г., в геоинформационной среде позволил проследить динамику и характер сукцессий на пораженной территории по рассчитанным значениям вегетационного индекса NDVI. Методики, выработанные в процессе изучения данного вопроса, могут в дальнейшем способствовать оперативной оценке последствий для экосистем при мониторинге эффузивно-эксплозивных извержений и прогнозе вулканопасности для территорий, прилегающих к вулканическим постройкам.

Ключевые слова: вегетационный индекс, вулканические эксплозии, дистанционное зондирование Земли, Landsat, многозональные космические снимки, мониторинг, спектральные характеристики, Sentinel, экосистема.

Введение

Вся геохимическая эволюция внешней оболочки Земли – не что иное, как трансформирование вулканических продуктов, вынесенных в разное время из ее недр. За 4,5 млрд лет, начиная с первых стадий формирования планеты, на поверхность вынесено столько вещества, что его можно было бы разместить ровным слоем мощностью 35–40 км. В XX в. только на суше из-

вержено столько твердых вулканических продуктов, что вес их выбросов составил примерно 1,5 млрд т / год. Объем излияний в срединно-океанических хребтах в несколько раз больше этой величины [1].

Характер извержений зависит от приуроченности вулканического аппарата к разломным зонам в земной коре. Выделяют два типа вулканов: мантийные, приуроченные к узлам пересечения островной дуги поперечными глубинными разломами (Алаид,

Эбеко, Тятя), и коровые, расположенные вне зоны поперечных разломов, с разноглубинными очагами, включая приповерхностные периферические очаги [2–4]. Извержения первых проходят в виде эффузий лавовых потоков, которые перемежаются взрывной деятельностью умеренного характера (стромболианского или умеренно плининского типа). Подобные извержения хорошо изучены [5–8].

Твердые продукты извержений вулкана Алаид представлены породами основного химического состава – базальтами и андезитобазальтами [9]. При взрывах вулкан выбрасывает на поверхность большое количество вулканокластических пород. Взрывные выбросы вулканов нередко приводят к катастрофическим последствиям для эко-

систем, значительному материальному ущербу и человеческим жертвам.

В исследовании ставилась цель – выявить характер и масштабы изменений состояния экосистем, подвергавшихся воздействию извержений вулкана Алаид, на основе использования многозональных космических снимков среднего разрешения (рис. 1). При достижении поставленной цели решался ряд задач, а именно подбор качественных многозональных космических снимков, выработка алгоритма обработки и подготовки материалов, выделение численных выражений естественных границ, соответствующих различному состоянию экосистем, и проведение пространственно-временного анализа изменений NDVI на острове Атласова.

Рис. 1. Местоположение о. Атласова в Большой Курильской гряде (извержение 21.08.2018)

Материалы и методы исследования

Основными материалами для проведения исследования являлись доступные космические снимки среднего пространственного разрешения систем Landsat 1-8 и Sentinel-2 в период с 1972 по 2020 г. [10, 11]. Выбор снимков определялся следующими критериями:

- момент съемки должен быть в вегетационный период (июль – сентябрь);
- отсутствие или незначительное покрытие интересующей области облаками.

Современные геоинформационные системы (QGIS, ArcGIS) обладают широким функционалом для подготовки, обработки растров, векторизации и подсчета пространственно-количественных показателей [12–17]. В данном исследовании предлагается следующий алгоритм подготовки материалов для последующего анализа воздействия вулканических извержений на экосистемы территории (рис. 2).

В качестве оценочного средства состояния экосистем в течение нескольких десятилетий, находящихся под воздействием периодических вулканических извержений, применялся нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI) [18–20]:

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

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

ρ_{RED} – отражение в красной области спектра.

В исследовании были использованы космические снимки с различных космических аппаратов, отличающихся техническими характеристиками, в том числе набором и порядковым номером каналов, необходимых для произведения расчетов в ГИС растровых изображений NDVI (табл. 1).

Рис. 2. Алгоритм подготовки материалов для последующего анализа

Таблица 1

Используемые для расчета NDVI каналы

Область спектра	Спутник / Сенсор / Пространственное разрешение, м			
	Landsat 1 / MSS / 80	Landsat 4 / MSS / 80	Landsat 7 / ETM+ / 30	Sentinel-2 / MSI / 10
	№ канала / спектральный диапазон, нм			
красная	5 / 600–700	2 / 600–700	3 / 630–690	4 / 704
ближняя ИК	7 / 800–1100	4 / 800–1100	4 / 770–900	8 / 842

Исследуемая территория имеет островное положение и обладает благоприятными условиями для повсеместного развития на мелководье морских водорослей, у которых показатель NDVI может достигать 0,7. По этой причине невозможно достоверно определить береговую линию, используя вегетационный индекс, который обычно уверенно выделяет водную поверхность по отрицательным значениям. В связи с этим, для решения задачи разграничения водной поверхности и суши был использован композитный снимок из ближнего, среднего инфракрасного и красного каналов (рис. 3, з). На основе полученного изображения был создан векторный слой береговой линии, основная роль которого заключалась в обрезке растров в контуре острова. Выполнение этих действий позволило ускорить дальнейшие операции с данными в среде ГИС.

Для площадной оценки районов с различными значениями NDVI производилась обучаемая классификация с последующей векторизацией полигонов (рис. 3, а–в).

Результаты

Вулкан Алаид имеет самую высокую постройку (2 339 м) и является одним из самых активных на Курильских островах [21]. За последнее столетие на вулкане зафиксировано 12 извержений эксплозивно-эффузивного типа [9].

Наиболее мощными проявлениями его деятельности, которые заключались в существенной перестройке рельефа, береговой линии и привели к губительным последствиям для экосистем, выступили три достаточно хорошо описанные в научной литературе извержения: трещинные, произошедшие в нижней части конуса вулкана, – прорыв Такетомми у восточного берега (1933–1934 гг.) и прорыв Олимпийский в северо-западной части острова (1972 г.), а также вершинное извержение 1981 г., которое отличалось мощными эруптивными выбросами, сформировавшими пепловые тучи.

Рис. 3. Стадии подготовки материала:

а) рассчитанное изображение NDVI в оттенках серого; б) изображение NDVI в красно-зеленой гамме; в) классифицированное изображение; з) композитный снимок (8-11-4)

Наиболее изученным является извержение Олимпийского прорыва в 1972 г. Вязкие базальтовые лавовые потоки излились из побочных кратеров, образовавшихся вдоль трещины северо-западного направления на конусе вулкана порциями, натекавшими одна на другую. В результате неоднократного перекрытия отдельных порций лавовые потоки сформировали покров мощностью 35–60 м и длиной около 1 км, где монолитная лава переслаивается с глыбовой, в которой отмечены глыбы размерами от 0,1 до 1,5 м [22].

Лавовые потоки, излившиеся из конусов, образовали новый полуостров, на котором, естественно, не было никакой растительности. Для первичной сукцессии на лавовых полях требуется длительный период. Согласно данным С. Ю. Гришина этот период может составлять 1,5–2 тыс. лет [23].

Извержения магматического материала основного состава почти всегда происходят с эксплозивными выбросами шлаков, разнообразных бомб и глыб. Тефровые отложения Олимпийского прорыва представлены ювенильным пирокластическим материалом автохтонного происхождения. Тефра по мере удаления от кратера дифференцируется по крупности, удельной массе и агрегатному состоянию. Различают отложения трех зон: 1) прикратерной, 2) промежуточной, 3) удаленной [7].

Тефра выбрасывалась во всех направлениях, но основной ее объем накрыл северо-восточный сектор на расстояние до 5 км. Общий объем изверженных вулканитов составил около 150 млн м³, в том числе 100 млн м³ представлено пирокластикой [15]. В результате бомбардировки тефрой была поражена растительность на значительной территории, в частности вызвана гибель ольховника, у которого была сбита листва, ободраны почки и кора. На удаленных территориях механические повреждения нанесли меньший урон, однако повреждение листьев и запыление фотосинтетического аппарата отрицательно повлияли на жизненность растений. Цементирование моросью и туманами

тонкого пепла на листве и ветвях приводило к их обламыванию. Негативно действовало химическое отравление водорастворимыми веществами и кислотными дождями [24].

Для работы были подобраны космические снимки, имеющиеся в архиве USGS, удовлетворяющие критериям, указанным ранее, и пригодные для фиксирования изменений состояния экосистем исследуемой территории с временным интервалом (7–17 лет). Выполнен анализ 5 сцен. Для обеспечения большей корректности сравнения в степени сезонного развития фитомассы, снимки выбирались с близкими датами съемки (конец августа – начало сентября). Исключением является снимок от 27.07.1983, выбранный по причине отсутствия лучшего варианта в этот временной интервал.

В связи с тем, что с июня 2003 г. ряды данных Landsat-7 пополнялись с пробелами, сцена за 2007 г. была скомбинирована со сценой за 2006 г. Благодаря этому удалось избежать значительного искажения показаний NDVI из-за отсутствия данных. В ходе проведения исследований пришлось столкнуться с еще одной существенной проблемой – малым количеством снимков, на которых отсутствует облачность на всей территории острова, поэтому приходилось комбинировать снимки с близкими датами съемки.

После проведения атмосферной коррекции и расчета NDVI в геоинформационной среде был получен временной ряд карт-схем, отражающих состояние и развитие растительного покрова (рис. 4).

Проведенный пространственно-временной анализ изменений вегетационного индекса по территории острова позволил выделить численные выражения естественных границ, соответствующих различному состоянию экосистем.

Каждая NDVI сцена была расклассифицирована на пять категорий по значению индекса и переведена в векторный формат для подсчета площади полигонов на весь остров и отдельно на район Олимпийского прорыва (табл. 2, 3).

Рис. 4. Результаты расчета NDVI на пораженной территории
на примере Олимпийского прорыва:
а) 1972 г.; б) 1983 г.; в) 2001 г.; з) 2007 г.; д) 2018 г.

Таблица 2

Суммарные площади полигонов с различными значениями NDVI
по годам на о. Атласова, га

Значение NDVI (соответствие природным объектам)	Дата съемки				
	08.09.1972	27.07.1983	14.09.2001	27.08.2006 / 07.08.2007	10.09.2018
< 0 (скальные породы)	2 710,21	2 570,68	3 377,21	2 721,51	695,93
0–0,1 (рыхлые породы)	1 092,12	2 384,39	1 073,36	904,09	2 857,54
0,1–0,4 (слабый растительный покров)	2 341,42	1 649,16	1 595,27	1 641,71	1 832,52
0,4–0,65(средний растительный покров)	5 262,78	2 927,93	4 887,11	1 880,11	1 769,04
> 0,65 (густой растительный покров)	3 941,68	5 816,05	4 415,26	8 200,79	8 193,18

Таблица 3

Суммарные площади полигонов с различными значениями NDVI
по годам на Олимпийском прорыве, га

Значение NDVI (соответствие природным объектам)	Дата съемки				
	08.09.1972	27.07.1983	14.09.2001	27.08.2006 / 07.08.2007	10.09.2018
< 0 (скальные породы)	671,61	292,08	190,8	129,41	109,15
0–0,1 (рыхлые породы)	191,67	250,32	163,17	138,07	113,35
0,1–0,4 (слабый растительный покров)	445,59	200,64	188,82	181,32	350,04
0,4–0,65(средний растительный покров)	468,28	358,65	600,12	235,97	163,07
> 0,65 (густой растительный покров)	218,44	893,9	852,68	1 310,82	1 259,98

Обсуждение

Полученные результаты пространственно-временного анализа указывают на закономерную реакцию экосистем на последствия эффузивных и эксплозивных извержений, заключающуюся в непрерывном восстановлении растительного покрова (рис. 5). За границу, разделяющую районы с нарушенным и сплошным растительным покровом, принято значение NDVI, равное 0,4.

Рис. 5. Границы со значением NDVI = 0,4 по данным космической съемки в различные годы

Ввиду отсутствия материалов, масштабы первоначальных последствий извержения 1933–1934 гг. на экосистемы острова оценить затруднительно, но поскольку извержение произошло в море, то вероятность существенного воздействия крайне мала. Тем не менее, с 1972 по 2018 г. узкая полоска вдоль юго-восточного побережья со слабым развитием растительного покрова сузилась в среднем с 370 до 122 м. В районе Олимпийского прорыва (1 995,59 га) площадь территории, полностью лишенной растительного покрова, за 46 лет сократилась на 25,77 %. Высокая степень развития фитомассы увеличилась с 34,41 % (непосредственно после извержения) до 62,76 % к 1983 г. до 71,3 % в 2018 г. от общей площади. Наиболее худшим зарастанием характеризуются районы эксплозивных воронок и лавовых потоков (рис. 6).

Потоки глыбовой лавы, пересыпанные средне- или мелкообломочным материалом, к 2006 г. были покрыты на 30–50 % мхами. Участие лишайников в растительном покрове было незначительно [25]. В настоящее время сосудистые растения суммарно покрывают 3,7 га (3,53 %) из 104,88 га поверхности лавового поля. Чаше других встречаются пеннелиант кустарниковый (*Pennellianthus frutescens*), анафалис жемчужный (*Anaphalis margaritacea*), папоротник – щитовник широкий (*Dryopteris expansa*), полынь пушистая (*Artemisia opulenta*).

Рис. 6. Границы со значением NDVI = 0,4 по данным космической съемки в различные годы в районе Олимпийского прорыва

Единично на лаве отмечаются небольшие кусты ольховника (*Duschekia kamtschatica*), приуроченные либо к трещинам между глыбами и местам аккумуляции щебнистого мелкозема. Подножия потоков заросли в большей степени, здесь встречаются группы ольховника высотой до 1–1,5 м, а также участки сомкнутой травянистой растительности [25].

Полученные в работе результаты достаточно хорошо коррелируют с результатами других исследователей [25], где на основе дешифрирования аэрофотоснимка за 1980 г. площадь пораженной растительности определена в 8 км² (против 7,47 км² на 1983 г. по нашим данным). Однако в год извержения площадь пораженного растительного покрова могла достигать 1 308,87 га (13,09 км²), что косвенно указывает на незначительную мощность отложения тефры (до 30 см, по данным С. Ю. Гришина) на большой территории, где была повреждена растительность.

Извержение центрального кратера 1981 г. оказало значительное негативное воздействие на экосистемы острова. Наибольшему ущербу подверглись северо-восточный и восточный склоны вулкана, где выпал наибольший объем тефры. Здесь на 1983 г. верхняя граница сплошного растительного покрова отступила вниз по склону на расстояние от 380 до 1 500 м, по отношению к 1972 г. Однако динамика восстановления растительного покрова весьма ощутима. Так, к 2018 г. на многих участках граница NDVI = 0,4 вернулась к положению 1972 г. Исключениями здесь являются наиболее сильно пострадавшие участки на северо-восточном склоне, где граница все еще находится на расстоянии 300–800 м.

На юго-западном склоне восстановление растительного покрова было нарушено эффузивно-эксплозивным извержением 2016 г., которое сопровождалось пепловыми выбросами и излиянием небольшого лавового потока, длиной около 300 м [19]. В результате граничное значение вегетационного индекса в 2018 г., по сравнению со своим положением на 2007 г., отделилось от вулканической постройки на 140–530 м.

По наблюдениям зоолога В. Л. Костенко извержения серьезно изменили состояние зоокомпонентов экосистем. Погибли все насекомые в зоне поражения. В результате пеплопада были полностью уничтожены или впоследствии погибли от голода полевки-экономки. Другие грызуны (серая крыса) остались между крупными валунами в литоральной зоне, где питались выбросами моря [26].

Восстановление растительного покрова сопровождается заселением территории животными. В заплесковых лужах на лавовых потоках В. А. Рашидовым обнаружена «цветная» вода различных оттенков, обусловленных наличием пурпурных фототрофных бактерий, что свидетельствует о стабильном характере функционирования экосистем на территории. В районе Олимпийского прорыва существует колония наземных улиток *Bradybaenidae*, которые успешно пережили извержение вулкана. В 2006 г. в районе прорыва полевки встречались единично, а крысы не наблюдались. Семья лисиц осталась на своем индивидуальном участке. В трех километрах к югу от лавового потока, на мысу сохранилось лежбище сивучей (40–50 зверей) [26]. Вне зоны непосредственного воздействия извержения все компоненты экосистем сохранились.

Заключение

Результаты проведенного исследования подтверждают опасность воздействия вулканических процессов на экосистемы, а также существенную опасность ведения хозяйственной деятельности в таких районах.

Динамика и характер восстановления растительного покрова после таких периодических катастрофических событий, как эффузивно-эксплозивные извержения вулкана Алаид, могут быть оценены и охарактеризованы на больших площадях с помощью доступных данных дистанционного зондирования среднего разрешения [27–29], следовательно, способствовать лучшему пониманию сущности факторов вулканического воздействия и реакции экосистем на них.

Установлено, что за границу, разделяющую районы с нарушенным и сплошным растительным покровом в подобных природно-климатических условиях, можно принимать значение NDVI, равное 0,4.

Темпы восстановления экосистем напрямую зависят от масштабов вулканических извержений. Так, наиболее худшим зарастанием характеризуются районы эксплозивных воронок и лавовых потоков, а также территории с отложениями тефры мощностью более 30 см. В остальных случаях восстановле-

ние сплошного растительного покрова происходит в течение 25–50 лет.

Методы, разработанные в процессе исследования этого вопроса, могут в дальнейшем способствовать оперативной оценке воздействия на экосистемы при мониторинге эффузивно-взрывных извержений и прогнозировании вулканической опасности для территорий, прилегающих к вулканам подобного типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Действующие вулканы Камчатки: в 2-х т. / Отв. ред. С. А. Федотов, Ю. П. Масуренков. – М. : Наука. – 1991. – Т. 1. – 302 с.
2. Сывороткин В. Л. Извержения вулканов // Пространство и Время. – 2017. – № 1 (27). – С. 196–213.
3. Pearce J. A., Parkinson I. J. Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis // Geological Society, London, Special Publications. – 1993. – Vol. 76. No 1. – P. 373–403. DOI: 10.1144/GSL.SP.1993.076.01.19.
4. Мартынов Ю. А., Ханчук А. И., Кимура Ю. И., Рыбин А. В., Мартынов А. Ю. Геохимия и петрогенезис вулканических пород Курильской островной дуги // Петрология. – 2010. – Т. 18, № 5. – С. 512–535.
5. Федотов С. А., Хренов А. П., Чирков А. М. Большое трещинное Толбачинское извержение 1975 г., Камчатка // Доклады АН СССР. – 1976. – Т. 228, № 5. – С. 1193–1196.
6. Большое трещинное Толбачинское извержение, Камчатка 1975–1976 гг. / Под ред. С. А. Федотова. – М. : Наука, 1984. – 637 с.
7. Малеев В. Ф. Вулканы : справочник. – М. : Недра, 1980. – 240 с.
8. Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф. Моделирование продуктов вулканического извержения // Вестник СГУГиТ. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 89–95.
9. Alaid // Сайт Global Volcanism Program GVP of the Smithsonian Institution [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=290390#bgvn_201704.
10. Landsat Missions // Сайт United States Geological Survey (USGS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions>.
11. Landsat Missions // Сайт European Space Agency (ESA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>.
12. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 260 с.
13. Сизов А. П., Хабаров Д. А., Хабарова И. А. Новые подходы к разработке методики формирования семантической информации мониторинга земель на основе обработки и анализа картографической информации // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т. 62, № 4. – С. 434–441.
14. Наумова В. В., Горячев И. Н. ГИС-портал «Геология и геофизика Дальнего Востока России»: интеграция пространственных данных и сервисов // Геоинформатика. – 2013. – № 2. – С. 12–19.
15. Teltscher K., Fassnacht F. E. Using multi-spectral 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. – Vol. 15, Iss. 9. – P. 1851–1867. DOI: 10.1007/s11629-018-4869-6.
16. Ash fall impact on vegetation: a remote sensing approach of the Oldoinyo Lengai 2007–08 eruption / A. Schutter, M. Kervyn, F. Canters, S. A. Bossard-Stadlin, M. A. M. Songo, H. B. Mattsson // Journal of Applied Volcanology. – 2015. – Vol. 4, No 15. – P. 1–18. doi: 10.1186/s13617-015-0032-z.
17. Геоинформационное биогеографическое картографирование состояния островных экосистем по данным дистанционного зондирования Земли / И. В. Никулина, И. Г. Минервин, В. А. Мелкий, А. В. Радченко // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 194–210.

18. Черепанов А. С. Вегетационные индексы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98–102.
19. Index Data Base (The IDB Project): A database for remote sensing indices [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.indexdatabase.de/db/a-single.php?id=1>.
20. Никитина Ю. Г., Олзоев Б. Н. Картографическое отображение структуры ландшафтов острова Ольхон и Приольхонья по разновременным космическим снимкам Landsat // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 103–119.
21. Вулканическая активность на Курильских островах в XXI в. / А. В. Рыбин, М. В. Чибисова, А. В. Дегтерев, В. Б. Гурьянов // Вестник Дальневосточного отделения РАН. – 2017. – № 1. – С. 51–61.
22. Вещественный состав продуктов извержения вулкана Алаид в 1981 г. / Г. Б. Флеров, Б. В. Иванов, В. Н. Андреев, В. А. Будников, И. А. Меняйлов // Вулканология и сейсмология. – 1982. – № 6. – С. 27–43.
23. Гришин С. Ю. Излияние лавовых потоков на Курильских островах в XX и начале XXI века: масштабы и глубина изменения экосистем // Изв. Русского географического общества. – 2014. – Т. 146, № 6. – С. 1–13.
24. Гришин С. Ю., Яковлева А. Н., Шляхов С. А. Воздействие извержения вулкана Алаид (Курильские острова) в 1972 г. на экосистемы // Вулканология и сейсмология. – 2009. – № 4. – С. 30–43.
25. Растительный и почвенный покров острова Атласова (Курильские острова) / С. Ю. Гришин, В. Ю. Баркалов, В. П. Верхолат, В. А. Рашидов, С. А. Шляхов, А. Н. Яковлева // Комаровские чтения. – 2009. – № 56. – С. 64–119.
26. Рашидов В. А., Аникин Л. П. Полевые работы на вулкане Алаид (о. Атласова, Курильские острова) в 2019 году // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2014. – № 2, Вып. 24. – С. 198–203.
27. Методика комплексного использования данных дистанционного зондирования для оценки масштаба опасности природных катастроф, вызванных извержениями вулканов / А. П. Хренов, А. Н. Платэ, В. В. Зайцев, В. Е. Шкарин // Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы аэрокосмическими средствами : сб. докладов Всеросс. науч. конф. (Муром, 20–22 июня 2001). – Муром : Муромский институт Вл. ГУ, 2001. – С. 410–414.
28. Верхотуров А. А., Мелкий В. А. Организация системы мониторинга и оценки состояния вулканопасных территорий // Национальная научно-практическая конференция «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопрограммное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» : сб. материалов в 2-х т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 2. – С. 167–172.
29. Мелкий В. А., Верхотуров А. А. Геоинформационное и картографическое обеспечение мониторинга для оценки состояния природно-техногенных комплексов Сахалинской области // Геоконтекст. – 2016. – Вып. 4. – С. 30–44.

Получено 12.05.2020

© А. А. Верхотуров, 2020

ANALYSIS OF CHANGES IN THE STATE OF ECOSYSTEMS ON ATLASOVA ISLAND (KURIL ISLANDS)

Alexey A. Verkhoturov

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 693022, Ph. D., Senior Researcher, Center for Collective Use, e-mail: ussr-91@mail.ru

The territory of the Kuril Islands is a chain of volcanic structures and is subject, to certain extent, to volcanic hazards. Atlasova Island is composed of products of the Alaid volcano, which is characterized by effusive and explosive activity. The article analyzes the changes in ecosystems on Atlasov island, which are periodically caused by the Alaid volcano eruption. Large amount of pyroclastic material are brought to the surface during explosive eruptions: blocks, bombs, tephra, lapilli and volcanic ash, which is transported in the atmosphere over very long distances. Ecosystems are affected by pyroclastic deposition over a large area of island land. The purpose of this study was to identify the nature and extent of changes in the state of ecosystems affected by volcanic eruptions from multi-zone satellite images of medium resolution. Analysis of data obtained from space systems Landsat and Sentinel for the period 1972 to 2020, in GIS environment al-

lowed us to trace the dynamics and character of the successions to the affected areas on the calculated values of the vegetation index NDVI. Techniques developed in the process of studying this issue can further facilitate rapid assessment of impacts on ecosystems at the effusive-explosive eruptions and forecast volcanic hazard for surrounding areas.

Key words: vegetation index, volcanic eruptions, remote sensing of the Earth, Landsat, multi-zone satellite images, monitoring, spectral characteristics, Sentinel, ecosystem.

REFERENCES

1. Fedotov, S. A., & Masurenkov, Yu. P. (Eds.). (1991). *Deystvuyushchie vulkany Kamchatki: T. 1 [Active volcanoes of Kamchatka: Vol. 1]*. Moscow: Nauka Publ., 302 p. [in Russian].
2. Syvorotkin, V. L. (2017). Volcanic Eruption. *Prostranstvo i vremya [Space and Time]*, 1(27), 196–213 [in Russian].
3. Pearce, J. A., & Parkinson, I. J. (1993). Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. *Geological Society, London, Special Publications*, 76(1), 373–403. doi: 10.1144/GSL.SP.1993.076.01.19.
4. Martynov, Yu. A., Khanchuk, A. I., Martynov, A. Yu., Kimura, J.-I., & Rybin, A. V. (2010). Geochemistry and Petrogenesis of Volcanic Rocks in the Kuril Island Arc. *Petrology*, 18(5), 489–513. doi: 10.1134/S0869591110050048 [in Russian].
5. Fedotov, S. A., Khrenov, A. P., & Chirkov, A. M. (1976). The Great Tolbachik Fissure Eruption 1975, Kamchatka. *Doklady Akademii Nauk SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences]*, 228, 1193–1196 [in Russian].
6. Fedotov, S. A. (Ed.). (1984). *Bol'shoe treshchinnoe Tolbachinskoe izverzhenie, Kamchatka, 1975–1976 gg. [The Great Tolbachik Fissure Eruption 1975–1976 in Kamchatka]*. Moscow: Nauka Publ., 637 p. [in Russian].
7. Maleev, V. F. (1980). *Vulkanity [Vulcanites]*. Moscow: Nedra Publ., 240 p. [in Russian].
8. Jaroslavtseva, T. V., & Raputa, V. F. (2012). Modelling of volcanic eruption products. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(19), 89–95 [in Russian].
9. Alaid. (n. d.). *Global Volcanism Program GVP of the Smithsonian Institution. Website*. Retrieved from https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=290390#bgvn_201704.
10. Landsat Missions. (n. d.). *United States Geological Survey (USGS)*. Retrieved from <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions>.
11. Landsat Missions. (n. d.). *European Space Agency (ESA)*. Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>.
12. Karpik, A. P. (2004). *Metodologicheskie i tekhnologicheskie osnovy geoinformatsionnogo obespecheniya territoriy: monografiya [Methodological and Technological foundations of GIS software territories: monograph]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 260 p. [in Russian].
13. Sizov, A. P., Khabarov, D. A., & Khabarova, I. A. (2018). New approaches to development of the Method of Formation the semantic data of Land monitoring based on the Processing and Analysis of cartographic information. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 62(4), 434–441 [in Russian].
14. Naumova, V. V., & Goryachev, I. N. (2013). GIS portal "Geology and Geophysics of the Russian Far East": integration of spatial data and services. *Geoinformatika [Geoinformatics]*, 2, 12–19 [in Russian].
15. Teltscher, K., & Fassnacht, F. E. (2018). 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*, 15(9), 1851–1867. doi: 10.1007/s11629-018-4869-6.
16. Schutter, A., Kervyn, M., Canter, F., Bossard-Stadlin, S. A., Songo, M. A. M., & Mattson, H. B. (2015) Ash fall impact on vegetation: a remote sensing approach of the Oldoinyo Lengai 2007–08 eruption. *Journal of Applied Volcanology*, 4(15), 1–18. doi: 10.1186/s13617-015-0032-z.
17. Nikulina, I. V., Minervin, I. G., Melkiy, V. A., & Radchenko, A. V. (2020). Geoinformation biogeographic mapping of island ecosystems by remote sensing data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(1), 194–210 [in Russian].
18. Cherepanov, A. S. (2011). Vegetative indexes. *Geomatika [Geomatics]*, 2, 98–102 [in Russian].
19. Index Data Base (The IDB Project): A database for remote sensing indices. (n. d.). Retrieved from <https://www.indexdatabase.de/db/single.php?id=1>.
20. Nikitina, Y. G., & Olzoev B. N. (2017). Mapping of landscape structure of Olkhon island and Priolkhon region by multi-temporal satellite images Landsat. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(2), 103–119 [in Russian].

21. Rybin, A. V., Chibisova, M. V., Degte-
rev, A. V., & Guryanov, V. B. (2017). Volcanic
eruptions in the Kuril Islands during XXI century.
*Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN [Vestnik
of the Far East Branch of the Russian Academy of
Sciences]*, 1, 51–61 [in Russian].
22. Flerov, G. B., Ivanov, B. V., Andreev, V. N.
Budnikov, V. A., & Menyailov, I. A. (1982). The
material composition of the products of the eruption
of the Alaid volcano in 1981. *Vulkanologiya i sey-
smologiya [Journal of Volcanology and Seismolo-
gy]*, 6, 27–43 [in Russian].
23. Grishin, S. Yu. (2014). Outpouring of lava
flows on the Kuril Islands in XX and the beginning
of XXI centuries: scope and depth of ecosystem
changes. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo ob-
shchestva [Bulletin Russian Geographical Society]*,
146(6), 1–13 [in Russian].
24. Grishin, S. Yu., Yakovleva, A. N., &
Shlyakhov, S. A. (2009). Impact of the Alaid volca-
no eruption (Kuril Islands) in 1972 on ecosystems.
*Vulkanologiya i seysmologiya [Journal of Volcanol-
ogy and Seismology]*, 4, 30–43 [in Russian].
25. Grishin, S. Yu., Barkalov, V. Yu., Verho-
lat, V. P., Rashidov, V. A., Shlyakhov, S. A., & Ya-
kovleva, A. N. (2009). Vegetation and Soil cover of
the Atlasov Island (Kuril Islands). *Komarovskie cht-
eniya [Readings from Komarov]*, 56, 64–119 [in
Russian].
26. Rashidov, V. A., & Anikin, L. P. (2014).
Field work on the Alaid volcano (Atlasov Island,
Kuril Islands) in 2019. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o
Zemle [Bulletin of Kamchatka Regional Association
"Educational-Scientific Center". Earth Sciences]*,
2(24), 198–203 [in Russian].
27. Khrenov, A. P., Plate, A. N., Zaitsev, V. V.,
& Shkarin, V. E. (2001). Method of integrated use of
remote sensing data for assessing the scale of natural
disasters caused by volcanic eruptions. In *Sbornik
dokladov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii: Dis-
tantsionnoe zondirovanie zemnykh pokrovov i at-
mosfery aerokosmicheskimi sredstvami [Proceed-
ings of All-Russian Scientific Conferense. Remote
Sensing of the Earth's Surface and Atmosphere by
Aerospace Means]* (pp. 410–414). Murom: Murom
Institute of Higher Education Publ. [in Russian].
28. Verhoturov, A. A., & Melkiy, V. A. (2018).
Organization of monitoring and evaluation system
of the state of volcano-dangerous territories.
In *Sbornik materialov Natsional'noy nauchno-
prakticheskoy konferentsii: T. 2. Regulirovanie
zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy v Rossii:
pravovoe i geoprostranstv. obespechenie, otsenka
nedvizhimosti, ekologiya, tekhnologicheskie resheniya
[Proceedings of National Scientific and Practical Con-
ference: Vol. 2. Regulation of land and Property Rela-
tions in Russia: Legal and Geospatial. Software, Real
Estate Valuation, Ecology, Technological Solutions.]*
(167–172 pp.). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
29. Melky, V. A., & Verkhoturov, A. A. (2016).
Geoinformation and cartographic monitoring sup-
port for assessing the state of natural and technogen-
ic complexes of the Sakhalin region. *Geokontekst
[Geocontext]*, 4, 30–44 [in Russian].

Received 12.05.2020

© A. A. Verkhoturov, 2020