

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 551.422+551.435.36

<https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.3.351-358>

Изменение конфигурации береговой линии о. Райкоке после эксплозивного извержения 21–25 июня 2019 г. (центральные Курильские острова)

© 2020 Ф. А. Романюк*, А. В. Дегтерев

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия***E-mail: f.romanyuk2011@gmail.com*

Резюме. В сообщении, основанном на анализе спутниковых снимков, рассмотрены особенности изменения конфигурации береговой линии острова-вулкана Райкоке (центральные Курильские острова), вызванные сильным эксплозивным извержением 21–25 июня 2019 г. В результате аккумуляции по периферии постройки вулкана значительного количества материала пирокластических потоков и тefры, выброшенного в период активной фазы извержения, произошло резкое увеличение площади о. Райкоке на 0.53 км² (12.7 % от первоначальной площади). Сразу после окончания извержения под воздействием волновых процессов и вдольбереговых течений начался процесс разрушения новообразованных участков суши. Показано, что подобные циклические процессы являются типичными для островов-вулканов региона и определяют развитие береговой линии и облик прибрежной зоны в целом.

Ключевые слова: Курильские острова, извержение, Райкоке, вулкан, пирокластический материал, береговая зона, береговая линия

Для цитирования: Романюк Ф.А., Дегтерев А. В. Изменение конфигурации береговой линии о. Райкоке после эксплозивного извержения 21–25 июня 2019 г. (центральные Курильские острова). *Геосистемы переходных зон*, 2020, т. 4, № 3, с. 351–358. <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.3.351-358>

For citation: Romanyuk F.A., Degterev A.V. Transformation of the coastline of Raikoke Island after the explosive eruption on June 21–25, 2019 (Central Kuril Islands). *Geosistemy perhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2020, vol. 4, no. 3, pp. 351–358. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.3.351-358>

Transformation of the coastline of Raikoke Island after the explosive eruption on June 21–25, 2019 (Central Kuril Islands)

Fedor A. Romanyuk, Artem V. Degterev**Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia***E-mail: f.romanyuk2011@gmail.com*

Abstract. The report based on the analysis of satellite images considers the features of the changes in the configuration of the coastline of Raikoke island volcano (Middle Kuril Islands) caused by a strong explosive eruption on June 21–25, 2019. As a result of the accumulation of a significant amount of material from pyroclastic flows and tephra along the periphery of the volcanic edifice ejected during the active phase of the eruption, the area of Raikoke Island has sharply increased by 0.53 km² (12.7 % of the original area). Immediately after the end of the eruption, under the influence of wave processes and alongshore currents, the destruction process of newly formed land areas has begun. Such cyclic processes are shown to be typical for the volcanic islands of the region and determine the coastline development and the appearance of the coastal zone as a whole.

Keywords: Kuril Islands, eruption, Raikoke, volcano, pyroclastic material, coastal zone, coastline

Благодарности и финансирование

Авторы признательны рецензентам за ценные замечания и конструктивную критику, которые будут несомненно полезны и в дальнейшей работе по этой теме.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН Института морской геологии и геофизики ДВО РАН.

Введение

Большая часть центрального сектора Курильской островной дуги представлена относительно небольшими по площади (до 70 км²) островами, наименьшие из которых представляют собой отдельные острова-вулканы (о. Чиринкотан, о. Райкоке, о. Янкича – 3.5– 7 км²) [Ганзей и др., 2012] (рис. 1).

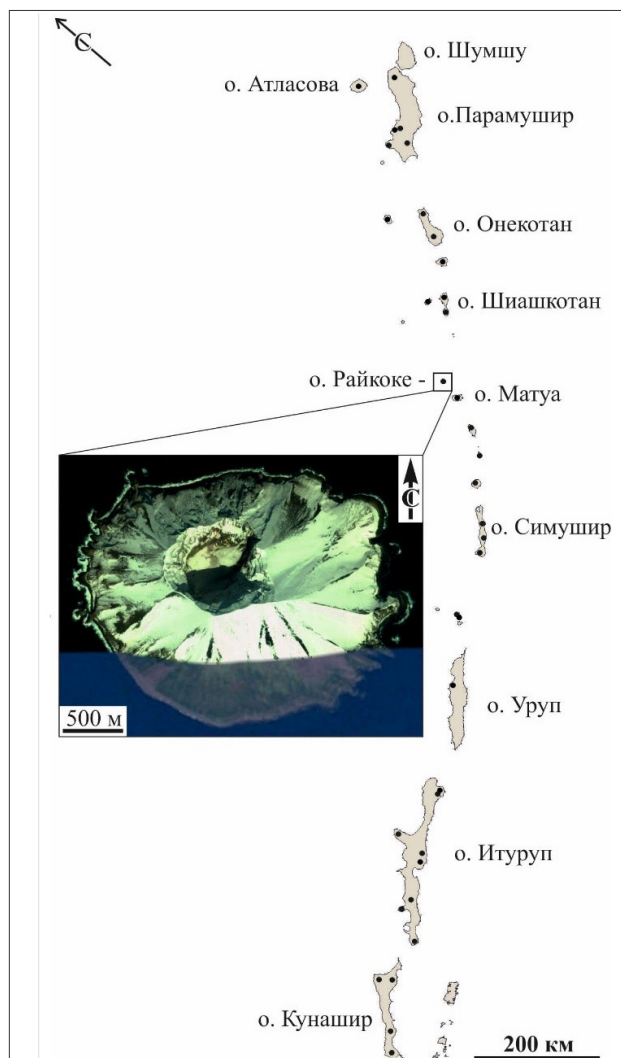


Рис. 1. Схема Курильской островной дуги. На врезке – спутниковый снимок о. Райкоке (ГИС Google Earth, www.earth.google.com).

Figure 1. Scheme of the Kuril island arc. The inset shows a satellite image of Raikoke Island (from GIS Google Earth, www.earth.google.com).

Геосистемы вулканических островов чрезвычайно динамичны [Беляев и др., 2019]: практически при каждом извержении в пределах ограниченной островной суши неизбежно происходит весьма существенная трансформация береговой зоны (изменение конфигурации береговой линии и увеличение площади островов), имеющая при этом стихийный характер – она может длиться от нескольких часов/дней при мощных эксплозивных извержениях и обвалах до нескольких недель/месяцев при эффузивных извержениях. Специфика процессов определяется главным образом силой, типом и продолжительностью эруптивного события (излияние лавы, отложения пирокластики, обрушение вулканических построек). Имея данные об исторических извержениях и увязывая их с наблюдаемыми сегодня эруптивными и береговыми процессами, можно с большей достоверностью моделировать миграцию эруптивного материала более древних событий. В связи с этим изучение динамики изменений береговой линии, происходящих вследствие аккумуляции изверженного материала, и его дальнейшего перераспределения для каждого отдельного извержения представляется актуальной задачей.

В настоящем сообщении представлены данные, характеризующие динамику изменения конфигурации береговой линии при мощном эксплозивном извержении влк. Райкоке (о. Райкоке, центральные Курилы) в июне 2019 г. Основу для выводов составляют спутниковые данные (Landsat, Sentinel). Для анализа зависимости между изменениями площади острова и степенью развития берегов был рассчитан коэффициент изрезанности береговой линии острова для всех ее исследуемых конфигураций. Показатель развития береговой линии (коэффициент изрезанности) рассчитывался по формуле из [Чеботарев, 1953]: $K = L / 2\pi R$, где L – длина береговой линии, а R – радиус круга, площадь которого равна площади озера.

Общие сведения о вулкане Райкоке

Остров-вулкан Райкоке (абс. выс. 551 м) – самый северный вулкан в группе центральных Курильских островов. Надводная часть его постройки представляет собой одиночный стратовулкан, вершина которого образована крупным кратером (≈ 760 м).

По данным [Авдейко и др., 1992], на глубине ~ 800 м влк. Райкоке сливается с основанием подводного вулкана 3.18 – таким образом, общая высота вулканической постройки превышает 1 350 м. Северо-восточный склон вулканического конуса покрыт отложениями относительно свежей, незадернованной пирокластике. Состав пород влк. Райкоке варьирует от базальтов до андезитов, с преобладанием вулканитов основного состава [Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989; Мартынов и др., 2015].

В 2010 г. вулканологическим отрядом Института морской геологии и геофизики ДВО РАН на влк. Райкоке проводились краткосрочные геолого-вулканологические работы и визуальные наблюдения за состоянием его активности. Было установлено, что вулкан в недавнем прошлом и в период наблюдений не проявлял каких-либо признаков активности: на склонах вулкана и в пределах кратерной зоны сформировался специфический орнитогенный ландшафт. Повсеместное распространение мест гнездования птиц, в том числе в кратере вулкана, указывало на отсутствие сольфатарной и эруптивной активности в последние годы [Левин и др., 2010].

Особенности извержения 21–25 июня 2019 г.

Мощное эксплозивное извержение влк. Райкоке началось без каких-либо предвестников: первый взрыв, зафиксированный VAAC Токио [Дегтерев, Чибисова, 2019; Рашидов и др., 2019], произошел 21 июня в 18:00 UTC (Coordinated Universal Time – всемирное координированное время, +11 к местному сахалинскому времени). Эруптивная колонна этого выброса уже через 20 мин имела высоту порядка 10 км над ур. м. После этого произошло еще пять выбросов на высоту от 10 до 13 км над ур. м. Всего в начальную фазу

извержения, продолжавшуюся ~ 4.5 ч, произошло 6 мощных эксплозий, сформировавших пепловую тучу площадью $\sim 19\,139$ км², которая распространялась преимущественно на восток. Сильный вулканический взрыв на высоту 13 км над ур. м., произошедший в 22:30 UTC, ознаменовал начало новой, более мощной фазы извержения, продолжавшейся порядка 3.5 ч [Дегтерев, Чибисова, 2019, 2020].

В течение этой фазы происходил непрерывный выброс пирокластического материала из кратера вулкана, формировались пирокластические потоки и гигантское пепловое облако. В 3:40 UTC и 5:30 UTC зафиксированы две последние сильные эксплозии с подъемом пепловой колонны до 13 км. До 09:00 UTC 22 июня вулкан проработал в режиме интенсивного выделения пепло-газовой смеси, после чего его активность постепенно начала снижаться. К 09:30–10:00 UTC пепловая туча достигла максимальной площади 227 941 км² (при длине ~ 1525 и ширине ~ 350 км). 23–25 июня наблюдалось спокойное выделение пепло-газовой смеси из центрального кратера на высоту 1.5–2 км над ур. м. 23 и 24 июня пепловый шлейф перемещался в основном в северо-западном направлении; 25 июня шлейф стало разворачивать циклоническим вихрем на северо-восток [Дегтерев, Чибисова, 2019, 2020].

Трансформация береговой зоны

До мощного извержения 21–25 июня 2019 г. площадь о. Райкоке, по спутниковым данным Landsat от 26.05.2019 г., составляла 4.17 км². В результате интенсивной эксплозивной активности влк. Райкоке в период с 21 по 22 июня 2019 г. произошло накопление пирокластического материала по периферии вулканической постройки и в прибрежной зоне острова (рис. 2, 3), приведшее к изменению рисунка береговой линии и увеличению площади островной суши: по состоянию на 13.07.2019 г. площадь о. Райкоке достигала 4.7 км², увеличившись таким образом на 0.53 км² (12.7 %) (рис. 4). В последующие месяцы начался обратный процесс: под воздействием волновых процессов и вдольбереговых течений происходило раз-

рушение новообразованных участков суши и переотложение накопленной пироклаستي-ки (рис. 3). По состоянию на 26.10.2019 г. площадь о. Райкоке составляла 4.63 км² (прирост – 0.46 км² (11.2 %)). При этом рисунок береговой линии заметно изменился: образовавшиеся непосредственно после извержения конусы выноса в южной части острова, имевшие характерную лопастную форму, были существенно сглажены, очертания берегов стали менее изрезанными (рис. 3). С приростом суши существенным образом уменьшился коэффициент изрезанности (рис. 5): до извержения он составлял около 1.43, тогда как через две недели его величина едва доходила до 1.15. В дальнейшем сокращение суши сопровождалось также снижением коэффициента (до 1.14), что связано с перераспределением пирокластического материала вдоль береговой линии.

В осенне-зимний период интенсивность сокращения площади острова несколько увеличилась, что было обусловлено сезонно-климатическими факторами: усилением циклонической активности и, соответственно, интенсификацией волнового режима. В холодную часть года (октябрь–апрель) на Северных Курилах повторяемость сильных

и штормовых ветров может доходить до 15 дней в месяц [Атлас Курильских... , 2009]). По спутниковым данным Landsat от 05.01.2020 г., площадь о. Райкоке сократилась до 4.45 км² – таким образом, площадь новообразованной суши уменьшилась почти в два раза – до 0.29 км² (6.9 %). Значение коэффициента изрезанности к концу наблюдаемого периода составило 1.18. Имевшиеся неоднородности в очертании береговой линии были еще больше сглажены. Новообразованным материалом остались заполнены узкие бухточки на западе и востоке острова, аккумулировавшийся в них материал оказался в своеобразной ловушке. На северном и южном побережье сохранились сплошные протяженные участки пирокластических пляжей, из-за отсутствия препятствий для движения наносов материал здесь отложился более равномерно.

Наиболее значимые изменения конфигурации береговой линии произошли в весенний период. Вероятно, в связи с потеплением и сходом талых вод со склонов постройки усилился вынос пирокластического материала и перенос его омывающим остров течением с восточного побережья на юго-западное,



Рис. 2. Участки новообразованной суши о. Райкоке. Июнь 2019 г. Фото Н.Н. Павлова

Figure 2. The areas of newly formed land of Raikoke Island. June, 2019. Photo by N.N. Pavlov

что привело к росту площади островной суши и формированию к середине апреля 2020 г. языка пляжа шириной до 120 м. При этом прирост площади по сравнению с состоянием на 26.05.2019 г. составлял уже 0.34 км² (8,2 %), а коэффициент изрезанно-

сти береговой линии уменьшился до 1.16. К концу мая ширина пляжа выросла еще на 20 м, а общая площадь новообразованной суши составила 0,37 км² (9 %) (рис. 4, 5). Степень развития берегов осталась практически неизменной.

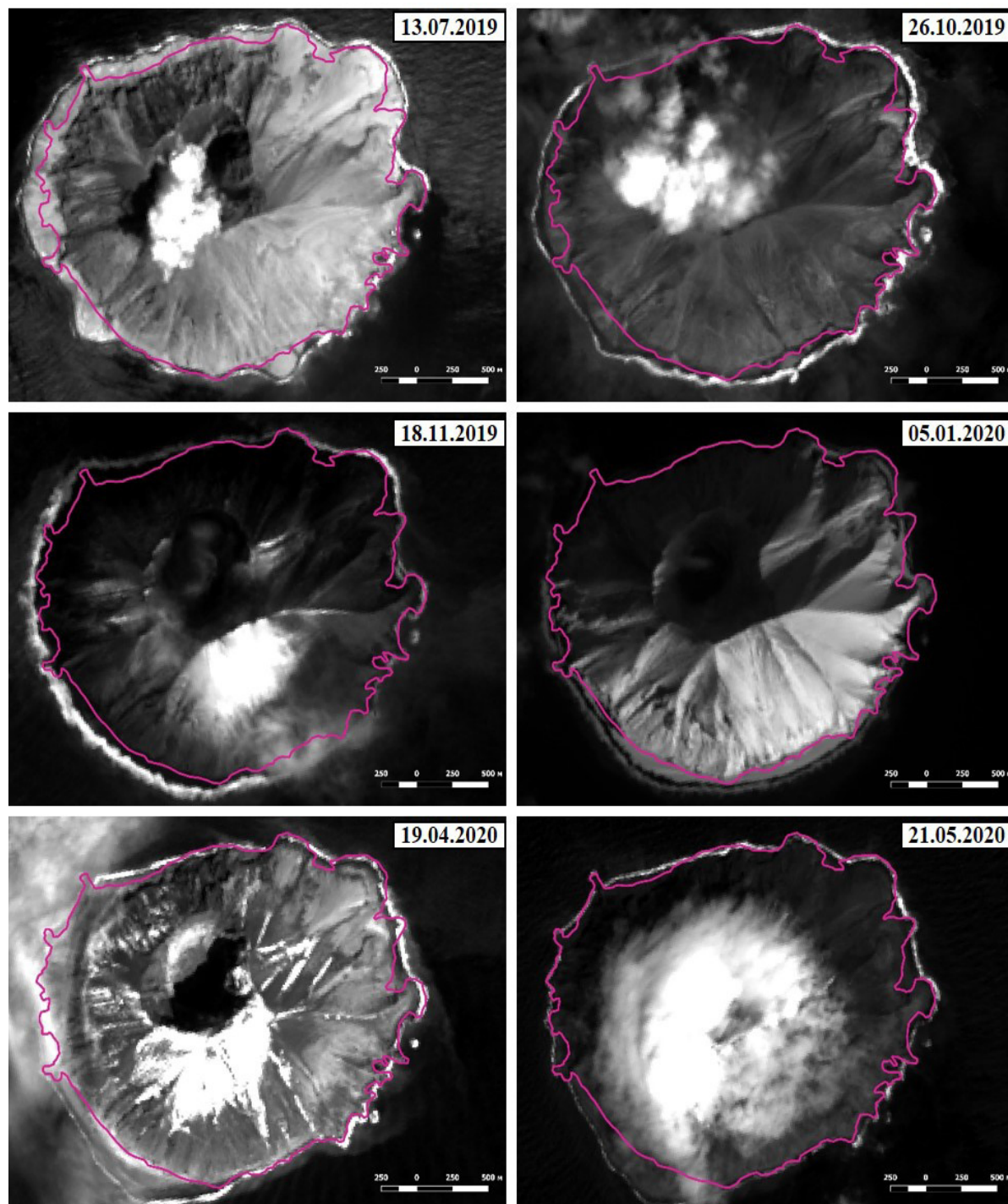


Рис. 3. Картографические изображения изменений положения береговой линии о. Райкоке во времени. Сплошной линией показано положение береговой линии на 26.05.2019. Дата съемки указана на рисунке.

Figure 3. Cartographic images of changes in the position of the coastline of the Raikoke Island in time. The solid line shows the position of the coastline at the time of 26.05.2019. The shooting date is shown in the picture.

На сегодняшний день это последнее состояние береговой линии, которое удалось изучить дистанционными методами: анализ данных дистанционного зондирования показал, что летом 2020 г. о. Райкоке был полностью или значительно скрыт высокой облачностью. Можно предположить, что в будущем будет происходить дальнейшее уменьшение площади островной суши до тех пор, пока система не достигнет равновесного состояния. Аналогичная картина наблюдалась и при мощном эксплозивно-эффузивном извержении влк. Пик Сарычева в июне 2009 г. [Левин и др., 2009; Левин и др., 2010]. В целом, для небольших островов и островов-вулканов это характерные рельефообразующие процессы, формирующие их современный геоморфологический облик.

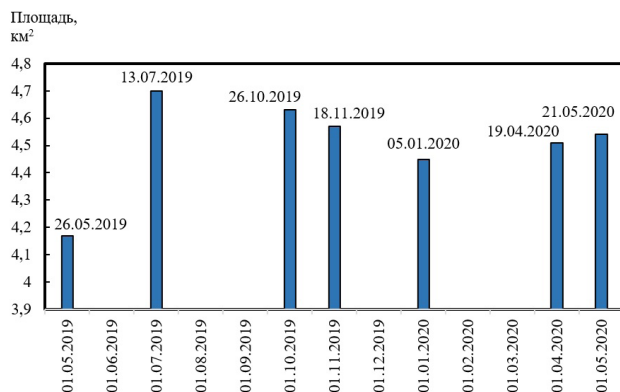


Рис. 4. График изменения площади о. Райкоке после извержения 21–25 июня 2019 г. (использованы данные с 26.05.2019 по 21.05.2020 гг.).

Figure 4. The diagram of the changes in the area of Raikoke Island after the eruption on June 21–25, 2019. (data from 26.05.2019 to 21.05.2020).

Заключение

Геосистемы береговых зон, располагаясь на границе суши и моря, отличаются высокой динамичностью протекающих здесь процессов, обусловленных активным взаимодействием различных географических оболочек и высокой концентрацией вещества и энергии. На небольших вулканических островах, в том числе островах-вулканах, расположенных в регионах проявления активной вулканической деятельности, интенсивность этих процессов многократно возрастает. В частности, как было показано на примере извержения влк. Райкоке в июне 2019 г., за счет резкого поступления большого количества свежего вулканического материала происходит экстремально быстрое формирование новой суши, трансформируется прибрежный рельеф и конфигурация береговой линии. Непосредственно после окончания активной фазы извержения под воздействием прибойных волн и вдольбереговых течений начинается разрушение новообразованных участков суши, перераспределение и сортировка наносов. Этот процесс может занимать несколько месяцев или лет, иметь при этом периоды интенсификации, обусловленные сезонно-климатическими особенностями (циклоническая активность). Таким образом, подобные циклические процессы (в совокупности с геодинамической и тектонической активностью, которые сознательно не рассматриваются в контексте настоящего сообщения) и формируют в конечном итоге современный природный облик островов-вулканов:

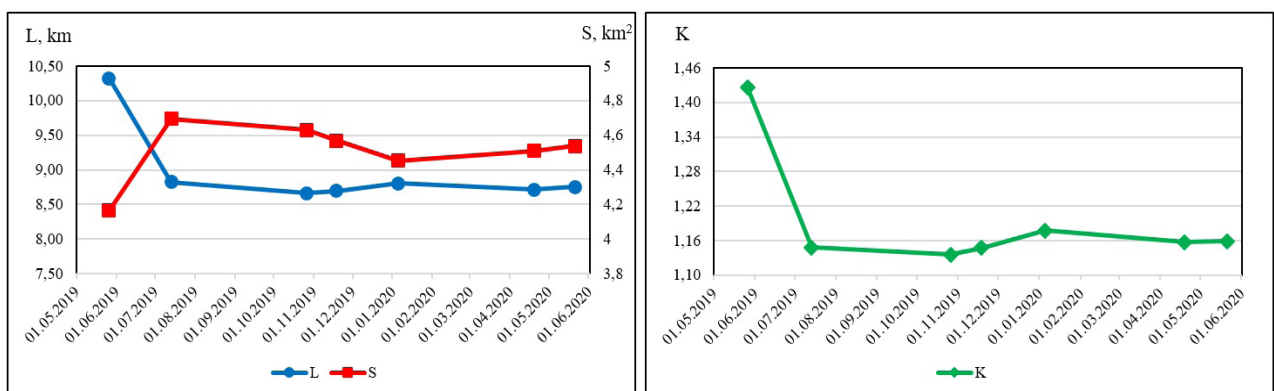


Рис. 5. График динамик длины береговой линии (L, км), площади острова (S, км²) и развития береговой линии (K) о. Райкоке за 26.05.2019 – 21.05.2020 г.

Figure 5. The diagrams of the dynamics of the coastline length (L, km), island area (S, km²) and the coastline development (K) of Raikoke Island for the period 26.05.2019 – 21.05.2020.

периодическое поступление вулканического материала (лавового или пирокластического) и переработка его морскими процессами.

Статистические данные, в частности отрицательная корреляция коэффициента изрезанности береговой линии со значениями площади островной суши, обнаружили типичную картину изменения морфологических показателей. В то же время меняющийся вектор динамики островной суши показал, что облика, близкого к первоначальному, конфигурация берегов о. Райкоке может достигнуть как к концу 2020 г. (при линейном течении процессов абразии без привноса дополнительных объемов материала), так

и по истечении нескольких последующих лет, что при условии отсутствия активности вулкана зависит в основном от интенсивности волновых процессов и длительности штормов – в особенности в осенне-зимний период. Поскольку прогнозировать темпы эрозии береговых отложений островной суши весьма сложно, планируются дальнейшие наблюдения за трансформацией береговой зоны острова с целью изучения особенностей динамики изверженной пирокластики на границе вода–суша и особенностей формирования берегов в ходе эруптивной деятельности в целом.

Список литературы

1. Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Вольнец О.Н. и др. **1992**. *Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги*. М.: Наука, 528 с.
2. *Атлас Курильских островов*. **2009**. Москва; Владивосток: ДИК, 515 с.
3. Беляев Ю.Р., Луговой Н.Н., Бредихин А.В. **2019**. Типы берегов острова Матуа (Центральные Курильские острова). *Вестник Московского университета. Серия 5, География*, 3: 106–113.
4. Ганзей К.С., Иванов А.Н. **2012**. Ландшафтное разнообразие Курильских островов. *География и природные ресурсы*, 2: 87–94.
5. Горшков Г.С. **1967**. *Вулканизм Курильской островной дуги*. М.: Наука, 288 с.
6. Дегтерев А.В., Чибисова М.В. **2019**. Извержение вулкана Райкоке в июне 2019 г. (о. Райкоке, центральные Курильские острова). *Геосистемы переходных зон*, 3(3): 304–309. doi:10.30730/2541-8912.2019.3.3.304-309
7. Дегтерев А.В., Чибисова М.В. **2020**. Вулканическая активность на Курильских островах в 2019 г. *Геосистемы переходных зон*, 4 (1): 93–102. doi:10.30730/2541-8912.2020.4.1.093-102
8. Левин Б.В., Рыбин А.В., Разжигаева Н.Г., Василенко Н.Ф., Фролов Д.И., Майор А.Ю., Салюк П.А., Жарков Р.В., Прытков А.С., Козлов Д.Н. и др. **2009**. Комплексная экспедиция «Вулкан Сарычева – 2009» (Курильские острова). *Вестник ДВО РАН*, 6: 98–104. (In Russ.).
9. Левин Б.В., Рыбин А.В., Мелекесцев И.В. **2010**. Земля русская приросла после недавних событий в Сахалинской области. *Вестник РАН*, 80 (1): 40–44. <https://doi.org/10.1134/s1019331610010053>
10. Мартынов Ю.А., Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Остапенко Д.С., Мартынов А.Ю. **2015**. Геохимическая эволюция вулканизма о. Матуа (Центральные Курилы). *Тихоокеанская геология*, 34(1): 13–33.
11. Рашидов В.А., Гирина О.А., Озеров А.Ю., Павлов Н.Н. **2019**. Извержение вулкана Райкоке (Курильские острова) в июне 2019 г. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 42 (2): 5–8. doi:10.31431/1816-5524-2019-2-42-5-8
12. Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. **1989**. *Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис*. М.: Наука, 237 с.
13. Чеботарев А.И. **1953**. *Гидрология суши и расчеты речного стока*. Л.: Гидрометеиздат, 564 с.

References

1. Avdeyko G.P., Antonov A.Yu., Volynets O.N. et al. **1992**. *Podvodnyy vulkanizm i zonal'nost' Kuril'skoy ostrovnoy dugi [Undersea volcanism and zonality of the Kuril island arc]*. Moscow: Nauka, 528 p.
2. *Atlas Kuril'skikh ostrovov [Atlas of the Kuril Islands]*. **2009**. Moscow; Vladivostok: DIK, 515 p.
3. Belyaev Y.R., Lugovoy N.N., Bredikhin A.V. **2019**. Types of coasts of the Matua Island (Central Kuril Isles). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, 3: 106–113.
4. Ganzei K.S., Ivanov A.N. **2012**. Landscape diversity of the Kuril Islands. *Geography and Natural Resources*, 33(2): 142–148. <https://doi.org/10.1134/s1875372812020072>
5. Gorshkov G.S. **1967**. *Vulkanizm Kuril'skoy ostrovnoy dugi [Volcanism of the Kuril island arc]*. Moscow: Nauka, 288 p.

6. Degterev A.V., Chibisova M.V. **2019**. The eruption of Raikoke volcano in June of 2019 (Raikoke Island, Central Kuril Islands). *Geosistemy perexodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 3(3): 304–309. (In Russ.). doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.3.304-309
7. Degterev A.V., Chibisova M.V. **2020**. The volcanic activity at the Kuril Islands in 2019. *Geosistemy perexodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 4 (1): 93–102. (In Russ.).
https://doi.org/10.30730/2541-8912.2020.4.1.093-102
8. Levin B.V., Rybin A.V., Razzhigaeva N.G., Vasilenko N.F., Frolov D.I., Mayor A.Yu., Salyuk P.A., Zharkov R.V., Prytkov A.S., Kozlov D.N. et al. **2009**. [Kompleksnaya ekspeditsiya «Vulkan Sarycheva – 2009» (Kuril'skie ostrova)] [“Sarychev volcano – 2009” complex expedition (Kuril Islands)]. *Vestnik DVO RAN = Vestnik of the FEB RAS*, 6: 98–104. (In Russ.).
9. Levin B.V., Rybin A.V., Melekestsev I.V. **2010**. Russian land expanded after recent events in Sakhalin Oblast. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 80(1): 42–46. https://doi.org/10.1134/s1019331610010053
10. Martynov Yu.A., Rybin A.V., Degterev A.V., Ostapenko D.C., Martynov A.Yu. **2015**. Geochemical evolution of volcanism of Matua Island in the Central Kurils. *Russian J. of Pacific Geology*, 9(1): 11–21. doi:10.1134/s1819714015010042
11. Rashidov V.A., Girina O.A., Ozerov A.Yu., Pavlov N.N. **2019**. The June 2019. Eruption of Raikoke Volcano (The Kurile Islands). *Vestnik KRAUNTs. Seriya Nauki o Zemle = Bull. of KRAESC. Earth Sciences*, 42 (2): 5–8. (In Russ.). doi:10.31431/1816-5524-2019-2-42-5-8
12. Fedorchenko V.I., Abdurakhmanov A.I., Rodionova R.I. **1989**. *Vulkanizm Kuril'skoy ostrovnnoy dugi: geologiya i petrogenезis [Volcanism of the Kuril island arc: geology and petrogenesis]*. Moscow: Nauka, 237 p.
13. Chebotarev A.I. **1953**. *Gidrologiya sushy i raschety rechnogo stoka [Hydrology of land and estimations of river runoff]*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 564 p.

Об авторах

РОМАНИЮК Федор Александрович (ORCID: 0000-0003-1581-1503), младший научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулcanoопасности, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, f.romanyuk2011@gmail.com

ДЕГТЕРЕВ Артем Владимирович (ORCID: 0000-0001-8291-2289), кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулcanoопасности, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, d_a88@mail.ru