

9. Кунгурова В.Е., Трухин Ю.П., Степанов В.А. Сравнительный анализ микрозондовых исследований главных сульфидных минералов руд Камчатской никеленосной провинции // Горно-информационный аналитический бюллетень. М.: ЗАО «Горная книга». 2017. Отдельный выпуск № 32. «Камчатка-5». С. 66–82.

References

1. Kremeneckij A.A., Truhin Yu.P. Otchet «Provedenie kompleksa работ, svyazannyh s geologicheskim izucheniem platinovo-medno-nikelevykh rud v yuzhnoy chasti Dukuskogo nikelenosnogo rudnogo uzla Kvinum-Kuvalorogskoy zony». 2003. T. I. 331 p.
2. Sidorenko V.I., Selivanov M.T. Legenda Hangarskoy serii listov Gosudarstvennoy geologicheskoy karty Rossijskoy Federacii masshtaba 1: 200 000 (izdanie vtoroe). // Ob"yasnitel'naya zapiska. KPSEH GGP «Kamchatgeologiya», 1998, inv. № 6015.
3. Truhin Yu.P., Stepanov V.A., Sidorov M.D. In Kamchatka Nickel provincia, DOKL. T. 418. N. 6. 2008. P. 802-805.
4. Truhin Yu.P., Stepanov V.A., Sidorov M.D., Kungurova V.E. Shanuchskoe medno-nikelevoe mestorozhdenie: geologo-geofizicheskaya model', sostav i geohimiya rud // Rudy i metally. 2009. № 5. P. 75–81.
5. Selyangin O.B. K sravnitel'noj petrologii intruzivov severnoy i yuzhnoy zon Kamchatskoy nikelenosnoy provincii. Chast' 1 // Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle. 2014. № 1, vypusk 23. P. 168–185.
6. Mineraly. Spravochnik. T. I. M.: AN SSSR. 1960. 617 p.
7. Spravochnik: Opredelitel' rudnykh mineralov v otrazhennom svete. M.: Nedra. 1988. 504 p.
8. Kungurova V.E., Truhin Yu.P., Stepanov V.A., Novakov R.M. Mineral'nye raznovidnosti razlichnykh tipov medno-nikelevykh rud Kamchatskoy nikelenosnoy provincii // Gorno-informacionnyy analiticheskij byulleten'. M.: ZAO «Gornaya kniga». 2017. Otdel'nyy vypusk № 32. «Kamchatka-5». P. 49–65.
9. Kungurova V.E., Truhin Yu.P., Stepanov V.A. Sravnitel'nyy analiz mikrozonovykh issledovaniy glavnykh sulfidnykh mineralov rud Kamchatskoy nikelenosnoy provincii // Gorno-informacionnyy analiticheskij byulleten'. M.: ZAO «Gornaya kniga». 2017. Otdel'nyy vypusk № 32. «Kamchatka-5». P. 66–82.

ЧАСТОТА ПЕПЛОПАДОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА ИТУРУП (ЮЖНЫЕ КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) В ГОЛОЦЕНЕ: ПО ДАННЫМ РАДИОУГЛЕРОДНОГО ДАТИРОВАНИЯ ТОРФЯНИКА В РАЙОНЕ ОЗЕРА ГНИЛОЕ

Дегтерев Артем Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Российская Федерация, Сахалинская обл., г. Южно-Сахалинск, ул. Науки 1Б, e-mail: d_a88@mail.ru

Рыбин Александр Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Российская Федерация, Сахалинская обл., г. Южно-Сахалинск, ул. Науки 1Б

Петров Алексей Юрьевич, инженер, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Российская Федерация, Ленинградская обл., г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7–9 г.

Представлены результаты тефрохронологических исследований и радиоуглеродного датирования, выполненных для разреза торфяника в районе оз. Гнилое (центральная часть о. Итуруп, Южные Курилы). Всего было идентифицировано 25 визуально различимых прослоев тефры, отложившихся за последние 12620±120 кал.лет (общая частота пеплопадов - 1 за 500 лет). Изучение распределения вулканических событий во времени выявляет увеличение их частоты, начиная со среднего до позднего голоцена. Полученные данные могут быть в дальнейшем использованы при оценке вулканической опасности территории о. Итуруп.

Ключевые слова: Курильские острова, Итуруп, торфяник, тефра, радиоуглеродное датирование

FREQUENCY OF ASHFALL IN THE CENTRAL PART OF ITURUP ISLAND (SOUTHERN KURILES) DURING THE HOLOCENE: ON THE BASIS RADIOCARBON DATING OF PEAT GNILOE LAKE

Degterev Artem V., C.Sc. in Geology and Mineralogy, Senior Researcher, Institute of Marine Geology and Geophysics Far East Branch Russian Academy of Sciences, 1B Nauki st., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin Region, 693022, Russian Federation, e-mail: d_a88@mail.ru

Rybin Alexander V., C.Sc. in Geology and Mineralogy, Leading Researcher, Institute of Marine Geology and Geophysics Far East Branch Russian Academy of Sciences, 1B Nauki st., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin Region, 693022, Russian Federation, e-mail: d_a88@mail.ru

Petrov Alexey Yurievich, Engineer, Saint Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya naberezhnaya, Saint Petersburg, Leningrad Region, 199034, Russian Federation

The results of tephrochronological studies and radiocarbon dating of the vertical section of a peat bog of the Gniloe lake are presented (the central part of the Iturup Isl., Southern Kuriles). Altogether, 25 visually discernible interlayers of tephra deposited over the last $12,620 \pm 120$ cal. BP were identified (the total frequency of ash falls was 1 in 500 years). A study of the distribution of volcanic events in time reveals an increase in their frequency, beginning with the middle to late Holocene. The data obtained can be used in future to estimate the volcanic hazard of the territory of Iturup Island.

Keywords: Kuril Islands, Iturup, peat bog, tephra, radiocarbon dating

Торфяники для целей тейфрохронологических исследований представляют собой практически идеальный «архив», надежно фиксирующий даже относительно слабые проявления вулканической активности. Постоянно поступающий органический субстрат обеспечивает благоприятные условия для консервации пепловых отложений и, вместе с тем, дает возможность осуществлять их датирование (радиоуглеродным методом), что позволяет определить абсолютный возраст и таким образом воссоздать летопись вулканических извержений за период от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч лет. Возможности использования торфяников в практике тейфрохронологических исследований ограничиваются лишь малой площадью их распространения, по сравнению с отложениями почвенно-пирокластического чехла, которые выступают основным объектом исследования при проведении палеовулканологических реконструкций на активных вулканах (Брайцева и др., 1978; Мелекесцев и др., 1969; Карпачевский и др., 2009; Разжигаева, Ганзей, 2006; Plunkett et al., 2015; Ponomareva et al., 2013; Razjigaeva et al., 2008; Razzhigaeva et al., 2016; Sakhno et al., 2010).

Общие сведения о районе работ. Остров Итуруп (рис. 1), являющийся самым крупным островом Курильской дуги (3200 км²), характеризуется максимальным количеством и разнообразием вулканических форм рельефа различных генетических типов, которые свидетельствуют о сложной и длительной истории вулканизма этого района. В тоже время, являясь одним из наиболее интересных и перспективных районов для проведения разноплановых вулканических исследований, о. Итуруп остается практически не изученным в отношении плейстоцено-голоценового вулканизма. Помимо чисто фундаментальной проблематики, исследования в этом направлении имеют важную практическую значимость, связанную с необходимостью оценки вулканической опасности. Итуруп является единственным населенным островом Курильского административного района (за исключение временных поселений золотодобытчиков и маячников о. Уруп): общая численность населения острова, по данным на 01.01.2018 г., составляет 6.4 тыс. чел. (Муниципальное образование..., 2018). Важно и то, что в настоящее время идет активное освоение Южных Курил, подразумевающее создание новых дорогостоящих объектов инфраструктуры и хозяйства.

В настоящем сообщении представлены результаты тейфрохронологических исследований и радиоуглеродного датирования, выполненных для разреза торфяника, расположенного в районе оз. Гнилое (центральная часть о. Итуруп) (рис. 1, 2). Важно отметить, что все населенные пункты острова (г. Курильск, с. Китовое, с. Рыбаки, с. Буревестник, с. Горное, с. Горячие Ключи, с. Рейдово) с объектами инфраструктуры и хозяйства (аэропорт, порты, рыбоперерабатывающие заводы и пр.) также локализованы в пределах центральной части острова.

В связи с этим, учитывая значительную площадь и протяженность секторов пеплопадов даже при слабых и умеренных извержениях, полученные данные могут быть в дальнейшем использованы при оценке вулканической опасности территории и составлении соответствующих карт вулканического районирования. Вопросы диагностики пепловых прослоев в рамках данной работы намеренно не рассматриваются, ввиду недостатка фактического материала, в будущем этому будет посвящено отдельное исследование.

Материалы и методы. Материалы, положенные в основу настоящей статьи, были получены в ходе полевых работ 2014 и 2018 гг. Радиоуглеродное датирование выполнено в Институте наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета. В качестве материала для радиоуглеродного анализа использовался торф. Для пересчета радиоуглеродных дат в

календарные применялась калибровочная программа «OxCal» 4.2. (калибровочная кривая «IntCal 13» (Bronk Ramsey, 1995; 2008; Bronk Ramsey, Lee, 2013; OxCal, 2014) (табл.).



Рис. 1. Схема района работ

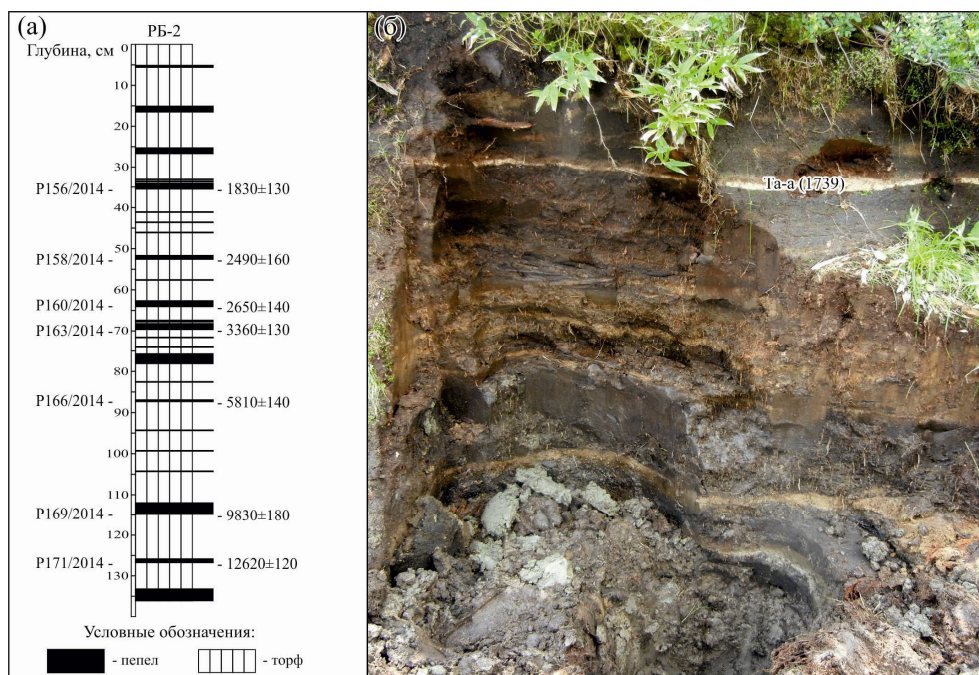


Рис. 2. Разрез торфяника РБ-2: схематическое изображение (а) и фото (б). Фото А.В. Рыбина

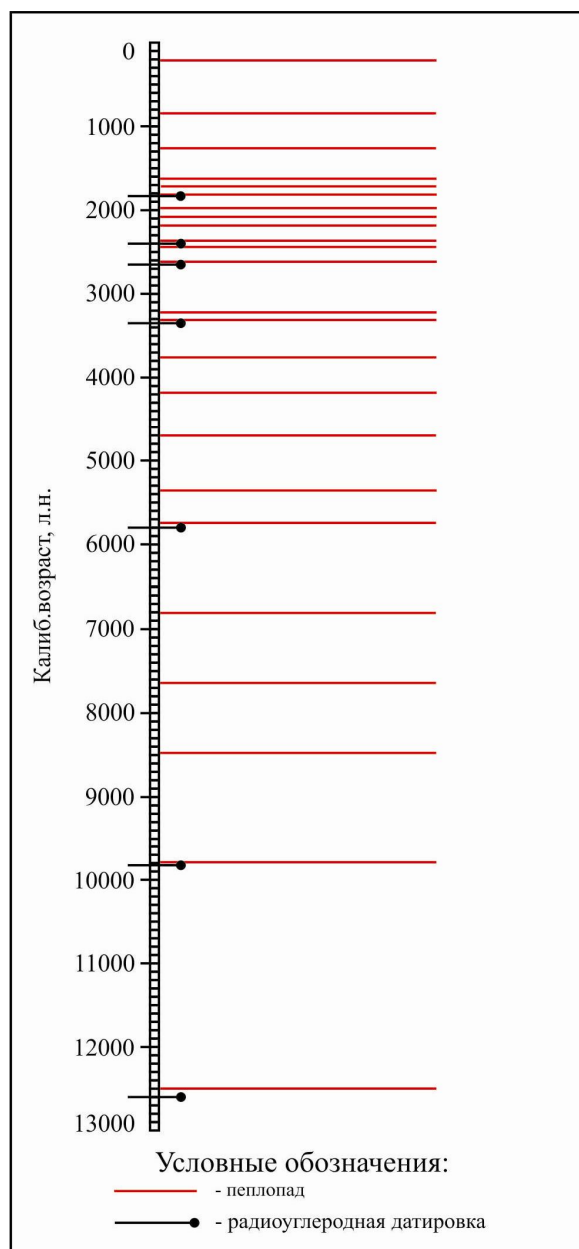


Рис. 3. Хронология эксплозивных извержений по данным радиоуглеродного датирования торфяника РБ-2.
Условные обозначения: 1 – вулканические извержения, 2 – датировки (калиброванные значения)

Таблица

Результаты радиоуглеродного датирования торфяника РБ-2
(район оз. Гнилое, центральная часть о. Итуруп)

Лаб. номер	Описание	Радиоуглеродный возраст, лет	Калиброванный возраст (календарный), кал. лет
ЛУ-7810	P156 / 2014, Торф	1890 ± 110	1830 ± 130
ЛУ-7812	P158 / 2014, Торф	2410 ± 130	2490 ± 160
ЛУ-7821	P160 / 2014, Торф	2590 ± 100	2650 ± 140
ЛУ-7822	P163 / 2014, Торф	3150 ± 100	3360 ± 130
ЛУ-7825	P166 / 2014, Торф	5050 ± 130	5810 ± 140
ЛУ-7837	P169 / 2014, Торф	8760 ± 110	9830 ± 180
ЛУ-7838	P171 / 2014, Торф	10710 ± 120	12620 ± 120

Примечание: значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы «OxCal 4.2», калибровочная кривая «IntCal 13» (Bronk Ramsey, 1995; 2008; Bronk Ramsey, Lee, 2013; OxCal, 2014). Радиоуглеродное датирование выполнено на факультете географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета.

Результаты и обсуждение. С целью получения данных о повторяемости голоценовых пеплопадов в центральной части о. Итуруп был изучен разрез (зачистка в бровке дороги) торфяника, расположенный в районе оз. Гнилое. Общая мощность разреза, вмещающего около 25 отдельных визуально различных прослоев тефры, составила ~1,35 м (рис. 2). Представлены они преимущественно тонкими вулканическими пеплами желтовато-серого цвета мощностью от 0,3–0,5 до 2–5 см. Для установления возраста и рассмотрения характера интенсивности эксплозивных событий во времени для разреза был получен ряд радиоуглеродных датировок (таблица). Кроме того, для оценки возраста было использовано моделирование осадконакопления торфа с использованием модели «глубина – возраст» (Bronk Ramsey, 2008).

Дата, полученная из отложений торфа, залегающих в основании разреза соответствует концу верхнего плейстоцена - 12620 ± 120 кал. лет. Исходя из этого, общая частота извержений за весь период составляла 1 событие в 500 лет. Рассмотрение характера распределения вулканических событий во времени (рис. 3) показывает, что во второй половине голоцена интенсивность эруптивной активности была в несколько раз выше: в течение последних 5810 ± 140 кал. лет средняя частота извержений составляла 1 событие в 305 лет, в то время как в период с 5810 ± 140 по 12620 ± 120 кал. л.н. 1 событие в 1135 лет.

На вторую половину голоцена приходится 19 из 25 голоценовых извержений, при этом 14 из них произошло за последние 3360 ± 130 кал. лет. Следует отметить, что в разрезах почвенно-пирокластического чехла, изученного в районе пгт. Курильск, с. Рейдово и с. Рыбаки (рис. 4) было обнаружено существенно меньшее количество слоев тефры, что, по-видимому, обусловлено менее благоприятными условиями захоронения пепловых отложений. Основными источниками пеплового материала были, вероятно, вулканы хребта Грозного – Иван Грозный и Баранского – они расположены на удалении 16 и 6 км от изученного разреза, соответственно (рис. 1) и, кроме того, характеризуются относительно высоким уровнем современной активности.

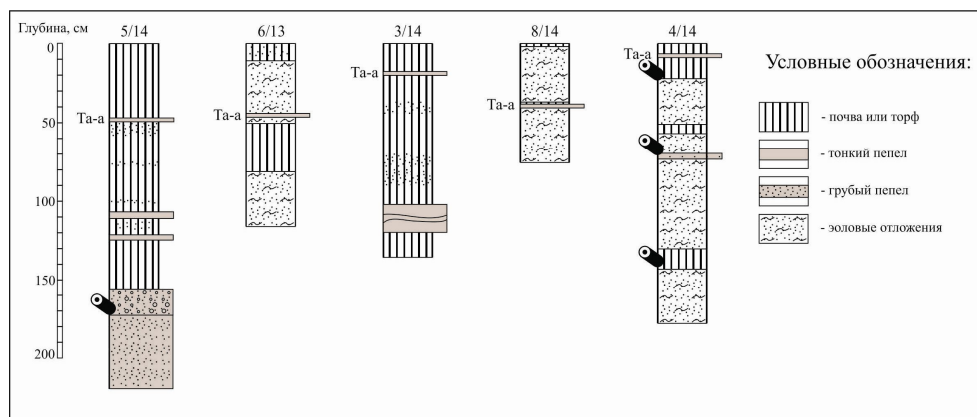


Рис. 4. Разрезы почвенно-пирокластического чехла центральной части о. Итуруп (местоположение разрезов отмечено на рис. 1)

В верхней (верхнеголоценовой) части торфяника диагностирован пепловый прослой, связанный с удаленным источником. Данный пепел, представленный светло-серым, бежевым алевритом мощностью ~0,5 см (до 1–1,5 см), встречается в большинстве разрезов почвенно-пирокластического чехла о. Итуруп. Его возраст, по данным радиоуглеродного датирования подстилающей почвы (разрез 8 / 14, район п. Рейдово) составляет 200 кал.лет (Дегтерев и др., 2014) (рис. 5 а–в). Его источником, предположительно, является вулкан Тарумай, расположенный в 600 км к юго-западу, на о. Хоккайдо (Япония) (Razzhigaeva et al., 2016). В 1739 г. произошло мощное плинианское извержение этого вулкана, при этом в зону пеплопадов попали Малая Курильская гряда и Южные Курильские острова (Furukawa et al., 2010; Nakagawa et al., 2002; Nakagawa et al., 2011). Ранее данный пепловый прослой (индекс Та-а) был идентифицирован на островах Малой Курильской гряды и на о. Кунашир (Nakagawa et al., 2002; Razzhigaeva

et al., 2008). Его характерные диагностические признаки (гранулометрический состав, цвет, стратиграфическое положение и пр.) позволяют рассматривать пепел Та-а в качестве маркирующего прослоя для верхнеголоценовых отложений о. Итуруп.

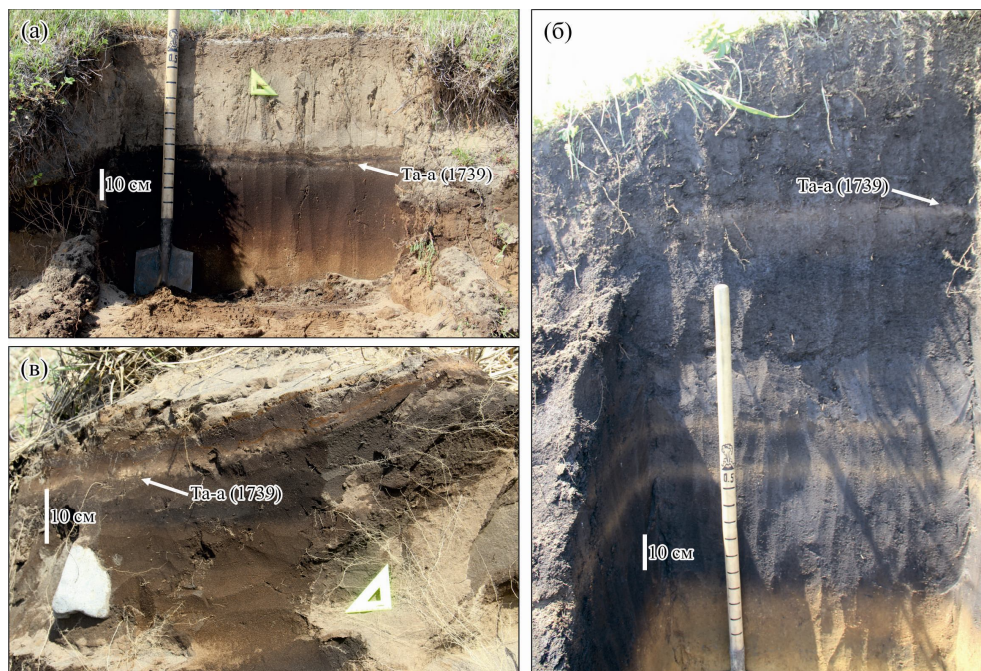


Рис. 5. Горизонт транзитного пепла (предположительно пепел Та-а, 1739) в разрезах почвенно-пирокластического чехла центральной части о. Итуруп: а – разрез 8/14, б – разрез 5/14, в – 4/14. Местоположение разрезов отмечено на рис. 1

Заключение. На основании проведенных тейфростратиграфических исследований и радиоуглеродного датирования торфяника, расположенного в районе оз. Гнилое, был определен возраст, оценена частота и интенсивность голоценовых пеплопадов на территории центральной части о. Итуруп. Полученные данные указывают на увеличение их частоты, начиная со среднего до позднего голоцена. Вместе с тем ни в отложениях торфяников, ни в отложениях почвенно-пирокластического чехла не было выявлено мощных горизонтов тейфры, что указывает в целом на относительно небольшую силу и интенсивность палеопеплопадов в пределах исследуемого участка на протяжении голоцена.

В будущем принципиально важно провести в данном районе специальные вулканологические исследования, которые позволят составить долгосрочный прогноз активности и объективно оценить вулканическую опасность. Эти данные в обязательном порядке должны учитываться при дальнейшем хозяйственном освоении острова.

Авторы выражают признательность д.г.н. Н.Г. Разжигеевой за ряд ценных замечаний по содержанию рукописи, а также своим коллегам из лаборатории вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН за помощь в проведении полевых работ на о. Итуруп. Исследования поддержаны грантами Правительства Сахалинской области для молодых ученых в 2014 г., ДВО РАН (№ 16-I-1-039 э) и РФФИ (№ 16-35-00138 мол_а, 18-05-00041 А, 18-05-00819, 18-04-00098\18).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМГиГ ДВО РАН при поддержке грантов РФФИ № 18-05-00041 А, № 18-05-00819.

Список литературы

- Брайцева О. А., Егорова И. А., Несмачный И. А., Селянгин О. Б., Сулержицкий Л. Д. Тейфрохронологические исследования как метод изучения закономерностей циклического развития вулкана // Бюл. вулканол.ст. 1978. № 54. С.41-53.
- Мелекесцев И.В., Краевая Т.С., Брайцева О.А. Почвенно-пирокластический чехол и его значение для тейфрохронологии на Камчатке // Вулканические фации Камчатки. М., 1969. С.61-71.

3. Муниципальное образование «Курильский городской округ» (Электронный ресурс) // Официальный сайт Министерства экономического развития Сахалинской области. 2009-2018. URL: <http://mineconom.admsakhalin.ru/?page=716/> (дата обращения: 25 июля 2018 г.).
4. Певзнер М.М. Северная граница вулканической активности Камчатки в голоцене // Вестник КРАУНЦ. Научи о Земле. Вып.15. 2010. № 1. С. 117-144.
5. Карпачевский Л.О., Алябина И.О., Захарихина Л.В., Макеев А.О., Маречек М.С., Радюкин А.Ю., Шоба С.А., Таргульян В.О. Почвы Камчатки. ГЕОС: Москва. 2009. 224 с.
6. Раззигаева Н.Г., Ганзей Л.А. Обстановки осадконакопления островных территорий в плейстоцене-голоцене. Владивосток: Дальнаука, 2006. 374 с.
7. Bronk Ramsey C. Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program. *Radiocarbon*. 1995. 37 (2). P. 425-430.
8. Bronk Ramsey C. Deposition models for chronological records // *Quaternary Science Reviews*. 2008. V. 2. № 1-2. P. 42-60.
9. Bronk Ramsey C., Lee S. Recent and Planned Developments of the Program OxCal. *Radiocarbon*. 2013. 55 (2-3). P. 720-730.
10. Furukawa, R., Nakagawa, M. Geological Map of Tarumae Volcano 1:30,000. Geological Map of Volcanoes 15. Geological Survey of Japan, AIST. 2010 (in Japanese with English abstract).
11. Nakagawa M., Ishizuka Y., Kudo T., Yoshimoto M., Hirose W., Ishizaki Y., Gouchi N., Katsui Y., Solovyov A.W., Steinberg G.S., Abdurakhmanov A.I. Tyatya Volcano, southwestern Kuril arc: Recent eruptive activity inferred from widespread tephra // *The Island Arc*. 2002. № 11. P. 236-254.
12. Nakagawa M., Hiragaa N., Furukawa R. Formation of a zoned magma chamber and its temporal evolution during the historic eruptive activity of Tarumai Volcano, Japan: Petrological implications for a long-term forecast of eruptive activity of an active volcano // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2011. Vol. 205, Issues 1-2. P. 1-16.
13. OxCal 4.2 (Электронный ресурс) // Christopher Bronk Ramsey. Oxford Radiocarbon Accelerator Unit. University of Oxford <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html> (дата обращения: 15 ноября 2014 г.).
14. Plunkett G., Coulter S.E., Ponomareva V.V., Blaauw M., Klimaschewski A., Hammarlund D. Distal tephrochronology in volcanic regions: Challenges and insights from Kamchatkan lake sediments // *Global and Planetary Change*. 2015. Vol. 134. P. 26-40.
15. Ponomareva V., Portnyagin M., Derkachev A., Juschus O., Garbe-Schönberg D., Nürnberg D. Identification of a widespread Kamchatkan tephra: a middle Pleistocene tie-point between Arctic and Pacific paleoclimatic records // *Geophysical Research Letters*. 2013. doi: 10.1002/grl.50645.
16. Razzigaeva N.G., Ganzey L.A., Belyanina N.I., Grebennikova T.A., Ganzey K.S. Paleoenvironments and landscape history of the Minor Kuril Islands since the Late Glacial // *Quaternary International*. 2008. Vol. 179. P. 83-89.
17. Razzigaeva, N.G., Matsumoto, A., Nakagawa, M. Age, source, and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc // *Quaternary International*. 2016. Vol. 397. P. 63-78.
18. Sakhno V.G., Derkachev A.N., Melekestsev I.V., Razzigaeva N.G. «Volcanic Ash in Sediments of the Sea of Okhotsk: Identification Based on Minor and Rare Earth Elements» *Dokl. Earth Sci.* 2010. V. 334. № 1. P. 1156-1163.

References

1. Braitseva O. A., Egorova I. A., Nesmachny I. A., Selyangin O. B., Sulerzhitsky L. D. Tefrochronologicheskie issledovaniya kak metod izucheniya zakonornostey ciklicheskogo razvitiya vulkana [Tephrochronological studies as a method for studying the regularities of cyclic evolution of a volcano] // *Byul. vulkanol.st.* 1978. № 54. P. 41-53.
2. Melekeshev I.V., Kraevaya T.S., Braitseva O.A. Pochvenno-piroklasticheskiy chekhol i ego znachenie dlya tefrochronologii na Kamchatke [Soil and pyroclastic cover and its significance for tephrochronology of Kamchatka] // *Vulkanicheskie facii Kamchatki*. M., 1969. P.61-71.
3. Munitsipalnoe obrazovanie «Kurilskiy gorodskoy okrug» [The municipality "Kurilsky District"] (Elektronnyy resurs) // Oficial'nyy sayt Ministerstva ekonomicheskogo razvitiya Sahalinskoy oblasti. 2009-2018. URL: <http://mineconom.admsakhalin.ru/?page=716/> (data obrascheniya: 25 iyulya 2018 g.).
4. Pevzner M.M. Severnaya granica vulkanicheskoy aktivnosti Kamchatki v golocene [The northern boundary of volcanic activity of Kamchatka in Holocene] // *Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle*. Vyp.15. 2010. № 1. P. 117-144.
5. Karpachevskii L.O., Alyabina I.O., Zaharihina L.V., Makeev A.O., Marechek M.S., Radyukin A.Yu., Shoba S.A., Targulyan V.O. Pochvy Kamchatki [The soil of Kamchatka]. GEOS: Moskva. 2009. 224 s.
6. Razzigaeva N.G., Ganzey L.A. Obstanovki osadkonakopleniya ostrovnykh territoriy v pleystocene-golocene [Sedimentary environments on Islands in Pleistocene-Holocene]. Vladivostok: Dalnauka, 2006. 374 p.
7. Bronk Ramsey C. Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program. *Radiocarbon*. 1995. 37 (2). P. 425-430.

8. Bronk Ramsey C. Deposition models for chronological records // *Quaternary Science Reviews*. 2008. V. 2. № 1-2. P. 42-60.
9. Bronk Ramsey C., Lee S. Recent and Planned Developments of the Program OxCal. *Radiocarbon*. 2013. 55 (2-3). P. 720-730.
10. Furukawa, R., Nakagawa, M. Geological Map of Tarumae Volcano 1:30,000. Geological Map of Volcanoes 15. *Geological Survey of Japan*, AIST. 2010 (in Japanese with English abstract).
11. Nakagawa M., Ishizuka Y., Kudo T., Yoshimoto M., Hirose W., Ishizaki Y., Gouchi N., Katsui Y., Solovyov A.W., Steinberg G.S., Abdurakhmanov A.I. Tyatya Volcano, southwestern Kuril arc: Recent eruptive activity inferred from widespread tephra // *The Island Arc*. 2002. № 11. P. 236-254.
12. Nakagawa M., Hiragaa N., Furukawa R. Formation of a zoned magma chamber and its temporal evolution during the historic eruptive activity of Tarumai Volcano, Japan: Petrological implications for a long-term forecast of eruptive activity of an active volcano // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2011. Vol. 205, Issues 1-2. P. 1-16.
13. OxCal 4.2 (Elektronnyy resurs) // Christopher Bronk Ramsey. Oxford Radiocarbon Accelerator Unit. University of Oxford <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html> (дата обращения: 15 ноября 2014 г.).
14. Plunkett G., Coulter S.E., Ponomareva V.V., Blaauw M., Klimaschewski A., Hammarlund D. Distal tephrochronology in volcanic regions: Challenges and insights from Kamchatkan lake sediments // *Global and Planetary Change*. 2015. Vol. 134. P. 26-40.
15. Ponomareva V., Portnyagin M., Derkachev A., Juschus O., Garbe-Schönberg D., Nürnberg D. Identification of a widespread Kamchatkan tephra: a middle Pleistocene tie-point between Arctic and Pacific paleoclimatic records // *Geophysical Research Letters*. 2013. doi: 10.1002/grl.50645.
16. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Belyanina N.I., Grebennikova T.A., Ganzey K.S. Paleoenvironments and landscape history of the Minor Kuril Islands since the Late Glacial // *Quaternary International*. 2008. Vol. 179. P. 83-89.
17. Razzhigaeva, N.G., Matsumoto, A., Nakagawa, M. Age, source, and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc // *Quaternary International*. 2016. Vol. 397. P. 63-78.
18. Sakhno V.G., Derkachev A.N., Melekestsev I.V., Razzhigaeva N.G. «Volcanic Ash in Sediments of the Sea of Okhotsk: Identification Based on Minor and Rare Earth Elements» *Dokl. Earth Sci.* 2010. V. 334. № 1. P. 1156-1163.