

## Пепловые выбросы вулканов Курильской островной дуги и биопродуктивность прилежащих локальных морских акваторий

Лепская Е.В.<sup>1</sup>, Теннин О.Б.<sup>1</sup>, Походина М.А.<sup>1</sup>, Рашидов В.А.<sup>2</sup>

### Ashfalls of Kuril Island Arc volcanoes and local sea sites productivity

Lepskaya E.V., Tenin O.B., Pokhodina M.A., Rashidov V.A.

<sup>1</sup> Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: lepskaya@list.ru

<sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Приведен биогенный состав пеплов вулканов Райкоке и Чикурачки, расположенных в Курильской островной дуге. По данным спутникового мониторинга показаны различия в воздействии этих пеплов на продуктивность прилежащих морских акваторий, которую оценили по содержанию хлорофилла-а.

### Введение

Частицы пепла содержат значительное количество биогенных элементов и могут положительно влиять на биопродуктивность лососевых нерестово-нагульных озер [4, 6, 7] или поддерживать биогенный режим этих водоемов на фоновом уровне [5]. Для морских акваторий такие исследования до настоящего времени не проводились. На примере двух недавних извержений вулканов Курильской островной дуги: вулкан Райкоке (2019 г.) и вулкан Чикурачки (2022 г.), проанализировано влияние пеплов на продуктивность морских акваторий.

### Материалы и методика

Биогенные элементы (БЭ) (фосфатный фосфор (DIP), аммонийный, нитритный и нитратный азот – в сумме минеральный азот (DIN), кремний (DSi) и железо (Fe)) определяли в водных вытяжках из двух навесок пепла (коллекция В.А. Рашидова), соответственно, вулканов Райкоке (извержение 2019 г.) и Чикурачки (извержение 2022 г.) в лаборатории химического анализа Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО). Параллельно проведены определения pH, концентрации сульфатов. Эксперимент носил динамический характер и имитировал условия, при которых пепел попадает в активно перемешиваемую водную среду.

Продуктивность локальных морских акваторий, прилежащих к островам, на которых зарегистрированы мощные выбросы вулканического пепла, оценивали по содержанию хлорофилла-а в поверхностном слое воды.

Материалами по распределению хлорофилла-а (мг/м<sup>3</sup>) явились данные, полученные с группы спутников (дистанционное зондирование поверхности) SeaWiFS, MODIS, MERIS, VIIRS-SNPP, VIIRS-JPSS1, OLCI-S3A и OLCI-S3B, которые были обработаны компанией ACRI-ST (София Антиполис, Франция) и предоставлены как биогеохимический (BGC) продукт на базе процессора Global Ocean Colour (Copernicus-GlobColour, <https://www.copernicus.eu/en/access-data/copernicus-services-catalogue/global-ocean-colour-copernicus-globcolour-bio-geo>). В нашем случае уровень обработки исходных данных – четвертый (L4), т.е. пространственная интерполяция на регулярную сетку с шагом в 4 км по широте и долготе. Итоговая обработка и визуализация исходных данных, предоставленных в формате NetCDF (формат научного обмена данными Unidata, <https://www.unidata.ucar.edu/>), проведена в программе Panoply Data Viewer (PanoplyWin, <https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/>).

Сведения о вулканической активности, сроках извержения, его мощности, направленности распространения пепловых выбросов получены из различных источников сети Интернет: вулканологические сервисы KVERT (Камчатская группа оперативного реагирования на вулканические извержения, [http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/index\\_eng.php](http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/index_eng.php)), SVERT (Сахалинская группа оперативного

реагирования на вулканические извержения, <http://www.imgg.ru/ru/teams/svert>), TokyoVAAC (Консультативный центр по вулканическому пеплу Японского метеорологического агентства, <https://ds.data.jma.go.jp/svd/vaac/data/index.html>).

### Результаты

В эксперименте, проходившем с 18 по 25 мая 2023 г., проведены 4 последовательные экстракции из одной и той же навески пепла соответствующего вулкана. Суммарное содержание водорастворимых БЭ и сульфатов в пеплах различалось (таблица).

Таблица. Содержание БЭ и сульфатов (г/кг) в пеплах вулканов Райкоке и Чикурачки

Вулкан	DIP	DIN	Fe	DSi	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Райкоке	0.0002	0.026	0.005	0.056	21.730
Чикурачки	0.0004	0.017	0.008	0.037	9.108

Пепел вулкана Райкоке выделялся по содержанию минерального азота и кремния, а также, значительно, – сульфатов. В пепле вулкана Чикурачки было больше минерального/фосфатного фосфора и железа. В минеральном азоте в обоих случаях более 90 % составлял азот аммония. Значение pH в водных вытяжках из пепла вулкана Райкоке последовательно изменялось, составляя 4.85, 4.92, 5.05, 5.02. В меньшей степени прослежены изменения pH в водных вытяжках из пепла вулкана Чикурачки – 5.28, 5.43, 5.67, 5.02. В конце эксперимента часть пепла вулкана Чикурачки превратилась в опалесцирующую взвесь, и образец стал непригоден для дальнейшей экстракции. Структура пепла вулкана Райкоке не изменилась.

Извержение вулкана Райкоке отличалось большой активностью (индекс взрывоопасности VEI 3) и малой продолжительностью – основное извержение наблюдалось в течение 21-22 июня 2019 г. [1] и привело к выбросу в стратосферу крупных шлейфов пепла (рис. 1а), которые распространились на расстояние более 1000 км в восточном-северо-восточном направлении.

По сообщению экипажа яхты «Iron Lady», находившейся в непосредственной близости от места события, выпадение пепла на поверхность океана в период извержения было очень интенсивным.

По данным спутникового мониторинга, распределение хлорофилла-а до момента извержения (18.06.2019 г. – рис. 1б), в день максимального выброса пепла (22.06.2019 г. – рис. 1в) и через 2 дня после прекращения активной фазы извержения (25.06.2019 г. – рис. 1г) носило равномерный характер с низкими концентрациями по всей видимой площади. Точечные пятна «цветения» отмечены на севере района и у западного побережья Камчатки и не связаны с пеплопадом. К 25 июня концентрация пигмента хлорофилла-а в районе вулкана Райкоке оставалась, в общем, на очень низком уровне.

Вулкан Чикурачки, являясь одним из наиболее активных вулканов Курильских островов, в 2022 г. проявлял повышенную активность не менее 5 раз [2, 3]: с 30.01 по 03.02, с 23 по 24.06, с 30.06 по 1.07, с 21.08 по 2.09 и наиболее мощное – с 13 по 20.10 (индекс взрывоопасности VEI 2). В отличие от рассмотренного извержения вулкана Райкоке 2019 г., данное событие было не столь интенсивным, но значительно растянуто по времени, когда пепел извергался «порционно». При этом в направлениях разноса пепловых шлейфов выделялись две основные траектории – запад-юго-запад и восток-юго-восток, попадая в акватории Охотского моря и Тихого океана. Дальность распространения от 310 км (зима) до 790 км (осень).

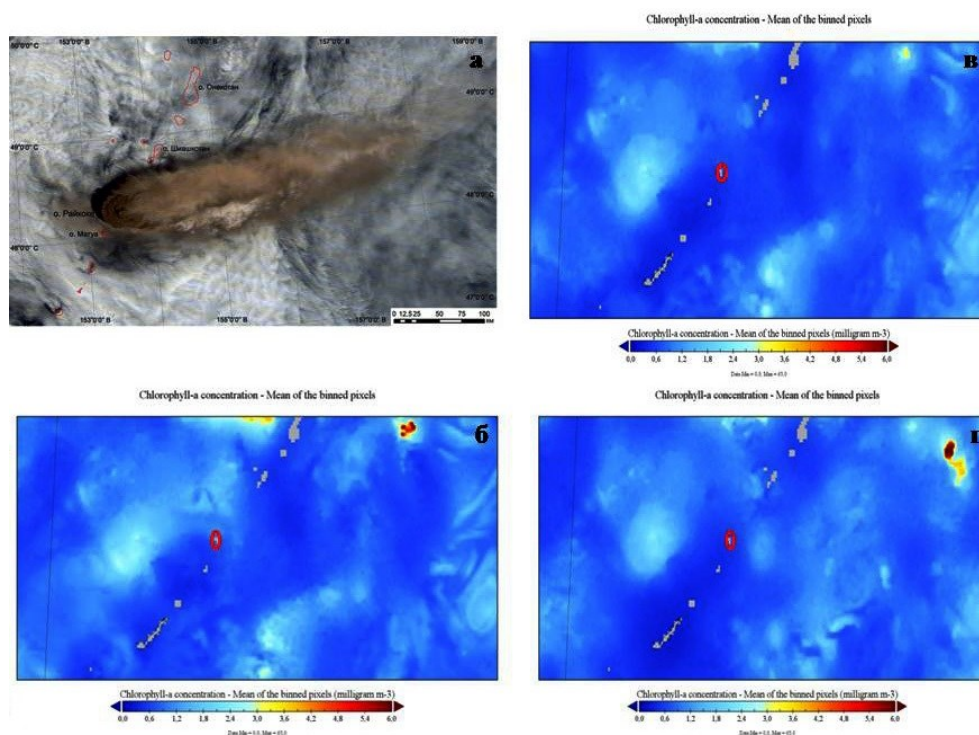


Рис. 1. Пепловый шлейф вулкана Райкоке на спутниковом снимке ИСЗ TERRA/MODIS 22 июня 2019 г. (а) [1]; изменение распределения концентрации хлорофилла-а ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) 18.06.2019 (б), 22.06.2019 (в), 25.06.2019 (г) в акватории центральной части Курильской островной дуги.

Рассмотрим терминальные ситуации, когда развитие фитопланктона идет на спад, микроводоросли заглубляются и значения хлорофилла-а в акваториях невысоки – это зима и осень 2022 г. (рис. 2).

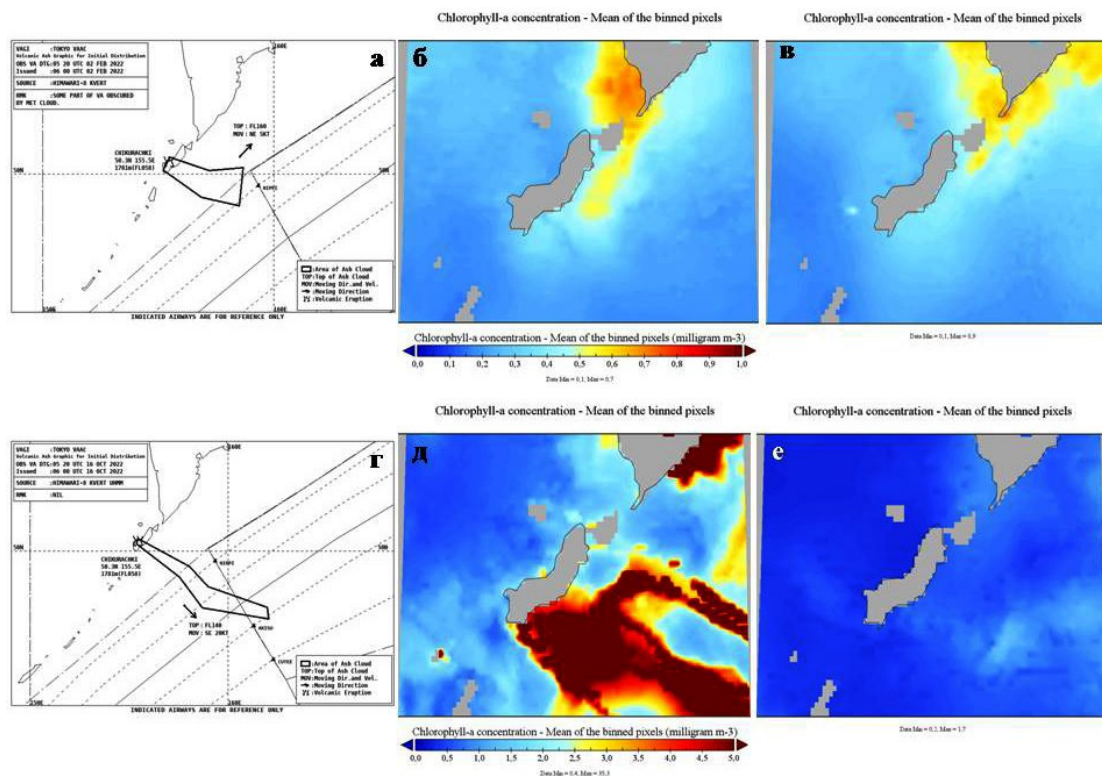


Рис. 2. Распределение пепловых шлейфов (а, г) и хлорофилла-а (б, в, д, е) в акватории у северных Курильских островов и южной оконечности Камчатки в 2022 г.: а, б – 02.02; в – 05.02; г, д – 16.10; е – 20.10.

Как зимой (рис. 2а-в), так и осенью (рис. 2г-е) поступление пепла в воду, вероятно, стимулировало развитие фитопланктона, которое выразилось в увеличении концентрации хлорофилла-а. Однако, если зимой воздействие пепла было пролонгировано, то осенью «цветение» закончилось на четвертый день после поступления пепла в акваторию.

Полученные результаты позволяют выдвинуть гипотезу о том, что пепел вулкана Райкоке не вызвал положительного отклика у фитопланктона прилегающей акватории. Пепел вулкана Чикурачки, напротив, оказал стимулирующее воздействие на фитопланктон. Различная реакция автотрофной микрофлоры морских акваторий на пеплы вулканов Райкоке и Чикурачки связана со структурой и удельным весом пеплов, что зависит от различий в их элементном составе, а также от особенностей в динамике поступлений пеплов в воду морских акваторий.

### Список литературы

1. *Гирина О.А., Луян Е.А., Уваров И.А., Крамарева Л.С.* Извержение вулкана Райкоке 21 июня 2019 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 303-307.
2. *Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г. и др.* Спутниковый мониторинг эксплозивного извержения 2022 года вулкана Чикурачки (Северные Курилы) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 302-306.
3. *Дегтерев А.В., Чибисова М.В.* Эксплозивная активность вулкана Чикурачки в январе-октябре 2022 г. (о. Парамушир, Северные Курильские острова) // Геосистемы переходных зон. 2022. Т. 6. № 4. С. 328-338.
4. *Лепская Е.В.* Влияние пепла вулкана Алаид на фитопланктон озера Курильского (Южная Камчатка) // Исследование биологии и динамики численности промысловых рыб камчатского шельфа. 1993. Вып. II. С. 21-24.
5. *Лепская Е.В., Маслов А.В., Тепнин О.Б., Свириденко В.Д.* Биогенные элементы (содержание, динамика вымывания) из разноразмерного пирокластического материала Плоского Толбачика (извержение 2012-2013 гг.). // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога 29-30 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 227-235.
6. *Kurenkov I.I.* The Influence of volcanic ashfall on biological processes in Lake // Limnology and Oceanography. 1966. V. 11. № 3. P. 345-363.
7. *Lepskaya E.V., Lupikina E.G., Bazarkina L.A.* The impact of pyroclastics upon flora and fauna of some lakes (Kamchatka peninsula and Kunashir island, Kuriles) // International Volcanological Congress. Ankara. 1994.