

Влияние речного стока Восточной Камчатки на прилегающую часть Тихого океана

Семкин П.Ю., Уланова О.А., Барабанищikov Ю.А., Котлунов А.М., Павлова Г.Ю., Лобанов В.Б.

Influence of river runoff in Eastern Kamchatka on the adjacent part of the Pacific Ocean

Semkin P.Yu., Ulanova O.A., Barabanshchikov Yu.A., Kotlunov A.M., Pavlova G.Yu., Lobanov V.B.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток;

e-mail: pahno@list.ru

Стабильные изотопы $\delta D-H_2O$, $\delta^{18}O-H_2O$, $\delta^{15}N-NO_3^-$, $\delta^{18}O-NO_3^-$, солевой состав, биогенные элементы и Chl-a в реках и морской воде исследованы с 2022 по 2025 гг. для оценки масштаба воздействия континентального стока в Тихий океан и биологического отклика в прибрежной экосистеме Восточной Камчатки под влиянием вулканизма.

Введение

На вулканических водосборных бассейнах обычно наблюдаются повышенные концентрации минеральных форм азота (DIN), фосфора (DIP) и силикатов (DSi) вместе с микроэлементами в результате их высвобождения из свежего пепла, образование новых пород и выбросов газов [1, 5 и ссылки в ней]. Поэтому, прибрежные воды возле активных вулканов всего Мирового океана вызывают интерес из-за реакции их экосистем на вулканизм в виде цветения фитопланктона [2].

Цель работы – изучение изотопных сигнатур, солевого состава воды и биогенных элементов, от речных водосборов до прилегающей части Тихого океана, чтобы понять, как гидрологический цикл и вулканизм взаимодействуют в водосборных бассейнах Камчатки и влияют на прибрежную морскую экосистему.

Материалы

Пробы воды для определения изотопов $\delta D-H_2O$, $\delta^{18}O-H_2O$, солевого состава и питательных веществ были отобраны на 13 станциях (рисунок) с июля 2022 г. по март 2025 г., в том числе ежегодно во все сезоны в рр. Камчатка и Авача, начиная с 2023 г. Пробы для определения изотопов $\delta^{15}N-NO_3^-$, $\delta^{18}O-NO_3^-$ были отобраны на реках Камчатка и Авача 17 июня 2023 г., а также на реке Пенжина и на вершине Пенжинского залива 13 июля 2023 г. Пробы снега для определения исследуемого комплекса были собраны 31 марта 2025 г. в районе станций на р. Камчатка в трех районах от истоков реки до устья. Три пробы дождевой воды были собраны в двух разных точках: 30 июля 2024 г. в точке с координатами $52^{\circ}52.33'$ с.ш., $157^{\circ}20.70'$ в.д. и 7 и 8 августа 2025 г. в точке с координатами $53^{\circ}10.02'$ с.ш., $158^{\circ}25.07'$ в.д.

В прилегающей части Тихого океана была проведена экспедиция на НИС «Академик Опарин», в ходе которой было выполнено 170 станций с STD-профилированием и отбором проб воды на стандартных глубинах с 25 августа 2023 г. по 5 сентября 2023 г. [3]. Для сравнения данных между зимним и летним сезоном были также проанализированы результаты, полученные на том же судне в декабре 2022 г. [4]. Дополнительные пробы для $\delta^{15}N-NO_3^-$, $\delta^{18}O-NO_3^-$ отобраны на пяти станциях в разных районах залива Шелихова на глубинах 100-375 м и в вершине Пенжинской губы на том же судне с 1 по 15 июля 2023 г. Подробное описание методов измерений и измерительного оборудования приведено в работе [5].

Результаты

Источники питательных веществ контрастно различаются по водосборам, а изотопный состав $\delta D-H_2O$, $\delta^{18}O-H_2O$, $\delta^{15}N-NO_3^-$, $\delta^{18}O-NO_3^-$ изменяется в широком временном и пространственном масштабах (рисунок, [5]):

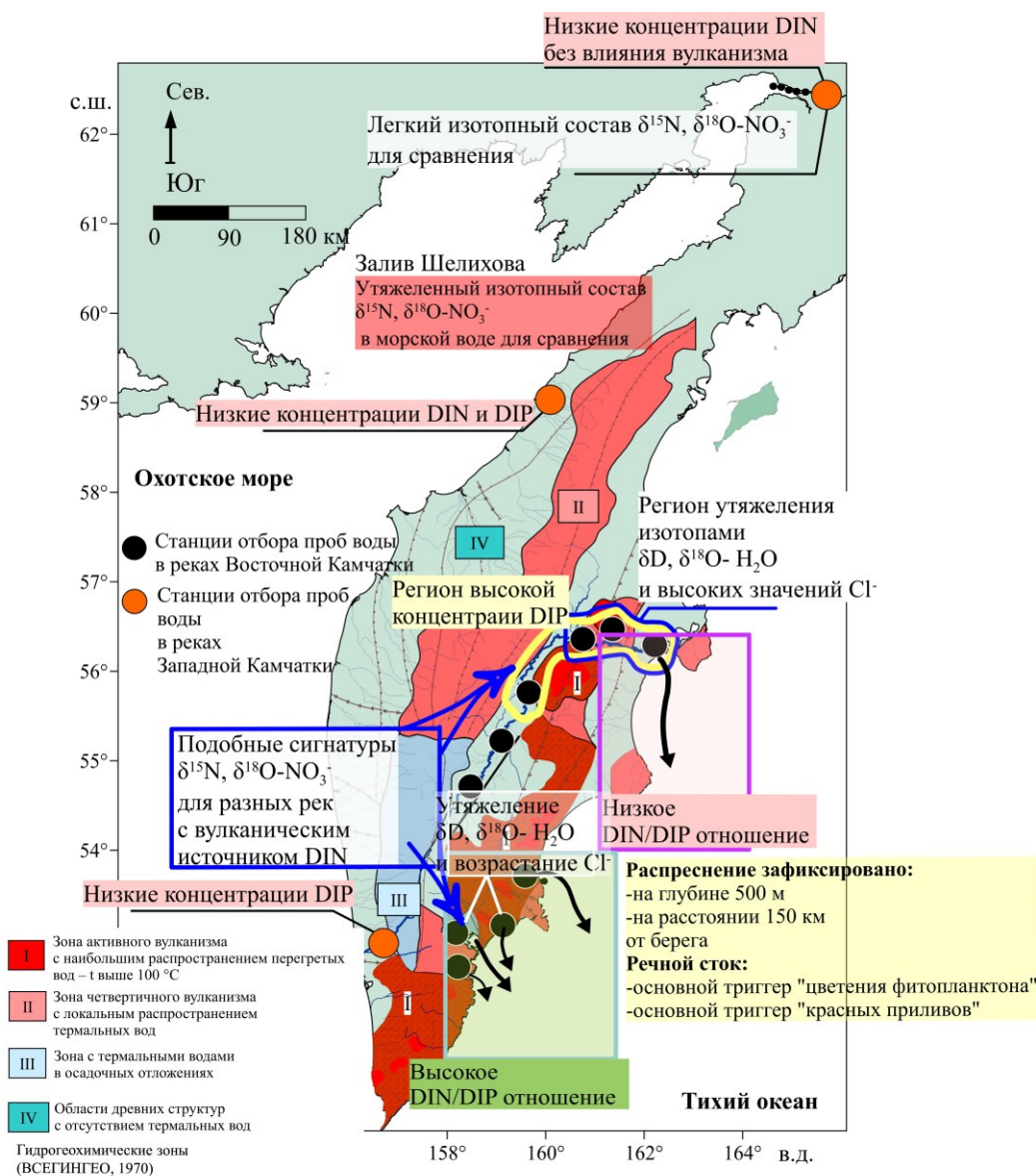


Рисунок. Схема особенностей распределения $\delta D-H_2O$, $\delta^{18}O-H_2O$, $\delta^{15}N-NO_3^-$, $\delta^{18}O-NO_3^-$, солевого состава и биогенных элементов в реках и морской воде, исследованных с 2022 по 2025 гг. [5].

Похожие изотопные сигнатуры $\delta^{15}N-NO_3^-$, $\delta^{18}O-NO_3^-$ в вулканических бассейнах двух крупнейших рек – Камчатка и Авача – указывают на однообразный источник DIN. Основное обогащение DIN водосборов Камчатки может происходить из-за нитрификации в снеге и добавления NO_3^- из почвы во время таяния снега весной и летом. Основное обогащение DIP происходит в почвенных водах со свежим вулканическим пеплом и в водоносных горизонтах, главным образом, в районах наиболее активных вулканов Ключевской группы и вулкана Шивелуч во время весенне-летнего таяния снега. Основное обогащение речных вод DSi происходит повсюду вдоль Восточной Камчатки, главным образом за счет химического выветривания свежих базальтов, андезитов и гранитов. В отличие от других вулканических регионов мира, водосборы Восточной Камчатки характеризуются

длительным весенне-летним половодьем с наибольшим потоком питательных веществ на пике половодья в конце июня – начале июля. В то же время наблюдается возрастающая стратификация в прилегающей части Тихого океана. Эти факторы способствуют цветению фитопланктона в прибрежно-морских водах Восточной Камчатки.

Выводы

В прибрежно-морской экосистеме Восточной Камчатки в целом можно выделить несколько стадий цветения фитопланктона. Фаза цветения, которая происходит в летне-осенний период, возникает за счет возрастания потока биогенных элементов с речным стоком и зависит от запаса влаги в виде снега после предшествующей зимы, интенсивности таяния снега и летней стратификации прибрежно-морских вод в зависимости от температуры в регионе.

Авторы благодарны к.г.н. С.Л. Горину за консультации и помощь на всех этапах данной работы, к.б.н. Т.Ю. Орловой, к.б.н. Е.В. Лепской за обсуждение «красных приливов» и д.г.-м.н. Е.Г. Калачевой за обсуждение особенностей водосборов Камчатки. Высоко ценится поддержка научных групп и экипажей НИС «Академик Опарин» и местных жителей г. Петропавловск-Камчатский и поселков Усть-Камчатск, Каменское и Ключи.

Работа выполнена в ТОИ ДВО РАН при поддержке Межведомственной комплексной программы научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий в 2024-2026 гг., рег. № 124072200009-5 (экспедиционные работы) и РФФ, грант № 23-77-10001.

Список литературы

1. Агафонова К.Г. Гидрохимический режим рек Камчатки // Вопросы географии Камчатки. 1964. Вып. 2. С. 46-55.
2. Bisson K.M., Gassó S., Mahowald N. et al. Observing ocean ecosystem responses to volcanic ash // Remote Sensing of Environment. 2023. V. 296. Art. 113749. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113749>
3. Lobanov V.B., Sergeev A.F., Semkin P.Yu. et al. Ecological state and dynamics of waters of the East Kamchatka current area and other locations of the Far Eastern Seas on Cruise 68 of R/V Akademik Oparin // Oceanology. 2025. V. 65. P. 319-321. <https://doi.org/10.1134/S0001437024701170>
4. Lobanov V.B., Sergeev A.F., Semkin P.Yu. et al. Study of oceanographic conditions in the area of the Avachinskiy Bay, Kamchatka, in winter during an expedition on the R/V Akademik Oparin (Cruise 65) // Oceanology. 2024. V. 64. P. 758-760. <https://doi.org/10.1134/S0001437024700486>
5. Semkin P.Yu., Pavlova G.Yu., Jiang Sh. et al. Stable isotopes $\delta\text{D-H}_2\text{O}$, $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$, $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ and hydrochemistry of the volcanic catchments and the influence of continental runoff on the environment of Eastern Kamchatka // Marine Pollution Bulletin. 2026. V. 2026. Art. 119323. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2026.119323>