

Сезонная изменчивость биогенных элементов (P, N, Si, C) в реках Камчатка и Авача (п-ов Камчатка) в 2023 г.

Семкин П.Ю.¹, Павлова Г.Ю.¹, Лобанов В.Б.¹, Горин С.Л.², Лепская Е.В.³, Уланова О.А.¹, Шкирникова Е.М.¹, Швецова М.Г.¹, Zhang J.⁴, Тищенко П.Я.¹

Seasonal variability of nutrients (P, N, Si, C) in the Kamchatka and Avacha rivers (Kamchatka Peninsula) in 2023

Semkin P.Yu., Pavlova G.Yu., Lobanov V.B., Gorin S.L., Lepskaya E.V., Ulanova O.A., Shkirnikova E.M., Shvetsova M.G., Zhang J., Tishchenko P.Ya.

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток;

e-mail: pahno@list.ru

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

³ Камчатский филиал «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии», г. Петропавловск-Камчатский

⁴ State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, China

В реке Камчатка установлены сезонные экстремумы концентраций и потоков минерального и органического фосфора, а также органического углерода в период таяния снега в долине реки и на высокогорье в районе с непосредственным влиянием вулканизма – вблизи вулканов Ключевской группы и вулкана Шивелуч.

Введение

Увеличение речных поступлений минерального азота (DIN) и фосфора (DIP) для шельфовых экосистем, наблюдаемых на протяжении последнего столетия во всем мире, связывается, как правило, с сельским хозяйством и сточными водами [7]. На этом фоне эвтрофикация, связанная с природными процессами, такими как вулканизм, в литературе обсуждается гораздо меньше. Однако известно, что вулканический пепел (тефра) является важным источником биогенных элементов (БЭ) и железа (Fe) для рек [4] и, соответственно, для прибрежно-морских экосистем. Особенностью 2023 г. было сильнейшее за несколько последних десятилетий извержение вулкана Шивелуч, случившееся 11 апреля (официальное сообщение директора ИВиС ДВО РАН А.Ю. Озерова и множественные сообщения СМИ).

Биогенный фон прибрежных акваторий Восточной Камчатки формируется стоком БЭ, выносимых крупными реками полуострова, бассейны которых подвержены регулярному воздействию активного вулканизма. Залповое внесение БЭ может влиять на продуктивность прибрежных акваторий, вызывая «цветение» фитопланктона, в том числе, видов, образующих «красные приливы» [3, 8]. Тем самым вулканизм на Камчатке формирует особые условия окружающей среды, не имеющие аналогов в мире, а понимание контролирующих факторов речных потоков БЭ вдоль побережья имеет решающее значение для эффективного хозяйственного управления в прибрежно-морском регионе.

Цель данной работы – изучение сезонной изменчивости концентрации соединений БЭ в 2023 г. в двух наиболее значимых реках Восточной Камчатки, дренирующих вулканические территории.

Объекты исследований и данные

Река Камчатка – крупнейшая река полуострова Камчатка, протекающая почти на всем протяжении Центральной Камчатской депрессии (рис. 1), имеет площадь водосбора 55900 км² при длине 758 км. Река Авача – сравнительно крупная река на юго-восточном побережье Камчатки. Длина реки 122 км, площадь водосборного бассейна 5090 км². Обе реки имеют преимущественно подземное питание при

значительном участии талого стока. Величина подземного стока для среднего по водности года для реки Камчатка составляет 60-64 %, для реки Авача – 50 % [6]. Бассейны рек расположены в зоне пеплопадов, где тефра покрывает ледники в высокогорных районах и распространяется на расстояние сотен километров от действующих вулканов. К активным вулканам Восточно-Камчатского региона относятся Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Плоский Толбачик, Карымский, Авачинский, Корякский, Горелый и Мутновский [1]. В нижней части водосбора р. Камчатка расположены наиболее активные вулканы Ключевской группы (рис. 1), среди которых вулкан Ключевской – самый высокий активный вулкан в Евразии с высотой от 4750 до 4850 м над уровнем моря и вулкан Шивелуч с высотой 3283 м. В состав левобережного водосборного бассейна р. Авача входят вулканы Авачинской группы (рис. 1), два из которых – Авачинский и Корякский – являются действующими. Высота Авачинского и Корякского вулканов составляет 2741 и 3456 м, соответственно. Из-за активного вулканизма в водосборах изучаемых рек преобладает вулканический тип почв [2], поскольку количество тефры, образующейся при одном извержении, например, Авачинского вулкана, может достигать нескольких тысяч тонн на 1 км² [5].

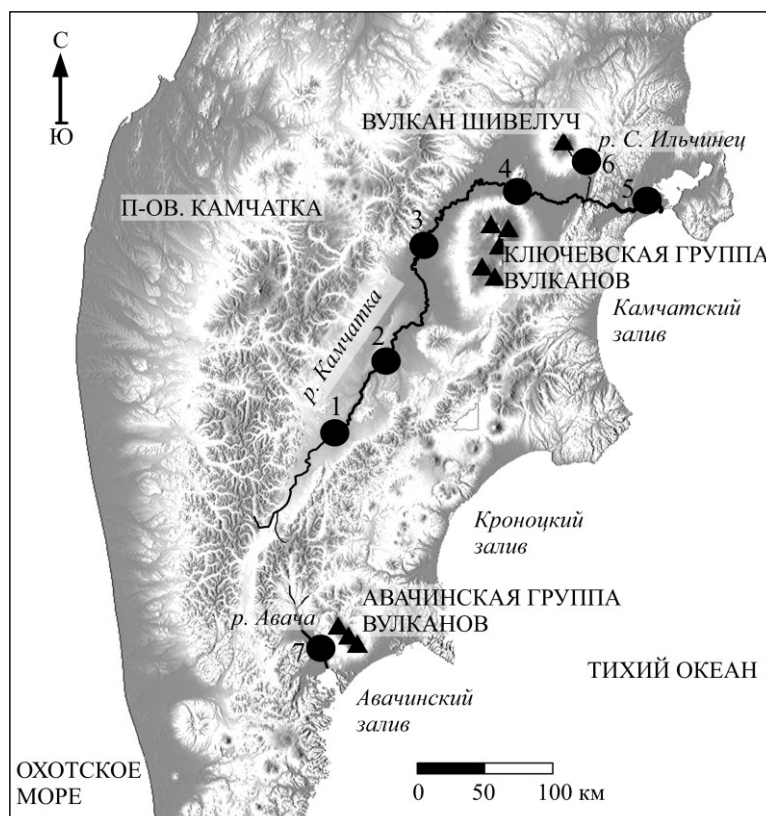


Рис. 1. Изучаемый район: ● – станции отбора проб воды, ▲ – действующие вулканы в бассейнах изучаемых рек.

Четыре экспедиции были проведены в основные фазы водного режима рек в 2023 г. для отбора проб воды на 5 станциях в р. Камчатка, на одной станции в р. Сухой Ильчинец и в р. Авача (рис. 1). Пробы воды на всех семи станциях отбирались за одни сутки: 1 апреля, 22 мая, 17 июня и 6 сентября. На следующий день после отбора пробы доставлялись в лабораторию гидрохимии ТОИ ДВО РАН, где сразу проводились измерения. В день доставки анализировались БЭ в минеральной форме: DIP, DIN (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), силикаты (DSi). Пробы для определения суммы минеральной и органической форм азота и фосфора ($\text{N}_{\text{общ}} = \text{DIN} + \text{N}_{\text{орг}}$; $\text{P}_{\text{общ}} = \text{DIP} + \text{P}_{\text{орг}}$) замораживались в день доставки и в последующем анализировались в течение месяца.

Пробы для определения растворенного органического углерода (РОУ) анализировались также в день доставки.

Результаты

Выявлены особенности сезонного распределения биогенных веществ в изучаемых реках (рис. 2). Во-первых, аномально высокие для речных вод концентрации DIP (рис. 2а) во все сезоны наблюдались в р. Сухой Ильчинец – от 6.5 мкмоль/л в апреле до 11.3 мкмоль/л в июне. Также зафиксировано повышенное содержание $P_{орг}$ в мае и июне – 7.9 и 6.6 мкмоль/л, соответственно. На этом фоне концентрация DIP в р. Авача и в районе верхнего течения р. Камчатка была незначительной: соответственно, 0.94-1.38 и 0.47-1.94 мкмоль/л. Возрастание DIP до 2.08-3.87 мкмоль/л во все сезоны наблюдалось в районе с непосредственным влиянием вулканов Ключевской группы и вулкана Шивелуч (рис. 2). Максимальная концентрация DIP наблюдалась на ст. 5 в мае в период после пеплопада и интенсивного снеготаяния в долине р. Камчатка. Максимальные концентрации $P_{орг}$ (4.58 мкмоль/л) в р. Камчатка также наблюдались в районе непосредственного влияния вулканизма на ст. 3-5 в мае (рис. 2б). Во-вторых, в р. Авача концентрация DIN (рис. 2в) была выше во все сезоны по отношению к р. Камчатка, а экстремумы наблюдались в мае и июне (рис. 2). Однако в р. Сухой Ильчинец концентрация DIN не превышала 15 мкмоль/л.

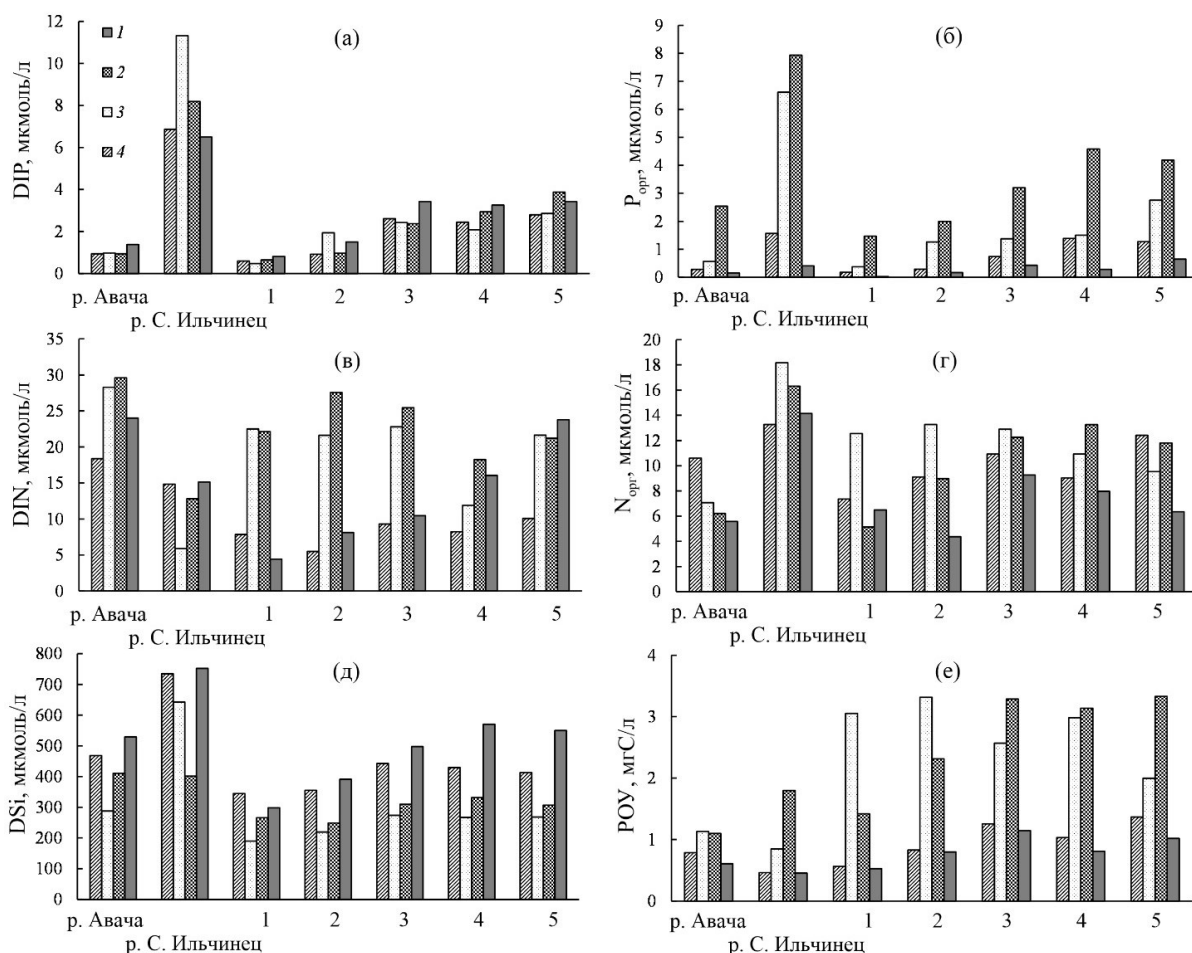


Рис. 2. Сезонная изменчивость концентрации биогенных веществ в реках Авача, Сухой Ильчинец и на пяти станциях в реке Камчатка. 1 – 1 апреля, 2 – 22 мая, 3 – 17 июня, 4 – 6 сентября 2023 г.

В-третьих, аномально высокие концентрации DSi наблюдались в р. Сухой Ильчинец в апреле, сентябре и июне: 752, 735 и 642 мкмоль/л, соответственно (рис. 2д). Повышенные концентрации DSi в апреле фиксировались почти на всех станциях в

р. Камчатка, а максимальные (570 мкмоль/л) – в районе непосредственного влияния вулканов Ключевской группы и вулкана Шивелуча. В р. Авача концентрация DSi в апреле тоже была высокой – 528 мкмоль/л. В-четвертых, воды р. Камчатка имеют низкие азот-фосфорные отношения ($N/P = 3.6-7.5$). В-пятых, для всех изученных рек характерны максимальные концентрации РОУ в периоды возрастающих расходов воды – в мае и июне (рис. 2е). При этом в р. Камчатка максимальная концентрация РОУ составляла 3.3 мгС/л, а в р. Авача не превышала 1.1 мгС/л.

Таким образом, выявлена пространственно-временная изменчивость гидрохимических характеристик речных вод, в том числе, в связи с вулканизмом и вариациями расхода воды. Воды р. Камчатка характеризуются преимущественно повышенными концентрациями исследованных характеристик, за исключением DIN, в районе влияния свежих пеплов.

Работа выполнена в ТОИ ДВО РАН – Гос. тема № 122110100002-8 (экспедиционные работы) и при поддержке РФФ, грант № 23-77-10001, <https://rscf.ru/project/23-77-10001/> (анализ проб воды).

Список литературы

1. *Влодавец В.И., Пийп Б.И.* Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюллетень вулканологических станций. 1957. № 25. С. 5-95.
2. *Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С.* Геохимические особенности вулканических почв Камчатки // Почвоведение. 2010. № 4. С. 412-421.
3. *Лепская Е.В.; Тепнин О.Б., Коломейцев В.В. и др.* Исторический обзор исследований и основные результаты комплексного экологического мониторинга Авачинской губы в 2013 году // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2014. № 34. С. 5-21.
4. *Малик Н.А.* Импактный вклад извержений вулканов в формирование химического состава сезонного снежного покрова (Камчатка) // Лед и снег. 2010. № 4. С. 45-52.
5. *Пийп Б.И.* Извержение Авачинской сопки в 1945 г. // Бюллетень вулканологических станций. 1953. № 17. С. 6-23.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. 1973. Том 20. Камчатка. Л.: Гидрометеиздат. 368 с.
7. *Beusen A.H., Bouwman A.F., Van Beek L.P. et al.* Global riverine N and P transport to ocean increased during the 20th century despite increased retention along the aquatic continuum // Biogeosciences. 2016. V. 13. № 8. P. 2441-2451.
8. *Orlova T.Y., Aleksanin A.I., Lepskaya E.V. et al.* A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020 // Harmful Algae. 2022. V. 120. Art. 102337.