

Сезонная изменчивость биогенных веществ, макро- и микроэлементов реки Налычева (Восточная Камчатка)

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

Seasonal variability of nutrients, macro- and microelements of the Nalycheva River (Eastern Kamchatka)

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

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

e-mail: shitkova@poi.dvo.ru

Изучена сезонная и межгодовая изменчивость биогенных веществ, макро- и микроэлементов в реке Налычева. Результаты показывают, что наибольшие концентрации железа и силикатов соответствуют времени интенсивного цветения микроводорослей в Авачинском заливе. Также показана межгодовая изменчивость компонентов речного стока, связанная с вулканизмом.

Введение

Вулканические водосборные бассейны представляют широкий интерес, так как являются главными поставщиками биогенных элементов и микроэлементов в прибрежно-морские бассейны [6]. Река Налычева является одной из крупнейших рек водосбора Авачинского залива, однако в связи с труднодоступностью данного района экспедиционные исследования реки Налычева ограничены [2, 3, 6, 7]. Исследование биогенных элементов реки Налычева в летний сезон и концентрации хлорофилла «а» в Авачинском заливе в наших предыдущих исследованиях выявило взаимосвязь между поступлением биогенных веществ и интенсивностью развития опасных микроводорослей в Авачинском заливе [7]. Мы полагаем, что сезонное и межгодовое исследование поведения питательных веществ, макро- и микроэлементов поможет внести вклад в понимание важных экологических проблем полуострова Камчатка, который является одним из самых активных вулканических регионов мира [5], но до сих пор химия речных вод остается малоизученной.

Цель данной работы – выявление сезонной и межгодовой изменчивости питательных веществ, макро- и микроэлементов реки Налычева.

Материалы и методы

Река Налычева с длиной 80 км и площадью водосборного бассейна 1460 км² – крупнейшая река, непосредственно впадающая в Авачинский залив. Река Налычева протекает по территории Елизовского района Камчатского края и дренирует склоны Авачинской группы вулканов: два действующих – Авачинский и Корякский, а также потухший – Козельский [1]. Высота вулканов Авачинский, Корякский и Козельский – 2741 м, 3456 м и 2189 м, соответственно. На вершинах вулканов имеются ледники.

В реке Налычева были проведены сезонные и межгодовые исследования на шести станциях, которые включали отбор проб воды в районе приустьевых участка реки? на расстоянии 300-400 м перед устьевым створом со стороны реки (3), р. Мутнушка (4), р. Левая Налычева (5), р. Седловина (6) и дополнительно на станциях 1 и 2 в среднем бассейне реки (1, 2) 27 июля 2024 г., 9 сентября 2024 г., 31 марта 2025 г., 20 мая 2025 г., 11 июня 2025 г. и 4 сентября 2025 г. Для отбора проб воды в реке использовали 6-метровую удочку с полипропиленовой банкой на конце. Таким способом пробы были отобраны на стрежне течения реки.

Измеряемые характеристики:

- 1) Микроэлементный состав воды (Li, Pb, Al, Ti, V, Fe, Ga, As, Cs);
- 2) Макрокомпонентный состав воды (Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺);

3) Основные биогенные элементы в минеральных и органических формах: минеральный азот (нитриты, нитраты, аммоний), фосфаты, силикаты, суммы минеральной и органической форм азота и фосфора.

Анализ биогенных элементов выполняли фотометрическим методом по стандартным методикам, концентрацию NH_4^{3+} определяли индофенольным методом. Концентрации $\text{N}_{\text{общ}}$ и $\text{P}_{\text{общ}}$ определяли с помощью проточного анализатора Skalar San++ (Skalar, Нидерланды) с точностью $\pm 1\%$.

Микроэлементный состав измерен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре iCAP 7600Duo (Thermo Scientific Corporation, США).

Концентрации макрокомпонентов измеряли методом ионообменной хроматографии с использованием хроматографа Shimadzu LC-20A (Shimadzu, Киото, Япония).

Результаты

Ниже приведены основные особенности распределения макро- и микроэлементов в реке Налычева (табл. 1, 2).

Таблица 1. Распределение ионно-солевого состава в реке Налычева

Дата / № станции	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	F^{2+}	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	TDS
	мкмоль/кг								мг/л
27 июля 2024 / 1	262.1	192.8	20.4	0.0	389.7	36.6	246.2	120.4	81.627
27 июля 2024 / 2	254.8	184.1	19.9	0.0	379.0	35.1	240.0	116.0	79.354
27 июля 2024 / 3	263.8	155.7	20.5	0.0	388.7	31.6	209.6	108.9	74.701
9 сентября 2024 / 1	326.6	117.8	14.0	0.0	426.1	35.2	188.4	118.5	73.756
9 сентября 2024 / 2	271.5	195.4	20.2	0.0	411.5	39.7	256.9	129.8	85.493
9 сентября 2024 / 3	289.4	206.8	20.3	0.0	429.8	41.7	265.4	134.5	87.816
31 марта 2025 / 3	304.6	152.9	26.8	–	432.1	38.7	231.1	123.1	82.260
20 мая 2025 / 1	256.71	237.1	25.2	0.0	368.9	36.6	274.6	120.0	82.938
20 мая 2025 / 3	194.7	117.4	21.1	0.0	294.6	27.2	178.1	87.5	59.910
20 мая 2025 / 4	30.0	9.2	35.0	0.0	95.13	10.64	71.46	26.78	20.90
11 июня 2025 / 1	205.7	148.2	27.5	–	306.5	32.8	206.1	97.1	67.77
11 июня 2025 / 3	178.6	122.3	28.7	–	282.7	28.3	179.3	88.2	60.82
11 июня 2025 / 4	26.8	11.9	33.7	–	101.8	10.5	72.3	30.9	24.62
4 сентября 2025 / 1	283.8	194.6	22.8	0.0	413.6	40.1	233.2	131.8	86.05
4 сентября 2025 / 3	553.5	158.1	23.4	0.0	618.7	37.8	233.2	138.9	98.78
4 сентября 2025 / 5	41.5	51.9	25.2	0.0	174.3	22.2	233.3	116.1	64.580
4 сентября 2025 / 6	58.3	26.8	13.7	3.3	202.8	12.5	233.1	48.3	57.801

Результаты показали, что на всем протяжении реки Налычева воды пресные, минерализация колеблется от 87 мг/л в районе устья до 24 мг/л в реке Мутнушка (табл. 1). Наблюдается повышенная концентрация ионов хлорида, катионов натрия и кальция. Выявлена сезонная и межгодовая изменчивость – значительное увеличение хлоридов и натрия осенью 2025 г. в устье реки Налычева. Этот факт может быть связан с произошедшим цунами после землетрясения 30 июня 2025 г., а также изменением притока гидротермальных вод в бассейне реки Налычева. Сотрудники Камчатского филиала Единой геофизической службы РАН зафиксировали аномалии в скважинах геотермальных месторождений Камчатки, а также в Долине гейзеров (<https://tass.ru/nauka/26293629>).

Исследование поведения микроэлементов в реке Налычева выявило высокое содержание железа в осенний период в устье, а также довольно высокое содержание мышьяка в среднем бассейне реки (табл. 2). По-видимому, основным источником микроэлементов в реке Налычева являются железистые и мышьяковистые воды Налычевских терм [3].

Таблица 2. Концентрация микроэлементов в речной воде п-ова Камчатка, мкг/л (ppb)

Дата / место отбора	Li	Pb	Al	Ti	V	Fe	Ga	As	Cs
27 июля 2024 / 1	24.90	0.013	23.7	1.24	5.24	6.75	0.019	15.80	1.970
27 июля 2024 / 2	23.20	0.013	22.2	1.15	4.85	7.43	0.019	12.80	1.850
27 июля 2024 / 3	18.80	0.021	25.7	1.48	4.59	19.10	0.021	9.61	1.130
30 июля 2024 / 4	2.70	0.041	5.2	0.97	1.15	5.22	0.006	0.77	0.080
9 сентября 2024 / 1	25.6	0.019	88.1	1.68	5.60	27.90	0.033	14.60	1.85
9 сентября 2024 / 2	22.2	0.048	94.2	1.80	5.75	30.40	0.034	14.50	1.78
9 сентября 2024 / 3	11.8	0.080	73.3	1.66	2.75	236.00	0.024	5.40	0.710
4 сентября 2025 / 1	22.40	0.532	64.8	1.28	5.77	19.20	0.027	17.50	1.74
4 сентября 2025 / 3	14.80	0.610	51.5	1.24	4.35	35.85	0.022	8.73	0.90
4 сентября 2025 / 5	0.90	0.120	9.3	0.19	6.64	7.28	0.012	0.27	0.022
4 сентября 2025 / 6	1.60	0.060	165	4.20	8.21	43.80	0.071	0.59	0.009

Также нами были обнаружены высокие концентрации силикатов – до 568.8 мкмоль/л в осенних исследованиях как в 2024 г., так и в 2025 г.

Таким образом, наибольшие концентрации железа и силикатов в реке Налычева наблюдаются в осенний период маловодья – в сентябре, после весеннего и летнего паводков. Красные приливы чаще всего происходят также в сентябре [4]. Учитывая наши данные о значительном увеличении уровня хлорофилла «а» в поверхностном слое воды Авачинского залива под влиянием реки Налычева [7], это влияние осуществляется посредством сложной цепочки событий, включающей вулканизм (извержение вулканов и выходы термоминеральных вод), атмосферные осадки, таяние снега (распространение в почво-грунтах бассейнов рек питательных веществ и микроэлементов и растворение их в период таяния снега и выпадения атмосферных

осадков при подземном питании), вулканические склоны, речной сток и принимающий бассейн.

Авторы благодарны сотрудникам Природного парка «Вулканы Камчатки» за помощь при проведении полевых работ.

Работа выполнена в ТОИ ДВО РАН (рег. № 124022100077-0) при поддержке Межведомственной комплексной программы научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий в 2024-2026 гг. (рег. № 124072200009-5).

Список литературы

1. Влодавец В.И., Пуйп Б.И. Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюллетень вулканологических станций. 1957. № 25. С. 5-95.
2. Запорожец О.М., Запорожец Г.В. Характеристика запасов Тихоокеанских лососей в реках Налычева, Островная и Вахиль (юго-восточная Камчатка) в 1980-2017 гг. // Исследования водных и биологических ресурсов в северо-западной части Тихого океана. 2018. Вып. 50. С. 5-26.
3. Калачева Е.Г., Волошина Е.В., Богатко Н.П., Яремчук В.П. Гидрохимический режим Налычевских термальных источников (п-ов Камчатка) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXIII ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 2020. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2020. С. 175-178.
4. Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Коломейцев В.В. и др. Результаты мониторинга микроводорослей комплекса вредоносного «цветения» (ВЦВ) в Авачинском заливе в 2022 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2022. Т. 67. С. 46-60.
5. Набоко С.И. Вулканические эксгаляции и продукты их реакций / Труды лаборатории вулканологии. Отв. ред. В.И. Влодавец. Москва: Издательство Академии Наук СССР, 1959. Вып. 16. 303 с.
6. Semkin P., Pavlova G., Jiang S. et al. Stable isotopes $\delta D-H_2O$, $\delta^{18}O-H_2O$, $\delta^{15}N-NO_3^-$, $\delta^{18}O-NO_3^-$ and hydrochemistry of the volcanic catchments and the influence of continental runoff on the environment of Eastern Kamchatka // Marine Pollution Bulletin. 2026. V. 226. Art. 119323.
7. Ulanova O.A., Semkin P.Yu., Barabanshchikov Yu.A. et al. Ecosystem response of the Avachinsky Gulf (Eastern Kamchatka) to the runoff of the Nalycheva river in the summer season // Journal of Volcanology and Seismology. 2025. V. 19(1). P. S369-S279.