

ГИДРОХИМИЯ, ГИДРОБИОЛОГИЯ,
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 574.2.043

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ
РЕЧНОЙ СЕТИ КАМЧАТКИ

© 2020 г. Ю. С. Литвиненко^а, Л. В. Захарихина^б, *

^аООО “ЭкоГеоЛит”, Москва, 119330 Россия

^бВсероссийский научно-исследовательский институт
цветоводства и субтропических культур, Сочи, 354002 Россия

*e-mail: zlv63@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.06.2018 г.

После доработки 03.09.2018 г.

Принята к публикации 25.12.2018 г.

Выявлены гидрогеохимические особенности речных вод разных районов п-ова Камчатка по обширному (57) спектру макро- и микроэлементов количественными методами анализа — масс-спектрометрическим и атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой. Относительно высокие содержания химических элементов характерны для вод, образующихся в окрестностях активных вулканов Северной группы полуострова, и развитых на Западном побережье Камчатки на территории с наименьшей мощностью почвенно-пирокластического чехла. Наиболее бедный гидрогеохимический состав речных вод характерен для районов юго-восточного побережья полуострова, где почвенные поверхностные горизонты залегают на молодых плохо трансформированных вулканических пеплах и, как исключение в целом для Камчатки, отмечена положительная геохимическая связь вод с валовым составом почв. К общим особенностям гидрохимии вод Камчатки относятся: в основном низкие содержания химических элементов в сравнении с кларками речных вод; высокое содержание железа в водах всех районов полуострова; как правило, отсутствие связи качественного элементного состава вод с составом верхней части почвенно-пирокластического чехла.

Ключевые слова: Камчатка, гидрогеохимия речной сети, активный вулканизм.

DOI: 10.31857/S0321059620020091

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время имеется большая база данных о гидрологии многочисленных больших и малых рек Камчатки, географии их бассейнов, условиях протекания, основных видах питания и общем химическом составе (содержания основных анионов и катионов), которая сформирована преимущественно камчатскими производственными геологическими организациями в виде производственных и научно-производственных отчетов. При этом обширный спектр микроэлементов в водах рек изучен крайне слабо.

Основная цель настоящей работы — определение гидрогеохимических особенностей речной сети Камчатки в связи с разными условиями вулканизма региона как часть проводимых авторами комплексных геохимических исследований природных сред вулканических экосистем полуострова — современных вулканических пеплов, почв, растений, природных вод и донных отложений.

По территории п-ова Камчатка протекает почти 55 500 больших и малых рек. Срединный, Восточный и Южный горно-вулканические хребты

делят территорию на два бассейна: западный — бассейн Охотского моря и восточный — бассейн Тихого океана и частично Берингова моря.

Для рек региона характерны все основные виды питания — снеговое, дождевое, ледниковое и подземное [14]. Исходный химический состав вод определяют атмосферные осадки, выпадающие в бассейны рек. Последующее обогащение химического состава речных вод происходит в результате поверхностного и подземного стока, фильтрации осадков через почвенно-пирокластический чехол, поступления в них трещинных вод из пород геологического основания.

Общий химический состав речных вод Камчатки довольно однообразен. В соответствии с классификацией ионного состава вод по О.А. Алекину [1] они относятся к первому типу ультрапресных и пресных мягких вод, классу преимущественно гидрокарбонатных со смешанным кальциево-магниевым составом катионов. Среди анионов преобладает $\text{HCO}_3^- \geq 50$ экв %, содержание $\text{SO}_4^{2-} - 20-50$, а хлора ≤ 25 экв %. Реакция среды близкая к нейтральной.

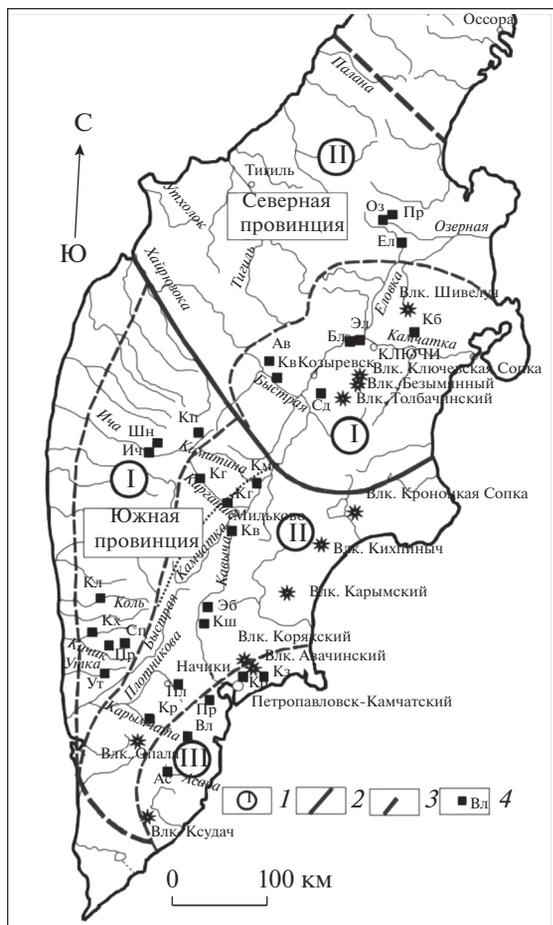


Рис. 1. Картограмма территории исследований. 1 – Районы почвенных провинций: I – Восточный, II – Западный Северной провинции; I – Западный, II – Центральный, III – Юго-Восточный Южной провинции. 2 – Граница между провинциями. 3 – Границы между районами. 4 – Точки наблюдений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Имеющиеся классификации рек Камчатки по условиям протекания, характеру питания и характеру водного режима неприменимы для гидрогеохимического районирования полуострова, поскольку не учитывают такие важные для формирования химического состава рек факторы, как активный вулканизм, состав и мощность почвенно-пирокластического чехла.

Влияние названных факторов на геохимические особенности компонентов экосистем полуострова в достаточной степени учитывает ранее предложенное авторами статьи районирование Камчатки по свойствам и происхождению приповерхностных пепловых горизонтов и в целом по сходству состава горизонтов голоценовых вулканических пеплов в почвенных профилях [9].

Выделены Северная почвенная провинция, разделенная на Восточный и Западный районы, и

Южная почвенная провинция, в состав которой входят Центральный, Западный и Юго-Восточный районы. Данная схема принята за основу при гидрогеохимическом районировании речной сети Камчатки.

Речные воды изучены и опробованы методом эталонных (ключевых) участков, показанных на рис. 1. На участках исследовались водотоки, относящиеся к площадям водосбора нескольких крупных рек. Для Западного района Северной провинции это реки Левая Озерная, Порожистая и Еловка. В Восточном районе этой провинции (окрестности вулканов северной группы полуострова) исследованы притоки рек Камчатка и Быстрая, в том числе попадающие в ареалы выпадения пеплов активных вулканов Камчатки: ручьи Студенный, Бельчинок, Кабеку, и находящиеся за пределами активных пеплопадов руч. Эульчинок, реки Кававля и Анавгай. Западный район Южной провинции охарактеризован на основании исследования рек и ручьев, относящихся к водосборным площадям рек Ичи, Шануч, Копылье, Порожистая, Коль, Кихчик, Утка. В Центральном районе названной провинции опробовались водотоки бассейнов рек Большая Кимитина, Кирганик, Кавычи, Эстребокос, Кашкан, Плотникова и Карымчина. В Юго-Восточном районе Южной провинции изучены гидрогеохимические особенности рек Мутная, Вилючи, Паратунки, Порожистая и их притоков, а также ручьев Козыревский с притоками и Крутобереговой.

Водосборная площадь главной трансграничной водной артерии полуострова – р. Камчатка охватывает территории, значительно отличающиеся по условиям вулканизма, поэтому гидрогеохимические особенности речной сети ее бассейна оценены по химическому составу притоков, относящихся к разным районам по принятой для данных исследований схеме районирования. Установление особенностей химического состава вод на разных участках течения самой реки с учетом влиянием активного вулканизма должно стать отдельным предметом исследований с использованием сведений, полученных в данной работе.

Опробование одних и тех же водотоков проводилось многократно в разные годы – в период с 2002 по 2016 г. в летне-осеннюю межень, в конце августа – начале сентября. Пробы воды отбирали с поверхности у левого или правого берега водотока по возможности в местах, где река или ручей имеют одно русло. При отборе проб проводилось их фильтрование через бумажные фильтры, промываемые на месте опробуемой водой. Пробы отбирались в емкости из полиэтилена низкого давления НД-277. Для консервации проб выполнялось их подкисление азотной химически чистой (ХЧ) кислотой ГОСТ 4461-77 [6], подвергавшей-

ся предварительно дополнительной очистке (пегонке без кипения), по рекомендации [10].

Исследования гидрогеохимического состава вод проводились количественными методами – масс-спектрометрическим и атомно-эмиссионным анализами с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS и ICP-AES). Погрешность определения химических элементов в природной воде при использовании данных методов и применении внешнего стандарта $\leq 6\%$. Пределы обнаружения метода до наногамм на литр для нераспространенных элементов (редкоземельные элементы (РЗЭ), U, Th и др.) и ниже микрограмм на литр для распространенных элементов (V, Mn, Zn, Cu, Ni и др.) [10].

Оценка гидрогеохимических особенностей поверхностных вод Камчатки выполнена путем расчета кларков концентрации (K_k) 57-ми химических элементов как отношения их среднегеометрических содержаний в водах выделенных районов (C_{cp}) к кларкам речной воды (K) – $K_k = C_{cp}/K$ [2–4]. В результате для каждого района выделены элементы в концентрациях, превышающих кларки для речных вод или равных им ($K_k \geq 1$), и элементы с пониженными содержаниями относительно кларков со значениями $K_k < 1$. Для каждого района построены гидрогеохимические формулы в виде рядов элементов, ранжированных по величине их K_k .

Степень зависимости элементного состава речных вод от геохимического состава развитых на водосборных площадях поверхностных органических горизонтов почв и залегающих под ними современных приповерхностных вулканических пеплов установлена путем расчета ранговых коэффициентов корреляции названных сред по величине K_k элементов. В работе использованы собственные данные авторов по содержаниям химических элементов в обсуждаемых пеплах и почвах, полученные в результате геохимических исследований в рамках указанного выше районирования Камчатки. Значения K_k для элементов приповерхностных вулканических пеплов рассчитывались как отношения их среднегеометрических содержаний (C_{cp}) в пеплах выделенных районов к средним содержаниям (K) в горных породах верхней части континентальной коры (кларки пород) [5]: $K_k = C_{cp}/K$. Для риолитовых пеплов Западного и Центрального районов Южной провинции в этих расчетах использованы значения K элементов в кислых вулканитах, для приповерхностных пеплов всех остальных районов – кларки средних вулканитов. Расчет K_k элементов в почвах полуострова выполнен по аналогичной формуле: $K_k = C_{cp}/K$, где C_{cp} – среднегеометрические содержания химических элементов в поверхностных органических горизонтах почв

выделенных районов; K – распространенность элементов в почвах континентов (кларки почв) [16].

Для определения степени сходства и различия гидрогеохимических составов рек разных районов рассчитаны ранговые коэффициенты корреляции между ними по величинам K_k элементов. Кроме того, для сравнения составов вод районов использован традиционный геохимический показатель – сумма РЗЭ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гидрогеохимические особенности разных районов Камчатки

На фоне общих невысоких содержаний химических элементов в водах Камчатки относительно кларков для речных вод выделен Восточный район Северной провинции, отличающийся относительно богатым химическим составом рек (табл. 1, 2). Район охватывает окрестности Северной группы наиболее активных вулканов Камчатки (Шивелуч, Толбачик, Ключевская сопка). В сравнении с остальными районами для поверхностных вод этой территории характерны наиболее высокие значения кларков концентрации химических элементов и наибольшее их число с $K_k > 1$ – 39 из 57 изученных элементов. Максимальные значения K_k (от 11.5 до 13.0) установлены для V, Tb, La, Eu и Fe (табл. 2).

В число химических элементов с $K_k > 1$ входят все РЗЭ, кроме Y и Sc (содержания последнего ниже предела обнаружения), со значениями K_k от 5.2 (Yb) до 12.0 (Tb). Данная особенность, безусловно, связана с влиянием на гидрохимию водотоков современного активного вулканизма. При изучении снежного покрова вблизи вулканов северной группы установлены высокие концентрации РЗЭ в талых водах из горизонтов снега, обогащенных продуктами извержений вулканов Шивелуч, Толбачик, Ключевская сопка [13]. На обобщенном графике зависимости количеств РЗЭ в горизонтах снега с пеплами в осевых частях пеплопадов от расстояния до источников извержений отчетливо виден общий тренд уменьшения сумм РЗЭ при удалении от вулканов (рис. 2). Таким образом, повышенные надкларковые содержания РЗЭ в водах речной сети района – подтверждение ведущей роли современной деятельностью вулканов Северной группы в формировании химического состава рек Восточного района Северной провинции, водосборные площади большинства которых располагаются в зоне поступления свежих продуктов вулканической деятельности.

Однако расчет коэффициентов ранговой корреляции по K_k речных вод с молодыми приповерхностными вулканическими пеплами (табл. 3) и почвами (табл. 4, 5) Восточного района Север-

Таблица 1. Средние содержания химических элементов в речных водах Камчатки (n – число проб, включенных в расчет) и кларки речной воды по [2] с дополнением по [3, 4], мкг/л (содержания Be, Sc, Nb, Ru, Rh, Pd, In, Sn, Te, W, Os, Ir, Pt, Au ниже предела обнаружения анализа) (Исследования выполнены в АСИЦ ВИМС, г. Москва)

Элементы	Речные воды						Морская вода (Авачинская бухта)
	кларки	Северная провинция		Южная провинция			
		Западный район ($n = 80$)	Восточный район ($n = 57$)	Западный район ($n = 132$)	Центральный район ($n = 76$)	Юго-Восточный район ($n = 32$)	
Li	2.5	0.84	5.53	1.35	1.48	0.45	90.4
B	20	2.51	87.93	2.44	34.37	13.66	2000
Na	5000	3136.84	7311.62	2745.99	3788.05	6284.93	4249705.9
Mg	2900	1933.63	3017.43	2108.08	1916.15	2133.06	514781.5
Al	160	88.87	958.24	505.58	65.85	48.19	<70
Si	6000	9525.66	7033.58	5228.07	8273.96	12003.48	3349.6
P _{общ}	40	150.91	114.09	20.98	<4.50	<4.50	<2000
S _{общ}	3800	3454.81	8406.23	5051.13	4041.30	1540.70	389871.8
K	2000	685.41	1447.96	828.46	545.95	782.31	164924.2
Ca	12000	8596.22	6134.94	7705.38	5136.36	11279.18	174928.6
Ti	3	1.90	4.18	9.74	0.95	1.80	<10
V	1	1.00	12.95	1.00	1.00	2.54	<50
Cr	1	1.00	2.14	1.00	1.00	1.00	<100
Mn	10	7.35	30.96	6.94	2.89	6.88	96
Fe	40	154.12	461.89	424.41	85.91	55.94	<50
Co	0.3	0.13	0.63	0.55	0.09	0.05	<0.4
Ni	2.5	0.46	5.30	6.30	0.83	0.46	<9
Cu	7	1.47	10.49	1.52	2.14	0.49	<30
Zn	20	1.93	15.67	1.98	10.32	1.31	<50
Ga	0.1	0.02	0.19	0.10	0.02	0.01	<0.2
Ge	0.07	<0.02	0.04	<0.02	<0.02	<0.02	<0.8
As	2	0.17	1.36	0.29	0.33	0.65	<9
Br	20	<4.00	22.52	<4.00	<4.00	7.34	29983.3
Se	0.2	<0.60	<0.60	0.51	<0.60	<0.60	79.0
Rb	2	0.77	2.44	1.39	0.83	0.73	48.0
Sr	50	25.31	27.47	47.42	71.38	25.43	3146.4
Y	0.7	0.08	0.23	0.14	0.05	0.03	<0.07
Zr	2.6	<0.009	0.22	<0.009	<0.009	0.02	<0.5
Mo	1	1.10	1.29	0.41	0.54	0.26	4.4
Ag	0.2	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.5
Cd	0.2	<0.009	0.04	<0.009	<0.009	0.01	<0.3
Sb	1	0.01	0.25	0.04	0.04	0.03	<1
Cs	0.03	0.02	0.05	0.07	0.04	0.02	<0.2
Ba	30	5.11	13.22	8.70	4.85	1.81	6.1
La	0.05	0.01	0.60	0.10	0.040	0.02	<0.8
Ce	0.08	0.04	0.43	0.28	0.058	0.01	<0.1
Pr	0.007	0.01	0.06	0.04	0.009	0.00	<0.006
Nd	0.04	0.04	0.25	0.17	0.035	0.02	<0.1

Таблица 1. Окончание

Элементы	Речные воды						Морская вода (Авачинская бухта)
	кларки	Северная провинция		Южная провинция			
		Западный район (n = 80)	Восточный район (n = 57)	Западный район (n = 132)	Центральный район (n = 76)	Юго-Восточный район (n = 32)	
Sm	0.008	0.01	0.05	0.04	0.007	<0.007	<0.04
Eu	0.001	<0.004	0.01	<0.004	0.003	<0.004	<0.04
Gd	0.008	0.01	0.05	0.04	0.008	<0.004	<0.03
Tb	0.001	<0.002	0.01	<0.002	0.002	<0.002	<0.04
Dy	0.005	0.01	0.04	0.03	0.007	0.01	<0.03
Ho	0.001	<0.002	0.01	<0.002	0.002	<0.002	<0.04
Er	0.004	<0.006	0.03	<0.006	0.005	<0.006	<0.05
Tm	0.001	<0.002	0.01	<0.002	0.002	<0.002	<0.04
Yb	0.004	<0.003	0.02	<0.003	0.004	<0.003	<0.07
Lu	0.001	<0.003	0.01	<0.003	<0.003	<0.003	<0.04
Hf	—	<0.004	0.01	<0.004	<0.004	<0.004	<0.05
Ta	—	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.2
Re	—	<0.004	0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.01
Hg	0.07	<0.004	0.06	<0.004	<0.004	<0.004	<0.01
Tl	1	0.23	0.03	0.17	<0.009	<0.004	<0.1
Pb	1	0.08	1.12	0.01	0.51	0.04	<4
Bi	—	<0.006	0.01	<0.006	<0.006	<0.006	<0.1
Th	0.1	0.002	0.02	0.02	0.001	0.002	<0.1
U	0.5	0.003	0.05	0.02	0.010	0.003	1.4

ной провинции не показал значимой прямой связи их химических составов. Это объяснимо различиями составов, выпадающих в бассейнах рек продуктов деятельности разных вулканов, их наложением и смешиванием в процессе отложения, что приводит к нарушению геохимической связи между обсуждаемыми природными средами.

Западный район Северной провинции – территория, для которой характерны незначительные по объему присыпки свежих вулканических пеплов дальнего переноса современных извержений преимущественно вулкана Шивелуч, аналогичных по химическому составу с пеплом, поступающим на водосборные площади рек Восточного района этой провинции. Влияние продуктов вулканической деятельности на состав вод Западного района существенно ниже, гидрогеохимия вод района значительно беднее, чем в Восточном районе, но пеплы дальнего переноса определяют сходство вод по составу приоритетных элементов, в который, как и вблизи вулканов, входят: Fe, P, Dy, Si, Gd, Sm.

Выделяется также по относительно богатому гидрогеохимическому составу Западный район

Южной провинции (западное побережье Камчатки). Здесь из 57-ми изученных химических элементов для 16-ти установлены повышенные содержания относительно кларков для речных вод, 12 из которых имеют $K_k > 2$, а для Fe характерен $K_k = 10.6$. Относительное богатство вод района химическими элементами обусловлено следующими факторами. Данная территория наиболее удалена от активных вулканов, что определяет минимальную мощность ее почвенно-пирокластического чехла, включающего в себя всего два пепловых горизонта. Если для большей части территории Камчатки мощность вулканических почв, перекрывающих подстилающие горные породы, составляет в среднем 1–1.5 м, то на Западном побережье Камчатки почвы имеют глубину не более 30–40 см, т.е. горные породы здесь не перекрываются многочисленными пепловыми и почвенными горизонтами, как в других районах, и оказывают влияние на гидрогеохимические особенности речных вод. При этом для территории характерно наличие медно-никелевых рудопроявлений и имеется одно медно-никелевое месторождение Шануч (западные отроги Средин-

Таблица 2. Гидрогеохимические формулы речных вод выделенных провинций и районов Камчатки

Провинция	Район	Химические элементы речных вод, ранжированные по величине K_k (в скобках)	
		$K_k \geq 1$	$K_k < 1$
Северная	Западный	Fe(3.9)–P(3.8)–Dy(1.7)–Si(1.6)– Gd(1.3)–Sm(1.1) – Mo(1.0)	Pr,Nd(0.9)–S _{общ} , Mn,Ca(0.7)–Mg, Ti, Na, Cs(0.6) – Al,Ce(0.5)– Sr,Co,Rb(0.4)– K,Li, La(0.3) –Tl, Ga,Cu,Ni,Ba(0.2)–B,Y,Zn,As, Pb(0.1) – Th, Sb, V, Cr, Ge,Br,Se,Zr,Ag, Cd, Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta,Re,Hg, Bi,U(<0.1)
	Восточный	V(13.0)–Tb(12.7)–La, Eu (12.0)– Fe(11.5)–Ho(9.3)–Dy(8.8)–Pr(8.8)– Er(7.7)–Gd(6.6)–Tm(6.4)–Nd, Sm(6.1)–Al(6.0)–Lu(5.5)–Ce(5.3) – Yb(5.2)– Ta (4.5)–B(4.4)–Mn (3.1) P _{общ} (2.9) – S _{общ} , Li (2.2)–Hf,Cr,Ni, Co(2.1) – Re(2.0)–Ga(1.9)–Cs(1.8) – Cu, Na(1.5) – Ti(1.4) – Mo(1.3)–Rb, Si(1.2) –Br, Pb(1.1) Mg(1.0)	Zn(0.8)–K,As(0.7)–Sr,Ge,Ca(0.5)– Ba(0.4)–Y(0.3)–Sb,Th,Cd,Ag(0.2)– U,Zr(0.1) –Tl, Se, Bi,Hg(<0.1)
Южная	Западный	Fe(10.6)–Dy(5.8)–Pr(5.4)–Sm(4.7)– Gd(4.5)–Nd(4.3)–Ce(3.4)–Ti,Se, Al(3.2)–Ni, Cs.(2.5)–La(2.0)– Co(1.8)–S _{общ} (1.3)–Ga(1.0)	Sr,Si(0.9)–Mg,Mn,Rb(0.7)–Ca(0.6)– Na, Li, P _{общ} , Bi(0.5) – K,Mo(0.4)– Ba(0.3) –Th,Cu, Y, Tl(0.2) –As,B, Zn(0.1) – U, Sb, V,Cr,Ge,Br, Zr, Ag,Cd,Eu,Tb,Ho, Er, Tm, Yb,Lu,Hf,Ta,Re, Hg, Pb(<0.1)
	Центральный	Eu(3.5)–Ho(2.2)–Fe,Tb(2.1)– Lu(1.8)–B(1.7)–Tm(1.5)–Sr, Si(1.4)–Dy(1.3)–Cs,Pr,Er(1.2)– Yb,S _{общ} , Gd(1.1)	Sm,Nd(0.9)–La,Na(0.8)–Ce,Mg(0.7)– Li(0.6)–Mo,Zn, Pb(0.5)–Ca,Rb,Al(0.4)–Ni,Ti,Cu,Mn, Co,K(0.3)–Ga,As,Ba(0.2)–P _{общ} , Y(0.1)–Sb,U,Th,V,Cr Ge,Br,Se,Zr, Ag,Cd,Hf,Ta,Re, Hg, Tl, Bi(<0.1)
	Юго-Восточный	V(2.5)–Si(2.0)–Dy(1.9)– Fe(1.4)–Na(1.3)	Ca(0.9)–Cs(0.8)–Mg,Mn,B(0.7)– Ti(0.6)–Sr,Pr,La,Nd(0.5)– S _{общ} ,K,Br,Rb(0.4) – As,Al, Mo(0.3)– Co,Ni,Li,Ce(0.2)–Ga, P _{общ} ,Cu,Zn, Cd,Ba(0.1)–Y,Pb,Sb,Th,Cr, Ge,Se,Ag,Sm, Eu,Gd,Tb,Ho,Er,Tm,Yb, Lu,Hf,Ta,Re,Hg,Tl,Zr,Bi,U(<0.1)

ного хребта Камчатки), которые выделяются в Камчатскую никеленосную провинцию [15]. Как следствие этого, к числу элементов с повышенными содержаниями в водах района относится основной рудный элемент провинции Ni, имеющий $K_k = 2.5$ (табл. 2).

Для поверхностных вод Западного района Южной провинции характерно также наличие в ряду элементов с надкларковыми содержаниями шести РЗЭ: Dy, Pr, Sm, Nd, Ce и La (K_k от 2.0 до 5.8). Объясняется это наличием аномальных концентраций РЗЭ в составе руд и геохимических орео-

лов вышеуказанных медно-никелевых объектов, повышенные содержания которых характерны для вод, контактирующих с рудной минерализацией [12]. Кроме того, в геологическом основании данной территории часто встречаются углестые сланцы, которые, как известно, также обогащены РЗЭ.

Центральный район Южной провинции охватывает хорошо проработанную долину самой крупной на Камчатке одноименной р. Камчатка. При достаточно бедном составе речных вод района для них наблюдается сходство с расположен-

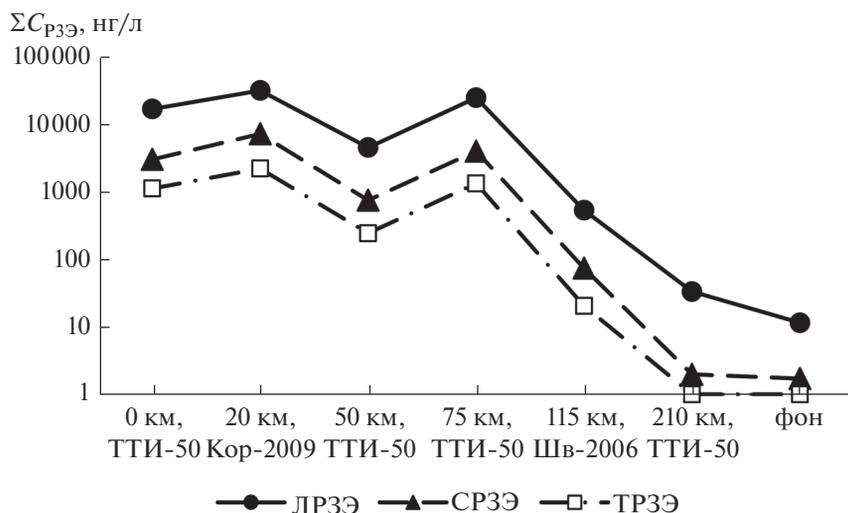


Рис. 2. Зависимость сумм РЗЭ (ЛРЗЭ – легкие, СРЗЭ – средние, ТРЗЭ – тяжелые [17]) в горизонтах снежного покрова с пеплом от расстояния до источников извержений (км) ниже источники пепла: ТТИ-50 – Трещинное Толбачинское извержение 2012 г.; Кор-2009 – вулкан Корякский, извержение 2009 г.; Шв-2006 – вулкан Шивелуч, извержение 2009 г.

ным севернее Восточным районом Северной провинции по спектру приоритетных элементов (Fe, P, Dy, Si, Gd, Sm, Mo). Вероятно, временами при частых северном и северо-восточном ветрах сюда могли поступать аэральные продукты извержений Северной группы вулканов полуострова, определившие сходство состава речных вод этих районов.

Юго-Восточный район Южной провинции выделяется среди других территорий полуострова относительной молодостью поверхностного органогенного горизонта почв (110 лет) и слабой преобразованностью подстилающего его вулканического пепла, который отложился в результате извержения вулкана Ксудач в 1907 г. Судя по свойствам этого пепла, фактически не обнаруживаются признаки вовлечения его в процессы почвообразования и гипергенеза.

Данный район отличается самым бедным для Камчатки гидрогеохимическим составом речных вод, который, в отличие от других районов полуострова, положительно коррелирует с валовым химическим составом почв этой территории (табл. 4, 5). Коэффициент ранговой корреляции между показателями K_k элементов почв и поверхностных вод района составляет 0.316. При количестве включенных в расчет элементов $n = 45$ критическое значение коэффициента корреляции для 5%-го уровня значимости $r_{5\%крит} = 0.292$.

Таким образом, для вулканических территорий с относительно недавно образованными почвенными горизонтами, залегающими на слабо трансформированных вулканических пеплах, ха-

рактерна бедность гидрогеохимического состава речных вод и его значимая положительная корреляционная связь с валовым химическим составом почв. Вероятно, в результате преобразования пеплов и наступления зрелости органогенных горизонтов эта связь нарушается.

Общие особенности гидрохимии вод Камчатки

Выполненный сравнительный анализ химического состава речных вод Камчатки позволил установить следующие общие гидрохимические особенности региона.

Для речных вод большинства районов Камчатки характерны в основном низкие содержания химических элементов в сравнении с кларками речных вод (табл. 2), т.е. большее число элементов имеют показатели $K_k < 1$. Это в полной мере согласуется с в целом бедным геохимическим составом почв и пеплов, слагающих почвенно-пирокластический чехол региона, относительно соответствующих кларков [7–9].

Расчет ранговых коэффициентов корреляции по K_k элементов показал, что качественный химический состав речных вод в выделенных районах Камчатки (табл. 2) не обнаруживает связей с геохимическими составами приповерхностных вулканических пеплов (табл. 3) и поверхностных почвенных горизонтов (табл. 4, 5), развитых в этих районах. Исключение составляет лишь Юго-Восточный район Южной провинции.

Как видно из табл. 3–5, для почв и пеплов Камчатки, как правило, характерны более высо-

Таблица 3. Средние содержания химических элементов в приповерхностных вулканических пеплах в районах почвенных провинций Камчатки (Ср), их K_K и кларки (К) средних и кислых вулкаников по [5] (Содержания Na, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe в %, остальных элементов – в мг/кг; n – число проб)

Элементы	К		Северная провинция				Южная провинция					
			Западный район ($n = 30$)		Восточный район ($n = 50$)		Западный район ($n = 40$)		Центральный район ($n = 55$)		Юго-восточный район ($n = 30$)	
	средние вулканики	кислые вулканики	средние андезитовые пеплы				кислые риолитовые пеплы				средние пеплы	
			Ср	K_K	Ср	K_K	Ср	K_K	Ср	K_K	Ср	K_K
Na	2.72	3.00	2.91	1.07	2.13	0.78	1.99	0.77	2.48	0.96	2.19	0.81
Mg	1.85	0.22	1.12	0.60	2.51	1.36	1.04	4.74	0.79	3.59	2.05	1.11
Al	8.83	7.0	6.00	0.68	7.89	0.89	6.80	0.97	7.26	1.04	7.98	0.90
P	0.096	0.044	0.13	1.35	0.12	1.25	0.13	2.95	0.16	3.64	0.20	2.08
K	1.49	4.0	2.01	1.35	0.88	0.59	1.11	0.31	1.37	0.37	0.66	0.45
Ca	4.44	1.0	2.27	0.51	5.40	1.22	2.55	3.23	2.19	2.78	4.45	1.00
Ti	0.46	0.16	0.21	0.47	0.52	1.14	0.53	3.29	0.37	2.33	0.39	0.86
Mn	0.108	0.046	0.05	0.47	0.11	1.02	0.09	1.93	0.10	2.18	0.12	1.12
Fe	5.04	2.0	2.17	0.43	5.33	1.06	3.70	2.47	3.31	2.21	4.80	0.95
Li	20	26	20.98	1.05	11.29	0.56	16.49	0.63	17.86	0.69	9.93	0.50
Be	1.4	4.0	1.05	0.75	0.61	0.44	0.99	0.25	1.04	0.26	0.52	0.37
Sc	15	4.2	7.30	0.49	23.19	1.55	19.34	4.60	15.83	3.77	23.25	1.55
V	71	60	65.45	0.92	180.34	2.54	139.64	2.33	83.26	1.39	149.74	2.11
Cr	30	8.5	44.99	1.50	61.68	2.06	24.49	2.88	10.49	1.23	35.60	1.19
Co	19	4.8	8.60	0.45	22.97	1.21	13.27	2.76	9.48	1.97	16.30	0.86
Ni	51	8.0	17.32	0.34	21.66	0.42	8.97	1.12	6.05	0.76	12.67	0.25
Cu	44	15	31.98	0.73	57.44	1.31	41.13	2.74	25.15	1.68	32.52	0.74
Zn	31	35	48.74	1.57	81.70	2.64	80.38	2.30	86.39	2.47	65.50	2.11
Ga	29	26	16.00	0.55	17.29	0.60	24.68	0.95	19.99	0.77	17.34	0.60
As	2.5	4.3	11.34	4.54	1.83	0.73	7.73	1.80	5.01	1.16	3.11	1.25
Rb	75	190	36.99	0.49	16.33	0.22	32.50	0.17	31.47	0.17	12.47	0.17
Sr	390	240	289.83	0.74	309.22	0.79	210.24	0.88	224.80	0.94	268.66	0.69
Y	19	24	8.05	0.42	16.49	0.87	20.90	0.87	22.84	0.95	16.09	0.85
Zr	110	110	224.94	2.04	142.28	1.29	180.00	1.64	175.46	1.60	99.56	0.91
Nb	19	26	4.05	0.21	2.62	0.14	5.51	0.21	5.12	0.20	1.97	0.10
Mo	2	3.4	3.09	1.55	0.98	0.49	2.10	0.62	2.52	0.74	1.25	0.62
Cd	0.15	0.3	0.10	0.70	0.19	1.24	0.21	0.70	0.19	0.64	0.16	1.10
Sn	4.5	3.5	1.24	0.28	1.13	0.25	1.82	0.52	2.07	0.59	1.55	0.34
Sb	0.2	0.3	1.15	5.74	0.41	2.05	0.57	1.90	0.55	1.84	0.59	2.93
Cs	2.9	10	1.65	0.57	0.61	0.21	2.10	0.21	1.73	0.17	0.88	0.30
Ba	410	480	529.15	1.29	355.67	0.87	424.97	0.89	451.98	0.94	222.54	0.54
La	28	31	9.49	0.34	6.41	0.23	8.66	0.28	9.72	0.31	4.55	0.16
Ce	50	58	20.45	0.41	15.28	0.31	20.35	0.35	23.01	0.40	11.27	0.23
Pr	4.0	10	2.59	0.65	2.32	0.58	2.80	0.28	3.11	0.31	1.70	0.42
Nd	20	27	9.78	0.49	10.63	0.53	12.00	0.44	13.21	0.49	7.74	0.39
Sm	4.3	5.2	1.94	0.45	2.87	0.67	3.09	0.59	3.48	0.67	2.23	0.52
Eu	1.2	1.5	0.60	0.50	0.97	0.81	0.91	0.61	1.07	0.71	0.78	0.65
Gd	4.5	5.0	1.84	0.41	3.20	0.71	3.43	0.69	3.97	0.79	2.62	0.58

Таблица 3. Окончание

Элементы	К		Северная провинция				Южная провинция					
			Западный район (n = 30)		Восточный район (n = 50)		Западный район (n = 40)		Центральный район (n = 55)		Юго-восточный район (n = 30)	
	средние вулканиты	кислые вулканиты	средние андезитовые пеплы				кислые риолитовые пеплы				средние пеплы	
			Ср	К _к	Ср	К _к	Ср	К _к	Ср	К _к	Ср	К _к
Tb	0.71	0.82	0.28	0.39	0.52	0.73	0.57	0.70	0.65	0.79	0.43	0.60
Dy	3	6.0	1.54	0.51	3.06	1.02	3.43	0.57	4.03	0.67	2.66	0.89
Ho	0.72	1.7	0.33	0.45	0.64	0.89	0.74	0.43	0.84	0.49	0.56	0.78
Er	2.1	3.6	0.93	0.44	1.88	0.89	2.24	0.62	2.63	0.73	1.73	0.82
Tm	0.4	1.0	0.14	0.36	0.27	0.68	0.35	0.35	0.40	0.40	0.26	0.65
Yb	2.0	2.5	0.97	0.49	1.78	0.89	2.24	0.90	2.65	1.06	1.74	0.87
Lu	0.32	0.55	0.16	0.50	0.28	0.87	0.36	0.65	0.41	0.75	0.27	0.84
Hf	3.6	4.1	3.57	0.99	2.09	0.58	2.70	0.66	2.86	0.70	1.58	0.44
W	1.4	1.4	0.54	0.38	0.28	0.20	0.58	0.41	0.53	0.38	0.39	0.28
Tl	0.5	2.1	0.34	0.69	0.11	0.22	0.36	0.17	0.25	0.12	0.10	0.21
Pb	18	23	10.00	0.56	4.98	0.28	11.22	0.49	10.04	0.44	5.56	0.31
Bi	0.07	0.14	0.14	2.00	0.07	0.98	0.28	1.98	0.19	1.37	0.08	1.14
Th	4.1	13	2.05	0.50	0.74	0.18	1.77	0.14	2.09	0.16	0.69	0.17
U	1.1	4.5	1.25	1.14	0.49	0.44	0.84	0.19	1.05	0.23	0.34	0.31

кие значения K_k элементов, типичных для вулканических пород среднего и основного составов (Na, Ca, Mg, Cd, Mn, Co, Cu) относительно K_k элементов, характерных для кислых вулканитов (La, Ce, Pr, Nd, Nb, Hf, Tl, Rb и Th). В речных водах полуострова эта закономерность не прослеживается. В их состав в повышенных концентрациях чаще входят химические элементы, типичные для кислых пород с отличающимся качественным составом в разных районах (табл. 2).

К общей особенности гидрогеохимического состава вод Камчатки следует отнести наличие железа в составе элементов, встречающихся в повышенных содержаниях во всех речных водах полуострова. Наиболее богаты Fe воды Западного района Южной провинции и Восточного района Северной провинции, где его K_k варьируют от 10.6 до 11.5. В других районах эта величина изменяется от 1.4 до 3.9. Повышенные содержания Fe в водах Камчатки, наряду с другими факторами, могут быть обусловлены наличием в вулканических почвах региона иллювиально-железистых пепловых охристых горизонтов, содержание валового Fe в которых составляет 8–10% [9].

Сходство и различия речных вод разных районов полуострова

Наглядным свидетельством существенного различия речных вод обсуждаемых районов Камчатки по гидрогеохимическому составу является сумма РЗЭ. Этот показатель составляет, мкг/л: для вод Северной провинции 1.58 (Восточный район) и 0.13 (Западный район); для вод Южной провинции – 0.18, 0.7, 0.06 (Центральный, Западный и Юго-Восточный районы соответственно). Как видно из приведенных данных, сумма РЗЭ подтверждает относительное богатство вод Восточного района Северной провинции и Западного района Южной провинции и сравнительную бедность гидрохимического состава водотоков Юго-Восточного района Южной провинции. Отличия эти обусловлены комплексом вышеперечисленных факторов, главный из которых, безусловно, – активный вулканизм.

В то же время расчет ранговых коэффициентов корреляции химических составов вод разных районов полуострова по значениям K_k элементов показал наличие значимых положительных связей между гидрохимическими составами рек прибрежных территорий: Западного района Северной провинции, Западного и Юго-Восточного районов Южной провинции. Коэффициенты ранговой корреляции между гидрохимическими составами вод названных районов варьируют от

Таблица 4. Средние содержания химических элементов в поверхностных горизонтах почв в районах почвенных провинций и Камчатки и распространенность элементов в почвах континентов (К) по [16] (Содержания Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Mn, Fe в %, остальных элементов – в мг/кг; *n* – число проб)

Элементы	К	Северная провинция		Южная провинция		
		Западный район (<i>n</i> = 30)	Восточный район (<i>n</i> = 50)	Западный район (<i>n</i> = 40)	Центральный район (<i>n</i> = 55)	Юго-Восточный район (<i>n</i> = 30)
Li	30	10.63	11.28	11.52	10.61	6.71
Be	1.5	0.57	0.60	0.67	0.57	0.37
Sc	8	8.97	21.99	10.54	16.61	15.53
V	90	79.88	168.19	97.59	111.17	92.19
Cr	60	45.68	65.48	22.18	21.99	19.85
Co	9	9.65	22.35	10.80	13.65	10.76
Ni	20	20.13	24.44	11.04	12.86	8.81
Cu	23	32.04	56.64	27.77	39.60	33.83
Zn	60	57.53	75.00	90.03	85.89	65.31
Ga	20	11.10	16.27	15.19	15.17	10.70
As	6	5.79	1.28	4.31	2.86	3.31
Rb	70	16.63	17.60	30.90	19.93	13.91
Sr	220	209.17	321.07	177.02	238.51	186.54
Y	25	7.02	15.67	10.51	16.32	12.15
Zr	300	118.06	142.26	82.84	122.83	78.68
Nb	11	3.16	2.54	3.83	2.76	1.71
Mo	2	2.10	0.99	1.75	1.56	1.07
Cd	0.16	0.24	0.17	0.26	0.23	0.20
Sn	1.1	1.64	1.15	1.96	1.32	1.08
Sb	0.9	0.47	0.37	0.46	0.38	0.35
Cs	3	1.28	0.63	2.14	1.06	1.03
Ba	500.0	312.70	361.5	325.1	358.9	214.0
La	40	6.05	6.72	6.20	5.95	4.34
Ce	50	12.96	16.10	13.51	14.61	10.21
Pr	7	1.66	2.37	1.68	2.04	1.43
Nd	33	7.08	10.84	7.19	9.11	6.32
Sm	5	1.57	2.83	1.73	2.45	1.72
Eu	1	0.53	0.94	0.56	0.81	0.59
Gd	4	1.63	3.10	1.92	2.83	1.98
Tb	0.7	0.25	0.48	0.31	0.48	0.33
Dy	5	1.48	2.95	1.82	2.81	2.02
Ho	0.6	0.29	0.60	0.39	0.60	0.44
Er	2	0.85	1.77	1.39	1.85	1.33
Tm	0.4	0.13	0.26	0.18	0.27	0.19
Yb	3	0.87	1.71	1.20	1.78	1.31
Lu	0.35	0.13	0.26	0.19	0.28	0.20
Hf	7	2.00	2.12	1.52	1.93	1.24
W	1	0.43	0.27	0.80	0.32	0.34
Tl	0.3	0.24	0.13	0.26	0.18	0.14
Pb	20	6.70	5.02	9.82	6.70	7.96
Bi	0.2	0.12	0.08	0.26	0.13	0.11

Таблица 4. Окончание

Элементы	К	Северная провинция		Южная провинция		
		Западный район (<i>n</i> = 30)	Восточный район (<i>n</i> = 50)	Западный район (<i>n</i> = 40)	Центральный район (<i>n</i> = 55)	Юго-Восточный район (<i>n</i> = 30)
Th	6.5	0.99	0.84	1.46	1.06	0.76
U	1.5	0.58	0.60	0.70	0.55	0.32
Na	0.63	1.60	2.10	1.38	1.90	1.26
Mg	0.63	0.79	2.60	0.79	1.34	1.20
Al	7.13	4.44	7.77	4.97	6.40	4.88
K	1.36	0.88	0.96	0.83	0.85	0.55
Ca	1.37	1.85	5.33	2.11	3.42	3.10
Ti	0.37	0.21	0.48	0.36	0.36	0.26
Mn	0.05	0.07	0.11	0.09	0.13	0.10
Fe	3.8	2.08	5.21	2.71	3.71	3.05

0.630 до 0.855 при $n = 46$, критическое значение коэффициента корреляции для 5%-го уровня значимости – $r_{5\%крит} = 0.288$ (табл. 6). Исключение составил Восточный район Северной провинции, граничащий на северо-востоке с побережьем Берингова моря, для речных вод которого отсутствует значимая корреляция с составами вод других прибрежных районов.

Очевидно, что установленная близость речных вод прибрежных районов Камчатки по составу химических элементов с повышенными и пониженными содержаниями относительно кларков обусловлена целым комплексом различных факторов, в том числе влиянием морских и океанического акваторий, окружающих Камчатский п-ов. Формирующиеся над этими акваториями атмосферные осадки, подверженные влиянию морских солей, выпадают в значительно больших количествах на прибрежные территории Камчатки, чем на площади внутри полуострова. Это, несомненно, оказывает влияние на гидрохимические особенности речных вод побережья и объясняет наличие положительной корреляции между химическими составами вод всех прибрежных районов.

Наиболее тесную корреляционную связь с составом морских вод (воды Авачинской бухты, табл. 1) имеют речные воды Юго-Восточного района Южной провинции, коэффициент ранговой корреляции составляет 0.715 при количестве включенных в расчет элементов $n = 16$ ($r_{5\%крит} = 0.497$). Объяснимо это максимальным количеством осадков для данной территории – до 1200 мм в год, при средних показателях для других районов Камчатки 350–700, реже 1000 мм [11].

Наиболее слабые, незначимые корреляционные связи установлены между химическим соста-

вом речных вод Восточного района Северной провинции и составами речных вод других прибрежных районов. Это определено преобладающим влиянием на состав речных вод данного района регулярно поступающих на поверхность водосборных площадей продуктов современной деятельности активных вулканов Северной группы.

В то же время для значительно более богатых по химическому составу речных вод Восточного района Северной провинции обнаруживается тесная положительная корреляция по величинам K_k элементов с химическим составом вод расположенного южнее Центрального района Южной провинции. Коэффициент ранговой корреляции составляет 0.644 при $n = 46$ ($r_{5\%крит} = 0.288$). Как отмечено выше, это связано с возможным периодическим поступлением в Центральный район при северных и северо-восточных ветрах аэральных пеплов Северной группы вулканов полуострова.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидрогеохимическое районирование речной сети Камчатки выполнено на основе ранее предложенного авторами районирования региона по свойствам и происхождению приповерхностных пепловых горизонтов и в целом по сходству состава горизонтов голоценовых вулканических влияний в почвенных профилях, учитывающего влияние современного активного вулканизма на геохимические свойства экосистем полуострова. Выделены Северная провинция, разделенная на Восточный и Западный районы, и Южная провинция, в состав которой входят Центральный, Западный и Юго-Восточный районы.

Таблица 5. Геохимические формулы поверхностных органогенных горизонтов почв почвенных провинций и районов Камчатки

Провинция	Район	Химические элементы почв, ранжированные по величине K_k (в скобках)	
		$K_k \geq 1$	$K_k < 1$
Северная	Западный	Na(2.5)–Cd,Sn(1.5)–Cu, Ca(1.4)–Mn(1.3)–Mg(1.2)– Sc,Co,Mo(1.1)–Ni(1.0)	As,Zn(0.96)–Sr,V(0.9)–Cr(0.8)– K,Ba,Al,Bi, Ti,Ga,Fe(0.6)–Eu,Sb,Ho(0.5)– W,Cs,Er,Gd, Zr, U,Be,Lu,Tb,Li(0.4)– Pb,Tm,Sm,Dy,Yb, Nb, Hf,Y,Ce(0.3)– Tl,Rb,Pr,Nd,Th,La(0.2)
	Восточный	Mg(4.1)–Ca(3.9)–Na(3.3)– Sc(2.7)–Co,Cu(2.5)–Mn(2.2)– V(1.9)–Sr(1.5)–Fe(1.4)–Ti(1.3)– Zn,Ni(1.2)–Cr,Al,Sn,Cd,Ho(1.1)	Eu,Er(0.9)–Ga,Gd,Lu(0.8)–Ba,K,Tb(0.7)– Tm,Y,Dy,Yb,Sm(0.6)–Mo,Zr(0.5)–Sb,Bi, U,Be,Li(0.4)–Pr,Nd,Ce,Hf, W, Rb, Pb(0.3)–Nb,As,Cs,La(0.2)–Tl,Th(0.1)
Южная	Западный	Na(2.2)–Mn(1.9)–Sn(1.8)– Cd(1.6)–Ca,Zn(1.5)–Sc, Bi(1.3)–Mg,Cu,Co(1.2)–V(1.1)	Ti(0.98)–Mo(0.9)–Sr,W,Ga(0.8)–As,Fe,Cs, Al,Er,Ho,Ba(0.7)–K, Eu,Ni(0.6)–Lu,Sb,Pb, Gd,U,Tm,Be(0.5)–Rb,Tb,Y,Yb, Li,Cr,Dy, Nb,Sm(0.4)–Zr,Ce,Tl(0.3)– Pr,Th, Nd,Hf, La(0.2)
	Центральный	Na(3.0)–Mn(2.7)–Ca(2.5)– Mg,Sc(2.1)–Cu(1.7)–Co(1.5)– Zn,Cd(1.4)–V, Sn(1.2)– Sr(1.1)–Ho(1.0)	Ti,Fe(0.98)–Er,Al(0.9)– Eu,Lu,Mo,Ga(0.8)–Ba,Gd,Tm,Tb,Y(0.7)– Ni,Bi,K,Yb,Dy(0.6)–Sm,As(0.5)– Sb,Zr,Be,Cr,U,Cs,Li(0.4)–Pb, W,Ce,Pr,Rb,Nd,Hf,Nb(0.3)–Tl,Th, La(0.2)
	Юго-Восточный	Ca(2.3)–Na(2.0)–Sc,Mn, Mg(1.9)–Cu(1.5)–Cd(1.3)– Co(1.2)–Zn(1.1)–V(1.0)	Sn(0.98)–Sr(0.9)–Fe(0.8)– Ho,Ti,Al,Er(0.7)–Eu,Lu,Bi,As(0.6)– Mo,Ga,Gd,Y,Tm, Tb(0.5)– Ni,Yb,Ba,K,Dy,Pb,Sb(0.4)–Cs,W, Sm,Cr,Zr,Be(0.3)–Li,U,Pr,Ce,Rb,Nd, Hf, Nb(0.2)–Tl,Th,La(0.1)

Таблица 6. Коэффициенты ранговой корреляции между средними химическими составами речных вод выделенных провинций и районов Камчатки по величине K_k элементов (количество включенных в расчет элементов $n = 46$, $r_{5\%крит} = 0.288$)

Провинция	Район	Северная провинция		Южная провинция		
		Западный район	Восточный район	Западный район	Центральный район	Юго-Восточный район
Северная	Западный	1				
	Восточный	0.156	1			
Южная	Западный	0.855	0.122	1		
	Центральный	0.267	0.674	0.168	1	
	Юго-Восточный	0.729	0.183	0.630	0.227	1

Установлены гидрогеохимические особенности состава речных вод выделенных районов Камчатки; выявлена степень зависимости элементного состава речных вод от геохимического состава современных пеплов и почв, развитых на водосборных площадях; выяснены причинно-следственные связи химического состава речных вод разных районов полуострова.

Относительным богатством гидрогеохимического состава выделяются воды Восточного района Северной провинции и Западного района Южной провинции. В первом случае это обусловлено активной деятельностью Северной группы вулканов. Подтверждение этого — вхождение в число надкларковых химических элементов РЗЭ с K_k от 5.2 (Yb) до 12.0 (Tb). Высокие концентрации РЗЭ установлены в талых водах из горизонтов снега, обогащенных продуктами вулканических извержений, с явным общим трендом уменьшения величины этого показателя при удалении от вулканов.

В Западном районе Южной провинции относительно высокие содержания ряда химических элементов в речных водах связаны с малой мощностью почвенно-пирокластического чехла территории, который не препятствует влиянию горных пород на гидрогеохимический состав рек. Как следствие, для вод района характерны повышенные содержания Ni с $K_k = 2.5$, а также шести РЗЭ: Dy, Pr, Sm, Nd, Ce, La с K_k — от 2.0 до 5.8. Ni — основной рудный элемент развитых здесь медно-никелевых объектов Камчатской никеленосной провинции, РЗЭ входят в состав элементов, сопутствующих оруденению.

Для Юго-Восточного района Южной провинции характерны самый бедный гидрогеохимический состав речных вод и положительная связь между геохимическими характеристиками вод и почв. Это обусловлено тем, что относительно молодые поверхностные почвенные горизонты залегают здесь на плохо трансформированных вулканических пеплах. Со временем в результате преобразования пеплов и наступления зрелости органогенных горизонтов почв вышеуказанная связь вод с поверхностной частью почвенно-пирокластического чехла нарушается, а речные воды в большей степени обогащаются химическими элементами, что характерно для районов Камчатки с более древними приповерхностными пеплами и почвами.

Расчет ранговых коэффициентов корреляции составов речных вод выделенных районов по K_k элементов показал наличие значимых положительных связей между химическими составами вод прибрежных районов. Очевидно, что эта связь определяется целым комплексом различных факторов, в том числе влиянием морских и океанического акваторий на состав и количество выпадающих в этих районах осадков. Исключе-

ние — Восточный район Северной провинции, где на состав речных вод преобладает влияние продуктов деятельности активных вулканов Северной группы.

Выделены следующие общие гидрогеохимические особенности речных вод Камчатки: в целом для речных вод большинства районов характерны более низкое содержание химических элементов в сравнении с кларками речных вод; химический состав речных вод, за редким исключением, не обнаруживает корреляционной связи с геохимическим составом верхней части почвенно-пирокластического чехла территории; в ряд элементов с повышенными концентрациями в водах входят элементы, типичные для кислых вулканических пород, что отличает их от почв и пеплов, для которых более характерны повышенное содержание элементов, типичных для вулканических пород среднего и основного составов; для речных вод всех районов полуострова характерно высокое содержание железа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 413 с.
2. *Виноградов А.П.* Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 216 с.
3. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 152 с.
4. *Гордеев В.В., Лисицын А.П.* Средний химический состав взвесей рек мира и питание океанов речным осадочным материалом // ДАН СССР. 1978. Т. 238. № 1. С. 225–228.
5. ГОСТ 4461-77. Реактивы. Кислота азотная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2006. С. 1–2.
6. *Григорьев Н.А.* Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.
7. *Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С.* Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Сообщение 1. Геохимические особенности вулканических приповерхностных пеплов // Вулканология и сейсмология. 2019. № 2. С. 34–44.
8. *Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С.* Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Сообщение 2. Специфика формирования элементного состава вулканических почв в холодных гумидных условиях // Вулканология и сейсмология. 2019. № 3. С. 25–33.
9. *Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С.* Геохимические особенности вулканических почв Камчатки // Почвоведение. 2010. № 4. С. 412–421.
10. *Карандашев В.К., Лейкин А.Ю., Хвостиков В.А. и др.* Анализ вод методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. № 5. Т. 81. С. 5–18.

11. *Кондратьев В.И.* Климат Камчатки. М.: Гидрометеиздат, 1974. 202 с.
12. *Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В.* Динамика эколого-геохимических изменений природных вод и почв на разных этапах освоения Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 3. Вып. 27. С. 80–91.
13. *Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В.* Редкоземельные элементы в снежном покрове Камчатки. Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Материалы Второй Всерос. конф. с междунар. участием. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 286–289.
14. *Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 274 с.
15. *Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д.* Камчатская никеленосная провинция // ДАН. 2008. Т. 418. № 6. С. 802–805.
16. *Ярошевский А.А.* Проблемы современной геохимии. Новосибирск: НГУ, 2004. 194 с.
17. *Aubert D., Stille P., Probst A., Gauthier-Lafaye F., Pourcelot L., Del Nero M.* Characterization and migration of atmospheric REE in soils and surface waters // Geochim. Cosmoch. Acta. 2002. V. 66. № 19. P. 3339–3350.