

## ВУЛКАНИЗМ И ГЕОХИМИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА КАМЧАТКИ. СООБЩЕНИЕ 2. СПЕЦИФИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОЧВ В ХОЛОДНЫХ ГУМИДНЫХ УСЛОВИЯХ

© 2019 г. Л. В. Захарихина<sup>1, \*</sup>, Ю. С. Литвиненко<sup>2, \*\*</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН  
683002 Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, 30

<sup>2</sup>ООО ЭкоГеоЛит

119330 Москва, ул. Мосфильмовская, 17 Б

\*e-mail: zlv63@yandex.ru

\*\*e-mail: ecogeolit@mail.ru

Поступила в редакцию 05.05.2017 г.

Вулканические почвы Камчатки имеют низкие содержания большинства химических элементов относительно их общей распространенности в почвах континентов и вулканических почв Европы. Для почв разных районов полуострова наиболее характерны относительно повышенные валовые содержания элементов, типичных для вулканических пород среднего и основного составов: Na, Ca, Mg, Cd, Mn, Co, Cu, и устойчиво низкие содержания элементов, характерных для кислых вулканитов: La, Ce, Pr, Nd, Nb, Hf, Tl, Rb и Th. Разнообразие химического состава почв выделенных ранее почвенных районов Камчатки определяют разные условия вулканизма, существовавшие на этих территориях в прошлом и наблюдаемые в настоящее время.

**Ключевые слова** Камчатка, холодный гумидный климатвулканизм, геохимия почв.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019325-33>

### ВВЕДЕНИЕ

Особенности формирования элементного состава вулканических почв во многом определяют условия вулканизма территорий их развития, существовавшие в прошлом и наблюдаемые в настоящее время [Захарихина, 2010]. Сведения о содержаниях в почвах широкого спектра химических элементов, сопоставленные с данными элементного состава вулканических пеплов [Захарихина, Литвиненко, 2019], на которых они образованы, позволяют детально рассмотреть влияние различных факторов на формирование химических свойств почвенного покрова в условиях вулканической деятельности. Целью данной части работы является изучение элементного состава почв разных почвенных районов Камчатки и установление специфики его формирования в связи с различными условиями вулканизма.

### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Климат полуострова Камчатка влажный и холодный гумидный, на западе более суровый, чем на востоке. На формирование климатиче-

ских условий оказывают влияние Тихий океан и Охотское море, омывающие полуостров, соответственно, с востока и запада. Коэффициент увлажнения для региона колеблется от 1 до 1.5, годовое количество осадков составляет 600–1000 мм [Кондратюк, 1974]. Наиболее распространенными в растительном покрове Камчатки являются леса из каменной березы (*Betula ermanii*). В районах среднего течения рек Центральной Камчатской депрессии произрастают лиственничные леса (*Larix kamtschatica*, *Larix cajanderi*) [Нешатаева, 2006].

Роль почвообразующих пород для органо-генных горизонтов вулканических почв центральной и южной частей полуострова выполняют преимущественно риолито-дацитовые пеплы крупных кальдерообразующих извержений вулканов Южной Камчатки (вулканы Опала, ранний Ксудач). Для почвообразующих риолито-дацитовых пеплов западной части Камчатки источник не установлен. В юго-восточной части полуострова непосредственно под поверхностным органо-генным горизонтом залегают пеплы андезибазальтового состава (вулкан поздний

Ксудач), ниже по профилю в почвах распространены кислые пеплы (вулканы Опала и ранний Ксудач). На севере полуострова почвообразующими породами являются андезитовые и базальтовые продукты извержений стратовулканов северной группы (вулканы Шивелуч, Толбачик, Безымянный) [Брайцева и др., 1995, 1997].

Анализ имеющихся тифрохронологических данных о голоценовом вулканизме на Камчатке [Брайцева и др., 1995, 1997] и собственных исследований позволил авторам ранее выполнить районирование Камчатки с выделением двух почвенных провинций и пяти районов: Северная провинция, включающая Восточный и Западный районы, и Южная провинция, включающая Западный, Центральный и Юго-Восточный районы [Захарихина, 2010].

Исследования проведены в соответствии с вышеуказанным почвенным районированием полуострова, внутри пяти районов двух почвенных провинций. Изучены наиболее распространенные для полуострова вулканические почвы лесных территорий (каменноберезовые, лиственничные леса), которые относятся к вулканическим охристым, вулканическим слоисто-охристым и слаборазвитым слоисто-пепловым типам почв в соответствии с классификацией почв России [Классификация ..., 2004]. Во всех точках наблюдений изучались поверхностные органогенные горизонты почв (средняя мощность горизонтов ~ 7–10 см), образованные на разных по петрохимическому составу и возрасту приповерхностных вулканических пеплах (ПП), представляющих собой для них минеральную основу. Ниже приводится краткая характеристика почв выделенных районов провинций Камчатки.

**Северная провинция. Восточный район.** Поверхностные органогенные горизонты почв образованы на молодых андезитовых и базальтовых пеплах вулкана Толбачик извержений 1975–1976 гг. и вулкана Безымянный извержения 1956 г., возраст ПП ~ 55 лет. В результате активной вулканической деятельности Северной группы вулканов (вулканы Шивелуч, Толбачик, Безымянный, Ключевская сопка) в поверхностный органогенный горизонт в виде присыпок нередко поступает свежий вулканический материал. Общий усредненный состав этого молодого пепла несколько более кислый, чем состав почвообразующих ПП, так как большую долю в нем составляют андезитовые пеплы наиболее часто повторяющихся извержений вулкана Шивелуч, близкие по содержанию кремния (~ 65%) к вулканикам дацитового состава. Масса поступающего пепла в среднем от первых сотен граммов до первых десятков кг на м<sup>2</sup>, их поступление в почву повышает ее зольность и влияет на химический состав почвы.

**Западный район.** Поверхностные органогенные горизонты почв образованы на андезитовых пеплах извержений вулкана Шивелуч, возраст ПП ~ 350–970 лет. Для района характерны незначительные по объему присыпки свежих вулканических пеплов дальнего переноса современных извержений вулкана Шивелуч, аналогичных по химическому составу к ПП района. Наши режимные наблюдения в 115 км на север от вулкана Шивелуч показывают, что выпадение его пеплов массой, как правило, десятки до первых сотен граммов на м<sup>2</sup> наблюдается от 3 до 5 раз в год.

**Южная провинция. Западный район.** Поверхностные органогенные горизонты почв образованы на пеплах риолито-дацитового состава, их принадлежность к конкретному вулканическому событию на сегодня не установлена. Лабораторией динамической вулканологии Института вулканологии ДВО РАН определен абсолютный возраст ПП, составивший ~ 2920 лет (устное сообщение О.А. Брайцевой). Поступления свежих вулканических пеплов в поверхностный горизонт почв не характерны.

**Центральный район.** Поверхностные горизонты почв образованы на пеплах риолито-дацитового состава вулкана Опала, возраст пепла ~ 1400 лет. В средней части профиля почв залегает риолито-дацитовый пепел извержения вулкана Ксудач, возраст пепла ~ 1760 лет. Поступления в почвы пеплов действующих вулканов среднего состава происходят редко. Это возможно при сочетании мощных выбросов пеплов Северной группы вулканов или Восточного побережья (вулканы Кизимен, Карымский, Жупановский) и ветров юго-западного или западного направлений.

**Юго-Восточный район.** Поверхностные горизонты почв образованы на пеплах андезибазальтового состава вулкана Ксудач, возраст пепла 110 лет. Очень незначительные по объему присыпки пеплов (до первых десятков граммов на м<sup>2</sup>) андезитового состава в почвы наблюдаются крайне редко, в непосредственной близости от действующих вулканов Южной Камчатки (вулканы Корякский, Авача, Мутновский, Горелый), отличающихся крайне слабой и редкой взрывной активностью. Средняя и нижняя часть профиля этих почв идентична той, что характерна для почв Центрального района.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе обобщены данные опробований почв, проводившиеся авторами в различных районах Камчатки с 2006 по 2013 гг. в один и тот же период – в конце августа, начале сентября.

Изучения и опробования почв проведены методом эталонных (ключевых) участков, местоположения которых показаны на рисунке из работы [Захарихина, Литвиненко, 2019].

Оценка химических особенностей почв основывалась на результатах опробования верхнего органогенного горизонта. В исследованиях были использованы количественные методы анализа – масс-спектрометрический и атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS и ICP-AES). Это позволило уточнить и расширить данные о региональном геохимическом фоне химических элементов в почвах всех районов почвенных провинций Камчатки, которые были опубликованы ранее по результатам наших работ с использованием преимущественно спектрального анализа [Захарихина, Литвиненко, 2010].

Валовые содержания 61 химического элемента в почвах определялись методом ICP-MS + ICP-AES анализов с разложением образцов смесью кислот (HF, HNO<sub>3</sub>, HCl, HClO<sub>4</sub>) по аналогичной методике, примененной при анализе приповерхностных пеплов [Захарихина, Литвиненко, 2019].

Статистическая обработка результатов (асимметричность, эксцесс и коэффициент асимметричности Пирсона), выполненная по пробам с ключевых участков Западного района Северной провинции и Западного района Южной провинции, подтвердила положение о преимущественном логнормальном распределении содержания химических элементов в природных средах на однородных фоновых площадях. В этой связи геохимический фон для почв всех районов Камчатки был определен путем расчета среднегеометрических значений содержаний в них химических элементов ( $C_p$ ).

Геохимические фоны элементов ( $C_{фр}$ ) в вулканических почвах региона в целом рассчитаны как средние арифметические  $C_p$  элементов в почвах всех районов полуострова. Способ расчета учитывал небольшой размах значений  $C_p$  у всех элементов.

Выполнен расчет кларков концентрации элементов ( $K_k$ ) в почвах полуострова как отношения:  $K_k = C_{фр}/K$  для почв конкретных районов, где  $K$  – общая распространенность элементов для почв континентов (кларки почв) [Ярошевский, 2004]. В работе рассматривается весь диапазон значений  $1 > K_k > 1$ , при интерпретации результатов используется традиционно применяемая в геохимии терминология:  $K_k > 1$  – приоритетные элементы,  $K_k < 1$  – дефицитные химические элементы.

Для оценки разнообразия химического состава почв разных районов Камчатки относительно друг друга для каждого из них выполнены расчеты коэффициентов концентрации элементов ( $K_c$ ) по формуле  $K_c = C_p/C_{фр}$ .

Проведено сравнение валового геохимического состава изученных почв региона с имеющимися литературными данными о геохимии вулканических почв Европейского континента (Италии, Исландии, Греции, Франции, Венгрии, Азорских и Канарских островов) [Martínez-Cortizas et al., 2004].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### *Валовые содержания химических элементов в почвах Камчатки в сравнении с почвами континентов и вулканическими почвами Европейского континента*

Для оценки особенностей элементного состава почв Камчатки по валовым содержаниям химических элементов (табл. 1) выполнен сравнительный анализ региональных характеристик с общей распространенностью элементов в почвах континентов (кларки для почв) [Ярошевский, 2004], представленный в виде геохимических формул (табл. 2). В формулах над чертой помещены элементы с региональными фоновыми концентрациями, превышающими их распространенность в почвах континентов (далее приоритетные элементы с  $K_k > 1$ ), а под чертой – элементы, дефицитные относительно этой величины ( $K_k < 1$ ). Элементы в формулах ранжированы по значениям  $K_k$ , приведенным в скобках.

**Таблица 1.** Распространенность химических элементов в почвах континентов ( $K$  – кларк, по [Ярошевский, 2014]), валовые содержания элементов в почвах Камчатки

Элементы	$K$	Северная провинция		Южная провинция		
		Западный район, $n = 30$	Восточный район, $n = 50$	Западный район, $n = 40$	Центральный район, $n = 55$	Юго-Восточный район, $n = 30$
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

Таблица 1. Продолжение

Элементы	K	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
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	312.7	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

Таблица 1. Окончание

Элементы	K	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
Тl	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
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

Примечание. Содержания Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Mn, Fe в %, остальные элементы – в мг/кг. Содержания Se, Rh, Pd, Ag, Re, Ir, Pt, Au ниже предела обнаружения ИСП анализа.

Таблица 2. Кларки концентраций химических элементов для почв Камчатки в сравнении с общими содержаниями элементов для почв континентов

Провинция	Район	Геохимическая формула
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)

Примечание. Значения  $K_k$  – в скобках.

Для почв региона характерны три основные закономерности, которые также свойственны и для приповерхностных вулканических пеплов Камчатки [Захарихина, Литвиненко, 2019].

Относительно общей распространенности химических элементов в почвах континентов валовые содержания большинства из них в почвах всех районов почвенных провинций Камчатки ниже кларковых значений ( $K_k < 1$ ).

Для почв разных районов в той или иной степени характерны повышенные содержания небольшого спектра элементов ( $K_k > 1$ ) в основном типоморфных для вулканических пород среднего и основного составов (содержащиеся в них в повышенных концентрациях относительно кислых пород) – Na, Ca, Mg, Cd, Mn, Co, Cu.

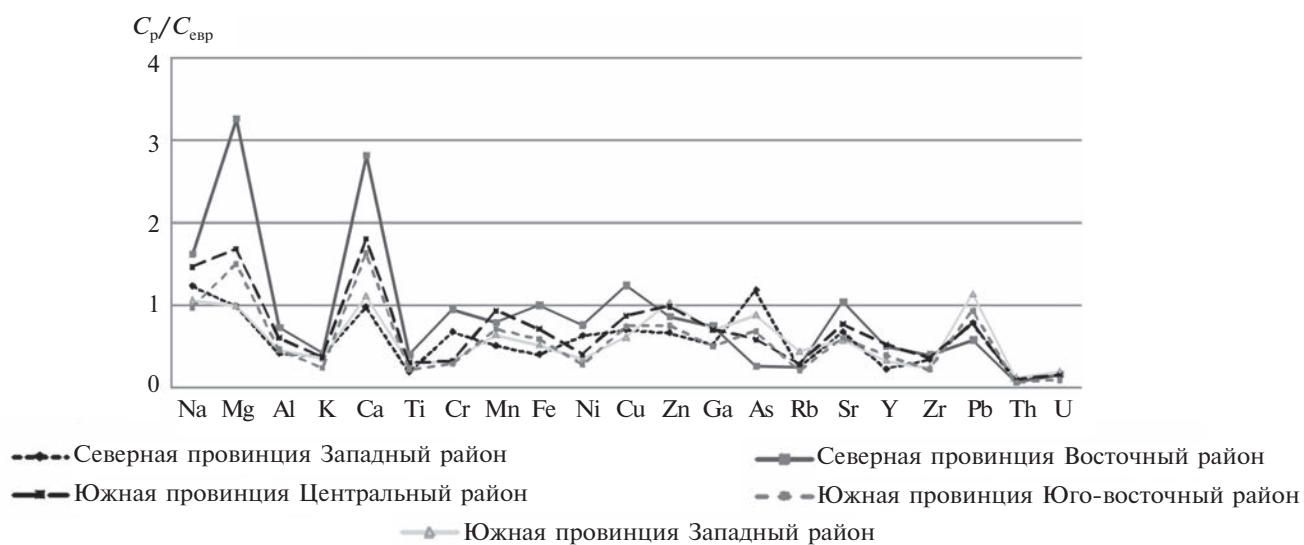
Элементы, типоморфные для кислых вулканических пород, имеют устойчиво низкие содержания во всех рассматриваемых почвах. В состав химических элементов с наименьшими кларками концентраций ( $K_k \leq 0.3$ ) во всех пяти районах входят: La, Ce, Pr, Nd, Nb, Hf, Tl, Rb и Th.

То есть, обогащенность наиболее характерных для Камчатки вулканических пеплов химическими элементами, типоморфными для основных горных пород и обедненность элементами, характерными для кислых вулканитов, которая возможно является общей геохимической особенностью всего голоценового островодужного вулканизма Камчатки [Захарихина, Литвиненко, 2019], отражается также и в почвах полуострова.

Сравнение элементных составов почв Камчатки и вулканических почв Европейского континента (рисунок) также показывает относительно низкие содержания большинства химических элементов в почвах региона. Это

объясняется разными условиями образования почв. Вулканические почвы Европы сформированы в более теплом климате. Они образованы в хорошо выветренных пеплах, обогащены аллофонами и другими подобными глинистыми минералами, способствующими накоплению химических элементов [Shoji et al., 1993]. Почвы Камчатки образуются в холодных гумидных условиях, в верхней части их профиля повсеместно развиты горизонты, характеризующиеся преобладанием в минеральной составляющей слабо-выветренного вулканического стекла и первичных минералов пеплов. Для почв полуострова в сравнении с европейскими вулканическими почвами характерны лишь устойчиво повышенные содержания Na, Ca и Mg, что, безусловно, связано с региональными геохимическими особенностями приповерхностных пеплов региона, средние  $K_k$  для которых по названным элементам составляют 0.9, 1.8, 2.3 единиц соответственно [Захарихина, Литвиненко, 2019].

Почвы Камчатки формируются под влиянием активного вулканизма, проявляющегося частыми современными извержениями молодых вулканов. Образование современных органогенных горизонтов в той или иной степени связано с молодыми вулканическими пеплами, при выветривании которых высвобождаются щелочноземельные металлы. Повышенные содержания Na возможно также связаны с влиянием на почвы полуострова, Тихого океана и Охотского моря и с преимущественной общегодовой северо-восточной розой ветров [Кондратюк, 1974]. Можно констатировать, что Na, Ca, Mg, согласно определению А.И. Перельмана [Перельман, 1975], являются типоморфными элементами для почв и пеплов Камчатки.



**Рис.** Концентрации валовых содержаний элементов для почв разных районов Камчатки ( $C_p$ ) относительно средних содержаний элементов ( $C_{евр}$ ) для вулканических почв Европы.

*Сравнение элементных составов почв разных районов Камчатки*

Сопоставление химических составов почв каждого из пяти районов с общими региональными

параметрами ( $K_c = C_p/C_{фр}$ ) показывает, что все различия почв обусловлены их связью с вулканизмом, существовавшим на этих территориях в прошлом и наблюдаемым в настоящее время (табл. 3).

**Таблица 3.** Коэффициенты концентраций химических элементов для почв разных районов Камчатки относительно  $C_{фр}$

Провинция	Район	Геохимическая формула
Северная	Западный	As(1.6)-Mo(1.4)-Cr,Ni,Tl(1.3)-Sb(1.2)-Sn,Hf,Nb,Cd,Zr,K,U(1.1)-Li(1.05)-Cs(1.03)-La,Be(1.03) W,Ba,Na,Th,Ce(1.0)-Pb,Sr,Pr,Nd,Bi(0.9)-Cu,Rb,Ga,Al,Eu,Zn,Sm(0.8)-V,Co,Gd,Mn,Tb,Dy(0.7)- Yb,Tm,Ti,Ho,Fe,Lu,Sc,Er,Mg,Ca, Y(0.6)
	Восточный	Mg,Cr(1.9)-Ca,Co,(1.7)-Ni,Fe(1.6)-V,Sc,Cu(1.5)-Ti,Sr,Sm,Eu,Al,Gd(1.4)- Nd,Dy,Zr,Tb,Ho,Pr,Na,Y,Tm,(1.3)-Yb,Er,Lu,Hf,Ce,Ga,K,(1.2)-Ba,La,Li,Mn,U,Be,Zn(1.1) Sb,Nb,Rb(0.9),Th,Sn,Cd(0.8)-Tl,Mo,W,Bi(0.6)-Cs(0.5)-As(0.4)
Южная	Западный	Bi,W(1.9)-Cs(1.7)-Rb(1.6)-Th,Sn,Tl,Nb,Pb(1.4)-U(1.3)-As,Be,Zn,Cd,Mo(1.2)-Li,Sb,Ga,Ti,La(1.1), Ba,K,Ce,Er(1.0) Pr,Mn,Lu,V,Nd,Tm,Yb,Al,Hf,Y(0.9)-Ho,Sm,Tb,Gd,Na,Dy,Eu,Fe,Co,Sr,Zr(0.8)- Cu,Sc,Ni,Ca,Cr,Mg(0.6)
	Централь- ный	Y,Lu,Tm,Mn,Tb,Yb,Ho,Er,Dy(1.3)-Gd,Sm,Eu,Na(1.2)-Zn,Ba,Sc,Zr,Al,Nd,Pr,Ga,Fe,Hf,Ce,Ca,Ti, Sr(1.1)-Cd,Li,K,Mo,Cu,Th,Be,La,Co,V,Rb,U,Mg,Nb(1.0) Tl,Sb,Bi,Pb,Sn,Cs,(0.9)-Ni,As(0.8),W(0.7)-Cr(0.6)
	Юго- Восточный	Pb,Sc(1.2)-Mn,Y,Ca,Yb(1.1) Ho,Lu,As,Er,Tm,Dy,Fe,Cd,Mg,Tb,Cu,Zn,Gd,Sb,Eu,Al(0.9)-V,Cs,Sm,Sr,Co,W,Bi,Ga,Nd,Pr,Ti,Na, Ce,Sn(0.8)-Th,La,Tl,Zr,Mo,Hf,Rb,Ba,K,Be,Li(0.7)-Nb,U,Ni,Cr(0.6)

Примечание. Значения  $K_c$  – в скобках.

Состав приповерхностных вулканических пеплов хорошо отражается в почвах Западного района Южной провинции, куда практически не поступают молодые пеплы современных извержений Камчатки, где ПП имеют наиболее древний для Камчатки возраст и максимально вовлечены в процессы почвообразования.

Для почв района так же, как и для ПП, характерны приоритетные химические элементы типоморфные для кислых вулканитов: Bi, W, Cs, Rb, Th, Sn, Tl, Nb, Pb, U, As, Be, Zn, Cd, Mo, Li, Sb, Ga, Ti, La, Ba, K. Все дефицитные элементы, имеющие в этом районе наиболее низкие  $K_c \leq 0.6$  (Cu, Sc, Ni, Ca, Cr, Mg), относятся к элементам типичным для основных вулканитов.

В Центральном районе Южной провинции так же, как и в подстилающих пеплах этой территории, в почвах приоритетными являются все четырнадцать редкоземельных элементов, а также:

Mn, Na, Zn, Ba, Sc, Zr, Al, Ga, Fe, Hf, Ca, Ti. Вхождение в состав приоритетных для почв: Mn, Zn, Sc, Fe, Ca, элементов не типичных для кислых пород и для кислых ПП района, объяснимо сложным генезисом образования почвенного покрова части этой территории, расположенной в пределах хорошо проработанной долины р. Камчатка. Можно предположить, что под влиянием пойменных процессов крупной реки, на отдельных территориях происходило частичное переотложение вулканических пеплов. На состав почв отчасти оказали влияние привнесенные пеплы, поступившие сюда с восточного побережья, с развитым там на протяжении всего голоцена молодым базальтоидным вулканизмом. Кроме того, временами при смене преимущественной северо-восточной розы ветров, на север района в почвы могли поступать андезитовые и базальтовые пеплы Северной группы вулканов полуострова.

Юго-Восточный район Южной провинции характеризуется самым немногочисленным спектром приоритетных химических элементов в сравнении со средними показателями в целом для региона. Спектр этих элементов смешанный, присутствуют как типоморфные для основных вулканитов (Mn, Ca), так и характерные для кислых пород (Pb, Sc, Y, Yb).

Сравнительно бедный химический состав почв объясним специфическими особенностями сложения верхней части их профиля. Пепел, на котором сформировался поверхностный органогенный горизонт почв Юго-Восточного района, имеет достаточно грубый гранулометрический состав (крупный песок с дрсвой), молодой даже для почвенных процессов возраст (110 лет – период с момента извержения вулкана Ксудач в 1907 г.), мощность его варьирует от 11–20 см на юге территории до 3–5 см в окрестностях г. Петропавловск-Камчатский. Залегающий на нем почвенный горизонт всегда очень хорошо отслаивается от пепла. ПП района фактически не обнаруживают морфологических признаков вовлечения их в процессы почвообразования и гипергенеза, диагностируются они как почвоподстилающие горизонты D. Характер подобного строения верхней части профиля почв является специфической особенностью района. На территориях, где поверхностный почвенный горизонт залегают на значительно более древних и тонких пеплах, последние являются гумусово-аккумулятивными (Западный район Южной провинции) или почвообразующими (Центральный район Южной провинции) горизонтами. Слабая трансформированность ПП Юго-Восточного района, безусловно, является главным фактором, обуславливающим относительно бедный состав поверхностных почвенных горизонтов этой территории.

Смешанный спектр приоритетных химических элементов района объясним особенностью строения почв территории на глубину. Последние включают четыре органогенных горизонта, поверхностный, как указано выше, подстилается андезибазальтовым пеплом недавнего (1907 г.) извержения вулкана Ксудач. Средняя и нижняя части профиля этих почв идентична той, что характерна для почв Центрального района. То есть кислый состав пеплов, залегающих на глубине, обуславливает входение в состав приоритетных элементов, характерных для кислых пород.

Наиболее обогащенными валовыми содержаниями химических элементов следует признать почвы Восточного района Северной провинции, которые образованы в окрестностях наиболее активных вулканов полуострова. Обусловлено это регулярным поступлением в них продуктов современной вулканической деятельности. Почвы характеризуются самым широким спек-

тром приоритетных элементов и наиболее высокими значениями их Кс. Группа элементов с  $K_c > 1$  имеет смешанный состав. Однако в начале этого ряда ( $K_c = 1.9–1.5$ ) находятся химические элементы типоморфные, для основных вулканитов и для андезитовых ПП территории: Mg, Cr, Ca, Co, Ni, Fe, V, Sc, Cu.

Большой спектр приоритетных элементов, типичных для кислых пород, имеющих значения  $K_c < 1.5$ , объясним регулярным привносом в поверхностные горизонты почв молодых пеплов, часто повторяющихся (до 20 раз в год) извержений вулкана Шивелуч, которые по петрохимическому составу, как и ПП, являются андезитовыми. Однако по содержаниям  $SiO_2$  (65%, см. работу [Захарихина, Литвиненко, 2019]) они близки к вулканитам дацитового состава. То есть, в сравнении с приповерхностными пепловыми горизонтами, сложенными смесью базальтовых и андезитовых пеплов вулканов Толбачик и Безымянный ( $SiO_2 = 61\%$ ), продукты извержений вулкана Шивелуч являются более кислыми. Именно присыпка этих пеплов в почвы обуславливает входение в состав приоритетных элементов для почв района наряду с элементами типоморфными для основных вулканитов, большого спектра элементов типичных для кислых горных пород (Ti, Sr, Sm, Eu, Al, Gd, Nd, Dy, Zr, Tb, Ho, Pr, Na, Y, Tm, Yb, Er, Lu, Hf, Ce, Ga, K, Ba, La, Mn, U, Be).

Максимально близкими к составу ПП являются почвы Западного района Северной провинции. Из всего состава приоритетных химических элементов для почв: As, Mo, Cr, Ni, Tl, Sb, Sn, Hf, Nb, Cd, Zr, K, U, Li, Cs, La, Be, только Sn и Cd не входят в аналогичный ряд для подстилающих пеплов [Захарихина, Литвиненко, 2019]. То есть почвы района фактически полностью отражают геохимический состав подстилающих их андезитовых пеплов вулкана Шивелуч. Преобладание числа элементов, типоморфных для кислых пород с  $K_c > 1.0$  в пеплах вулкана Шивелуч, и в почвах на них образованных, связаны с отмеченным выше более кислым составом пепла в сравнении с ПП Восточного района этой провинции. Кроме того, как показано в работе [Захарихина, Литвиненко, 2019], за счет дальности переноса ПП этого района и эоловой гравитационной дифференциации тefры в процессе его аэральнoй транспортировки в нем дополнительно увеличена доля вулканического стекла и элементов, типоморфных для кислых пород. На состав почв кроме ПП влияет привнос продуктов дальнего переноса современных извержений вулкана Шивелуч, которые имеют сходные свойства с ПП и не вносят коррективы в геохимический состав поверхностных органогенных почвенных горизонтов.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Валовые содержания большинства химических элементов в почвах Камчатки уступают их общей распространенности в почвах континентов и средним концентрациям для европейских вулканических почв. Устойчиво повышенные содержания во всех исследованных почвах имеют только Na, Ca и Mg.

Для почв разных районов Камчатки в той или иной степени характерны относительно повышенные концентрации элементов в основном типоморфных для вулканических пород среднего и основного составов: Na, Ca, Mg, Cd, Mn, Co, Cu и устойчиво низкие содержания элементов, типичных для кислых вулканитов: La, Ce, Pr, Nd, Nb, Hf, Tl, Rb и Th.

Самые высокие валовые содержания элементов характерны для почв Восточного района Северной провинции, образованных в окрестностях наиболее активных вулканов полуострова, что обусловлено регулярным поступлением в них продуктов современной вулканической деятельности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Кирьянов В.Ю. Последнее кальдерообразующее извержение на Камчатке (вулкан Ксудач) 1700–1800 <sup>14</sup>C–лет назад // Вулканология и сейсмология. 1995. № 2. С. 30–49.
- Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д., Пономарева В.В., Мелекесцев И.В. Геохронология крупнейших эксплозивных извержений Камчатки в голоцене и их отражение в Гренландском ледниковом щите // Докл. РАН. 1997. Т. 352. № 4. С. 516–518.
- Захарихина Л.В. Особенности почвообразования и геохимии почв в условиях активного вулканизма (на примере Камчатки) // Дисс. ... доктора биол. наук. Новосибирск, 2010. 310 с.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Сообщение 1. Геохимические особенности вулканических приповерхностных пеллов // Вулканология и сейсмология. 2019. № 2. С. 34–44.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Геохимические особенности вулканических почв Камчатки // Почвоведение. 2010. № 4. С. 412–421.
- Классификация почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2004. С. 57–61.
- Кондратьев В.И. Климат Камчатки. М.: Гидрометеоиздат, 1974. 202 с.
- Нешатаева В.Ю. Растительность полуострова Камчатка / Автореф. дисс. ... доктора биол. наук. СПб., 2006. 62 с.
- Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М: Высшая школа, 1975. С. 17–19.
- Ярошевский А.А. Проблемы современной геохимии. Новосибирск: НГУ, 2004. 194 с.
- Martínez-Cortizas A., Nóvoa J.C., Pontevedra X., García-Rodeja E. Elemental composition of Reference European // Volcanic Soil Resources in Europe. Reykjavic, Iceland: Agricultural Research Institute, 2004. P. 38–40.
- Shoji S., Nanzyo M., Dahlgren R.A. Volcanic Ash soils. Genesis, Properties and Utilization. Amsterdam: Elsevier, 1993. 287 p.

## VOLCANISM AND GEOCHEMISTRY OF SOIL AND VEGETATION COVER OF KAMCHATKA. COMMUNICATION 2. SPECIFICITY OF FORMING THE ELEMENTAL COMPOSITION OF VOLCANIC SOIL IN COLD AND HUMID CONDITIONS

L. V. Zakharikhina<sup>1, \*</sup>, Yu. S. Litvinenko<sup>2, \*\*</sup>

<sup>1</sup> Geotechnological Scientific Research Center, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Severo-Vostochnoe shosse 30, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002 Russia

<sup>2</sup>EcoGeoLit Ltd., Mosfil'movskaya str. 17B, Moscow, 119330 Russia

\*e-mail: zlv63@yandex.ru

\*\*e-mail: ecogeolit@mail.ru

Received May 05, 2017

Volcanic soils of Kamchatka have the low contents of most the chemical elements in relation to their overall prevalence in the soils of continents and volcanic soils of Europe. Relatively increased gross contents of elements typical for volcanic rocks of medium and basic composition: Na, Ca, Mg, Cd, Mn, Co, Cu, and steadily low contents of elements characteristic of acid volcanics: La, Ce, Pr, Nd, Nb, Hf, Tl, Rb and Th, is most characteristic of the soils of different areas of the peninsula. The existing in the past and currently observed different conditions of volcanism in the previously allocated soil areas of Kamchatka determine the diversity of the chemical composition of the soils in these territories.

**Key words:** Kamchatka, cold humid climate, volcanism, soil geochemistry.