

УДК 574.2.043

ВУЛКАНИЗМ И ГЕОХИМИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА КАМЧАТКИ.

СООБЩЕНИЕ 1. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ПЕПЛОВ

© 2019 г. Л. В. Захарихина^{1, *}, Ю. С. Литвиненко^{2, **}

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

²ООО ЭкоГеоЛит

119330 Москва, ул. Мосфильмовская, 17 Б

*e-mail: zlv63@yandex.ru

**e-mail: ecogelit@mail.ru

Поступила в редакцию 05.05.2017 г.

Общими геохимическими особенностями вулканических приповерхностных пеплов Камчатки (пеплы, залегающие под поверхностными органогенными горизонтами почв) являются их обедненность большинством химических элементов в сравнении со средними показателями для вулкаников соответствующего состава и относительная обогащенность ограниченным спектром элементов, преимущественно, типоморфных для основных горных пород (P, Mg, V, Cr, Cu, Zn, Zr, Sb). На фоне небольших вариаций содержаний химических элементов в пеплах разных районов полуострова, спектр их приоритетных элементов определяется их петрохимическим составом. Активная деятельность Северной группы вулканов Камчатки обуславливает относительно повышенные содержания подвижных форм элементов в приповерхностных пеплах Северной провинции в сравнении с пеплами южной части полуострова.

Ключевые слова: вулканизм, геохимия пеплов, роль пеплов в почвообразовании.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019234-44>

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим фактором формирования геохимических особенностей почвенно-растительного покрова в условиях полуострова Камчатка является активная вулканическая деятельность. Специфику геохимических особенностей почв и растений разных районов региона определяет в первую очередь петрохимический состав вулканических пеплов, залегающих в почвах территории, а также многофакторное влияние конкретных условий местности: природно-климатические особенности, удаленность от активных вулканов, условия поступления в почвы вулканических пеплов и т.п. Полуостров Камчатка уникален разнообразием этих условий. Здесь выделяются территории, где на протяжении всего голоцена по настоящее время проявляется молодой базальтоидный вулканизм, развиты обширные площади, связанные со зрелым кальдерообразующим, кислым вулканизмом, и территории, где продукты вышеназванных типов извержений переслаиваются в почвенном профиле [Брайцева и др., 1995, 1997].

Для установления особенностей формирования геохимической специфики почв и растений той или иной местности наиболее актуальны сведения о составе вулканических пеплов, залегающих под поверхностными органогенными горизонтами почв этой территории (далее по тексту приповерхностные пеплы (ПП)). ПП являются минеральной основой поверхностных почвенных горизонтов и вместе с ними максимально вовлечены в геохимические процессы в системе пеплы-почвы-растения.

Изучение особенностей геохимического состава ПП Камчатки по валовым содержаниям химических элементов и концентрациям в них подвижных форм элементов (вовлекаемых в процессы почвообразования и питания растений) является основной целью первой части предлагаемой работы.

В статье обобщены данные опробований приповерхностных вулканических пеплов, проведенные авторами с 2006 по 2013 гг. в различных районах Камчатки в один и тот же период – в конце августа, начале сентября.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ имеющихся тефрохронологических данных о голоценовом вулканизме на Камчатке [Брайцева и др., 1995, 1997] и собственных исследований позволили выполнить почвенное 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 [Литвиненко, Захарихина, 2009]. Выделенные районы (рисунок) отличаются петрохимическими составами и возрастными ПП, представляющих собой минеральную почвообразующую основу для поверхностных органогенных горизонтов почв. Ниже приводится краткая характеристика опробованных ПП выделенных районов почвенных провинций Камчатки.

Северная провинция. Восточный район. Поверхностные органогенные горизонты почв залегают на базальтовых и андезитовых пеплах вулканов Толбачик и Безымянный, возраст ПП ~ 55 лет, мощность пеплов на большей части территории составляет в среднем 3–4 см.

Западный район. ПП образованы из андезитовых пеплах вулкана Шивелуч, возраст ПП ~ 350–970 лет, мощность от 3 до 6 см.

Южная провинция. Западный район. Поверхностные органогенные горизонты почв сформированы на пеплах риолито-дацитового состава, мощность их варьирует от 3 до 8 см. Принадлежность пеплов к конкретному вулканическому событию на сегодня не установлена. Лабораторией динамической вулканологии Института вулканологии ДВО РАН определен абсолютный возраст этих горизонтов, составивший ~ 2920 лет (устное сообщение О.А. Брайцевой).

Центральный район. ПП сложены риолито-дацитовыми продуктами извержения вулкана Опала, возраст ПП ~ 1400 лет, мощность пеплов варьирует от первых сантиметров в северной части района до 0.5 м у его южной границы.

Юго-Восточный район. Поверхностные органогенные горизонты почв образованы на пеплах андезибазальтового состава вулкана Ксудач, возраст ПП 110 лет, мощность от 11 см на юге территории до 3 см в окрестностях г. Петропавловск-Камчатский.

Как видно из приведенных характеристик, мощность ПП внутри некоторых районов варьирует существенно при удаленности от источника их поступления. Однако выполненные в настоящей работе исследования геохимических свойств вулканических пеплов и почв на них образованных обнаружили устойчивые связи геохимии почвенного покрова от петрохимических составов ПП вне зависимости от мощности пеплов и еще

раз подтвердили правомерность выполненного почвенного районирования региона.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучения и опробования пеплов проведены методом эталонных (ключевых) участков, местоположения которых показаны на рисунке. В исследованиях были использованы количественные методы анализа — масс-спектрометрический и атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS и ICP-AES).

Валовые содержания 61 химического элемента в вулканических пеплах определялись методом ICP-MS + ICP-AES анализов по аттестованной методике НСАМ № 499-АЭС/МС "Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанной плазмой методами". Используемая аппаратура: масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Elan-6100 ("Perkin Elmer", США); атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой спектрометр Optima-4300 DV ("PerkinElmer", США).

При определении валовых содержаний элементов применялась процедура разложения образцов в открытой системе с использованием HF, HNO₃, HCl и HClO₄. Контроль стадии разложения каждого образца осуществлялся с использованием стабильных изотопов. Правильность анализа подтверждалась применением стандартных образцов. Химический выход всех определяемых элементов при таком способе растворения образцов, как правило, составляет 90–100%. Используемая методика разложения и последующего анализа полученного раствора методами ICP-MS + ICP-AES подробно описана в работе [Карандашов и др., 2007].

При установлении содержаний подвижных форм 67 элементов в пеплах анализировалась ацетатно-аммонийная вытяжка (рН 4.8) методом ICP-MS + ICP-AES анализов без разложения образцов по аттестованной методике НСАМ № 500-МС "Определение элементного состава азотнокислых и ацетатно-аммонийных вытяжек из почв методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой".

Многими исследованиями доказано, что распределение микроэлементов в природных средах наиболее близко аппроксимируется логнормальным законом [Саеи и др., 1990; Перельман, 1975; Соловов и др., 1990; Ярошевский, 2004; и др.]. Проведенная нами выборочная статистическая обработка результатов на ключевых участках Западного района Северной провинции (30 проб) и Западного района Южной провинции (40 проб) подтвердило это положение. Было

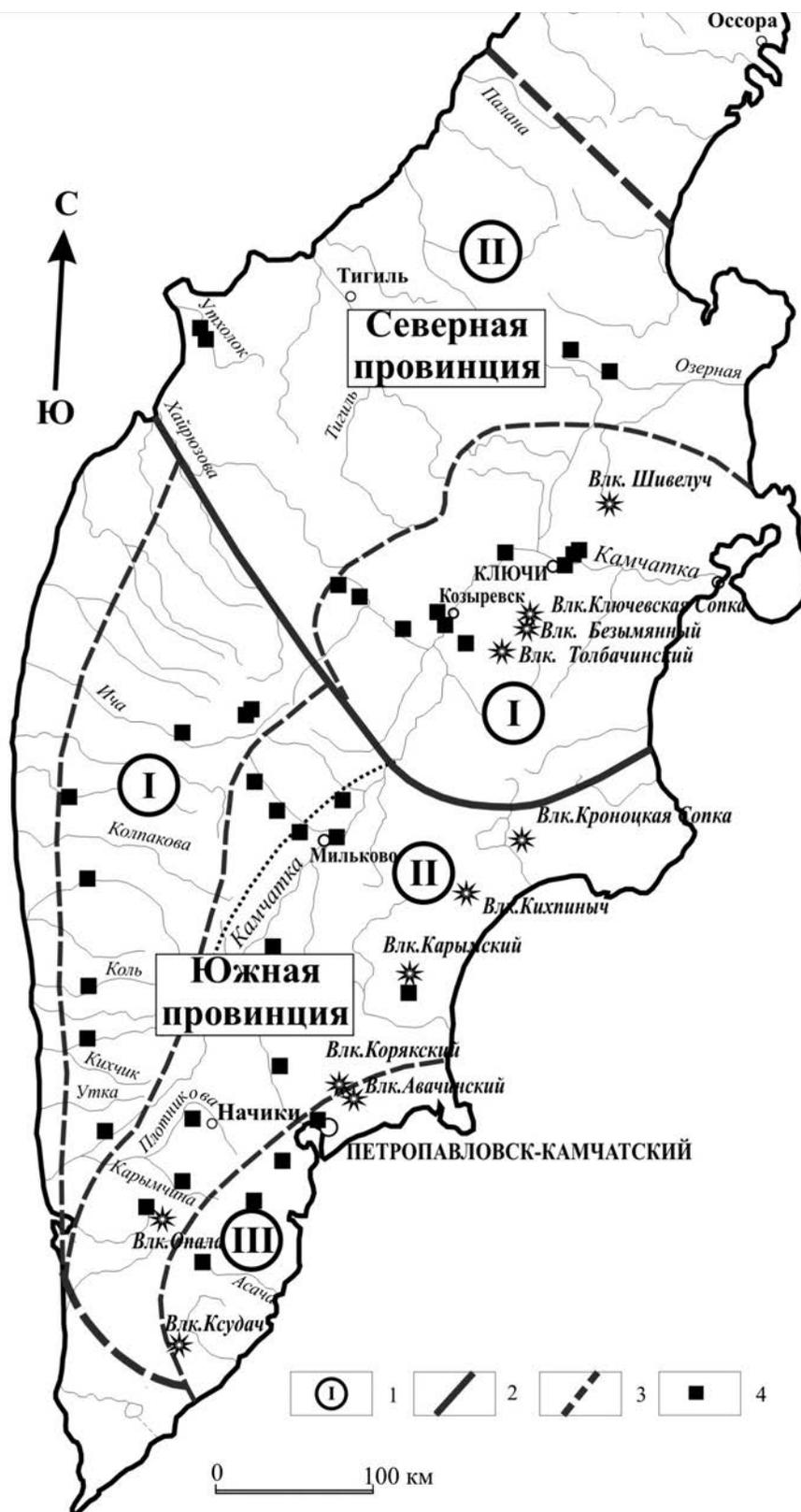


Рис. Карта-схема объектов исследований.

1 – районы почвенных провинций: I – Западный, II – Центральный, III – Юго-Восточный (Южная провинция), I – Восточный, II – Западный (Северная провинция); 2 – граница между провинциями; 3 – границы между районами; 4 – точки наблюдений.

установлено, что по статистическим показателям (асимметричность, эксцесс и коэффициент асимметричности Пирсона) содержания как валовых, так подвижных форм химических элементов в пеплах на однородных фоновых площадях аппроксимируется логнормальным законом распределения. Соответственно геохимический фон для ПП всех районов Камчатки был определен путем расчета среднегеометрических значений содержаний в них химических элементов (C_p).

Региональные геохимические фоны элементов ($C_{фр}$) в вулканических пеплах Камчатки в целом рассчитаны как средние арифметические C_p элементов в пеплах всех районов полуострова. Способ расчета учитывал небольшой размах значений C_p у всех элементов. Выполнен расчет кларков концентрации элементов (K_k) для ПП пеплов полуострова, как отношения: $K_k = C_p/K$, где K – средние содержания химических элементов для горных пород верхней части континентальной коры (кларки пород) [Григорьев, 2003].

Для риолито-дацитовых пеплов Западного и Центрального районов Южной провинции при расчетах K_k использованы данные по кислотным вулканикам, для всех остальных ПП пеплов применены кларки средних вулкаников. С целью оценки разнообразия химических составов ПП разных районов Камчатки для каждого из них выполнены расчеты коэффициентов концентрации элементов (K_c) по формуле $K_c = C_p/C_{фр}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Валовые содержания химических элементов в приповерхностных вулканических пеплах

Сравнение валовых содержаний химических элементов в приповерхностных вулканических пеплах Камчатки с кларками для соответствующих типов вулканических пород (табл. 1) позволило установить три общие геохимические особенности пеплов.

Таблица 1. Валовые содержания элементов в приповерхностных вулканических пеплах разных районов Камчатки (C_p), их кларки (K), кларки концентраций относительно соответствующих типов вулкаников (K_k), средние содержания в целом для региона ($C_{фр}$)

Элементы	K средних вулкаников	K кислотных вулкаников	Северная провинция				Южная провинция						$C_{фр}$
			Западный район, $n = 30$		Восточный район, $n = 50$		Западный район, $n = 40$		Центральный район, $n = 55$		Юго-Восточный, $n = 30$		
			C_p	K_k	C_p	K_k	C_p	K_k	C_p	K_k	C_p	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	2.34
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	1.50
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	7.19
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	0.148
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	1.21
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	3.37
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	0.41
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	0.09
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	3.86
Li	20	26	20.98	1.05	11.29	0.56	16.49	0.63	17.86	0.69	9.93	0.50	15.31
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	0.84
Sc	15	4.2	7.30	0.49	23.19	1.55	19.34	4.60	15.83	3.77	23.25	1.55	17.78
V	71	60	65.45	0.92	180.34	2.54	139.64	2.33	83.26	1.39	149.74	2.11	123.69
Cr	30	8.5	44.99	1.50	61.68	2.06	24.49	2.88	10.49	1.23	35.60	1.19	35.45
Co	19	4.8	8.60	0.45	22.97	1.21	13.27	2.76	9.48	1.97	16.30	0.86	14.12
Ni	51	8.0	17.32	0.34	21.66	0.42	8.97	1.12	6.05	0.76	12.67	0.25	13.33
Cu	44	15	31.98	0.73	57.44	1.31	41.13	2.74	25.15	1.68	32.52	0.74	37.65
Zn	31	35	48.74	1.57	81.70	2.64	80.38	2.30	86.39	2.47	65.50	2.11	72.54

Таблица 1. Окончание

Элементы	K средних вулканитов	K кислых вулканитов	Северная провинция				Южная провинция						C _{Фр}
			Западный район, n = 30		Восточный район, n = 50		Западный район, n = 40		Центральный район, n = 55		Юго-Восточный, n = 30		
			C _p	K _k	C _p	K _k	C _p	K _k	C _p	K _k	C _p	K _k	
Rb	75	190	36.99	0.49	16.33	0.22	32.50	0.17	31.47	0.17	12.47	0.17	25.95
Sr	390	240	289.8	0.74	309.2	0.79	210.2	0.88	224.8	0.94	268.7	0.69	260.55
Y	19	24	8.05	0.42	16.49	0.87	20.90	0.87	22.84	0.95	16.09	0.85	16.87
Zr	110	110	224.94	2.04	142.28	1.29	180.00	1.64	175.46	1.60	99.56	0.91	164.45
Nb	19	26	4.05	0.21	2.62	0.14	5.51	0.21	5.12	0.20	1.97	0.10	3.85
Mo	2	3.4	3.09	1.55	0.98	0.49	2.10	0.62	2.52	0.74	1.25	0.62	1.99
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	0.17
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	1.56
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	0.65
Cs	2.9	10	1.65	0.57	0.61	0.21	2.10	0.21	1.73	0.17	0.88	0.30	1.39
Ba	410	480	529.15	1.29	355.67	0.87	424.97	0.89	451.98	0.94	222.54	0.54	396.86
La	28	31	9.49	0.34	6.41	0.23	8.66	0.28	9.72	0.31	4.55	0.16	7.77
Ce	50	58	20.45	0.41	15.28	0.31	20.35	0.35	23.01	0.40	11.27	0.23	18.07
Pr	4.0	10	2.59	0.65	2.32	0.58	2.80	0.28	3.11	0.31	1.70	0.42	2.50
Nd	20	27	9.78	0.49	10.63	0.53	12.00	0.44	13.21	0.49	7.74	0.39	10.67
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	2.72
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	0.87
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	3.01
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	0.49
Dy	3	6.0	1.54	0.51	3.06	1.02	3.43	0.57	4.03	0.67	2.66	0.89	2.95
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	0.62
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	1.88
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	0.28
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	1.88
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	0.30
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	2.56
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	0.46
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	0.23
Pb	18	23	10.00	0.56	4.98	0.28	11.22	0.49	10.04	0.44	5.56	0.31	8.36
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	0.15
Th	4.1	13	2.05	0.50	0.74	0.18	1.77	0.14	2.09	0.16	0.69	0.17	1.47
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	0.79

Примечание. Содержания Na, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe – в %, остальные элементы – в мг/кг. Исследования выполнены в Аналитическом сертификационном испытательном центре (ООО АСИЦ) ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС, Москва).

В целом вулканические пеплы полуострова характеризуются пониженными содержаниями большинства химических элементов в сравнении со средними показателями для вулканитов соответствующего состава. Из 52 изученных элементов только 11 имеют устойчиво повышенные кларки концентраций, превышающие единицу.

В приоритетный ряд для всех районов входят химические элементы преимущественно типоморфные для основных вулканитов (содержащиеся в них в больших количествах, чем в кислых вулканических породах). $K_k \geq 1$ в большинстве районов имеют: P, Mg, Ca, Ti, Mn, Fe, Sc, V, Cr, Co, Cu, Zn, Sb, и только три элемента (As, Ba, Bi) типичные для кислых горных пород. Наиболее высокие значения K_k для перечисленных элементов характерны для

кислых ПП пеплов Западного и Центрального районов Южной провинции за счет существенно более низких значений, применяемых для них кларков (средних содержаний этих элементов для кислых вулканитов). В меньшей степени обогащены элементами, типоморфными для основных вулканитов, ПП пеплы вулкана Шивелуч, распространенные в Западном районе Северной провинции. В отличие от всех районов, K_k для Ca, Ti, Mn и Fe в них ниже единицы.

Элементы, типоморфные для кислых магматических пород (B, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Ba, Pb), имеют устойчиво низкие фоновые содержания во всех рассматриваемых пеплах, в том числе в кислых вулканических пеплах Южной Камчатки.

Таблица 2. Коэффициенты концентраций (K_c) валовых содержаний химических элементов для ПП разных районов Камчатки

Провинция	Район	Геохимическая формула
Северная	Западный	As(2.0)-Sb(1.8)-K(1.7)-U,Mo(1.6)-Tl(1.5)-Rb,Th,Hf,Li,Zr(1.4)-Ba,Ni,Cr(1.3)-Be,Na,La,Pb,Cs,W(1.2)-Ce,Sr,Nb(1.1)-Pr(1.0) Bi,Nd(0.9)-Cu,Ga,Al,Sn(0.8)-Mg,Sm,Eu,Ca,Zn(0.7)-Gd,Cd,Co,Tb,Fe(0.6)-Lu,Mn,V,Ho,Ti,Dy,Yb,Tm,Er,Y(0.5)-Sc(0.4)
	Восточный	Cr,Mg(1.7)-Co,Ni,Ca,(1.6)-Cu,V(1.5)-Fe(1.4)-Sc,Ti(1.3)-Sr,Mn(1.2)-Zn,Eu,Al,Cd,Gd,Tb,Sm(1.1)-Dy,Ho(1.0) Er,Nd,Y(1.0)-Tm,Yb,Lu,Pr,Na,Ga,Ba,Zr(0.9)-Ce,La,Hf(0.8)-Li,K,Sn,Be,Nb(0.7)-Rb,Sb,U,W,Pb,(0.6)-Th,Mo,Tl,Bi(0.5)-Cs(0.4)-As(0.3)
Южная	Западный	Bi(1.8)-Tl,Cs(1.5)-Nb(1.4)-Pb,As,Ti,Ga,Rb(1.3)-W,Y,Cd,Tm,Lu,Th,Yb,Er,Ho,Be,Tb,Dy,Sn(1.2)-Gd,Sm,V,Ce,Nd,Pr,La,Zn,Zr,Cu,Sc,Li,Ba,U,Mo,Hf,Eu(1.1) Al,Mn,Co,K,Sb,Na(0.9)-Sr,Ca(0.8)-Cr,Ni(0.7)
	Центральный	Th,Yb,Tm,Er,Lu,Dy,Y(1.4)-Ho,Nb,Sn,Tb,U,Gd,Sm,Ce,Mo,Bi,La(1.3)-Pr,Cs,Nd,Eu,Be,Rb,Pb,Zn, Li,W(1.2)-Ba,K,Hf,Cd,Tl,Zr,Mn,Na(1.1)-Ga,Al(1.0) Ti,Sc,Sr,As,Fe,(0.9)-Sb(0.8)-V,Co,Cu,Ca(0.7)-Mg,Ni(0.5)-Cr(0.3)
	Юго-Восточный	Mg(1.4)-Ca,Sc,Mn(1.3)-Fe,V,Co(1.2)-Al,Sr,Cr,Sn,Ti,Cd,Y,Ni(1.0) Na,Yb,Er,Ga,Tm,Ho,Eu,Lu,Dy,Zn,Sb,Tb,Gd,Cu(0.9)-W,Sm(0.8)-Nd,Pr,Pb(0.7)-Li,Cs,Mo,Ce,Hf,Be,Zr,La,Ba(0.6)-K,As,Bi,Nb,Rb,Th(0.5)-Tl,U(0.4)

Примечание. Значения K_c – в скобках.

Возможно, обогащенность наиболее характерных для Камчатки вулканических пеплов химическими элементами, типоморфными для основных горных пород и обедненность элементами, типичными для кислых вулканитов, является общей геохимической особенностью всего голоценового островодужного вулканизма Камчатки.

Сравнение валовых химических составов ПП вулканических пеплов пяти почвенных районов Камчатки относительно друг друга, выполненное путем расчетов K_c , указывает на незначительные вариации содержания элементов. Большинство химических элементов для разных районов имеют коэффициенты концентрации близкие к единице, колеблющиеся в пределах 1.5–0.7, то есть

отклоняющиеся от средних показателей для полуострова не более чем на 33% (табл. 2).

Тем не менее, на фоне небольших вариаций содержания химических элементов в пеплах разных районов состав приоритетных элементов с $K_c > 1$ определяется петрохимической специализацией пеплов. Так на риолито-дацитовый состав ПП Западного и Центрального районов Южной провинции указывает спектр приоритетных элементов, в обоих случаях включающий элементы, типоморфные для кислых горных пород. Для Западного района это – Bi, Tl, Cs, Nb, Pb, As, Ti, Ga, Rb, W, Y, Cd, Tm, Lu. Для Центрального района в состав элементов с $K_c > 1$ входят все 14 редкоземельных элементов, а также Th, Nb, Sn, U, Ce, Mo, Bi, Cs.

Пеплы среднего состава, слагающие ПП Восточного района Северной провинции и Юго-Восточного района Южной провинции, характеризуются вхождением в ряд химических элементов с $K_c > 1$ в обоих случаях: Mg, Ca, Sc, Mn, Fe, V, Cr, для Восточного района Северной провинции дополнительно: Co, Ni, Cu, Ti. Все перечисленные элементы типичны для горных пород основного и среднего составов.

Нехарактерный спектр приоритетных элементов, преимущественно, типоморфных для кислых горных пород, установлен для приповерхностных андезитовых пеплов вулкана Шивелуч Западного района Северной провинции. Несоответствие качественного состава химических элементов (с повышенными и пониженными содержаниями элементов относительно $C_{фр}$) андезитовому составу пеплов извержений названного вулкана обусловлено рядом обстоятельств. К первому следует отнести дальность переноса пеплов. Источник поступления тefры располагается от района более чем в 100 км. С удалением от центра извержения по мере продвижения пепловой тучи в общем гранулометрическом составе пепла уменьшается крупная песчаная фракция, выпадают преимущественно кристаллокласты плагиоклаза, роговой обманки и рудных минералов [Фелицин и др., 1990]. В результате в пепле увеличивается доля вулканического стекла и элементов, типичных для кислых пород.

Преобладание числа элементов, типичных для кислых пород с $K_c > 1.0$ для андезитовых пеплов вулкана Шивелуч, связано также с особенностями их петрохимического состава. По содержанию SiO_2 (63%) они в сравнении с ПП соседнего Восточного района (смесь пеплов вулканов Толбачик и Безымянный, $SiO_2 = 61\%$) являются более кислыми.

Минералогические исследования вулканических пеплов Северной почвенной провинции также подтверждают факт большей кислотности пеплов вулкана Шивелуч относительно дру-

гих пеплов Северной провинции. Установлено, что главной кристаллической фазой северных пеплов является плагиоклаз. При этом в пепле вулкана Шивелуч он относится к андезину, а во всех других пеплах (пеплы вулканов Толбачик, Безымянный) – к лабрадору [Лютоев и др., 2017].

Содержания подвижных форм элементов в приповерхностных вулканических пеплах

При установлении роли пирокластического материала в формировании геохимических особенностей вулканических почв и растений на них произрастающих немаловажны данные о содержании в пеплах подвижных форм химических элементов, вовлекаемых в процессы почвообразования и питания растений и свидетельствующих о степени преобразованности пеплов. С учетом того, что ПП региона фактически выполняют функции почвенных горизонтов, можно оценить их обеспеченность подвижными формами химических элементов в сравнении с имеющимися почвенными критериями [Александрова и др., 2001]. Как показывает данное сопоставление, содержание подвижных форм Cu, Mn, Co, Mo и Zn (элементы, для которых эти критерии разработаны) в пеплах территории исследований, как на удалении от активных вулканов, так и в ареалах выпадения вулканических пеплов низкое (табл. 3).

Содержания подвижных форм элементов в ПП вулканических пеплах разных районов полуострова имеют более существенные различия значений региональных показателей относительно друг друга, чем вариации их валовых химических составов. Так последние характеризуются максимальными коэффициентами концентраций для Северной провинции от 1.7 до 1.9 единиц; для Южной территории составляют значения 1.4–1.8. Подвижные формы элементов имеют аналогичные показатели для пеплов Северной провинции от 3.6 до 3.7, для районов южной Камчатки максимальные K_c варьируют от 1.7 до 3.8.

Данная особенность связана с тем, что состав пеплов по содержанию подвижных форм химических элементов обусловлен разнообразными факторами: природно-климатическими условиями; разной удаленностью от источника поступления пеплов; времени года, когда происходило извержение и т.п. Доли подвижных форм элементов от их валовых содержаний очень ничтожны, составляют, как правило, менее одного процента.

Валовый химический состав пепла – параметр более стабильный, определяемый, в первую очередь, его изначальным петрохимическим составом. А так как все изученные

Таблица 3. Содержание подвижных форм химических элементов для приповерхностных вулканических пеллов разных районов Камчатки (C_p) и для региона в целом ($C_{\text{фр}}$), мг/кг

Элементы	Северная провинция		Южная провинция			Элементы	$C_{\text{фр}}$	Северная провинция				$C_{\text{фр}}$	
	Западный район	Восточный район	Западный район	Центральный район	Юго-Восточный район			Западный район	Восточный район	Центральный район	Юго-Восточный район		
													Южная провинция
Li	0.005	0.005	0.010	0.006	0.007	Y	0.007	0.098	0.055	0.078	0.084	0.083	0.080
Be	0.015	0.003	0.010	0.010	0.008	Zr	0.008	0.637	0.097	0.240	0.236	0.102	0.263
B	0.250	0.500	0.250	0.250	0.300	Cd	0.300	0.005	0.027	0.015	0.012	0.014	0.014
Na	0.450	0.450	38.21	1.056	9.952	Sn	9.952	0.007	0.003	0.006	0.003	0.006	0.005
Mg	11.1	214.7	65.5	34.2	72.3	Cs	72.3	0.008	0.005	0.034	0.029	0.036	0.023
Al	751.2	105.8	321.7	409.6	378.0	Ba	378.0	3.05	6.61	11.71	13.28	3.41	7.61
Si	33.94	25.42	25.69	26.26	26.46	La	26.46	0.113	0.020	0.044	0.047	0.037	0.052
P	9.45	9.12	12.49	10.53	10.28	Ce	10.28	0.236	0.044	0.083	0.092	0.073	0.106
S	21.49	6.86	12.39	15.35	14.39	Pr	14.39	0.033	0.008	0.012	0.013	0.012	0.016
K	16.12	66.93	58.38	83.51	56.29	Nd	56.29	0.143	0.039	0.059	0.072	0.059	0.074
Ca	86.1	789.9	297.3	213.1	315.9	Sm	315.9	0.031	0.011	0.017	0.019	0.017	0.019
Ti	4.81	0.76	0.70	1.03	1.61	Eu	1.61	0.008	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004
V	0.337	0.147	0.164	0.121	0.182	Gd	0.182	0.028	0.013	0.017	0.020	0.019	0.019
Cr	0.607	0.045	0.045	0.073	0.169	Tb	0.169	0.004	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
Mn	0.70	16.48	23.95	23.00	15.48	Dy	15.48	0.021	0.011	0.016	0.017	0.016	0.016
Fe	213.3	50.3	107.3	102.7	107.7	Ho	107.7	0.004	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
Co	0.087	0.400	0.177	0.136	0.190	Er	0.190	0.011	0.006	0.008	0.009	0.008	0.008
Ni	0.128	0.250	0.224	0.144	0.181	Tm	0.181	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Cu	0.300	0.309	0.343	0.233	0.413	Yb	0.413	0.009	0.005	0.006	0.007	0.006	0.007
Zn	0.44	10.58	1.20	1.05	2.86	Lu	2.86	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
Ga	0.086	0.008	0.024	0.030	0.033	Hf	0.033	0.016	0.005	0.007	0.007	0.003	0.007
As	0.076	0.013	0.021	0.028	0.038	Tl	0.038	0.008	0.004	0.009	0.005	0.005	0.006
Se	0.044	0.020	0.047	0.046	0.039	Pb	0.039	0.143	0.078	0.073	0.123	0.103	0.104
Rb	0.040	0.226	0.195	0.323	0.197	Bi	0.197	0.003	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
Sr	0.85	4.56	2.55	2.13	2.30	Th	2.30	0.019	0.002	0.010	0.014	0.006	0.010
						U		0.020	0.007	0.024	0.027	0.008	0.017

вулканические пеплы региона имеют общие геохимические особенности (обогащены элементами, типоморфными для основных пород

и обеднены элементами, типичными для кислых вулканитов), то контрастность их валовых составов не велика.

Таблица 4. Коэффициенты концентраций (K_c) содержаний подвижных форм химических элементов для ПП разных районов Камчатки

Провинция	Район	Геохимическая формула
Северная	Западный	Cr(3.6)-Ti(3.0)-Ga(2.6)-Zr(2.4)-Ce,La(2.2)-Pr,Hf(2.1)-As,Al,Fe(2.0)-Nd,Be,V(1.9)-Th(1.8)- <u>Ru(1.7)-Sm(1.6)-S(1.5)-Gd,Sn,Bi,Tb,Pb(1.4)-Yb,Dy,Si,Er,Tm(1.3)-Tl,Ho,Y,U(1.2)-Se,Lu(1.1)</u> P(0.9)-B,Li(0.8)-Cu,Ni(0.7)-Co(0.5)-Ba,Cd,Cs,Sr(0.4)-K,Ca(0.3)-Rb,Mg,Zn(0.2)-Mn,Na(0.1)
	Восточный	<u>Zn(3.7)-Mg(3.0)-Ca(2.5)-Co(2.1)-Sr(2.0)-Cd(1.9)-B(1.7)-Ni(1.4)-K(1.2)-Rb,Mn(1.1)-Si(1.0)</u> P,Ba(0.9)-V,Tm,Li,Pb(0.8)-Cu,Yb,Bi,Er,Ho,Y,Eu,Dy,Gd(0.7)-Tb,Hf,Sm,Tl(0.6)-Nd,Se,Lu,Sn,Pr,S,Ti,Fe(0.5)-Ce,U,La,Zr,Be(0.4)-As,Al,Cr,Ga,Cs,Th(0.2)-Na(0.1)
Южная	Западный	Na(3.8)-Mn,Ba,Tl,Cs,Li(1.5)-U,(1.4)-Ni,Se,P,Lu,Be,(1.2)-Sn,Sr,Tm(1.1)- <u>K,Cd,Er,Fe,Dy,Rb,Y,Si,Tl,Ho(1.0)</u> Yb,Ca,Hf,Tb,Co,Zr,Mg,V,Eu,Gd,Sm,S,Al(0.9)-La,B,Cu,Nd,Ce,Pr(0.8)-Ga,Pb,Bi(0.7)-As(0.6)-Ti,Zn(0.4)-Cr(0.3)
	Центральный	Ba(1.7)-Rb,U(1.6)-Mn,K(1.5)-Th(1.4)-Lu,Cs(1.3)-Be,Pb,Se(1.2)-Al,S,Ho,Yb,Y(1.1)- <u>Dy,Er,Tb,P,Gd,Sm,Bi,Si,Hf,Tm,Nd,Fe(1.0)</u> Sr,Li,La,Ga,Zr,Eu,Tl,Ce,Pr(0.9)-B,Cd,Ni(0.8)-As,Co,Ca,V(0.7)-Ti,Sn,Cu(0.6)-Mg,Cr,Zn(0.4)-Na(0.1)
	Юго-Восточный	<u>Cu(2.1)-Cs(1.6)-As,Sn(1.3)-Bi(1.2)-S,Li(1.1)</u> Ho,Y,Rb,K,Dy,Er,Pb,Tb,Gd,Na,P(1.0)-Se,Tm,Cd,Yb,Sm,Ni,Lu,Mn(0.9)-B,Eu,Al,Nd,Co,Si,V,Tl(0.8)-Pr,La,Ce,Sr,Ca,Fe,Th(0.6)-Ga,Mg,Ti,U(0.5)-Ba,Cr,Zr,Be,Zn(0.4)-Hf(0.3)

Примечание. Значения K_c – в скобках.

Сопоставление химических составов пеплов по содержанию подвижных форм элементов каждого из пяти районов с общими региональными параметрами ($K_c = C_p/C_{фр.}$) показывает, что различия пеплов обусловлены в основном их петрохимическим составом, а также природно-климатическими условиями и особенностями современного вулканизма, наблюдаемого на этих территориях в настоящее время (табл. 4).

В вулканических пеплах риолито-дацитового состава Западного и Центрального районов Южной провинции в основном преобладают элементы, типоморфные для кислых горных пород. Для Западного района обращает на себя внимание вхождение в состав приоритетных элементов подвижного натрия, содержания которого выше фоновых значений почти в четыре раза. Возможно, это объясняется близостью побережья Охотского моря, и розой ветров региона, которая по общим годовым параметрам имеет преимущественно северо-восточное направление [Кондратьев, 1974].

Пеплы среднего состава, слагающие приповерхностные минеральные горизонты Восточного

района Северной провинции обогащены подвижными формами химических элементов, типичных для горных пород основного и среднего составов (Zn, Mg, Ca, Co, Sr, Cd, B, Ni). Спектр подвижных форм приоритетных элементов, преимущественно типоморфных для кислых горных пород, характерен, как и по валовым содержаниям, для приповерхностных андезитовых пеплов Западного района Северной провинции.

Не отмечается соответствия спектра подвижных форм приоритетных химических элементов с валовым составом ПП Юго-Восточного района Южной провинции. Наряду с Cu, Cs и S, элементами типоморфными для вулканитов среднего состава (какими являются ПП района), к элементам с $K_c > 1$ относятся As, Sn, Bi, S, Li, которые не типичны для основных пород и для ПП района. Смешанный спектр приоритетных химических элементов объясним особенностью строения почв территории на глубину. Последние включают четыре органических горизонтов, поверхностный подстилается средним андезибазальтовым пеплом недавнего (1907 г.) извержения вулкана Ксудач. Средняя и ниж-

няя часть профиля этих почв аналогична почвам Центрального района данной провинции, сформирована она в риолито-дацитовых кислых пеплах извержений вулканов Опала и ранний Ксудач. Очевидно, поступление элементов, типичных для кислых вулканитов в верхние горизонты почв из глубинных пепловых слоев, обусловлено капиллярными и диффузионными процессами, определяющими подъем растворов снизу-вверх при редких засушливых периодах, чередующихся с преобладающими для региона нисходящими токами почвенных растворов. Присутствие капиллярных и диффузионных процессов в почвах территории доказывает наличие на площадях рудопроявлений Родниковое и Асачинское (входящих территориально в Юго-Восточный район), вторичных солевых наложенных ореолов рассеяния рудных элементов, обусловленных восходящим движением почвенных растворов [Литвиненко, 1991].

Перераспределению в почве подвижных форм химических элементов способствует также жизнедеятельность растительности, корневая система которой проникает на глубину залегания кислых пеплов [Захарихина, 2010]. Легкоподвижные формы химических элементов, извлеченные растительностью из почвенных горизонтов, образованных в кислых пеплах, позже сохраняются в растительном опаде, и далее, после его разложения, поступают в верхние почвенные горизонты.

В целом анализ различий содержаний подвижных форм химических элементов в ПП разных провинций полуострова по показателю K_c свидетельствует об относительной обогащенности ПП Северной провинции в сравнении с пеплами юга полуострова. Максимальные коэффициенты концентраций для Северной провинции составляют значения от 3.6 до 3.7, большинство приоритетных элементов имеют значения K_c более 1.5. Для районов Южной Камчатки содержания приоритетных элементов, как правило, близки к средним фоновым показателям для региона, с K_c менее 1.5. Исключения составляют только содержание подвижного натрия в пеплах Западного района ($K_c = 3.8$) и подвижной меди в пеплах Юго-Восточного района ($K_c = 2.1$).

Подвижные формы элементов, поступающие при извержениях вулканов Шивелуч, Толбачик, Безымянный, Ключевской в ближайших окрестностях вулканов (Восточный район Северной провинции), привносятся в поверхностные горизонты почв (в том числе приповерхностные пепловые горизонты) элементы, типичные для основных и средних пеплов названных вулканов. Переносимые на дальние расстояния продукты извержения вулкана Шивелуч (Западный район) обогащают поверхностную часть почвенного профиля подвижными формами элементов,

типичных для кислых вулканитов. Последняя особенность связана как с изначальной геохимической специализацией валового состава пеплов вулкана Шивелуч дальнего переноса, так и с обогащением пеплов при длительной транспортировке подвижными формами элементов [Захарихина и др., 2016].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вулканические пеплы Камчатки, залегающие под поверхностными органогенными горизонтами, имеют пониженные содержания большинства химических элементов в сравнении со средними показателями для вулканитов соответствующего состава. Во всех районах полуострова относительно повышены содержания в пеплах элементов типоморфных для основных пород (P, Mg, Sc, V, Cr, Co, Cu, Zn, Sb) и понижены концентрации элементов типичных для кислых вулканитов.

На фоне небольших вариаций содержаний химических элементов в пеплах разных районов состав приоритетных элементов для них определяется их петрохимической специализацией. В пеплах риолито-дацитового состава Западного и Центрального районов Южной провинции преобладают элементы, типоморфные для кислых горных пород. Пеплы среднего состава, слагающие ПП Восточного района Северной провинции, характеризуются вхождением в ряд приоритетных химических элементов: Mg, Ca, Sc, Mn, Fe, V, Cr. Несоответствие состава приоритетных элементов (преимущественно типоморфных для кислых горных пород) петрохимическому составу андезитовых ПП вулкана Шивелуч объяснимо дальностью их переноса и эффектом эоловой гравитационной дифференциации тefры, в результате которой в пепле повышена доля вулканического стекла и элементов, типоморфных для кислых пород.

Содержания подвижных форм элементов в ПП разных районов полуострова имеют более существенные разбросы значений региональных показателей относительно друг друга, чем вариации их валовых химических составов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова Э.А., Гайдукова Н.Г., Кошеленко Н.А., Ткаченко З.Н.* Тяжелые металлы в почвах и растениях и их аналитический контроль. Краснодар: КГАУ, 2001. 11 с.
- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Кирьянов В.Ю.* Последнее кальдерообразующее извержение на Камчатке (вулкан Ксудач) 1700–1800 ^{14}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.

Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.

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., Ряховская Н.И. и др. Особенности геохимической трансформации естественных почв и повышение продуктивности агроценозов при поступлении продуктов вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. 2016. № 3. С. 57–72.

Карандашев В.К., Туранов А.Н., Орлова Т.А. и др. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в элементном анализе объектов окружающей среды // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. Т. 73. № 1. С. 12–22.

Кондратьев В.И. Климат Камчатки. М.: Гидрометеоздат, 1974. 202 с.

Литвиненко Ю.С. Геохимические критерии прогноза, поисков и оценки близповерхностного золото-серебряного оруденения Камчатки // Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Москва, 1991. 231 с.

Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. Районирование и геохимическая характеристика вулканических почв Камчатки // Геохимия. 2009. № 5. С. 490–503.

Лютюев В.П., Лысюк А.Ю., Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. Мессбауэровская, ЭПР и ИК спектроскопия вулканических пеплов Камчатки // Минералогия техногенеза. 2017. Т. 18. С. 55–73.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М: Высшая школа, 1975. С. 17–19.

Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М: Недра, 1990. 335 с.

Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А. и др. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 335 с.

Фелицин Н.Б., Ваганов П.А., Кирьянов В.Ю. Распределение редких и рассеянных элементов в пеплах вулканов Камчатки по данным инструментального нейтронно-активационного анализа // Вулканология и сейсмология. 1990. № 2. С. 23–35.

Ярошевский А.А. Проблемы современной геохимии. Новосибирск: НГУ, 2004. 194 с.

VOLCANISM AND GEOCHEMISTRY OF SOIL AND VEGETATION COVER OF KAMCHATKA. COMMUNICATION 1. GEOCHEMICAL FEATURES OF VOLCANIC SURFACE ASHES

L. V. Zakharikhina^{1, *}, Yu. S. Litvinenko^{2, **}

¹*Geotechnological Scientific Research Center, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Severo-Vostochnoe shosse 30, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683002 Russia*

²*EcoGeoLit Ltd., Mosfil'movskaya ul. 17 B, Moscow, 119330 Russia*

*e-mail: zlv63@yandex.ru

**e-mail: ecogeolit@mail.ru

Received May 05, 2017

Common geochemical features of volcanic near-surface ashes of Kamchatka (ashes located under the surface organogenic soil horizons) are their depletion by most chemical elements in comparison with average indicators for volcanic rocks of corresponding composition and relative enrichment of a limited range of elements, mainly typomorphic for main rocks (P, Mg, V, Cr, Cu, Zn, Zr, Sb). Against the background of small variations in the contents of chemical elements in the ashes of different areas of the peninsula, the range of their priority elements is determined by their petrochemical composition. The active activity of the Northern group of volcanoes of Kamchatka causes a relatively high content of mobile forms of elements in the near-surface ashes of the Northern province in comparison with the ashes of the southern part of the peninsula.

Key words: Volcanism, geochemistry of ashes, the role of ashes in soil formation.