

УДК 631.48

## РОЛЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕПЛОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ СОВРЕМЕННОГО ЭКСПЛОЗИВНОГО ВУЛКАНИЗМА

© 2008 г. Л. В. Захарихина<sup>1</sup>, Ю. С. Литвиненко<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ООО ЭкоГеоЛит, Москва, 117447

Поступила в редакцию 02.04.2007 г.

На примере территории, расположенной вблизи действующего вулкана Карымский (восточное побережье Камчатки), показано, что при регулярном поступлении на поверхность пирокластического материала трансформация органического почвенного вещества происходит крайне замедленно. Основным источником элементов питания растений в таких условиях являются подвижные микроэлементы свежих вулканических пеплов. Установлена геохимическая специализация рассмотренной территории, характеризующаяся пониженными концентрациями большинства микроэлементов относительно их кларков для почв и грунтов и превышением содержаний микроэлементов над кларком живого вещества для растений. Свежевыпавшие пеплы обогащены подвижными формами микроэлементов, которые в результате гипергенных геохимических процессов переходят в растворенном виде в сопредельные среды.

Влияние вулканизма на формирование почв и растений чаще всего связывают с периодическими выпадениями вулканических пеплов, перекрывающими современный почвенно-растительный покров и следующими за ним длительными периодами относительного покоя. Вместе с тем, большой интерес представляют специфические условия почвообразования и формирования растительности вблизи постоянно действующих вулканов.

Целью работы являлось установление особенностей формирования почв и растений в зоне современных вулканических пеплопадов вулкана Карымский (восточное побережье Камчатки).

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи: 1) охарактеризовать специфику почв и растений, обусловленную региональной вулканической деятельностью; 2) установить геохимическую специализацию генетических горизонтов почв, вулканических пеплов и растений, развитых на исследуемой территории; 3) выявить возможные корреляционные связи по содержанию микроэлементов между свежими пеплами, почвами и образованным на них растительным покровом.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на востоке Камчатки, в окрестностях оз. Карымское, которое расположено в кальдере Академии Наук, в 6 км от действующего вулкана Карымский, входящих

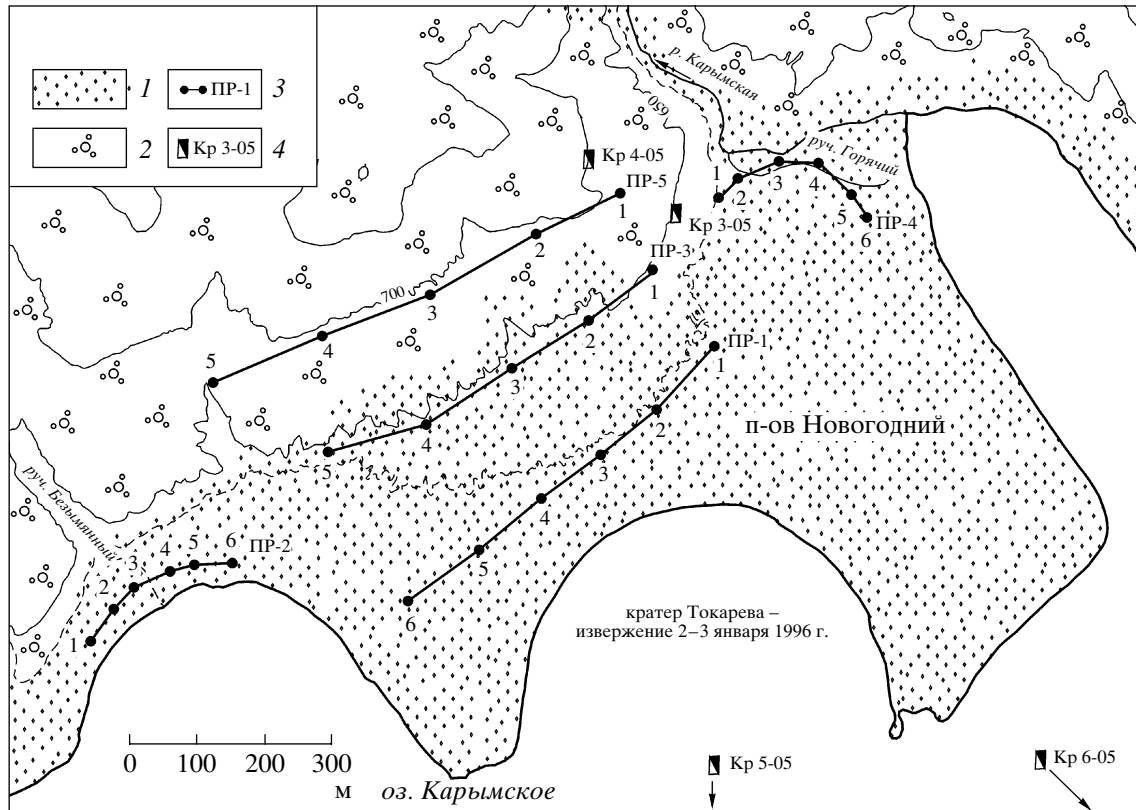
в Карымский вулканический центр Восточно-Камчатского вулканического пояса.

В начале января 1996 г. здесь началось одновременное извержение двух вулканов [10]. Первое извержение было приурочено к вершине вулкана Карымский, другое – к северной части Карымского озера в кальдере Академии Наук. Подводное извержение в озере сопровождалось кратковременным выбросом значительного количества пирокластического материала базальтового состава. В результате, в окрестностях озера, в верхней части профиля современных почв отложился повсеместно распространенный минеральный горизонт средней мощности ~2–5 см, а в северной части озера образовался новый элемент рельефа – п-ов Новогодний, изменивший береговую линию. Пеплы продолжающегося поныне извержения вулкана Карымский образуют присыпку в современные органо-минеральные горизонты почв.

Климат территории умеренно континентальный, средняя годовая температура от –2 до –4°C, среднегодовое количество осадков 500–700 мм. Годовой коэффициент увлажнения (по Иванову) составляет >1.33.

Определяющими в растительном покрове изученной среднегорной территории являются сообщества ольховых стлаников и субальпийских разнотравных, вейниковых лугов.

Роль почвообразующей породы для всех дневных и погребенных органогенных горизонтов почв выполняют вулканические пеплы изверже-



**Рис. 1.** Карта-схема района работ: 1 – преимущественно обнаженные поверхности, частично занятые пионерными растительными группировками; 2 – поверхности, занятые ольхово-стланиковыми и луговыми ассоциациями; 3 – эколого-геохимические профили, их номера и номера пикетов; 4 – опорные почвенные разрезы, их номера.

ний вулкана Карымский преимущественно андезитового состава.

Объектами исследований являлись почвы, вулканические пеплы и растения территории. В процессе работ заложено и описано четыре почвенных разреза и пройдено пять почвенно-геохимических профилей (рис. 1).

Почвенные разрезы изучены на разном удалении от центра подводного извержения: нижняя часть склона возвышенности, прилегающей на северо-западе к п-ову Новогодний (в 110 м на юго-запад от устья руч. Горячий, разрез № Кр 3-05), средняя часть склона этой же возвышенности (в 300 м на запад от устья руч. Горячий, разрез Кр 4-05), низкая озерная терраса на восточном побережье оз. Карымское (разрез Кр 6-05) и нижняя часть склона борта кальдеры на его южном побережье (разрез Кр 5-05).

Для изучения характера пространственного распределения микроэлементов в почвах и растениях пройдены почвенно-геохимические профили на склоне возвышенности, прилегающей на северо-западе к п-ову Новогодний (профиль Пр5) и на территории полуострова: на его северо-западной окраине, у подножья склона (профиль Пр3), в средней части полуострова (профиль Пр1), попе-

рек переувлажненного конуса выноса руч. Безымянный, на западе полуострова (профиль Пр2) и в районе термального руч. Горячий, на северной окраине полуострова (профиль Пр 4).

Пробы почв и растительности в профилях отбирались через 100–200 м с описанием опробуемого материала. В районе ручьев Безымянный и Горячий при пересечении их профилями произведено сгущение шага пробоотбора до 20–50 м.

Аналитические исследования с целью характеристики актуальных почвенных свойств проведены по двум опорным почвенным разрезам. Определение содержаний микроэлементов в почвах, вулканических пеплах и растениях проведено по всем точкам профилей и по всем почвенным разрезам.

В опорных почвенных разрезах определялись следующие показатели: рН водной вытяжки, гидролитическая кислотность, содержания гумуса (методом И.В. Тюрина), подвижных форм кремния, железа и алюминия (вытяжка О. Тамма), концентрация обменных кальция и магния (комплексометрическим методом). Химические свойства почвы определялись методами, предложенными в [1, 7].

В почвах и пеплах определены валовые содержания микроэлементов и их растворимые формы, в растительных образцах установлен зольный микроэлементный состав.

Определения общих (валовых) концентраций микроэлементов проведены методом полного спектрального анализа с определением 40 химических элементов на приборе ДФС-458 методом просыпки на трехфазной дуге.

Подвижные формы микроэлементов в литохимических пробах извлекались азотной кислотой ( $1_M \text{HNO}_3$ ) вытяжкой при  $T : Ж = 1 : 10$ . Содержание элементов в вытяжках устанавливалось масс-спектрометрическим методом в индуктивно связанной плазме (ICP-MS).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почвы, развитые в окрестностях озера Карымское, имеют слоистый и полигенный профиль, состоящий из трех-четырех наложенных друг на друга элементарных профилей, в каждом из которых выделяются органогенные горизонты и четко диагностируемые слои слабо трансформированных вулканических пеплов извержений вулкана Карымский.

В нижней части почвенного профиля развит охристый иллювиально-метаморфический горизонт ( $B_{\text{охр}}$ ). Специфика охристого горизонта определяется пирокластической природой субстрата и ярко выраженным явлением псевдотиксотропии – выделением влаги при разминании структурных отделностей. В районе исследований он сформирован среднеголоценовыми пеплами извержений начала первого периода активности вулкана Карымский (~6100 л. н.) [2].

Почвы относятся к выделенному И.А. Соколовым (1973) типу вулканических охристых почв, наиболее распространенных на Камчатке [8].

Ниже приведено морфологическое описание типичного почвенного разреза с применением индексов, обозначающих генетические горизонты почв: O – слаботрансформированный растительный опад, Ad – дерновый, C – почвообразующий, II, III, IV [A] – погребенные гумусовые, D – почвоподстилающий,  $B_{\text{охр}}$  – охристый иллювиально-метаморфический.

Разрез № Кр 3-05, заложен в 110 м на юго-запад от устья руч. Горячий, в нижней части склона возвышенности, прилегающей с северо-запада к п-ову Новогодный, лангсдорфвейниковый луг.

O, 0–10 см. Буровато-желтый рыхлый опад, состоящий из отмерших слаботрансформированных стеблей злаковых.

AdO, 10–15 см. Светло-бурая, сухая, хорошо скрепленная дернина из отмерших тонких корней злаковых, с заметной примесью среднетесчаного серого пирокластического материала из нижеле-

жащего пепла (кальдера Академии наук, 1996 г.), отслаивается.

C, 15–18(19) см. Серый, при высыхании светлеет до пепельно-серого, пепел извержения кальдеры Академии наук в 1996 г., влажноватый, средний суглинок, морфологически (под лупой  $\times 10$ ) преимущественно (до 90–95%) минеральные зерна палевого цвета, редко черные зерна округлой формы, зерна не раздавливаются даже при сильном нажиме, корни отсутствуют, резко обрываются по нижней границе вышележащего горизонта, переход ясный, граница ровная.

II [Ad<sub>1</sub>], 18(19)–23(24) см. Буровато-серый, образован в молодых пеплах влк. Карымский, очень плотный, сухой, сложен минеральным среднетесчаным пирокластическим веществом, которое плотно скреплено тонкими (0.1–0.5 мм) живыми корнями в хорошо выраженную дернину, сложен черными округлыми зернами, “облепленными” тонкими палевыми минеральными частицами, соотношение темного минерального вещества к светлому ~1 : 1, переход ясный по цвету, граница ровная.

II [Ad<sub>2</sub>], 23(24)–25(25.5) см. Бурый, отличается от вышележащего лишь окраской, сложен палевыми минеральными частицами, одетыми в слабо желтоватые “железистые пленки”.

II [Ad<sub>3</sub>], 25(25.5) – 28 см. Темно-буровато-серый, при высыхании светлеет до пепельно-серого, состав аналогичен двум вышележащим, вся серия II [Ad<sub>1, 2, 3</sub>] сформирована в материале извержений II периода активности вулкана Карымский (~500 л. н. и поныне), хорошо отслаивается от нижележащего минерального горизонта, нижняя граница является границей распространения корней.

II C, 28 – 37(41) см. Материал извержений II периода активности вулкана Карымский (~500 л. н. и поныне), стратифицированная толща пепловых прослоев от светло-палевого до черных окрасок: 28–29.5 – черная дресва, 29.5–31 – палевая супесь, 31–33 – черная супесь, 33–37 – палевая дресва, 37–41 – черный, мелкий песок, в палевых зонах сложен очень тонкими зернами светло-палевого цвета, редко (1–3%) встречаются более крупные черные частицы, в черных прослоях черные зерна облеплены палевым аморфным материалом, в тонкой палевой зоне редко тонкие корни, переход ясный, граница ровная по цвету и сложению.

III [A], 37(41) – 46(50) см. Бурый, свежий, структура непрочная в двух уровнях – от глыбистой (более крупной) до комковатой (II уровень), средний суглинок, редко тонкие корни, сложен рыхлыми аморфными рыжевато-бурыми органогенными микроагрегатами, “налепленными” на крупные темно-бурые минеральные частицы, переход не четкий по цвету и сложению, граница слабо волнистая.

III [AB] 46(50) – 51 см. Очень темно-бурый, в отличие от вышележащего сильно опесчанен, со значительной примесью минерального вещества, редко тонкие корни, переход ясный, граница ровная.

III D<sub>1</sub> 51 – 54(55) см. Желтовато-палевый, при высыхании светлеет, пепел извержений I периода активности влк. Карымский (~6100–2800 л. н.), тонкий песок, сложен преимущественно минеральными зернами светло-палевого цвета, редко зерна, покрытые буроватой, очень тонкой пленкой, при сильном нажиме зерна раздавливаются (внутри почти белые), корней заметно меньше, чем в вышележащем, граница четкая, слабо волнистая, варьирует по мощности.

III D<sub>2</sub> 54(55) – 57 см. Светло-желтый до кофейного, пепел извержений вулкана Карымский того же периода, свежий, крупный песок, рыхлый, бесструктурный, мезоморфологически состав идентичен вышележащему, отличие лишь в более темных тонах железистых пленок на зернах (от желтого до темно-бурого), переход четкий, граница волнистая.

III D<sub>3</sub> 57 – 59 см. Желтовато-бурый, пепел извержений вулкана Карымский того же периода, опесчаненая супесь, переход ясный, граница ровная.

IV [A] 59 – 60(61) см. Темно-бурый, суглинок, выражена псевдотиксотропия, переход ясный, граница ровная.

IV [B] 60(61) – 65 см. Светло-бурый, суглинок, непрочно-комоватый, пронизан корнями.

IV [D<sub>1</sub>] 65 – 69(70) см. Черный, крупный песок, пепел извержений I периода активности вулкана Карымский, включения дресвы, переход ясный, граница слегка волнистая.

IV [D<sub>2</sub>] 69(70) – 72 см. Охристый, крупный песок с мажущимся суглинистым заполнителем, пепел извержений I периода активности влк. Карымский, сложен крупными зернами тефры, облепленными красновато-кофейными частицами, слабо выражена псевдотиксотропия, переход ясный, граница волнистая.

V [A] 72 – 73.5 см. Буровато-серый, суглинок, выражена псевдотиксотропия, непрочно мелкокомковатый, мажется, свежий, переход четкий, граница ровная по цвету.

V [B<sub>оxp</sub>] 73.5 – 81 см. Охристый, непрочно-комковатый разных уровней, в профиле самый яркий с хорошо выраженным явлением псевдотиксотропии, тяжелый суглинок, представлен яркоохристым прозрачным, “светящимся” аморфно сложенным веществом, которое обволакивает темные минеральные зерна округлой и пластинчатой формы, переход ясный, граница ровная.

V [D] 81 см и ниже. Озерные слоистые отложения с прослоями от охристых до желтых и пале-

вых тонов: 82–97 – желтый, средний песок, 97–104 – желтый, крупный песок, 104–114 – палевый, средний песок, 114–118 – охристый, средний песок, 118 и ниже – темно-серый, средний песок.

Наиболее распространенными на описываемой среднегорной территории являются почвы ольховых стлаников и почвы лугов. Основная их отличительная особенность – признаки перегнойности для погребенных органогенных горизонтов почв ольховников и отсутствие таковых для органических горизонтов луговых почв. Почвы, сформированные под вейниковыми лугами, в сравнении с почвами стлаников, содержат меньше гумуса в погребенных органогенных горизонтах, имеют выше, чем в почвах ольховников, степень насыщенности основаниями и более высокие содержания подвижных форм кремния, железа и алюминия в погребенных гумусовых и пепловых горизонтах. В целом почвы слабо насыщены основаниями, имеют кислую или слабо кислую реакцию среды, фульватный состав гумуса (с преобладанием подвижных фульвокислот), слабую выраженность иллювиальных процессов (вынос вновь образованных органо-минеральных соединений вниз по профилю почв с частичным их закреплением в средней и нижней части) (табл. 1).

Верхняя часть профиля почв представлена серией горизонтов: O, AdO, C, II [Ad<sub>1</sub>], II [Ad<sub>2</sub>], II [Ad<sub>3</sub>], которые сложены пирокластическим материалом недавних извержений вулкана Карымский и катастрофического извержения в Карымском озере.

Пепел, поступивший на дневную поверхность в результате извержения в озере (горизонт C), фактически “продавил” приповерхностные чисто-органические горизонты O, AO и залег на плотный, в тот момент современный горизонт Ad, переведя его в состояние погребенного – II [Ad].

Морфологические и физико-химические свойства верхних горизонтов свидетельствуют о низком содержании в них тонкодисперсного органического вещества (гумуса – 1.2–1.5%). Органическая составляющая представлена здесь слаботрансформированными отмершими или живыми корнями трав, которые скрепляют вулканические пеплы в плотную, хорошо выраженную дернину. Постоянно поступающий на поверхность пирокластический материал современных извержений вулкана Карымский замедляет трансформацию органического вещества. Известно, что в таких условиях для формирования зрелых органогенных горизонтов необходим период “покоя” не менее 100 лет [5].

Хорошо развитые органогенные горизонты со значимыми содержаниями гумусовых соединений развиты в почвах лишь в средней части их профилей, с глубины примерно 40–50 см. Они расчленены голоценовыми пеплами извержений вулкана Карымский и представлены тремя прослоями.

Таблица 1. Физико-химические свойства почв

Горизонт	Глубина отбора, см	рН (водный)	Гумус, %	Фракционный состав гумуса			Гидролитическая кислотность	Сумма поглощенных оснований	Степень насыщенности основаниями	Подвижные формы (оксалатная вытяжка по Тамму, % от абсолютно сухой почвы)		
				%С гуминовых кислот	%С фульвокислот	С гуминовых кислот/С фульвокислот				мг-экв/100 г абс. сухой почвы	%	SiO <sub>2</sub>
Почвы лугов. Разрез Кр 3-05												
II [Ad1]	18–23	5.87	1.47	0.12	0.28	0.43	5.1	1.25	19.7	1.08	0.5	0.28
II C	28–37	5.82	1.16	–	–	–	2.52	0.5	16.6	2.05	0.4	0.26
III [A]	37–46	5.48	3.52	0.37	0.66	0.56	5.39	0.5	8.5	0.14	1.2	1.5
IV [AB]	60–65	5.46	2.45	–	–	–	6.9	0.69	9.1	0.13	1.2	3.35
IV D <sub>1</sub>	65–69	5.39	4.26	0.16	1.06	0.15	6.57	0.5	7.1	1.29	1.04	3.03
III D <sub>1</sub>	51–55	5.53	1.53	–	–	–	3.54	0.13	3.5	1.23	0.92	2.54
V B <sub>оxp</sub>	73–81	5.89	3.93	0.1	1.3	0.08	5.47	0.75	12.1	0.17	1.52	4.04
V D	97–104	5.61	1.06	–	–	–	2.1	0.19	8.3	1.68	0.6	1.97
V D	118–124	5.73	3.75	–	–	–	3.7	1.25	25.3	1.29	1	4.17
Почвы стлаников. Разрез Кр 4-05												
II [Ad1]	20–27	5.35	1.59	0.12	0.38	0.32	7.15	0.75	9.5	0.4	0.44	0.26
II C1	32–47	5.58	1.43	0.13	0.33	0.39	4.42	0.38	7.9	0.1	0.4	0.28
III [Aп]	50–57	4.94	17.8	1.15	6.5	0.18	42	2	4.5	0.66	1.04	1.54
III D1	67–73	5.24	3.67	0.23	1.27	0.18	9.26	0.5	5.1	0.34	0.92	1.65
IV [AB <sub>оxp</sub> ]	77–87	5.01	16.5	1.03	5.79	0.18	29	1.5	4.9	0.14	1.04	1.48
IV [D]	87–120	5.31	13.2	0.81	4.59	0.18	18	0.5	2.7	0.11	1.32	3.83

Примечание. “–” – не определяли.

Наиболее мощным среди них является горизонт III [A], отражающий длительный период относительного “покоя” (~2300 лет) между двумя крупными периодами активизации деятельности вулкана [2].

Содержание гумуса в погребенных гумусовых горизонтах колеблется от 16 до 17% в почвах стлаников и от 3 до 4% в почвах лугов (табл. 1). Живые корни в них редки. Очевидно, питательные элементы из этих образований мало доступны для растительности, и плодородие их нужно признать скорее потенциальным, чем актуальным.

Расположенный на юго-восточном побережье оз. Карымское вновь образованный вулканогенный элемент рельефа (п-ов Новогодний), сформирован пирокластическим материалом современных извержений в озере. Поверхность его сложена рыхлым андезитовым пеплом современных извержений вулкана Карымский, с глубины 10–12 см залегает уплотненный базальтовый пепел (вплоть до псаммитовой размерности) извержения в Карымском озере. Вулканические пеплы

полуострова имеют слабокислую реакцию среды, содержание гумуса, привнесенного поверхностными водами с прилегающей террасы, составляет в них доли процента (табл. 2). Состав гумуса фульватный, со значительным преобладанием подвижных фульвокислот. Содержание полуторных окислов, свидетельствующих о наличии или отсутствии в веществе подвижных продуктов почвообразования, очень низкое.

Спустя 9 лет после извержения в озере, на территории полуострова отмечается слабое заселение пионерной растительностью. Максимальное проективное покрытие наблюдается на участках с близким залеганием грунтовых вод: холодных, слабо минерализованных на конусе выноса руч. Безымянный в западной части полуострова и минеральных термальных – в районе руч. Горячий на северной окраине полуострова.

К зонам первоочередного заселения относятся также пролювиальные конусы выноса временных водотоков, размывающих склон прилегаю-

**Таблица 2.** Физико-химические свойства свежесвыпавших пирокластических субстратов

Индекс пробы	pH (водный)	Гумус, %	Фракционный состав гумуса			Подвижные формы		
			% С гуминовых кислот	С фульвокислот	С гуминовых кислот/С фульвокислот	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Кр1-05-1сл	5.43	0.26	0.001	0.015	0.07	0.16	0.32	0.15
Кр1-05-2сл	6.79	0.28	–	–	–	0.16	0.17	0.08
Кр1-05-4сл	6.78	0.31	–	–	–	0.12	0.19	0.08
Кр2-05-1сл	5.76	0.61	0.015	0.185	0.08	0.43	0.38	0.79
ПР1-2-1сл	6.02	0.28	0.005	0.039	0.13	0.22	0.35	0.21
ПР1-3-1сл	6.14	0.28	–	–	–	0.13	0.41	0.09
ПР1-4-1сл	6.04	0.26	–	–	–	0.16	0.41	0.08
ПР1-4-2сл	6.36	0.25	–	–	–	0.1	0.11	0.04
ПР2-4-1сл	5.52	1.26	–	–	–	0.22	0.54	0.47
ПР2-5-2сл	6.27	0.28	–	–	–	0.11	0.2	0.08
ПР3-2-1сл	5.78	0.28	–	–	–	0.18	0.59	0.24
ПР3-3-1сл	5.73	0.22	–	–	–	0.18	0.57	0.1

щей к полуострову возвышенности. Большая часть вновь образованного элемента рельефа представляет собой вулканогенную пустыню, где редко отмечаются единичные экземпляры пионерных растений.

Что же является источником питания в столь, казалось бы, мало пригодной для жизни обстановке, при почти полном отсутствии в почве тонкодисперсного органического вещества, основного поставщика биофильных макроэлементов для растений?

Безусловно, некоторый вклад в биологическую продуктивность вулканических ландшафтов вносят элементы биофилы, поступающие со свежим растительным опадом, возможно, определенную роль играют компоненты, поставляемые грунтовыми, поверхностными водами и атмосферными осадками. Однако очевидно, что свежие пеплы, регулярно поступающие на поверхность в результате вулканических извержений, являются здесь преобладающим фактором, влияющим на формирование всех компонентов природной среды, в том числе и на вышеперечисленные возможные поставщики элементов.

Слабовыветривающиеся вулканические пеплы являются достаточно инертной почвообразующей породой. Известно, что в момент извержения они обладают высокой сорбционной способностью и на поверхности пепловых частиц из газовой фазы сорбируется большое количество микроэлементов [3, 4, 6, 9].

С целью определения роли пеплов в питании растений в зоне современного эксплозивного вулканизма выполнены расчеты геохимических пока-

зателей и параметров для почвенных и пирокластических образований по валовым концентрациям микроэлементов и их подвижным формам. Биогеохимические расчеты проведены по зольному составу представителей семейства злаковых, преимущественно вейнику Лангсдорфа.

При изучении рыхлого чехла территории выделены наиболее характерные почвенные и пепловые горизонты. Для п-ова Новогодний, сложного продуктами современных извержений, расчеты проведены по двум генетически различным образованиям:

- поверхностный андезитовый пепел современных извержений вулкана Карымский;
- уплотненный базальтовый пепел извержения в оз. Карымское.

Выполнены также расчеты для современных свежесвыпавших (не промытых атмосферными осадками) пеплов извержений вулкана Карымский.

В полноразвитых почвах окрестностей оз. Карымское, формировавшихся в течение всего голоцена, выделены следующие горизонты:

- дерновые, в которых преимущественно распространены живые корни растений;
- погребенные гумусовые;
- погребенные пепловые.

В районе вновь образованного полуострова Новогодний выделены следующие элементарные ландшафты:

- склон возвышенности, прилегающей на северо-западе к полуострову (трансэлювиальный ландшафт);

– тыльная часть полуострова у подножья склона (элювиально-аккумулятивный ландшафт);

– средняя часть полуострова (элювиальный ландшафт);

– гидроморфные местообитания, переувлажненный конус выноса руч. Безымянный, на западе полуострова (супераквальный ландшафт);

– термальные местообитания, район термального руч. Горячий, на северной окраине полуострова (супераквальный ландшафт).

В пределах выделенных элементарных ландшафтов на склоне возвышенности расчет проводился по дерновым горизонтам почв, в районе полуострова – по поверхностным грунтам.

Биогеохимические расчеты для растительности проведены по тем же элементарным ландшафтам.

Учитывая единый ювенильный источник химических элементов в современных вулканических пеплах Карымского вулкана, можно предположить, что на момент их отложения на земную поверхность содержания микроэлементов в образующемся покрове не обнаруживали значительных колебаний ни по латерали, ни на глубину.

Впоследствии, под влиянием гипергенных процессов выпавшие вулканические пеплы подвергаются размыву, переотложению и выветриванию. Продукты разрушения сносятся поверхностными водами в пониженные формы рельефа, где накапливаются в виде донных отложений постоянных и временных водотоков и водоемов. При контакте пеплов с кислыми атмосферными осадками, поверхностными и грунтовыми водами часть микроэлементов, преимущественно их подвижные формы, переходят в водные растворы и мигрируют в пониженные формы рельефа, по пути выпадая на геохимических барьерах различного генезиса. Растворенные микрокомпоненты поглощаются из природных вод растительностью, что приводит к их биогенному накоплению.

Фоновый микроэлементный состав современных пеплов в наибольшей степени отражают среднегеометрические значения концентраций элементов (табл. 3).

Отмеченные выше гипергенные процессы способствуют вторичному перераспределению

микроэлементов в пеплах, приводящему к росту отношения максимальных концентраций к минимальным у отдельных элементов (табл. 3).

В целом для всех исследованных образований рыхлого чехла, с учетом возможного вклада в рассматриваемый геохимический показатель ошибки анализа, отмечаются сравнительно невысокие значения этих отношений для большинства микроэлементов, что может свидетельствовать об ограниченном влиянии гипергенных процессов на состав и структуру геохимического поля в зоне современного пеплопада.

Для оценки геохимической специализации генетических горизонтов почв, покровов современных пеплов и растительности, развитых на исследуемой территории, рассчитаны кларки концентрации (Кк), как отношения среднегеометрических содержаний микроэлементов в исследуемых объектах к кларкам элементов в соответствующих средах. Для современных и погребенных пеплов вулкана Карымский приняты кларки средних пород, для пеплов подводного извержения в оз. Карымское – кларки континентальных базальтов, для растений – кларки живого вещества (растительности суши) [11], для погребенного гумусового горизонта – кларки почв [12].

Результаты расчетов показали, что все выделенные образования почвенно-пирокластического покрова территории характеризуются пониженными концентрациями большинства рассматриваемых микроэлементов относительно их кларков в соответствующих средах литосферы (табл. 3). Незначительные превышения над кларком отмечается в свежес выпавших пеплах андезитового состава вулкана Карымский для Zn, в андезитовых пеплах п-ова Новогодний для Cu и Zn, в погребенных пепловых горизонтах для Cu. Для погребенных гумусовых горизонтов относительно средних содержаний в почвах литосферы характерно накопление Cu (Кк = 3.69) и слабое превышение над кларком содержаний Co, Zn и Sc.

Ряды элементов, ранжированных по убыванию величины Кк в образованиях почвенно-пирокластического покрова территории, имеют следующий вид:

свежес выпавшие пеплы вулкана Карымский – Zn–Mo–Pb–Ag–Cu–V–Mn–Co–Sr–Ni–Sc–Cr;

андезитовый пепел п-ова Новогодний – Cu–Zn–Mo–Pb–V–Ni–Mn–Co–Cr–Ag–Sr–Sc;

базальтовый пепел п-ова Новогодний – Cu–Zn–Sr–Mn–Mo,Co–Pb–V,Ni–Cr–Ag,Sc;

поверхностные дерновые горизонты – Mo–Cu,Zn,Pb–V,Mn–Ag–Sr–Co–Ni–Sc–Cr;

погребенные гумусовые горизонты – Cu–Co–Sc–Zn–V–Mn–Pb–Mo–Sr–Ag–Ni–Cr;

погребенные пепловые горизонты – Cu–Zn–Mo–Pb–Mn–V–Ag–Co–Ni–Sc–Sr–Cr.

**Таблица 3.** Содержание элементов-примесей и их кларки концентраций в пепловых и почвенных образованиях в окрестностях оз. Карымское

Пепел, почвенный горизонт	Sr			Mn			Cr		
	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$
Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский, $n = 6$	140.20	1.50	0.35	610.63	1.60	0.53	5.12	3.33	0.09
Андезитовый пепел п-ова Новогодний, $n = 22$	139.33	10.00	0.35	686.36	5.00	0.59	24.63	20.00	0.41
Базальтовый пепел п-ова Новогодний, $n = 12$	225.72	2.00	0.75	928.32	1.25	0.64	104.66	1.88	0.42
Поверхностные дерновые горизонты, $n = 7$	145.04	1.33	0.36	661.28	1.60	0.57	7.51	6.67	0.13
Погребенные гумусовые горизонты, $n = 8$	134.64	2.50	0.45	690.77	2.00	0.81	24.14	2.00	0.12
Погребенные пепловые горизонты, $n = 10$	90.99	10.00	0.23	715.96	2.00	0.62	9.58	26.67	0.16
Пепел, почвенный горизонт	V			Ni			Co		
	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$
Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский, $n = 6$	92.83	1.25	0.62	6.29	1.33	0.25	8.94	1.25	0.37
Андезитовый пепел п-ова Новогодний, $n = 22$	94.43	2.50	0.63	15.16	16.00	0.61	11.84	8.33	0.49
Базальтовый пепел п-ова Новогодний, $n = 12$	119.04	2.50	0.43	61.93	2.00	0.43	28.69	2.50	0.60
Поверхностные дерновые горизонты, $n = 7$	85.27	1.25	0.57	7.30	1.67	0.29	7.97	2.00	0.33
Погребенные гумусовые горизонты, $n = 8$	99.49	1.88	0.99	9.95	1.88	0.25	10.00	1.00	1.25
Погребенные пепловые горизонты, $n = 10$	86.00	6.67	0.57	8.39	8.00	0.34	8.96	10.00	0.37
Пепел, почвенный горизонт	Cu			Ag			Zn		
	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$
Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский, $n = 6$	36.34	1.33	0.66	0.07	120.00	0.67	72.68	1.33	1.01
Андезитовый пепел п-ова Новогодний, $n = 22$	66.07	1.60	1.20	0.04	2.40	0.39	80.02	2.00	1.11
Базальтовый пепел п-ова Новогодний, $n = 12$	89.44	1.25	0.89	0.03	2.00	0.28	89.44	1.25	0.81
Поверхностные дерновые горизонты, $n = 7$	51.59	2.00	0.94	0.04	3.20	0.40	67.87	1.33	0.94
Погребенные гумусовые горизонты, $n = 8$	73.85	1.67	3.69	0.04	2.40	0.36	59.91	3.33	1.20
Погребенные пепловые горизонты, $n = 10$	65.17	3.33	1.18	0.05	4.00	0.46	63.81	2.00	0.89
Пепел, почвенный горизонт	Pb			Mo			Sc		
	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$	$C_{cp}$	$C_{max}/C_{min}$	$K_k$
Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский, $n = 6$	8.30	1.25	0.83	1.07	1.50	0.97	6.60	1.33	0.22
Андезитовый пепел п-ова Новогодний, $n = 22$	7.20	2.00	0.72	0.97	3.00	0.88	7.25	3.00	0.24
Базальтовый пепел п-ова Новогодний, $n = 12$	4.47	2.00	0.56	0.60	2.00	0.60	9.63	1.25	0.28
Поверхностные дерновые горизонты, $n = 7$	9.38	1.25	0.94	1.09	1.88	0.99	6.09	1.33	0.20
Погребенные гумусовые горизонты, $n = 8$	6.77	1.60	0.68	0.94	1.88	0.47	8.71	2.50	1.24
Погребенные пепловые горизонты, $n = 10$	8.08	1.67	0.81	0.95	2.00	0.86	7.75	3.00	0.26

Примечание:  $C_{cp}$  – среднегеометрическое содержание микроэлементов в мг/кг,  $C_{max}/C_{min}$  – отношение максимальных концентраций к минимальным,  $K_k$  – кларки концентраций элементов;  $n$  – количество анализов, использованных при расчетах.



Порядок элементов в приведенных рядах указывает на наличие общих геохимических закономерностей для исследуемых образований. Для всех минеральных и преимущественно минеральных образований (дерновые горизонты) можно отметить:

- устойчивое тяготение к началу приоритетных рядов Cu, Zn, Mo и Pb;
- расположение в средней части рядов V, Ni, Mn и Co;
- расположение в конце рядов Sc и Cr;
- неустойчивое поведение в рядах Ag и Sr.

Для органогенных образований (погребенные гумусовые горизонты) отмеченные выше закономерности нарушаются и проявляются только в главенствующем положении Cu и завершении ряда Sr. Это может найти объяснение в более слож-

ном генезисе погребенных гумусовых горизонтов в сравнении с типичными почвами литосферы, кларки которых использованы в расчетах Кк для органогенных образований.

Иная картина наблюдается при анализе данных по Кк для растительности, произрастающей на исследуемой территории в различных ландшафтных условиях (табл. 4). Для большинства микроэлементов, входящих в состав растений, вне зависимости от условий их произрастания, установлено превышение над кларком живого вещества. По величине Кк в растительности все элементы разбиты на три группы:  $K_k > 10$ ;  $10 > K_k > 1$  и  $K_k < 1$ . Внутри групп элементы расположены в порядке убывания величины Кк. Выделенные группы элементов имеют вид:

$$\begin{aligned} \text{средняя часть п-ова Новогодний} - \frac{-}{K_k > 10} > \frac{V, Ag, Mn, Cu, Sc, Cr, Ni, Pb, Mo, Co, Sr}{K_k 1 - 10} > \frac{Zn}{K_k < 1}; \\ \text{тыльная часть п-ова Новогодний} - \frac{Ag}{K_k > 10} > \frac{Cu, V, Mn, Ni, Sc, Cr, Sr}{K_k 1 - 10} > \frac{Pb, Mo, Co, Zn}{K_k < 1}; \\ \text{гидроморфные местообитания} - \frac{Ag}{K_k > 10} > \frac{Mn, V, Cu, Cr, Ni, Cs, Mo}{K_k 1 - 10} > \frac{Pb, Zn, Co, Sr}{K_k < 1}; \\ \text{термальные местообитания} - \frac{Ag, Mn}{K_k > 10} > \frac{Mo, V, Cu, Ni, Cr, Sc, Co, Zn, Pb}{K_k 1 - 10} > \frac{Sr}{K_k < 1}; \\ \text{склон возвышенности} - \frac{Mn, Ag}{K_k > 10} > \frac{Cu, V, Ni, Cr, Zn, Pb, Sc}{K_k 1 - 10} > \frac{Mo, Sr, Co}{K_k < 1}. \end{aligned}$$

Возможно, повышенное содержание микроэлементов в растительном покрове при их общем дефиците в подстилающих грунтах связано с активизацией биологического поглощения элементов в стрессовых условиях произрастания растений в зоне современного вулканизма.

Главенствующая роль в приведенных выше геохимических формулах растительности Ag, Mn и отчасти Cu может быть объяснена высокими значениями их средних коэффициентов биологического поглощения ( $A_{X1}$ ) в целом для растений суши [13]. Причину дефицита в вейнике Лангсдорфа исследуемой территории таких элементов, как Sr, Zn и отчасти Mo, характеризующихся также высокими значениями коэффициента  $A_{X1}$ , необходимо искать, по-видимому, в физиологических особенностях указанного вида растительности. Для Sr причина может заключаться также в общем низком содержании его в подстилающих грунтах.

При рассмотрении вопросов, связанных с биологическим поглощением микроэлементов растениями, большее значение, нежели валовой геохимический состав подстилающих грунтов, име-

ют данные о процентном содержании в них подвижных форм элементов.

Результаты исследований выделенных горизонтов почвенно-пирокластического чехла, приведенные в табл. 5 (данных о содержании растворенных форм Ag нет), показывают, что максимальные значения средних процентных содержаний подвижных форм от их валового состава наблюдаются:

- для Cu (24.19%), Ni (16.62%), Co (14.45%), Sr (7.31%), Pb (7.03%) и Zn (2.72%) в свежесвыпавших пеплах вулкана Карымский;
- для Sc (12.29%) и Mo (4.77%) в базальтовом пепле п-ова Новогодний;
- для Cr (7.40%) и V (4.92%) в погребенных пепловых горизонтах;
- для Mn (4.02%) в андезитовом пепле п-ова Новогодний.

Таким образом, свежесвыпавшие пеплы андезитового состава вулкана Карымский значительно обогащены подвижными формами большинства микроэлементов относительно всех исследо-

**Таблица 4.** Среднегеометрические содержания микроэлементов в золе растений ( $C_3$ ), в их живой массе ( $C_M$ ) и кларки концентраций элементов ( $K_K$ )

Ландшафт	% зольности	Sr			Mn			Cr		
		$C_3$	$C_M$	$K_K$	$C_3$	$C_M$	$K_K$	$C_3$	$C_M$	$K_K$
Тыльная часть полуострова, $n = 5$	13.54	165.10	22.3	1.51	377.98	51.2	0.33	1.50	0.2	0.91
Средняя часть полуострова, $n = 6$	12.16	246.62	30	2.26	391.49	47.6	0.35	1.50	0.18	0.91
Гидроморфные местообитания, $n = 6$	11.05	70.71	7.82	0.65	422.95	46.7	0.37	1.78	0.2	1.08
Термальные местообитания, $n = 6$	13.53	102.99	13.9	0.94	2249.37	304	1.98	2.03	0.27	1.23
Склон возвышенности, $n = 5$	7.41	122.47	9.07	1.12	4161.79	308	3.67	2.12	0.16	1.29
Ландшафт	% зольности	V			Ni			Co		
		$C_3$	$C_M$	$K_K$	$C_3$	$C_M$	$K_K$	$C_3$	$C_M$	$K_K$
Тыльная часть полуострова, $n = 5$	13.54	72.68	9.84	38.66	7.37	1	4.12	1.82	0.25	5.51
Средняя часть полуострова, $n = 6$	12.16	52.41	6.37	27.88	8.14	0.99	4.55	1.44	0.18	4.37
Гидроморфные местообитания, $n = 6$	11.05	32.24	3.56	17.15	8.32	0.92	4.65	0.93	0.1	2.82
Термальные местообитания, $n = 6$	13.53	54.22	7.33	28.84	11.25	1.52	6.28	1.86	0.25	5.64
Склон возвышенности, $n = 5$	7.41	50.45	3.74	26.84	18.61	1.38	10.40	1.16	0.09	3.51
Ландшафт	% зольности	Cu			Ag			Zn		
		$C_3$	$C_M$	$K_K$	$C_3$	$C_M$	$K_K$	$C_3$	$C_M$	$K_K$
Тыльная часть полуострова, $n = 5$	13.54	62.14	8.41	0.74	0.46	0.06	0.26	92.83	12.6	0.36
Средняя часть полуострова, $n = 6$	12.16	106.27	12.9	1.27	2.47	0.3	1.39	125.99	15.3	0.48
Гидроморфные местообитания, $n = 6$	11.05	57.33	6.34	0.69	2.00	0.22	1.12	104.66	11.6	0.40
Термальные местообитания, $n = 6$	13.53	97.40	13.2	1.16	2.32	0.31	1.30	173.21	23.4	0.66
Склон возвышенности, $n = 5$	7.41	156.51	11.6	1.87	3.94	0.29	2.21	387.30	28.7	1.48
Ландшафт	% зольности	Pb			Mo			Sc		
		$C_3$	$C_M$	$K_K$	$C_3$	$C_M$	$K_K$	$C_3$	$C_M$	$K_K$
Тыльная часть полуострова, $n = 5$	13.54	10.86	1.47	1.17	0.93	0.13	0.52	1.89	0.26	2.56
Средняя часть полуострова, $n = 6$	12.16	7.94	0.97	0.86	0.78	0.1	0.44	1.50	0.18	1.82
Гидроморфные местообитания, $n = 6$	11.05	8.32	0.92	0.90	0.92	0.1	0.51	1.50	0.17	1.66
Термальные местообитания, $n = 6$	13.53	8.57	1.16	0.93	7.00	0.95	3.91	1.50	0.20	2.03
Склон возвышенности, $n = 5$	7.41	17.60	1.3	1.90	1.24	0.09	0.70	1.50	0.11	1.11

ванных горизонтов почвенно-пирокластического чехла (рис. 2).

Именно из этих пеплов, преобразованных процессами гипергенеза, сформированы поверхностные горизонты рыхлого чехла территории, в которых преимущественно развита корневая система растений – грунты элементарных ландшафтов п-ова Новогодний и дерновые горизонты почв на склоне прилегающей возвышенности. Сопоставление относительного количества подвижных форм микроэлементов в андезитовых пеплах (табл. 6), входящих в состав отмеченных выше поверхностных горизонтов, с аналогичным показателем для свежевыпавших разностей пеплов вулкана Карымский позволяет оценить направление и интенсивность геохимических преобразований последних в почвенно-пирокластическом чехле под действием гипергенных процессов, связанных с потерей ими подвижных форм микроэлементов, переходящих в растворенном виде в сопредельные среды, в том числе в живую массу растений.

На основе данного сопоставления составлены приведенные ниже геохимические формулы для преобразованных в рыхлом чехле андезитовых пеплов, развитых в различных ландшафтных условиях. В числителе геохимических формул помещены ряды микроэлементов, доли подвижных форм которых в преобразованных пеплах ниже, чем в их свежевыпавших аналогах (величина отношения приведена в скобках после индекса элемента), что свидетельствует об их рассеянии в зоне гипергенеза путем перехода в растворы.

В рядах элементы ранжированы по возрастанию значений указанного отношения, величина которого обратно пропорциональна интенсивности процесса рассеяния. Набор микроэлементов, испытывающих максимальный вынос при гипергенных процессах, в различных ландшафтных условиях территории довольно постоянен и включает Cr, Cu, Ni и Co.

Геохимические формулы для преобразованных андезитовых пеплов:

$$\text{средняя часть п-ова Новогодний} - \frac{\text{Cr}(0.13) - \text{Cu}(0.29) - \text{Ni}(0.44) - \text{Co}(0.70) - \text{Pb}(0.72) - \text{Zn}(0.98)}{\text{V}(1.08) - \text{Mo}(1.23) - \text{Sr}(1.34) - \text{Mn}(2.44) - \text{Sc}(2.76)},$$

тыльная часть п-ова Новогодний –

$$\frac{\text{Cu}(0.24) - \text{Ni}(0.28) - \text{Cr}(0.31) - \text{Co}(0.57) - \text{Pb}(0.62) - \text{Mo}(0.75) - \text{Sr}(0.77) - \text{Zn}(0.83)}{\text{V}(1.39) - \text{Sc}(1.84) - \text{Mn}(2.58)},$$

гидроморфные местообитания –

$$\frac{\text{Cr}(0.11) - \text{Cu}(0.21) - \text{Ni}(0.42) - \text{Co}(0.43) - \text{Pb}(0.65) - \text{Zn}(0.68) - \text{Sr}(0.70) - \text{Mo}(0.87)}{\text{Mn}(1.16) - \text{V}(1.19) - \text{Sc}(1.98)},$$

термальные местообитания –

$$\frac{\text{Cu}(0.23) - \text{Ni}(0.27) - \text{Co}(0.30) - \text{Cr}(0.32) - \text{Zn}(0.34) - \text{Pb}(0.37) - \text{V}(0.50) - \text{Sr}(0.57)}{\text{Mn}(1.06) - \text{Mo}(1.15) - \text{Sc}(1.55)},$$

склон возвышенности –

$$\frac{\text{Co}(0.29) - \text{Ni}(0.34) - \text{Cu}(0.41) - \text{Zn}(0.43) - \text{Sr}(0.46) - \text{Mn}(0.50) - \text{Sc}(0.70) - \text{Pb}(0.72) - \text{Cr}(0.76) - \text{Mo}(0.96)}{\text{V}(1.01)}$$

В знаменателе приведены ряды элементов, отношения процентных содержаний подвижных форм которых в преобразованных пеплах к их содержаниям в свежевыпавших аналогах более единицы, что, по сути, является признаком вторичного накопления элемента. Это превышение над единицей для большинства выделенных микроэлементов незначительно и в большей степени может отражать их инертность в гипергенных процессах. Максимальные значения рассматриваемого показателя характерны для Mn (2.58) и Sc (2.76) в преобразованных пеплах, развитых в пониженных формах рельефа, по-видимому, в ре-

зультате слабого накопления за счет их сноса со склона прилегающей возвышенности. В целом необходимо отметить большое сходство приведенных выше геохимических формул для преобразованных андезитовых пеплов в различных ландшафтных условиях п-ова Новогодний и, при наличии общих закономерностей, более существенное их отличие от геохимической формулы для склона прилегающей возвышенности. Это свидетельствует о существовании некоторых различий в направлении гипергенных геохимических процессов в условиях п-ова Новогодний и на прилегающих к нему территориях.

**Таблица 5.** Процентное содержание подвижных форм микроэлементов относительно их валовых концентраций в почвах и пеплах окрестностей оз. Карымское

Пепел, почвенный горизонт	Sr	Mn	Cr	V	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Mo	Sc
Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский, $n = 6$	7.31	2.51	5.40	1.70	16.62	14.45	24.19	2.72	7.03	3.93	5.03
Андезитовый пепел п-ова Новогодний, $n = 22$	5.88	4.02	1.01	1.60	5.77	6.78	5.77	1.76	3.98	3.94	10.07
Базальтовый пепел п-ова Новогодний, $n = 12$	5.64	2.77	0.33	0.71	3.46	4.63	3.08	1.70	3.06	4.77	12.29
Поверхностные дерновые горизонты, $n = 7$	3.25	1.55	5.29	2.49	6.34	4.02	9.15	1.55	5.23	4.12	4.85
Погребенные гумусовые горизонты, $n = 8$	3.45	1.31	1.45	0.91	3.69	2.34	4.89	1.70	4.80	2.66	2.64
Погребенные пепловые горизонты, $n = 10$	5.28	2.11	7.40	4.92	7.52	5.24	9.03	2.16	6.54	3.65	6.58

С целью выявления миграционных связей между почвами, грунтами и растениями построены геохимические ряды элементов, ранжированные по убыванию средних процентных содержаний подвижных микроэлементов относительно их валовых концентраций для почв и грунтов.

Для растений при построении рядов принято отношение средних содержаний зольных элементов к фоновым содержаниям этих элементов в золе растений, развитых в схожих климатических и геоморфологических условиях Камчатки, вне зоны активных пеплопадов. Использованы данные, полученные на юге полуострова в районе верховой р. Карымчина. Растения развиты здесь на зрелых почвах, не перекрывавшихся вулканически-

ми пеплами примерно с 606 г. н. э. (извержение вулкана Опала) [14].

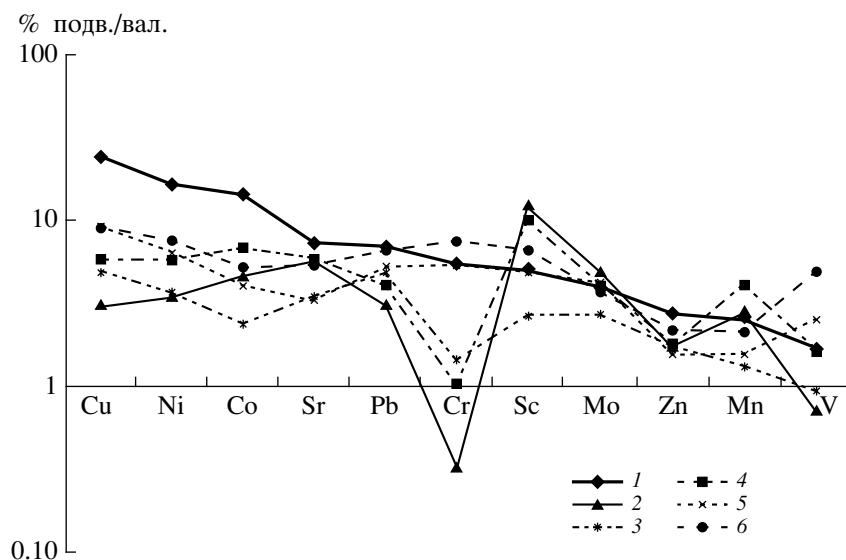
Геохимические ряды элементов, построенные по названным безразмерным показателям, имеют следующий вид:

тыльная часть полуострова – Sc-Co-Mn-Cu-Sr-Ni-Pb-Mo-Zn-Cr;

средняя часть полуострова – Sc-Co-Sr-Ni-Cu-Mn-Pb-Mo-Zn-Cr;

гидроморфные местообитания – Sc-Ni-Co-Sr-Cu-Pb-Mo-Mn-Zn-Cr;

термальные местообитания – Sc-Cu-Mo-Ni-Co-Sr-Mn-Pb-Cr-Zn;



**Рис. 2.** Процентное содержание подвижных форм микроэлементов относительно их валовых концентраций в почвах, а также в свежих и трансформированных вулканических пеплах: 1 – свежевыпавшие пеплы влк. Карымский; 2 – базальтовый пепел п-ова Новогодний; 3 – погребенные гумусовые горизонты; 4 – андезитовый пепел п-ова Новогодний; 5 – поверхностные дерновые горизонты; 6 – погребенные пепловые горизонты.

**Таблица 6.** Среднегеометрическое валовое содержание микроэлементов в мг/кг (С ср.) и процентное содержание их подвижных форм относительно валовых концентраций (% подв./вал.) в почвенных и пирокластических поверхностных образованиях в районе п-ова Новогодний

Ландшафт	Sr		Mn		Cr		V		Ni		Co	
	С ср.	% подв./вал.	С ср.	% подв./вал.	С ср.	% подв./вал.	С ср.	% подв./вал.	С ср.	% подв./вал.	С ср.	% подв./вал.
Тыльная часть полуострова, <i>n</i> = 5	122.47	5.64	616.01	6.47	9.21	1.67	84.59	2.36	8.46	4.58	8.80	8.23
Средняя часть полуострова, <i>n</i> = 6	137.47	9.76	640.62	6.12	37.06	0.69	82.14	1.83	24.18	7.27	13.39	10.06
Гидроморфные местообитания, <i>n</i> = 6	165.10	5.10	821.43	2.92	27.20	0.61	96.35	2.03	14.58	6.96	13.08	6.18
Термальные местообитания, <i>n</i> = 6	129.88	4.18	660.39	2.66	28.54	1.75	114.47	0.84	14.58	4.42	11.57	4.41
Склон возвышенности, <i>n</i> = 5	155.18	3.39	649.07	1.25	8.52	4.10	87.47	1.73	7.90	5.70	7.96	4.12

Ландшафт	Cu		Zn		Pb		Mo		Sc	
	С ср.	% подв./вал.	С ср.	% подв./вал.	С ср.	% подв./вал.	С ср.	% подв./вал.	С ср.	% подв./вал.
Тыльная часть полуострова, <i>n</i> = 5	64.47	5.74	80.00	2.26	7.87	4.39	1.00	2.93	6.45	9.24
Средняя часть полуострова, <i>n</i> = 6	64.06	7.01	69.76	2.66	7.24	5.03	0.93	4.82	8.30	13.90
Гидроморфные местообитания, <i>n</i> = 6	72.68	4.98	89.44	1.85	6.65	4.54	0.86	3.42	6.65	9.96
Термальные местообитания, <i>n</i> = 6	62.95	5.51	82.14	0.93	7.29	2.59	1.10	4.52	7.46	7.82
Склон возвышенности, <i>n</i> = 5	48.56	10.03	71.30	1.18	9.15	5.05	1.12	3.77	6.36	3.54

свежевыпавшие пеплы – Cu-Ni-Co-Sr-Pb-Cr-Sc-Mo-Zn-Mn;

дерновые горизонты склона возвышенности – Cu-Ni-Cr-Pb-Sc-Mo-Co-Sr-Mn-Zn;

погребенные гумусовые горизонты – Cu-Pb-Ni-Sr-Mo-Sc-Co-Zn-Cr-Mn;

погребенные пепловые горизонты – Cu-Ni-Cr-Sc-Pb-Sr-Co-Mo-Zn-Mn;

растения средней части полуострова – Co, Ni, Sr, Pb, Cr, Cu, Mo, Zn, Mn, Sc;

растения тыльной части полуострова – Ni-Co-Sr-Cu-Cr-Pb-Zn-Mo-Mn-Sc;

растения переувлажненного конуса выноса – Ni, Co, Cr, Pb, Cu, Sr, Mo, Zn, Mn, Sc;

растения термальных местообитаний – Ni-Co-Mo-Mn-Cr-Cu-Sr-Pb-Zn-Sc;

растения склона возвышенности – Ni-Mn-Co-Pb-Cu-Zn-Cr-Sr-Mo-Sc.

Отмечается сходный порядок элементов в рядах для поверхностных грунтов п-ова Новогодний. Здесь во всех рядах ведущее место занимают Sc, в конце – отмечается устойчивое расположение Mo, Zn и Cr. Для почвенных горизонтов и свежевыпавших вулканических пеплов характерно наличие в начале рядов Cu и Ni, в конце – Mn и Zn. Растения, развитые как на полуострове, так и на прилегающей к нему территории, также отличаются схожестью рядов, в их начале всегда Ni, Co, в конце – Sc.

Для количественной оценки сходства и различия приоритетных рядов микроэлементов для почв, пеплов и растений были рассчитаны ранговые коэффициенты корреляции между ними (табл. 7).

**Таблица 7.** Корреляционные связи между почвенными, пепловыми образованиями и растениями в окрестностях оз. Карымское

Пепел, почвенный горизонт, растения		Коэффициенты корреляции															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Поверхностные грунты в тыльной части п-ова Новогодний	1	1.000															
Поверхностные грунты центральной части п-ова Новогодний	2	0.891	1.000														
Поверхностные грунты гидроморфных местообитаний п-ова Новогодний	3	0.721	0.927	1.000													
Поверхностные грунты термальных местообитания п-ова Новогодний	4	0.624	0.661	0.733	1.000												
Свежевыпавшие пеплы влк. Карымский	5	0.200	0.139	0.552	0.382	1.000											
Поверхностные дерновые горизонты	6	-0.055	0.042	0.273	0.430	0.680	1.000										
Погребенные гумусовые горизонты	7	0.067	0.273	0.491	0.467	0.720	0.612	1.000									
Погребенные пепловые горизонты	8	0.018	0.200	0.394	0.406	0.830	0.927	0.612	1.000								
Растения средняя часть полуострова	9	-0.079	0.200	0.285	-0.030	0.730	0.273	0.370	0.309	1.000							
Растения тыльная часть полуострова	10	-0.067	0.212	0.315	0.115	0.830	0.358	-0.042	0.455	0.927	1.000						
Растения гидроморфных местообитаний	11	-0.024	-0.018	0.139	-0.115	0.730	0.539	0.030	0.503	0.903	0.879	1.000					
Растения термальных местообитаний	12	-0.006	0.018	0.067	0.139	0.297	0.200	-0.042	0.018	0.539	0.570	0.612	1.000				
Растения склона возвышенности	13	0.115	0.030	0.103	-0.236	0.182	0.103	-0.024	0.006	0.442	0.473	0.473	0.564	1.000			

Примечание.  $n = 10$ ,  $r$  5% кр. = 0.600.

Установлена значимая положительная корреляция глубинных почвенных горизонтов между собой и со свежевыпавшими вулканическими пеплами. Это объясняется сходными условиями образования голоценовых почв, формировавшихся здесь преимущественно на пеплах вулкана Карымский. Иллювиальные процессы способствуют накоплению в глубинных горизонтах почв элементов, поступающих на поверхность со свежими пеплами современных извержений этого вулкана.

Не наблюдается положительной корреляционной зависимости между почвами, свежими пеплами и растениями, развитыми на склоне возвышенности, прилегающей к п-ову Новогодний. Корневая система этих растений развита преимущественно в дерновых подповерхностных горизонтах, сформированных в частично преобразо-

ванных пеплах более ранних извержений вулкана Карымский. По-видимому, подвижные элементы вулканогенного генезиса из них уже вынесены. Возможно, ведущую роль в формировании живой массы растений здесь играют сложные органо-минеральные комплексы, усложняющие характер корреляционных связей.

Все растения, развитые на свежих, слабо трансформированных грунтах п-ова Новогодний (кроме термальных местообитаний), обнаруживают положительную корреляцию со свежевыпавшими вулканическими пеплами извержений вулкана Карымский. Для растений термальных местообитаний корреляция со свежими пеплами нарушена за счет дополнительного поступления в них микроэлементов, типоморфных для минерализованных термальных вод.

Сходство приоритетных геохимических рядов для свежевыпавших вулканических пеплов вулкана Карымский и растений, формирующихся на грунтах п-ова Новогодний, может свидетельствовать о том, что основным источником их минерального питания являются подвижные микроэлементы, поступающие со свежими пеплами.

## ВЫВОДЫ

1. Недавнее катастрофическое извержение в озере Карымское и постоянная активная вулканическая деятельность влк. Карымский обусловили формирование в их окрестностях почв, в современных горизонтах которых фактически отсутствует тонкодисперсное органическое вещество, способное поставлять элементы для жизнедеятельности растения. Регулярно поступающий на поверхность пирокластический материал замедляет трансформацию органического вещества. Известно, что в таких условиях для формирования зрелых органических горизонтов необходим период "покоя" не менее 100 лет.

2. Все выделенные образования почвенно-пирокластического покрова территории характеризуются пониженными концентрациями большинства рассматриваемых микроэлементов относительно их кларков в соответствующих средах литосферы. Установленные сравнительно небольшие размахи содержаний микроэлементов могут свидетельствовать об ограниченном влиянии гипергенных процессов на состав и структуру геохимического поля в зоне современного пеплопада.

Для большинства микроэлементов, входящих в состав растений исследуемой территории, вне зависимости от ландшафтных условий их произрастания, установлено превышение над кларком живого вещества. Наиболее сильное биологическое поглощение испытывают Ag, Mn и отчасти Cu.

3. Свежевыпавшая разность пеплов андезитового состава вулкана Карымский, формирующих поверхностные горизонты рыхлого чехла, в которых преимущественно развита корневая система растений, значительно обогащена подвижными формами большинства микроэлементов относительно всех исследованных горизонтов почвенно-пирокластического чехла. В незатронутых гипергенными процессами пеплах отмечаются максимальные значения средних процентных содержаний подвижных форм от их валового состава (Cu (24.19%), Ni (16.62%), Co (14.45%), Sr (7.31%), Pb (7.03%) и Zn (2.72%)).

В результате гипергенных геохимических процессов в почвенно-пирокластическом чехле происходит вынос из свежевыпавших пеплов подвижных форм большинства элементов, переходящих в растворенном виде в сопредельные среды, в том числе в живую массу растений. Наи-

более интенсивное вторичное рассеяние испытывают Cr, Cu, Ni и Co, а такие элементы, как V, Sr, Mn, Sc и отчасти Mo в ландшафтных условиях п-ова Новогодний ведут себя пассивно либо испытывают слабое накопление, по-видимому, за счет сноса с прилегающих склонов.

4. Выявленная положительная корреляция по содержанию микроэлементов в свежих вулканических пеплах вулкана Карымский и растениях, заселяющих п-ов Новогодний, может указывать на то, что основным источником для минерального питания растений в условиях замедленной трансформации органического вещества являются подвижные микроэлементы, поступающие со свежими пеплами.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 05-04-48262 и гранта Президиума РАН № 06-1-П16-063.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 405.
2. *Брайцева О.А., Мелекесцев И.В.* Вулкан Карымский: история формирования, динамика активности и долгосрочный прогноз // Вулканология и сейсмология. 1989. № 2. С. 14–31.
3. *Баширина Л.А.* Исследование газообразных продуктов вулканов Ключевского и Шивелуча // Бюл. вулканол. станции. 1958. № 27. С. 3–8.
4. *Гуценко И.И.* Пеплы Северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. С. 91–102.
5. *Захарихина Л.В.* Почвообразование на кислых и основных разновозрастных вулканических пеплах // Почвоведение. 2006. № 9. С. 1229–1236.
6. *Мархинин Е.К., Токарев П.И., Пугач В.Б., Дубик Ю.М.* Извержение вулкана Безымянного весной 1961 г. // Бюл. вулканол. станции. 1963. № 34. С. 12–36.
7. *Петербургский А.В.* Практикум по агрономической химии. М.: Колос, 1968. 496 с.
8. *Соколов И.А.* Вулканизм и почвообразование. М.: Наука, 1973. 224 с.
9. *Товарова И.И.* О выносе воднорастворимых веществ из пирокластики вулкана Безымянного // Геохимия. 1958. № 7. С. 683–686.
10. *Федотов С.А.* Одновременное извержение двух вулканов Камчатки в январе 1996 г. // Земля и Вселенная. 1996. № 3. С. 60–65.
11. *Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А. и др.* Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 335 с.
12. *Лукашев К.И., Лукашев В.К.* Геохимические поиски элементов в зоне гипергенеза. Минск: Наука и техника, 1967. С. 52–54.
13. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. С. 39–41.
14. *Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. et al.* Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // Quat. Res. 1997. V. 47. P. 125–139.

## **The Role of Volcanic Ash in Generating the Soil-Vegetation Cover in a Zone of Present-day Explosive Volcanism**

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

<sup>1</sup> *Geotechnology Research Center, Far East Division, Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatskii, 683002, Russia*

<sup>2</sup> *EkoGeoLit Ltd., Moscow, 117447, Russia*

Taking an area near the active Karymskii Volcano on eastern coast of Kamchatka as an example, we show that the transformation of organic soil matter is occurring very slowly, when pyroclastic material is regularly supplied to the ground surface. The main source of nutrition for plants under these circumstances consists in mobile trace elements of fresh volcanic ash. We have identified the geochemical specialization of the area, which is characterized by lower concentrations of most trace elements relative to their clarkes for soils and by increased concentrations of trace elements in excess of the clarkes of living matter for plants. Fresh-fallen ash is enriched in mobile forms of trace elements, which pass in dissolved form into adjacent media as a result of hypergene geochemical processes.