

УДК 631.48

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ СОВРЕМЕННОГО ЭКСПЛОЗИВНОГО ВУЛКАНИЗМА

© 2010 г. Ю. С. Литвиненко*, Л. В. Захарихина**

*ООО ЭкоГеоЛит

119330 Москва, ул. Мосфильмовская, 17Б

E-mail: ecogeolit@mail.ru

**Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН

683002 Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, 30, а/я 56

E-mail: zlv63@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.03.2010 г.

Установлена геохимическая специализация почвенно-растительного покрова вблизи действующего вулкана Карымский (восточное побережье Камчатки), характеризующаяся пониженными концентрациями большинства микроэлементов относительно их кларков для почв и грунтов и превышенными содержаниями микроэлементов в растениях относительно их распространенности в живом веществе. Свежевыпавшие пеплы обогащены подвижными формами микроэлементов, которые в результате гипергенных геохимических процессов переходят в растворенном виде в грунтовые и поверхностные воды, обуславливая богатый зольный состав растительности.

Ключевые слова: почвы, растения, активный вулканизм, геохимия.

Влияние вулканизма на формирование почв и растений чаще всего связывают с периодическим выпадением вулканических пеплов, перекрывающих современный почвенно-растительный покров, и с последующим за ним длительным периодом относительного “покоя”. Вместе с тем большой интерес представляют специфические условия почвообразования и формирования растительности вблизи постоянно действующих вулканов.

Цель настоящей работы – установление особенностей формирования почв и растений в условиях современных непрерывных вулканических пеплопадов на примере территории вблизи действующего вулкана Карымский на восточном побережье Камчатки.

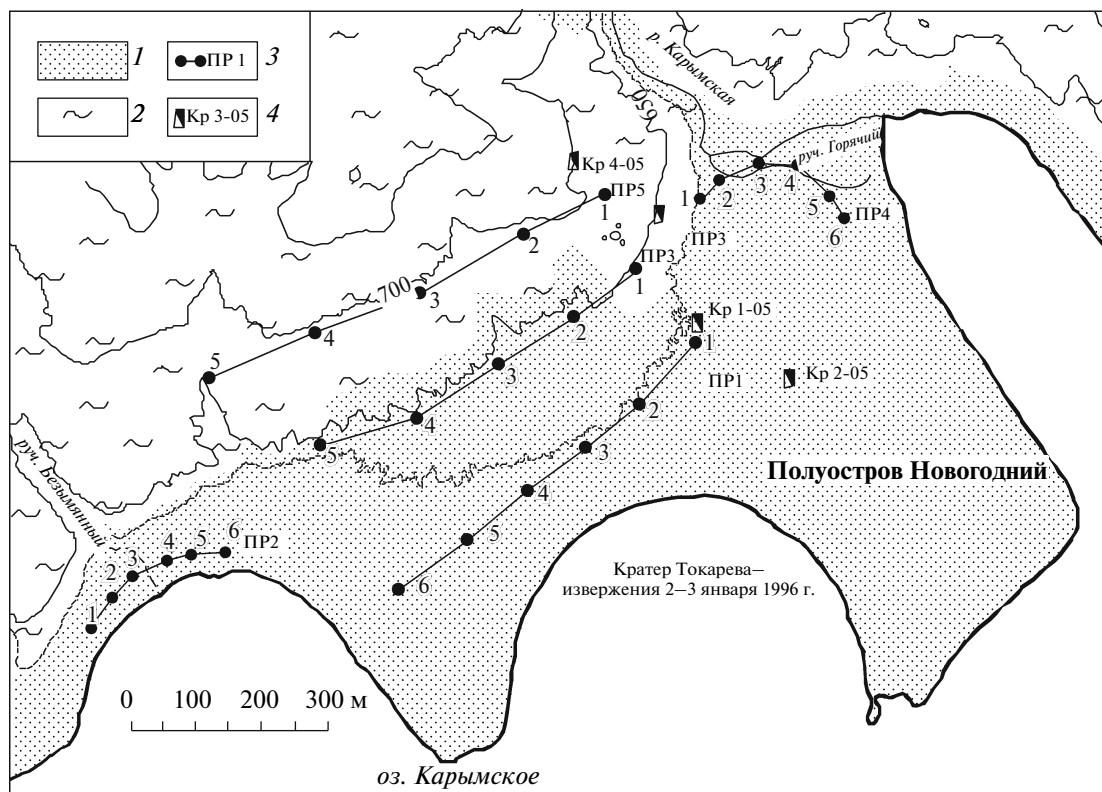
Для достижения этой цели решались следующие задачи: охарактеризовать специфику почв и растений, обусловленную региональной вулканической деятельностью; установить геохимическую специализацию генетических горизонтов почв, вулканических пеплов и растений, развитых на исследуемой территории; выявить возможные корреляционные связи между свежими пеплами, почвами и выросшими на них растениями по содержанию микроэлементов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на востоке Камчатки, в окрестностях оз. Карымское, которое расположено в кальдере вулкана Академии Наук, в 6 км от действующего вулкана Карымский, структурно входящих в Карымский вулканический центр Восточно-Камчатского вулканического пояса.

В начале января 1996 г. здесь произошло одновременное извержение двух вулканов (Федотов, 1996). Первое извержение было приурочено к вершине вулкана Карымский, второе – к северной части Карымского озера в кальдере Академии Наук. Подводное извержение в озере сопровождалось разовым выбросом значительного количества пирокластического материала базальтового состава, в результате которого 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 – полуостров Новогодний, изменивший береговую линию. Пеплы продолжающегося поныне извержения вулкана Карымский образуют присыпку в современные органоминеральные горизонты почв.

Климат территории умеренно континентальный, средняя годовая температура от – 2°C до – 4°C, среднегодовое количество осадков 500–700 мм, годо-



Карта-схема района работ:

1 – преимущественно обнаженные поверхности, частично занятые пионерными растительными группировками; 2 – поверхности, занятые ольхово-сланиковыми и луговыми ассоциациями; 3 – эколого-геохимические профили, их номера и номера пикетов; 4 – опорные почвенные разрезы, их номера.

вой коэффициент увлажнения (по Иванову) – более 1.33.

Определяющими в растительном покрове изученной среднегорной территории являются сообщества ольховых слаников и субальпийских разнотравных вейниковых лугов. Роль почвообразующей породы для всех современных и погребенных органических горизонтов почв выполняют вулканические пеплы извержений вулкана Карымский преимущественно андезитового состава.

Объектами изучения являлись почвы, вулканические пеплы и растения (сквозной вид – вейник Лангсдорфа). В процессе работ заложены и описаны четыре почвенных разреза и пройдено пять почвенно-геохимических профилей (рис. 1). Разрезы Кр1 и Кр2 заложены на п-ове Новогодный для характеристики верхних горизонтов слагающих его вулканических пеплов, почвенные разрезы Кр3 и Кр4 вскрывают весь голоценовый почвенно-пирокластический чехол, свойственный этой территории.

Геохимические профили пройдены в целях изучения характера распределения микроэлементов в почвогрунтах и растениях в различных ландшафтных условиях территории на площади п-ова Новогодный (профили Пр1–Пр4) и на склоне возвышенности, прилегающей к полуострову с северо-запада (Пр5).

Геохимические особенности рыхлого чехла территории изучены на примере наиболее характерных почвенных и пепловых горизонтов. Для полноразвитых почв окрестностей оз. Карымское, формировавшихся в течение всего голоцена, – это дерновый, в котором преимущественно распространены живые корни растений; погребенные гумусовые, погребенные пепловые (андезитового состава). На вновь образованном п-ове Новогодный, сложенном продуктами современных извержений, выделены поверхностный андезитовый пепел современных извержений вулкана Карымский и уплотненный базальтовый пепел извержения в оз. Карымское.

В районе полуострова, согласно номенклатуре А.И. Перельмана (1975), выделены следующие элементарные ландшафты:

– трансэлювиальный геохимически слабоподчиненный (средняя часть полуострова, профиль Пр1);

– трансэлювиальный геохимически подчиненный (склон возвышенности, прилегающей на северо-западе к полуострову, профиль Пр5);

– трансэлювиально-аккумулятивный (тыльная часть полуострова у подножия склона, профиль Пр3);

– трансупераквальный геохимически слабоподчиненный (долина термального руч. Горячий на северной окраине полуострова, профиль Пр4);

– трансупераквальный геохимически подчиненный (переувлажненный конус выноса руч. Безымянный на западе полуострова, профиль Пр2).

Для оценки геохимической специализации генетических горизонтов почв, покровов современных пеплов и растительности, развитых на исследуемой территории, рассчитаны кларки концентрации микроэлементов (Кк) как отношения их среднегеометрических содержаний в исследуемых объектах к кларкам элементов в соответствующих средах. Для свежевывавших, поверхностных и погребенных андезитовых пеплов вулкана Карымский приняты средние содержания микроэлементов в средних породах, для базальтовых пеплов подводного извержения в оз. Карымском – средние содержания микроэлементов в континентальных базальтах, для растений – распространенность химических элементов в живом веществе (Соловов и др., 1990), для погребенного гумусового горизонта – распространенность химических элементов в почвах континентов (Лукашев К., Лукашев В., 1967).

Проведено сопоставление относительного количества подвижных форм микроэлементов в андезитовых пеплах вулкана Карымский, повсеместно входящих в состав поверхностных горизонтов почвогрунтов, и в свежевывавших пеплах (не промытых атмосферными осадками). Это позволило оценить направление и интенсивность геохимических преобразований указанных пеплов в почвенно-пирокластическом чехле под действием гипергенных процессов, связанных с переходом микроэлементов в растворенном виде в сопредельные среды, в том числе в живую массу растений.

В опорных почвенных разрезах определяли следующие показатели: рН водной вытяжки, гидrolитическую кислотность, содержание гумуса (методом И.В. Тюрина), подвижных форм Si, Fe и Al (вытяжка О. Тамма), обменных Ca и Mg (комплексометрическим методом). Химические

свойства почвы определяли методами, предложенными в руководствах А.В. Петербургского (1968) и Е.В. Аринушкиной (1970).

В почвах и пеплах измеряли валовые содержания микроэлементов и их растворимых форм, в растительных образцах установлен зольный микроэлементный состав.

Общие (валовые) концентрации микроэлементов определяли методом полного спектрального анализа на приборе ДФС-458 методом просыпки на трехфазной дуге. Подвижные формы микроэлементов в литохимических пробах извлекали азотной кислотой (1М HNO₃) вытяжкой. Отношение тв. : жидк. = 1 : 10. Содержание элементов в вытяжках устанавливали масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Специфика почв, формирующихся в зоне современных пеплопадов

Почвы, развитые в окрестностях оз. Карымское, отличаются слоистостью и полигенетичностью профиля, состоящего из 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 В_{охр}. Он сформирован среднеголоценовыми пеплами извержений начала первого периода активности вулкана (~6100 л.н.) (Брайцева, Мелекесцев, 1989). Почвы относятся к выделенному И.А. Соколовым (1973) типу вулканических охристых почв.

Верхняя часть профиля почв представлена серией горизонтов: О, А_дО, С, П [А_д1], П [А_д2], П [А_д3], которые сложены пирокластическим материалом недавних извержений вулкана и катастрофического извержения в Карымском озере.

Мезоморфологические и физико-химические свойства верхних горизонтов свидетельствуют о низком содержании в них тонкодисперсного органического вещества (гумуса 1.2–1.5%). Органическая составляющая представлена здесь слабо трансформированными отмершими или живыми корнями трав, которые скрепляют вулканические пеплы в плотную хорошо выраженную дернину. Постоянно поступающий на поверхность пирокластический материал современных извержений вулкана не дает возможности для трансформации органической составляющей. Известно,

Таблица 1. Кларки концентраций элементов (Кк) пепловых, почвенных образований и растений в окрестностях оз. Карымское (валовые содержания)

Элемент	Пепел, почвенный горизонт						Растения				
	Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский, <i>n</i> = 6	Андезитовый пепел п-ова Новогодний, <i>n</i> = 22	Базальтовый пепел п-ова Новогодний, <i>n</i> = 12	Поверхностные дерновые горизонты, <i>n</i> = 7	Погребенные гумусовые горизонты, <i>n</i> = 8	Погребенные пепловые горизонты, <i>n</i> = 10	Профиль ПР5, <i>n</i> = 5	Профиль ПР1, <i>n</i> = 6	Профиль ПР2, <i>n</i> = 6	Профиль ПР4, <i>n</i> = 6	Профиль ПР5, <i>n</i> = 5
Sr	0.35	0.35	0.75	0.36	0.45	0.23	1.51	2.26	0.65	0.94	1.12
Mn	0.53	0.59	0.64	0.57	0.81	0.62	0.33	0.35	0.37	1.98	3.67
Cr	0.09	0.41	0.42	0.13	0.12	0.16	0.91	0.91	1.08	1.23	1.29
V	0.62	0.63	0.43	0.57	0.99	0.57	38.66	27.88	17.15	28.84	26.84
Ni	0.25	0.61	0.43	0.29	0.25	0.34	4.12	4.55	4.65	6.28	10.4
Co	0.37	0.49	0.6	0.33	1.25	0.37	5.51	4.37	2.82	5.64	3.51
Cu	0.66	1.2	0.89	0.94	3.69	1.18	0.74	1.27	0.69	1.16	1.87
Ag	0.67	0.39	0.28	0.4	0.36	0.46	0.26	1.39	1.12	1.3	2.21
Zn	1.01	1.11	0.81	0.94	1.2	0.89	0.36	0.48	0.4	0.66	1.48
Pb	0.83	0.72	0.56	0.94	0.68	0.81	1.17	0.86	0.9	0.93	1.90
Mo	0.97	0.88	0.60	0.99	0.47	0.86	0.52	0.44	0.51	3.91	0.70
Sc	0.22	0.24	0.28	0.2	1.24	0.26	2.56	1.82	1.66	2.03	1.11

что в таких условиях для формирования зрелых органогенных горизонтов необходим период “покоя” не менее 100 лет (Захарихина, 2006).

В целом почвы территории слабо насыщены основаниями, имеют кислую или слабокислую реакцию среды (рН 4.9–5.8), фульватный состав гумуса (с преобладанием подвижных фульвокислот), для них характерно наличие иллювиальных процессов (вынос вновь образованных органо-минеральных соединений вниз по профилю почв с частичным их закреплением в средней и нижней частях).

Хорошо развитые органогенные горизонты со значимыми содержаниями гумусовых соединений развиты в почвах лишь в средней части их профилей, с глубины около 40–50 см. Они рас-

членены голоценовыми пеплами извержений вулкана Карымский, представлены тремя прослоями. Наиболее мощный среди них горизонт III [A] отражает длительный период относительного “покоя” (~2300 лет) между двумя крупными периодами активизации в деятельности вулкана. Содержание гумуса в погребенных гумусовых горизонтах колеблется от 16 до 17% в почвах стлаников и от 3 до 4 % – в почвах лугов. Распространение живых корней в них слабое.

Расположенный на юго-восточном побережье оз. Карымское вновь образованный вулканогенный элемент рельефа (п-ов Новогодний) сложен с поверхности рыхлым андезитовым пеплом вулкана Карымский, с глубины 10–12 см залегает уплотненный базальтовый пепел извержения в

озере. На территории полуострова отмечается слабое заселение пионерной растительностью. Вулканические пеплы имеют слабокислую, близкую к нейтральной реакцию среды (рН 5.4–6.8), содержание гумуса, привнесенного поверхностными водами с прилегающего склона, составляет в них доли процента. Состав гумуса фульватный, содержание полуторных окислов, свидетельствующих о наличии или отсутствии в веществе подвижных продуктов почвообразования, очень низкое.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ ПОЧВ И ПОКРОВОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕПЛОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ПЕПЛОПАДОВ

Установлено, что все вулканические пеплы, входящие в состав почвенно-пирокластического

чехла территории, включая непромытые атмосферными осадками свежевывавшие разности андезитовых пеплов вулкана Карымский, характеризуются пониженными валовыми концентрациями почти всех рассматриваемых микроэлементов относительно их средних содержаний в соответствующих горных породах (табл. 1). Незначительные превышения Кк над единицей (до 1.2) отмечаются для Cu и Zn в андезитовых пеплах п-ова Новогодний и для Cu – в аналогичных пеплах, погребенных в почвенном разрезе на склоне прилегающей возвышенности. 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. Приоритетные ряды элементов, сгруппированных по величине Кк и ранжированных по ее убыванию, для образований почвенно-пирокластического покрова территории имеют следующий вид:

Пеплы, почвенные горизонты

Свежевывавший андезитовый пепел вулкана Карымский	
Полуостров Новогодний, профиль Пр1	Андезитовый пепел Базальтовый пепел
Почвы на склоне возвышенности, профиль ПР5	Поверхностные дерновые горизонты Погребенные гумусовые горизонты Погребенные пепловые горизонты (андезитового состава)

Приоритетные ряды микроэлементов

$\frac{Zn}{Kk > 1} >$	$\frac{Mo, Pb, Ag, Cu, V, Mn, Co, Sr, Ni, Sc, Cr}{Kk 1-0}$
$\frac{Cu, Zn}{Kk > 1} >$	$\frac{Mo, Pb, V, Ni, Mn, Co, Cr, Ag, Sr, Sc}{Kk 1-0}$
$\frac{-}{Kk > 1} >$	$\frac{Cu, Zn, Sr, Mn, Mo, Co, Pb, V, Ni, Cr, Ag, Sc}{Kk 1-0}$
$\frac{Cu, Mn, Zn}{Kk > 1} >$	$\frac{V, Co, Sc, Sr, Mo, Pb, Ag, Ni, Cr}{Kk 1-0}$
$\frac{Cu, Mn, V, Co}{Kk > 1} >$	$\frac{Sc, Zn, Sr, Ni, Mo, Cr, Ag, Pb}{Kk 1-0}$
$\frac{Cu}{Kk > 1} >$	$\frac{Zn, Mo, Pb, Mn, V, Ag, Co, Ni, Sc, Sr, Cr}{Kk 1-0}$

Порядок элементов в приведенных рядах указывает на наличие общих геохимических закономерностей для всех минеральных и преимущественно минеральных образований:

- 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) указанные выше закономерности нарушаются и проявляются только в главенствующем положении Cu и расположении

Cr в конце ряда. Это можно объяснить более сложным генезисом погребенных гумусовых горизонтов, перераспределением микроэлементов в процессе почвообразования, формированием сложных органоминеральных соединений и проявлением вторичного накопления химических элементов в результате иллювиальных процессов и сорбцией органическим веществом из грунтовых вод.

Иная картина наблюдается при анализе данных по Кк для растительности, произрастающей на исследуемой территории в различных ландшафтных условиях (см. табл. 1). Для большинства микроэлементов, входящих в состав растений,

Таблица 2. 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, <i>n</i> = 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, <i>n</i> = 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, <i>n</i> = 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, <i>n</i> = 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, <i>n</i> = 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, <i>n</i> = 10	5.28	2.11	7.40	4.92	7.52	5.24	9.03	2.16	6.54	3.65	6.58

вне зависимости от условий их произрастания, установлено превышение над кларком живого вещества. Приоритетные ряды элементов, сгруппированных по величине Кк и ранжированных по ее

убыванию, для растительного покрова в различных ландшафтных условиях имеют следующий вид (содержания Sc во всех биопробах ниже предела обнаружения):

Ландшафт (№ профиля)

Приоритетные ряды микроэлементов

Трансэлювиальный геохимически слабоподчиненный (Пр1)

$$\frac{V}{K_k > 10} > \frac{Ag, Cu, Pb, Sr, Ni}{K_k 1-10} > \frac{Zn, Co, Mn, Mo, Cr}{K_k < 1}$$

Трансэлювиальный геохимически подчиненный (Пр5)

$$\frac{Ag}{K_k > 10} > \frac{V, Mn, Cu, Ni, Zn, Pb}{K_k 1-10} > \frac{Sr, Mo, Cr, Co}{K_k < 1}$$

Трансэлювиально-аккумулятивный (Пр3)

$$\frac{Ag, V}{K_k > 10} > \frac{Cu, Sr, Ni}{K_k 1-10} > \frac{Pb, Zn, Mn, Co, Mo, Cr}{K_k < 1}$$

Трансупераквальный геохимически слабоподчиненный, термальные источники (Пр4)

$$\frac{Ag, V}{K_k > 10} > \frac{Mo, Cu, Mn, Ni, Zn, Pb}{K_k 1-10} > \frac{Sr, Co, Cr}{K_k < 1}$$

Трансупераквальный геохимически подчиненный (Пр2)

$$\frac{Ag}{K_k > 10} > \frac{V, Cu, Ni}{K_k 1-10} > \frac{Pb, Zn, Sr, Mn, Mo, Cr, Co}{K_k < 1}$$

Ряды обнаруживают сходство в порядке микроэлементов, отражающее геохимическую специализацию растительного покрова в зонах активных современных пеплопадов Камчатки. Общим для них является расположение в начале рядов с устойчивым превышением Кк над 1 таких элементов, как Ag, V, Cu и Ni, и в конце (при

Кк < 1) – Cr, Co и Mo. Из наиболее явных отличий необходимо отметить увеличение числа избыточных микроэлементов для растений, испытывающих воздействие термальных источников на п-ве Новогодний (профиль Пр4), с перемещением на более высокие позиции Mo и Mn. Это позволяет рассматривать термальные воды как

дополнительный, локальный источник поступления химических элементов в растительный покров районов активного вулканизма.

Приоритетное положение в рядах Ag, Cu и в какой-то степени Ni может быть объяснено повышенными значениями средних коэффициентов биологического поглощения (A_x) этих элементов, установленных в целом для растений суши (Перельман, 1975). Однако с позиции общей биофильности не находит объяснения высокое место в рядах V, имеющего значение коэффициента $A_x < 1$. Причину частого дефицита в вейнике Лангсдорфа таких элементов, как Mo, Zn и отчасти Sr, характеризующихся также высокими значениями коэффициента A_x , необходимо искать, по-видимому, в физиологических особенностях указанного вида.

Учитывая, что миграция химических элементов в цепи грунты – почвы – растения происходит в растворенной форме, большой интерес представляют характер распределения и поведения подвижных форм микроэлементов в исследуемых почвах и вулканических пеплах. Известно, что в момент извержения вулканические пеплы обладают высокой сорбционной способностью, на поверхности пепловых частиц из газовой фазы сорбируется большое количество микроэлементов (Башарина, 1958; Гущенко, 1965; Мархинин и др., 1963; Товарова, 1958).

Свежевыпавшие пеплы андезитового состава вулкана Карымский (не промытые атмосферны-

ми осадками) значительно обогащены подвижными формами микроэлементов как в видовом, так и количественном плане относительно всех исследованных горизонтов почвенно-пирокластического чехла территории (табл. 2). Максимальные значения средних содержаний подвижных форм элементов от их валового состава наблюдаются в следующих видах пеплов (данные о содержании растворенных форм Ag отсутствуют):

– в свежевыпавших андезитовых пеплах для Cu (24.19%), Ni (16.62%), Co (14.45%), Sr (7.31%), Pb (7.03%) и Zn (2.72%);

– в андезитовом пепле п-ова Новогодний для Mn (4.02%);

– в базальтовом пепле п-ова Новогодний для Sc (12.29%) и Mo (4.77%);

– в погребенных пепловых горизонтах для Sr (7.40%) и V (4.92%).

Сопоставление относительного количества подвижных форм микроэлементов в андезитовых пеплах, входящих в состав поверхностных горизонтов почвенно-пирокластического чехла территории, с аналогичным показателем для свежевыпавших пеплов вулкана Карымский позволяет оценить направление и интенсивность геохимических преобразований последних под действием гипергенных процессов. На основе данного сопоставления построены приведенные ниже геохимические формулы для различных ландшафтных условий территории:

Ландшафт (№ профиля)	Геохимические формулы выноса и вторичного накопления микроэлементов при гипергенном преобразовании почвообразующих андезитовых пеплов
Трансэлювиальный геохимически слабоподчиненный (Пр1)	$\frac{\text{Cr}(0.13) - \text{Cu}(0.29) - \text{Ni}(0.44) - \text{Co}(0.70) - \text{Pb}(0.72) - \text{Zn}(0.98)}{\text{V}(1.08) - \text{Mo}(1.23) - \text{Sr}(1.34) - \text{Mn}(2.44) - \text{Sc}(2.76)}$
Трансэлювиальный геохимически подчиненный (Пр5)	$\frac{\text{Co}(0.29) - \text{Ni}(0.34) - \text{Cu}(0.41) - \text{Zn}(0.43) - \text{Sr}(0.46) - \text{Mn}(0.50) - \text{Sc}(0.70) - \text{Pb}(0.72) - \text{Cr}(0.76) - \text{Mo}(0.96)}{\text{V}(1.01)}$
Трансэлювиально-аккумулятивный (Пр3)	$\frac{\text{Cu}(0.24) - \text{Ni}(0.28) - \text{Cr}(0.31) - \text{Co}(0.57) - \text{Pb}(0.62) - \text{Mo}(0.75) - \text{Sr}(0.77) - \text{Zn}(0.83)}{\text{V}(1.39) - \text{Sc}(1.84) - \text{Mn}(2.58)}$
Трансупераквальный геохимически слабоподчиненный, термальные источники (Пр4)	$\frac{\text{Cu}(0.23) - \text{Ni}(0.27) - \text{Co}(0.30) - \text{Cr}(0.32) - \text{Zn}(0.34) - \text{Pb}(0.37) - \text{V}(0.50) - \text{Sr}(0.57)}{\text{Mn}(1.06) - \text{Mo}(1.15) - \text{Sc}(1.55)}$
Трансупераквальный геохимически подчиненный (Пр2)	$\frac{\text{Cr}(0.11) - \text{Cu}(0.21) - \text{Ni}(0.42) - \text{Co}(0.43) - \text{Pb}(0.65) - \text{Zn}(0.68) - \text{Sr}(0.70) - \text{Mo}(0.87)}{\text{Mn}(1.16) - \text{V}(1.19) - \text{Sc}(1.98)}$

Таблица 3. Корреляционные связи между свежевыпавшим пеплом вулкана Карымский и образованиями почвенно-пирокластического чехла в окрестностях оз. Карымское по средним процентным содержаниям в них растворимых форм микроэлементов ($n = 11$, $r_{5\%кр.} = 0.602$)

Пепел, почвенный горизонт		1	2	3	4	5	6
Свежевыпавший пепел влк. Карымский	1	1					
Андезитовый пепел п-ова Новогодний	2	0.401	1				
Базальтовый пепел п-ова Новогодний	3	0.026	0.901	1			
Поверхностные дерновые горизонты	4	0.830	0.339	0.114	1		
Погребенные гумусовые горизонты	5	0.688	0.437	0.236	0.741	1	
Погребенные пепловые горизонты	6	0.706	0.316	0.118	0.913	0.616	1

Примечание. n – число элементов, включенных в расчет; $r_{5\%кр.}$ – критическое значение коэффициента корреляции для 5%-ного доверительного уровня, полужирным выделены значимые корреляционные связи.

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. Величина указанного отношения обратно пропорциональна интенсивности процесса рассеяния. Набор микроэлементов, испытывающих максимальный вынос из пеплов при гипергенных процессах, в различных ландшафтных условиях территории довольно постоянен и включает Sr (89%), Cu (79%), Ni (72%) и Co (71%) (в скобках – величина максимальных потерь растворимой формы элемента). Менее интенсивно, но также устойчиво во всех условиях из пеплов выносятся Zn (66%) и Pb (63%). Необходимо отметить увеличение потерь пеплами подвижных форм микроэлементов при воздействии на них термальных источников (профиль Пр4) и проточных вод (профиль Пр2).

В знаменателе формул приведены ряды элементов, отношения процентных содержаний подвижных форм которых в преобразованных пеплах к их количеству в свежевыпавших аналогах более единицы, что по сути является признаком вторичного накопления элемента. В состав таких элементов входят Mn, Sc, V, Mo и Sr. Это превышение для большинства выделенных микроэлементов незначительно и в большей степени может отражать их инертность в гипергенных процессах. Максимальное вторичное накопление

характерно для Mn (2.58) и Sc (2.76) в поверхностных пеплах, развитых на полуострове. В число инертных элементов входят в основном аниогены, что объясняет их низкую подвижность в рассматриваемых ландшафтах, отличающихся кислой и слабокислой реакцией среды.

В целом необходимо отметить большое сходство приведенных выше геохимических формул для преобразованных андезитовых пеплов в различных ландшафтных условиях п-ова Новогодний (профили Пр1 – Пр4) и при наличии общих закономерностей – более существенное их отличие от геохимической формулы для склона прилегающей возвышенности (трансэлювиальный геохимически подчиненный ландшафт – профиль Пр5). Это свидетельствует о существовании некоторых различий в направлении гипергенных геохимических процессов в условиях п-ова Новогодний и на прилегающем к нему склоне возвышенности. В частности, вынос из пеплов на склоне Mn и Sc объясняет отмеченное выше их накопление в преобразованных андезитовых пеплах полуострова.

Таким образом, подвижные микроэлементы, поступающие с пеплами при вулканических извержениях, крайне подвижны, быстро переходят в растворенном виде в грунтовые и поверхностные воды, но, бесспорно, часть их закрепляется в почвах. Об этом свидетельствуют корреляционные связи между свежими пеплами и почвенными горизонтами, установленные путем построения геохимических рядов элементов, ранжиро-

ванных по убыванию средних содержаний растворимых форм микроэлементов относительно их валовых концентраций для почвенных го-

ризонтов и пеплов. Геохимические ряды элементов, построенные по названным безразмерным показателям, имеют следующий вид:

Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский

Профиль ПР1

Профиль ПР2

Профиль ПР3

Профиль ПР4

Профиль ПР5 (дерновые горизонты)

Профиль ПР5 (погребенные гумусовые горизонты)

Профиль ПР5 (погребенные пепловые горизонты)

Cu–Ni–Co–Sr–Pb–Cr–Sc–Mo–Zn–Mn

Sc–Co–Sr–Ni–Cu–Mn–Pb–Mo–Zn–Cr

Sc–Ni–Co–Sr–Cu–Pb–Mo–Mn–Zn–Cr

Sc–Co–Mn–Cu–Sr–Ni–Pb–Mo–Zn–Cr

Sc–Cu–Mo–Ni–Co–Sr–Mn–Pb–Cr–Zn

Cu–Ni–Cr–Pb–Sc–Mo–Co–Sr–Mn–Zn

Cu–Pb–Ni–Sr–Mo–Sc–Co–Zn–Cr–Mn

Cu–Ni–Cr–Sc–Pb–Sr–Co–Mo–Zn–Mn

Для оценки сходства и различия указанных выше приоритетных рядов микроэлементов рассчитаны ранговые коэффициенты корреляции между ними (табл. 3). Установлена значимая положительная корреляция поверхностных дерновых и глубинных гумусовых горизонтов между собой и со свежевыпавшими вулканическими пеплами. Это можно объяснить сходными условиями образования голоценовых почв, формировавшихся здесь преимущественно в пеплах вулкана Карымский, обогащенных подвижными микроэлементами в процессе извержений вулкана в разные периоды его активности. Не наблюдается положительной корреляционной зависимости между свежими пеплами и трансформированными пирокластическими отложениями, слагающими п-ов Новогодний, так как подвижные элементы вулканогенного генезиса из них уже вымыты атмосферными осадками.

ВЫВОДЫ

1. Недавнее катастрофическое извержение в оз. Карымское и постоянная активная вулканическая деятельность вулкана Карымский обусловили формирование в их окрестностях почв, в современных горизонтах которых фактически отсутствует тонкодисперсное органическое вещество, способное поставлять элементы для жизнедеятельности растений. Регулярно поступающий на поверхность пирокластический материал препятствует трансформации органической составляющей.

2. Все выделенные образования почвенно-пирокластического покрова территории характеризуются пониженными концентрациями большинства рассматриваемых микроэлементов относительно их кларков в соответствующих средах литосферы. 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, V и отчасти Cu.

3. Свежевыпавшая разность пеплов андезитового состава вулкана Карымский, формирующих поверхностные горизонты рыхлого чехла территории исследований, значительно обогащена подвижными формами микроэлементов как в видовом, так и количественном плане относительно всех исследованных горизонтов почвенно-пирокластического чехла. В незатронутых гипергенными процессами пеплах отмечаются максимальные значения средних процентных содержаний подвижных форм от их валового состава для 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. Наиболее интенсивное вторичное рассеяние испытывают Cr, Cu, Ni и Co, а также 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. Подвижные микроэлементы поступают с пеплами при вулканических извержениях, сорбируясь на поверхности их частиц из газовой тучи, крайне быстро переходят в растворенном виде в грунтовые и поверхностные воды, обуславливая богатый зольный состав растительности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08–04–01432).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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