

РОЛЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕПЛОВ В ФОРМИРОВАНИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ И РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ВУЛКАНИЗМА (НА ПРИМЕРЕ КАМЧАТКИ)

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-04-01432).

На примере территории, вблизи постоянно действующего вулкана Карымский (восточное побережье Камчатки) показано, что вулканические почвы, даже в зоне современного эксплозивного вулканизма, обеднены большинством микроэлементов сравнительно с их общей распространенностью в почвах континентов. При этом относительно почв, образованных в сходных природно-климатических условиях, но вне зоны активных пеплопадов, они богаты растворимыми формами микроэлементов. Последние 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 и повышенные содержания подвижных микроэлементов в почвах.

Ключевые слова: вулканы; микроэлементы; почвы; растения.

Формирование геохимических свойств вулканических почв и растительности в условиях активного вулканизма специфично. Процесс вулканического почвообразования кардинально отличается от развития профиля постлиогенных (нормальных, остаточных) почв. Приращение их профиля происходит вверх за счет периодически выпадающего на поверхность пирокластического материала (синлиогенный характер почвообразования). Микроэлементный состав почв определяется не составом подстилающих пород, как в классических случаях почвообразования, а составом выпадающих на поверхность земли свежих вулканических пеплов. Известно, что в момент извержения вулканические пеплы обладают высокой сорбционной способностью [1–4]. Благодаря этому в процессе извержения и далее при движении от источника до места выпадения пеплы могут сорбировать на своей поверхности химические вещества из газовой тучи, в том числе микроэлементы, которые позже определяют химический состав формирующихся в них почв.

Последнее обстоятельство является причиной бытующего мнения, что вулканические почвы непременно должны быть обогащены микроэлементами за счет непрерывного привноса их со свежим пирокластическим веществом. Кроме того, в зонах активного вулканизма нередко отмечаются случаи всплеска биопродуктивности растений после выпадения свежих пеплов. Однако научных исследований, посвященных специфике формирования геохимических характеристик почв и растений в условиях активного вулканизма, на сегодня нет.

Наиболее полно оценить формирование геохимических свойств вулканических почв и растений возможно на территориях вблизи постоянно действующих вулканов.

С целью установления роли вулканических пеплов в формировании геохимических свойств почв и растений в условиях современных непрерывных вулканических пеплопадов охарактеризована их специфика, обусловленная вулканической деятельностью вулкана Карымский (восточное побережье Камчатки).

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в окрестностях оз. Карымского, которое расположено в кальдере вулкана Академии Наук, в 6 км от действующего вулкана Карымский, структурно входящих в Карымский вулка-

нический центр Восточно-Камчатского вулканического пояса.

В начале января 1996 г. здесь произошло одновременное извержение двух вулканов [5]. 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 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 (рис. 1).

Пеплы продолжающегося поныне извержения вулкана Карымский образуют присыпку в современные органоминеральные горизонты почв. Роль почвообразующей породы для всех дневных и погребенных органогенных горизонтов почв выполняют вулканические пеплы извержений вулкана Карымский преимущественно андезитового состава.

Объектами исследований были почвы, растения, свежие и промытые атмосферными осадками вулканические пеплы. Для установления зольного состава растений, развитых в окрестностях вулкана Карымский, был выбран «сквозной» (развитый во всех элементарных ландшафтах территории) вид семейства злаковых – вейник Лангсдорфа.

В процессе работ заложена серия почвенных разрезов и почвенно-геохимических профилей.

Почвенные разрезы изучены на разном удалении от центра подводного извержения: нижняя часть склона на возвышенности, прилегающей на северо-западе к полуострову 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. Карымского (разрез № Кр 6–05) и нижняя часть склона борта кальдеры на его южном побережье (разрез № Кр 5–05).

Почвенно-геохимические профили пройдены на склоне возвышенности, прилегающей на северо-западе к п-ву Новогодний (профиль № Пр5), и на территории полуострова: на его северо-западной окраине, у подножья склона (профиль № Пр3), в средней части полуост-

рова (профиль № Пр1) и поперек переувлажненного конуса выноса руч. Безымянный на западе полуострова (профиль № Пр2).

Пробы почв и вулканических пеплов в профилях отбирались через 100–200 м с описанием опробуемого материала. В районе руч. Безымянный при пересечении его профилем произведено сгущение шага пробоотбора до 20–50 м.

В почвах и вулканических пеплах определены валовые содержания микроэлементов и их растворимые формы, для растительности установлен зольный состав.

Определение концентраций валовых содержаний микроэлементов в почвах проводилось путем их

разложения смесью фтористоводородной (HF), хлорной (HClO₄) и азотной (HNO₃) кислот с последующим установлением содержаний элементов масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS).

Установление зольного состава растительных проб проведено методом полуквантитативного спектрального анализа.

Растворимые формы микроэлементов в почвенных пробах извлекались ацетатно-аммонийной (pH = 4,8) вытяжкой. Отношение тв.жидк = 1:10. Содержание элементов, извлеченных из почв вытяжкой, устанавливалось ICP-MS методом.

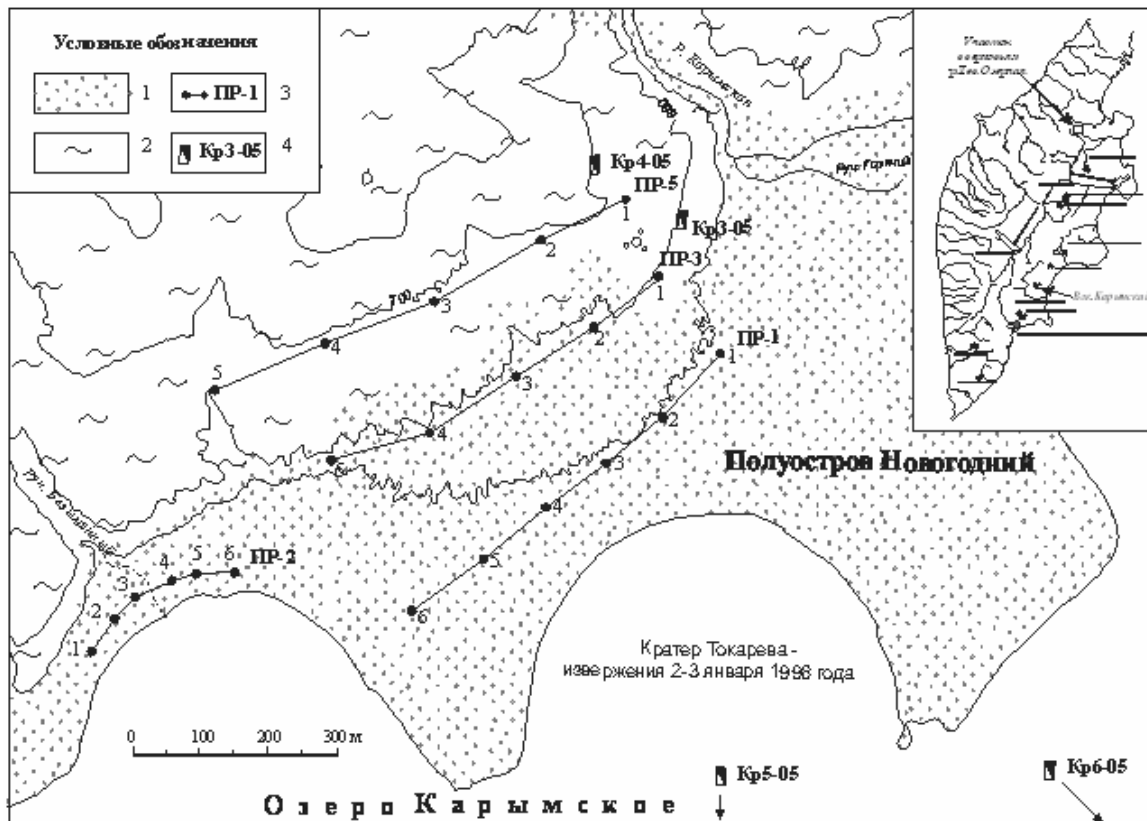


Рис. 1. Карта-схема района работ: 1 – новообразованная территория, преимущественно обнаженные поверхности, частично занятые пионерными растительными группировками; 2 – прилегающий к полуострову склон, занятый ольхово-стланиковыми и луговыми ассоциациями; 3 – эколого-геохимические профили, их номера и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

Определение параметров геохимического фона для почв (Сф) выполнено путем расчета средних арифметических значений содержаний микроэлементов вне явных литохимических аномалий. В качестве обобщающего показателя вариации значений определены величины их средних квадратических отклонений *S*.

Специфика почв, формирующихся в зоне современных пеплопадов

Почвы, развитые в окрестностях оз. Карымское, отличаются полигенетичностью профиля, состоящего из четырех наложенных друг на друга элементарных профилей, в каждом из которых выделяются органогенные горизонты и слои слабо трансформированных вулканических пеплов извержений вулкана Карымский.

В нижней части почвенного профиля развит охристый иллювиально-метаморфический горизонт Vmf. В районе исследований он сформирован среднеголоценовыми пеплами извержений начала первого периода активности вулкана Карымский (~ 6100 лет назад) [6].

Верхняя часть профиля почв представлена серией горизонтов: O, AdO, C, II [Ad₁], II [Ad₂], II [Ad₃], которые сложены пирокластическим материалом недавних извержений вулкана Карымский 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 слаботрансформированными отмершими или живыми корнями трав, которые скреп-

ляют вулканические пеплы в плотную хорошо выраженную дернину. Постоянно поступающий на поверхность пирокластический материал современных извержений вулкана Карымский замедляет гумификацию органического вещества.

Хорошо развитые органогенные горизонты со значимыми содержаниями гумусовых соединений развиты в почвах лишь в средней части их профилей, с глубины ~ 40–50 см. Они расчленены голоценовыми пеплами извержений вулкана Карымский, представлены тремя прослоями. Наиболее мощным среди них является горизонт III [А], отражающий длительный период относительного «покоя» (~ 2300 лет) между двумя крупными периодами активизации в деятельности вулкана [6]. Содержание гумуса в погребенных гумусовых горизонтах колеблется от 16 до 17% в почвах стлаников и от 3 до 4% в почвах лугов.

Расположенный в северной части побережья 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 извержения в Карымском озере. Спустя 9 лет после извержения в озере (исследования проводились в 2005 г.), на территории полуострова отмечается слабое заселение пионерной растительностью.

Геохимические особенности генетических горизонтов почв, покровов вулканических пеплов и растений, развитых в условиях современных пеплопадов

Для исследования процессов миграции и аккумуляции микроэлементов вулканогенного генезиса в почвах и растениях проведены расчеты геохимических показателей и параметров для почвенных и пирокластических образований по валовым концентрациям микроэлементов, их растворимым формам и по зольному составу растительности.

Рассмотрены генетически различные горизонты почвенно-пирокластического чехла территории, имеющие как минеральный, так и органо-минеральный составы. Выделены следующие образования:

- 1) свежий вулканический пепел извержения вулкана Карымский, не промытый атмосферными осадками;
- 2) трансформированный вулканический пепел извержения вулкана Карымский, слагающий поверхностный горизонт п-ва Новогодний;
- 3) уплотненный базальтовый пепел извержения в оз. Карымском, слагающий подповерхностный горизонт п-ва Новогодний;
- 4) дерновый поверхностный горизонт вулканических почв территории;
- 5) погребенные гумусовые горизонты вулканических почв территории;
- 6) погребенные пепловые горизонты вулканических почв территории.

Результаты расчетов средних валовых содержаний микроэлементов и их растворимых форм приведены в табл. 1.

Для оценки геохимических особенностей генетических горизонтов почв, покровов современных пеплов,

развитых на исследуемой территории, рассчитаны кларки концентраций (Кк) как отношения средних валовых 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. Карымском – кларки континентальных базальтов [7], для поверхностных дерновых и погребенных гумусовых горизонтов – кларки почв [8].

Результаты расчетов показали, что все выделенные образования пирокластического чехла территории характеризуются пониженными концентрациями большинства рассматриваемых микроэлементов относительно их кларков в соответствующих средах литосферы (рис. 2, А). Незначительное превышение над единицей отмечается: для Си в андезитовых пеплах п-ва Новогодний и в погребенных пепловых почвенных горизонтах, для Zn – в андезитовых и базальтовых пеплах п-ва Новогодний и для Мо – в свежесыпавших пеплах современных извержений вулкана Карымский.

По сравнению с распространенностью в почвах континентов содержания микроэлементов в генетических органических и органо-минеральных горизонтах почв территории также низкие (рис. 2, Б).

Иная картина наблюдается при анализе данных по Кк для растительности, произрастающей на исследуемой территории в различных условиях. Изучен микроэлементный состав растений, заселяющих:

- свежие пирокластические грунты п-ва Новогодний;
- вулканические почвы на склоне прилегающей к полуострову возвышенности (табл. 2).

Кларки концентраций растений рассчитаны как отношения средних содержаний микроэлементов в живой массе растений, развитых в окрестностях оз. Карымского (проведен пересчет зольного состава на живую массу с учетом % золы), к кларкам живого вещества [9].

Для большинства микроэлементов, входящих в состав растений, вне зависимости от условий их произрастания, установлено превышение над кларком живого вещества (рис. 2, В). Для растений, заселяющих свежие пирокластические образования, характерны более высокие значения Кк, чем для растительности, произрастающей на вулканических почвах.

Проведено сравнение микроэлементного состава растительности, произрастающей в окрестностях вулкана Карымского, с растениями, развитыми в сходных природно-климатических условиях Камчатки, на почвах, образованных также на андезитовых вулканических пеплах, но вне зоны активных современных пеплопадов.

Использованы данные по Северной почвенной провинции Камчатки (верховья реки Левая Озерная) [10]. Наблюдаются существенные превышения содержаний большинства контролируемых элементов для растений зоны пеплопадов. Для V и Ag эти параметры выше в 36 и в 26 раз соответственно, для Pb – в 7,2 раза, для Ni – в 5,6, для Co – в 2 раза (табл. 3).

Вероятно, повышенные содержания микроэлементов в растительном покрове при их общем дефиците в подстилающих грунтах и почвах в зоне современных пеплопадов обусловлены регулярным привносом свежего пирокластического материала, обогащенного весьма подвижными микроэлементами, быстро переходящими в раствор.

Среднее валовое содержание микроэлементов, концентрация их растворимых форм (мг/кг) и % растворимых форм относительно валовых содержаний в почвенных и пирокластических образованиях окрестностей п-ва Новогодный

Пепел, почвенный горизонт	Sr		Mn		Cr		V		Ni		Co					
	вал.	рас.	% рас./вал.	вал.	рас.	% рас./вал.	вал.	рас.	% рас./вал.	вал.	рас.	% рас./вал.				
Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский, n=5	137,5	11,5	8,3	625,0	24,4	3,9	6,5	0,5	7,1	90,0	1,7	1,9	25,2	9,0	1,5	16,6
Андезитовый пепел п-ва Новогодный, n=14	146,4	9,5	6,5	714,3	34,0	4,8	31,4	0,2	0,6	90,0	1,9	2,2	6,2	12,1	1,0	8,0
Базальтовый пепел п-ва Новогодный, n=11	227,3	17,0	7,5	927,3	31,2	3,4	108,2	0,3	0,3	121,0	0,7	0,6	5,5	30,0	1,8	6,1
Поверхностные дерновые горизонты, n=7	150,0	6,1	4,1	671,4	13,7	2,0	9,4	0,6	6,3	85,7	3,9	4,6	8,6	8,1	0,4	4,9
Погребенные гумусовые горизонты, n=7	147,1	5,6	3,8	700,0	11,4	1,6	24,3	0,5	1,9	101,4	1,6	1,6	6,7	10,0	0,4	3,9
Погребенные пепловые горизонты, n=6	98,3	4,0	4,1	683,3	23,2	3,4	13,8	1,4	10,1	95,0	10,0	10,5	7,8	9,5	0,7	7,1
Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский, n=5	35,0	10,1	28,9	70,0	3,1	4,4	8,5	0,7	7,6	1,1	0,1	4,4	6,5	0,3	5,2	
Андезитовый пепел п-ва Новогодный, n=14	68,6	4,1	6,0	81,4	1,9	2,3	7,4	0,3	4,6	1,0	0,0	4,2	7,1	0,8	11,3	
Базальтовый пепел п-ва Новогодный, n=11	89,1	2,4	2,7	90,9	1,6	1,8	4,5	0,1	2,9	0,6	0,0	4,7	9,6	1,6	16,1	
Поверхностные дерновые горизонты, n=7	52,9	7,5	14,3	68,6	1,5	2,2	9,4	0,5	5,7	1,1	0,1	4,5	6,1	0,6	9,9	
Погребенные гумусовые горизонты, n=7	74,3	4,4	5,9	62,9	1,2	1,9	6,7	0,4	6,4	1,0	0,0	3,1	9,4	0,3	3,3	
Погребенные пепловые горизонты, n=6	70,0	7,9	11,2	65,0	1,7	2,5	8,0	0,5	6,6	1,0	0,1	6,0	8,3	0,8	9,0	

Среднее содержание микроэлементов в золе растений (Сз), в их живой массе (См) (10-4%), кларки (К) и кларки концентраций элементов (Кк)

Условия произрастания	% зол.	Sr		Mn		Ni		V		Cr		Co	
		Сз	См	К	Кк	Сз	См	К	Кк	Сз	См	К	Кк
Растения на почвах	12,04	161,11	19,40	20,00	0,97	544,44	65,56	10,00	6,56	1,67	0,20	0,10	2,01
Растения на пеплах	9,58	158,33	15,17		0,76	2950,00	282,66		28,27	2,00	0,19		1,92
Условия произрастания	% зол.	Сз	См	К	Кк	Сз	См	К	Кк	Сз	См	К	Кк
Растения на почвах	12,04	50,00	6,02	1,00	6,02	11,00	1,32	0,50	2,65	1,33	0,16	0,20	0,80
Растения на пеплах	9,58	53,33	5,11		5,11	15,67	1,50		3,00	1,47	0,14		0,70
Условия произрастания	% зол.	Сз	См	К	Кк	Сз	См	К	Кк	Сз	См	К	Кк
Растения на почвах	12,04	80,00	9,63	2,00	4,82	123,33	14,85	20,00	0,74	8,33	1,00	1,00	1,00
Растения на пеплах	9,58	126,67	12,14		6,07	288,33	27,63		1,38	21,00	2,01		2,01
Условия произрастания	% зол.	Сз	См	К	Кк	Сз	См	К	Кк	Сз	См	К	Кк
Растения на почвах	12,04	1,03	0,12	0,10	1,24	1,50	0,18	0,10	1,81	4,66	0,56	0,01	56,06
Растения на пеплах	9,58	1,04	0,10		1,00	1,75	0,17		1,68	5,45	0,52		52,22

Высокую подвижность элементов, привнесенных вулканическими пеплами, подтверждают данные о процентных содержаниях растворимых форм элементов относительно их валовых концентраций в свежих и трансформированных вулканических пеплах. Свежевыпавшие пеплы андезитового состава вулкана Карымский (не промытые атмосферными осадками) значительно обогащены подвижными формами микроэлементов, как в видовом, так и в количественном плане относительно всех исследованных горизонтов пирокластического чехла территории (см. табл. 1). Подвижные микроэлементы, поступающие с пеплами при вулканических извержениях, крайне быстро переходят в растворенном виде в грунтовые и поверхностные воды, но, бесспорно, какая-то их часть закрепляется в почвах.

Свидетельством этого являются корреляционные связи между свежими пеплами и почвенными горизонтами, установленные путем построения геохимических рядов элементов, ранжированных по убыванию средних процентных содержаний растворимых форм микроэлементов относительно их валовых концентраций для почвенных горизонтов и пеплов. Геохимические ряды элементов, построенные по названным безразмерным показателям, имеют следующий вид.

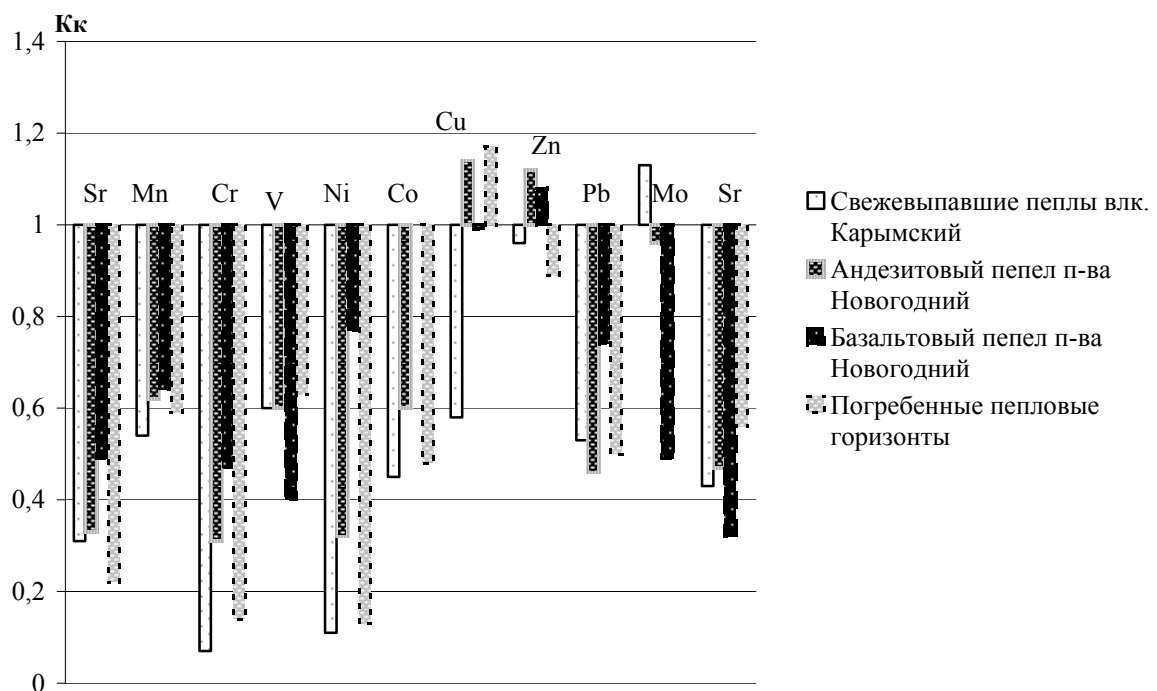
Свежевыпавшие пеплы: Cu–Ni–Co–Sr–Pb–Cr–Mo–Zn–Mn–V.

Дерновые поверхностные горизонты: Cu–Ni–Cr–Pb–Co–V–Mo–Sr–Zn–Mn.

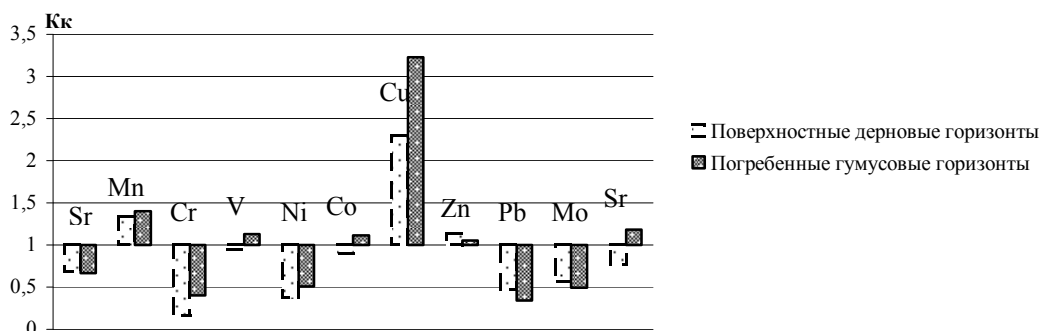
Погребенные гумусовые горизонты: Ni–Pb–Cu–Co–Sr–Mo–Zn–Cr–Mn–V.

Погребенные пепловые горизонты: Cu–V–Cr–Ni–Co–Pb–Mo–Sr–Mn–Zn.

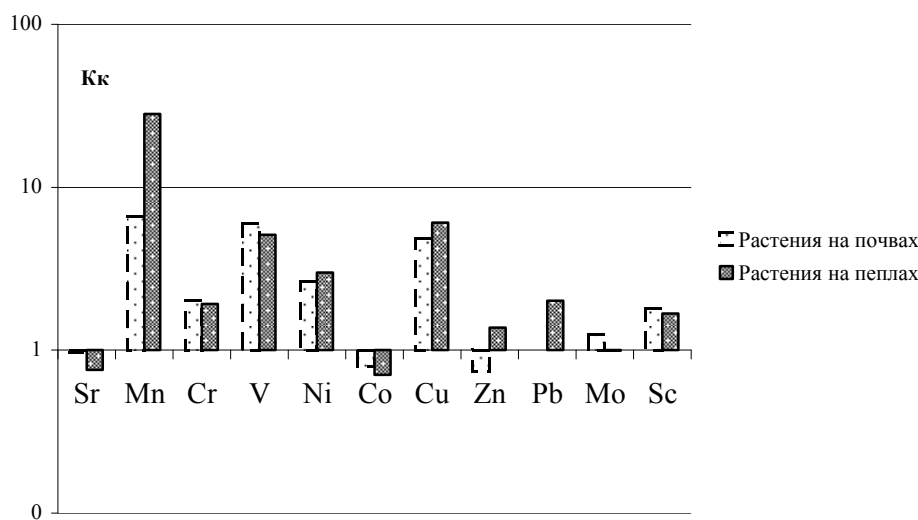
С целью количественной оценки связей посчитаны ранговые коэффициенты корреляции между рядами (табл. 4).



А



Б



B

Рис. 2. Кларки концентраций элементов (Кк) для покровов вулканических пеплов (А) почвенных горизонтов (Б) и растительности (В)

Таблица 3

Содержания микроэлементов в живой массе растений (мг/кг) зоны активных пеплопадов и растительности Северной провинции

Элементы	Северная провинция	Зона пеплопадов	Зона пеплопадов / Северная провинция
Sr	18	19,40	0,84
Mn	250,89	65,56	1,13
Cr	0,24	0,20	0,80
V	0,14	6,02	36,50
Ni	0,27	1,32	5,56
Co	0,07	0,16	2,01
Cu	9,42	9,63	1,29
Zn	20,39	14,85	1,35
Pb	0,28	1,00	7,19
Mo	0,2	0,12	0,50
Ag	0,02	0,56	26,11

Таблица 4

Корреляционные связи между почвенными горизонтами и свежими вулканическими пеплами в окрестностях оз. Карымское (n = 10, r 5%кр. = 0,63)

Пепел, почвенный горизонт		Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский	Дерновые поверхностные горизонты	Погребенные гумусовые горизонты	Погребенные пепловые горизонты
		1	2	3	4
Свежевыпавшие пеплы вулкана Карымский	1	1,00			
Дерновые поверхностные горизонты	2	0,75	1,00		
Погребенные гумусовые горизонты	3	0,90	0,70	1,00	
Погребенные пепловые горизонты	4	0,54	0,88	0,37	1,00

Установлена значимая положительная корреляция поверхностных дерновых и глубинных гумусовых горизонтов между собой и со свежевыпавшими вулканическими пеплами. Это объяснимо сходными условиями образования голоценовых почв, формировавшихся здесь преимущественно в пеплах вулкана Карымский. Не наблюдается положительной корреляционной зависимости между свежими пеплами и погребенными пепловыми горизонтами. По-видимому, подвижные элементы вулканогенного генезиса из них уже вынесены. Возможно, ведущую роль в формировании их геохи-

мических свойств играют сложные органно-минеральные комплексы, усложняющие характер корреляционных связей.

Оценка уровня содержания растворимых форм микроэлементов в почвах затруднительна. Данные об их усредненных содержаниях для почв в целом (кларки микроэлементов) отсутствуют. Ввиду этого процентные содержания растворимых форм микроэлементов (относительно валовых концентраций) в почвах окрестностей оз. Карымского соотнесены с аналогичными показателями, характерными для вулканических почв,

развитых в сходных условиях Камчатки, но вне зоны влияния активных пеплопадов. Как и для растительности, использованы данные по Северной почвенной провинции Камчатки [10]. В этот район также поставляется свежий пирокластический андезитовый материал современных извержений вулкана Шивелуч, но эпизодически и незначительными объемами. Поверхностные органогенные горизонты образованы здесь на старых вулканических пеплах андезитового состава давнего извержения (1652 г. н.э.) названного вулкана.

Как видно из табл. 5, почвы, развитые в окрестностях оз. Карымского в зоне активных современных пеплопа-

дов, значительно обогащены растворимыми формами микроэлементов относительно вулканических почв Северной провинции. Процентные содержания растворимых форм V в них выше в 16,4 раз, Sc – в 8,9, Cu – в 7,8, Pb – в 6,1, Cr – в 5,6, Sr – в 3,7, Ni и Co ~ в 2 раза.

С большой долей вероятности можно утверждать, что высокие содержания растворимых форм микроэлементов в почвах и пеплах окрестностей оз. Карымского обуславливают богатый микроэлементный состав живой массы растений в зоне современных пеплопадов и часто наблюдаемый всплеск биопродуктивности растений после выпадения свежих пеплов.

Таблица 5

Процентное содержание растворимых форм микроэлементов относительно их валовых концентраций в почвах Северной провинции и почвах окрестностей оз. Карымского

Территории	Sr	Mn	Cr	V	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Mo	Sc
оз. Карымское (дерновые горизонты)	4,13	1,96	6,30	4,63	8,65	4,87	14,3	2,2	5,71	4,45	9,91
Северная провинция	1,12	1,70	1,37	0,27	3,71	2,42	1,76	2,06	0,96	3,96	1,14
оз. Карымское / Северная провинция	3,69	1,15	5,65	16,41	2,25	1,97	7,78	1,07	6,05	1,12	8,86

Учитывая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. 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, вне зависимости от ландшафтных условий их произрастания, установлено превышение над кларком живого вещества.

2. Относительно почв, образованных в сходных природно-климатических условиях Камчатки на пеплах

того же состава, но вне зоны активных пеплопадов, почвы, развитые в окрестностях действующего вулкана, существенно обогащены подвижными формами микроэлементов.

3. 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 и повышенные содержания подвижных форм микроэлементов в почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башарина Л.А. Исследование газообразных продуктов вулканов Ключевского и Шивелуча // Бюлл. вулканол. станции. 1958. № 27. С. 3–8.
2. Гуценко И.И. Пеплы Северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. С. 91–102.
3. Мархинин Е.К., Токарев П.И., Пугач В.Б., Дубик Ю.М. Извержение вулкана Безымянного весной 1961 // Бюлл. вулканол. станции. 1963. № 34. С. 12–36.
4. Товарова И.И. О выносе воднорастворимых веществ из пирокластике вулкана Безымянного // Геохимия. 1958. № 7. С. 683–686.
5. Федотов С.А. Одновременное извержение двух вулканов Камчатки в январе 1996 // Земля и Вселенная. № 3. С. 60–65.
6. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В. Вулкан Карымский: история формирования, динамика активности и долгосрочный прогноз // Вулканология и сейсмология. 1989. № 2. С. 14–31.
7. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 180 с.
8. Ярошевский А.А. Проблемы современной геохимии. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2004. 194 с.
9. Виноградов А.П. Направления исследований в науках о Земле. М.: Изд-во АН СССР, 1970. 367 с.
10. Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. Почвенные провинции Камчатки и их геохимическая характеристика // Вестн. КРАУНЦ. 2008. № 1. С. 98–112.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 16 декабря 2008 г.