

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ  
ПОЧВ КАМЧАТКИ\***

© 2010 г. Л. В. Захарихина<sup>1</sup>, Ю. С. Литвиненко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН,  
683002, Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, 30, а/я 56  
e-mail: zlv63@yandex.ru

<sup>2</sup>ООО ЭкоГеолит, 119330, Москва, ул. Мосфильмовская, 17 Б  
e-mail: ecogeolit@mail.ru

Поступила в редакцию 25.01.2008 г.

Проведена оценка геохимического фона и особенностей микроэлементного состава вулканических почв Камчатки, параметры которого определяются составом вулканических пеплов, на которых они образованы. Установлено, что для вулканических почв, формирующихся как на средних, так и на кислых пеплах, характерны низкие кларки концентраций для большинства микроэлементов относительно их распространенности в почвах континентов. Более высокие значения фоновых содержаний микроэлементов характерны для почв, образованных на средних вулканических пеплах Камчатки, по сравнению с почвами, развитыми на кислых пирокластических отложениях. Наряду с различиями в микроэлементном составе рассматриваемых почв, отмечены их общие региональные геохимические особенности. Все почвы характеризуются более высокими содержаниями (относительно почв континентов) элементов, типоморфных для основных магматических пород. В той или иной степени это характерно для Cu, Mn, Sc, V и Ag. Общие геохимические особенности обусловлены сходными свойствами вулканических пеплов, что в свою очередь является, по-видимому, отражением общей геохимической специфики многостадийного вулканизма Камчатского полуострова.

**ВВЕДЕНИЕ**

В прошлом столетии наиболее полные представления о влиянии вулканизма на почвообразование были изложены в монографии И.А. Соколова. Им впервые выделены зоны, различающиеся по степени влияния пеплопадов на процесс почвообразования [13]. В последнее время в вулканологии получены новые, более детальные данные об истории голоценового вулканизма на Камчатке [2, 3, 9, 10, 17]. Показано, что за период, сопоставимый с продолжительностью современного почвообразования (голоцен), вулканы Камчатки поставляли на поверхность Земли продукты извержений, контрастно отличающиеся петрохимическим составом (от базальтового до риолитового). Установлены ареалы вулканических пеплов крупных извержений вулканов Камчатки. Для почвоведения это открывает возможность изучения специфики формирования геохимических свойств вулканических почв, образованных на разных по химическому составу пеплах.

В существующих справочных материалах по фону микроэлементов в почвах различных биоклиматических зон территории бывшего СССР [12] и на схематической карте биогеохимических зон и провинций этой территории [7] данные для

вулканических почв отсутствуют. При этом формирование геохимических характеристик почв в условиях активного вулканизма своеобразно. Роль почвообразующих пород для большинства почв Камчатки выполняют вулканические пеплы. Микроэлементный состав почв определяется здесь не составом подстилающих пород, как в классических случаях почвообразования, а составом выпадающих на поверхность земли свежих вулканических пеплов (синлитогенный характер почвообразования).

Параметры местного и регионального геохимических фонов имеют большое значение при проведении эколого-геохимических исследований, мониторинга почв и литохимических поисков месторождений полезных ископаемых, являясь отправной точкой для выделения геохимических аномалий, определения наличия, масштабов и степени техногенного загрязнения почв.

Сравнение геохимических характеристик почв, развитых на разных по химическому составу пирокластических отложениях, позволит определить роль вулканического материала в формировании геохимических свойств вулканических почв.

Целью работы являлась оценка геохимических особенностей поверхностных органогенных горизонтов вулканических почв Камчатки в связи с

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

составом вулканических пеплов, на которых они образованы.

Для достижения цели были решены следующие задачи: на основе имеющихся данных [2, 3, 9, 10, 17] и собственных наблюдений о распространении идентифицированных вулканических пеплов различного состава проведено районирование полуострова с выделением районов и провинций, поверхностные органогенные горизонты которых образованы на разных по составу вулканических пеплах; рассчитаны параметры регионального фона микроэлементов для поверхностных органогенных горизонтов вулканических почв, выделенных районов; установлены их геохимические особенности относительно распространенности микроэлементов в зональных почвах бывшего СССР и в почвах континентов.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

С целью районирования полуострова по составу пеплов, на которых образованы органогенные горизонты вулканических почв, ареалы приповерхностных вулканических пеплов уточнялись и устанавливались в различных районах Камчатки с применением сравнительно-тефрохронологического метода. При изучении геохимических особенностей вулканических почв Камчатки использовали метод эталонных (ключевых) участков, на которых представлены наиболее типичные ландшафтно-геохимические условия, характерные для выделенных районов почвенных провинций.

Поскольку основным количественным показателем, характеризующим общую рассеянную распространенность микроэлементов в почвах, является их фоновая концентрация вне явных литохимических аномалий, ключевые участки закладывали на удалении от известных природных (рудные залежи, термальные поля) и техногенных (автодороги и др.) источников загрязнения.

В качестве объекта геохимических исследований был выбран поверхностный грубогумусовый горизонт (АО) вулканических почв, сформированный в разных районах, выделенных провинций Камчатки, на приповерхностных пеплах (ПП), отличающихся петрохимическим составом. Так как на изученных территориях сообщества березовых лесов являются одними из наиболее распространенных ландшафтов, обследовались почвы, развитые именно под этими растительными ассоциациями. Опробование поверхностных грубогумусовых горизонтов почв проведено с глубины ~3–10 см.

Определение параметров геохимического фона для почв выполнено традиционным в геохимии методом, путем расчета среднегеометрических содержаний микроэлементов (Сф) в пробах

и стандартных множителей ( $\epsilon$ ) как меры дисперсии включенных в расчеты значений.

В зависимости от масштабов оценки различали: региональный, зональный и глобальный геохимические фоны, перечисленные в порядке увеличения иерархического уровня. Региональный фон характеризуют средние содержания микроэлементов в почвах в пределах крупных регионов, выделенных по наличию у почвенного покрова устойчивых площадных отличительных признаков (в нашем случае химический состав вулканических приповерхностных пеплов). Полученные параметры регионального геохимического фона сопоставлены с параметрами зонального и глобального фона микроэлементов. Зональный фон отражает распространенность элементов в основных типах почв, характерных для почвенно-био-климатических поясов территории бывшего СССР [12], а глобальный [11, 16] – в почвах континентов в целом.

Определение содержания микроэлементов в почвах проводилось методом спектрального анализа. Пробы анализировались на приборе ДФС-8 путем просыпки на трехфазной дуге. Анализ выполнен в аналитическом центре Бронницкой геолого-геохимической экспедиции.

Оценка геохимических особенностей современных вулканических почв, изученных районов почвенных провинций Камчатского полуострова, проведена путем расчета кларков концентрации (Кк) входящих в их состав микроэлементов, как отношения регионального фона к общей распространенности микроэлементов в почвах континентов [16].

### РАЙОНИРОВАНИЕ ПОЧВ КАМЧАТКИ

Ранее Соколовым выделены зоны, различающиеся по степени влияния пеплопадов на процесс почвообразования, связанной с удаленностью от активных вулканических центров [13].

Сопоставление выделенных ранее зон с распространением идентифицированных и датированных пирокластических отложений показало, что их границы обусловлены скорее не разной удаленностью от вулканов, а связью пеплов с вулканами или вулканическими центрами, находящимися в разных фазах своего развития.

В общем виде для вулканической деятельности характерна длиннопериодная цикличность, когда элементарные циклы включают ряд стадий или фаз развития. Каждой фазе соответствуют свои комплексы пирокластических отложений, имеющие определенный петрохимический состав и характерный объем извергнутого материала. Для первой, наиболее молодой фазы активного роста вулкана (вулканического центра), характерны часто повторяющиеся извержения незначительного



**Рис. 1.** Схематическая карта районирования вулканических почв Камчатского полуострова. Обозначения: 1 – районы внутри почвенных провинций (в пределах Северной: I – восточный, II – западный; в пределах Южной: I – западный, II – центральный, III – юго-восточный); 2 – возраст приповерхностных пеплов, лет; 3 – граница между почвенными провинциями; 4 – границы районов внутри провинций; 5 – граница между почвами, поверхностные горизонты которых сформированы в пеплах идентичного состава вулканов Опала и Ксудач в пределах центрального района Южной провинции; 6 – локальные ареалы свежих пеплов вблизи действующих вулканов Камчатки; 7 – места заложения опорных почвенных разрезов и их номера.

количества пирокластического материала, преимущественно базальтового, андезито-базальтового составов. Далее наступает длительный период покоя, который может заканчиваться крупным кальдерообразующим извержением, продукты которого имеют кислый, риолитовый, риолито-дацитовый составы. Внутри образовавшейся кальдеры может начаться формирование нового базальтового конуса, и цикл может повториться. Кроме отмеченной разницы в частоте извержений и составе поставляемого материала, молодая и зрелая фазы активности вулканов отличаются дальностью разноса пеплов и их объемами.

Крупнейшие кальдерообразующие извержения в голоцене характерны для вулканов Южной Камчатки, оказавших свое влияние на юг, юго-запад, юго-восток и центральную часть полуострова. Районы, выделенные ранее И.А. Соколовым, как зоны умеренных и слабых пеплопадов.

Вулканы Северной группы Камчатки находятся в фазе активного роста – с часто повторяющимися извержениями незначительного количества пирокластического материала. Они оказывают свое влияние на северо-восток, северо-запад полуострова и его восточное побережье. Территории, отнесенные И.А. Соколовым к зоне интенсивных пеплопадов.

Проследить особенности влияния вулканизма разных стадий его активности на почвообразование можно путем сравнения почв, сформировавшихся в голоцене под влиянием деятельности вулканов Северной группы Камчатки и активных вулканических центров Южной части полуострова. С этой целью выделено две основных почвенных провинции Камчатского полуострова.

1. Южная, для которой наиболее типичными являются вулканические охристые почвы, образованные преимущественно в пеплах вулканов Южной Камчатки (Опала, Ксудач, Курильское озеро). Последние находятся в зрелой фазе активного вулканизма – с редко происходящими крупными кальдерообразующими извержениями, продукты которых имеют кислый, риолитовый, риолито-дацитовый составы.

2. Северная, в пределах которой преимущественно развиты слоисто-пепловые и слоисто-охристые почвы, сформированные в пеплах вулканов Северной группы Камчатки (Шивелуч, Толбачик, Безымянный, Ключевская сопка), находящихся в молодой базальтоидной стадии раз-

вития с часто происходящими извержениями незначительного количества пирокластического материала преимущественно базальтового, андезито-базальтового составов.

Внутри выделенных крупных провинций для отдельных территорий характерны почвенные профили, имеющие сходное строение по составу слагающих их идентифицированных и датированных пепловых горизонтов. Последние в большей или меньшей степени вовлечены в процессы почвообразования и диагностируются в почвах как переходные (В), почвообразующие (С) или почвоподстилающие (D) генетические горизонты. Выделение таких районов внутри провинций позволяет определить распространенность почв, имеющих сходное строение почвенных профилей.

Поверхностные горизонты почв Камчатки залегают, как правило, повсеместно на прослое вулканического пепла (далее приповерхностного пепла).

Границы районов, имеющих сходное строение почвенных профилей, можно определить по ареалам приповерхностных вулканических пеплов, которые в целом их повторяют. Приповерхностные пеплы Камчатки, залегающие под поверхностными органогенными горизонтами вулканических почв, отличаются петрохимическим составом (от андезито-базальтового до риолито-дацитового) и возрастом (~ от 50 до 3000 лет), что позволяет сравнить свойства почв, образованных на вулканических пеплах различного петрохимического состава. Внутри почвенных провинций выделены районы по характерному строению почвенных профилей и петрохимическому составу и возрасту ПП, на которых образованы поверхностные органогенные горизонты почв (рис. 1).

Районирование проведено на основе тефрохронологических данных (тефра – пепел переносимый по воздуху) о распространении идентифицированных прослоев пеплов [2, 3, 9, 10, 17].

При решении этой задачи в ходе полевых исследований уточнены границы ареалов пеплов извержений трех вулканов. Установлено, что ареалы пеплов крупных извержений вулкана Шивелуч, имеют более обширные распространения. Их западные границы проходят не по верховьям крупных рек восточного побережья, как показано на схемах тефрохронологических исследований, а простираются вплоть до побережья Охотского моря. Приповерхностные молодые пеплы вулкана

Толбачик (извержений 1975–1976 гг.) и вулкана Безымянный (извержения 1956 г.) имеют более обширные ареалы в юго-западном направлении, а их западная граница проходит по водоразделу рек западного и восточного побережий полуострова.

Уточнена западная граница распространения пепла вулкана Ксудач, возраста ~1760 лет. Наши исследования показали, что она проходит восточнее указанной ранее.

На западном побережье определен ареал приповерхностного пепла ранее не выделявшегося. Принадлежность его к конкретному вулканическому событию на сегодня не установлена. Абсолютный возраст его составляет ~2920 лет (устное сообщение О.А. Брайцевой). Пепел по химическому составу является риолито-дацитовым.

В результате проведенного районирования в пределах Северной провинции выделено два района: восточный и западный; в пределах Южной провинции – три района: западный, центральный и юго-восточный, отличающиеся набором пепловых горизонтов, слагающих профили почв. Ниже приводим краткую характеристику типичных почвенных профилей для названных районов.

Северная провинция.

1. *Западный район.* Типичны вулканические охристые и слоистые охристые почвы. Почвообразующими породами для погребенных гумусовых горизонтов почв являются андезитовые пеплы извержений вулкана Шивелуч разных периодов его активности. Поверхностные органогенные горизонты образованы на пеплах извержений вулкана Шивелуч, возраст ПП ~350–970 лет.

2. *Восточный район.* Характерны слоисто-пепловые почвы, в которых не выражены охристые горизонты. Почвообразующими породами для погребенных гумусовых горизонтов почв являются пеплы извержений вулканов: Шивелуч, Ключевская сопка, Безымянный. Поверхностные органогенные горизонты образованы на молодых андезитовых пеплах вулкана Толбачик (извержений 1975–1976 гг.) и вулкана Безымянный (извержения 1956 г.), возраст ПП ~50 лет.

Южная провинция.

1. *Западный район.* Характерны вулканические охристые почвы. Профиль состоит из двух-трех элементарных профилей. Поверхностные горизонты почв, образованы на пеплах риолито-дацитового состава неопознанной принадлежности, возраст ~2920 лет.

2. *Центральный район.* Характерны вулканические охристые почвы, вблизи вулканов локально развиты слоисто-охристые почвы. Для большей части территории характерен профиль, состоящий из трех элементарных профилей. Поверхностные горизонты почв, образованы на пеплах риолито-дацитового состава вулкана Опала, воз-

раст пепла ~1400 лет и пеплах того же состава вулкана Ксудач, возраст ~1760 лет.

3. *Юго-восточный район.* Типичны слоисто-охристые почвы. Профиль состоит из четырех элементарных профилей. Поверхностные горизонты почв, образованы на пеплах андезито-базальтового состава вулкана Ксудач, возраст пепла ~100 лет.

Современные почвообразующие процессы в пределах центрального и юго-восточного районов Южной провинции осложнены в локальных зонах выпадения молодых пеплов действующих вулканов (Карымского, Кихпинич, Авача, Кроноцкая сопка и др.). Особенности почв этих локальных зон узко специфичны, определяются характером извержений конкретных вулканов и не могут рассматриваться как типичные, свойственные той или иной провинции. Узкой полосой на западном побережье полуострова распространены обширные массивы верховых и переходных торфяных почв, эту зону также необходимо характеризовать вне выделенных провинций и районов вулканических почв. На крайнем юге полуострова (м. Лопатка) развиты вулканические почвы, для которых известные маркирующие вулканические пеплы Камчатки (пеплы крупных и кальдерообразующих извержений) не характерны.

#### ПАРАМЕТРЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОХИМИЧЕСКОГО ФОНА ДЛЯ ПОЧВ КАМЧАТКИ

Как отмечено выше, роль почвообразующих пород для всех вулканических почв Камчатки выполняет вулканические пеплы. Известно, что в процессе извержения и далее при движении от источника до места выпадения пеплы сорбируют из газовой тучи на своей поверхности химические вещества, в том числе микроэлементы [1, 4, 8, 15], которые, безусловно, должны определять геохимический состав формирующихся на них почв. С целью установления роли пирокластического материала в формировании геохимических свойств вулканических почв проведен сравнительный анализ геохимических характеристик почв, развитых на разных по химическому составу и возрасту вулканических пеплах.

В западном районе Северной провинции изучены современные поверхностные горизонты слоисто-пепловых почв, сформированные на андезитовых пеплах возрастом ~350–970 лет. В пределах восточного района Северной провинции исследованы поверхностные грубогумусовые горизонты слоисто-пепловых почв, образованные на андезитовых пеплах возрастом ~50 лет.

Параметры регионального геохимического фона для западного района Южной провинции рассчитаны по данным опробования поверхност-

**Таблица 1.** Параметры местного геохимического фона микроэлементов в вулканических почвах Камчатки. Над чертой – Сф, мг/кг абсолютно сухой почвы,  $n = 50$ , под чертой –  $\epsilon$ 

Элемент	Северная провинция		Южная провинция		
	западный район	восточный район	западный район	центральный район	юго-восточный район
Li	28.11/1.34	18.90/1.49	15.00/1.23	24.98/1.25	17.98/1.30
Be	1.08/1.34	1.00/1.10	1.10/1.12	0.60/1.28	0.50/1.3
B	17.52/1.37	30.00/1.10	10.3/1.58	12.08/1.48	30.00/1.2
Sc	9.98/1.70	6.90/1.10	5.31/1.23	6.60/1.28	15.00/1.30
Ti	2953.8/1.28	3600.00/1.20	3000.00/1.34	1924.10/1.41	1426.16/1.42
V	92.37/1.52	180.00/1.20	61.40/1.20	69.66/1.47	85.82/1.21
Cr	43.39/1.32	51.10/1.22	17.70/1.00	10.72/1.43	166.85/1.30
Mn	547.66/1.50	1000.00/1.25	400.00/1.00	515.10/1.57	1236.13/1.57
Co	6.03/1.46	15.00/1.28	5.90/1.31	5.89/1.52	10.60/1.17
Ni	18.14/1.47	10.95/1.38	6.60/1.3	6.92/1.28	5.78/1.20
Cu	58.86/1.30	75.00/1.30	40.00/1.43	40.66/1.50	63.77/1.30
Zn	37.31/1.94	110.00/1.30	21.20/1.31	45.26/1.44	90.94/1.33
Ga	12.32/1.36	13.00/1.30	10.00/1.24	10.15/1.35	14.75/1.22
Ge	0.63/1.40	0.60/1.10	0.69/1.32	1.09/1.36	0.30/1.1
Sr	139.14/1.30	200.00/1.10	40.00/1.45	65.14/1.17	135.05/2.11
Y	7.80/1.46	7.00/1.20	10.00/1.38	6.44/1.38	11.23/1.22
Zr	150.58/1.23	66.00/1.20	155.67/1.19	61.02/1.15	118.98/1.24
Nb	3.12/1.22	5.00/1.10	4.50/1.43	3.98/1.19	3.00/1.3
Mo	1.72/1.23	1.25/1.37	1.93/1.35	1.56/1.36	1.54/1.26
Ag	0.06/1.35	0.08/1.90	0.10/1.10	0.08/1.39	0.11/1.85
Sn	1.66/1.47	1.55/1.90	1.70/1.00	2.07/1.12	1.43/1.42
Ba	396.0/1.65	200.0/1.10	200.00/1.33	295.83/1.45	198.52/1.36
Yb	1.10/1.34	1.00/1.46	1.00/1.40	1.00/1.00	1.87/1.29
Pb	6.27/1.27	5.00/1.46	10.00/2.34	10.51/1.40	12.01/1.38
P	2965.35/1.51	2000.00/1.10	1140.00/1.34	1341.08/1.46	3000.00/1.1

ных горизонтов вулканических охристых почв, развитых на пеплах риолито-дацитового состава возрастом ~2920 лет. Поверхностные горизонты вулканических охристых почв центральной района Южной почвенной провинции, образованы на риолито-дацитовых пеплах возрастом ~1400 лет. Поверхностные органогенные горизонты слоисто-охристых почв юго-восточного района Южной почвенной провинции, сформированы на пеплах андезито-базальтового состава возрастом ~100 лет.

Параметры геохимического фона микроэлементов для районов, выделенных почвенных провинций Камчатки, приведены в табл. 1. Для большинства элементов (Be, B, P, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Y, Ag) более высокие значения фоновых содержаний характерны для почв, образованных на основных и средних вулканических пеплах Камчатки (юго-восточный район Южной

провинции и районы Северной провинции) по сравнению с почвами, развитыми на кислых пирокластических отложениях (западный и центральный районы Южной провинции).

Выявленная тенденция сопоставима с кларками микроэлементов для аналогичных типов магматических горных пород [14]. Основные и средние породы также характеризуются повышенными содержаниями большинства элементов относительно кислых разностей.

Типоморфные для кислых магматических пород элементы (Li, Ge, Zr, Nb, Sn, Pb) имеют несколько более высокие содержания в почвах, сформированных на кислых вулканических пеплах. Аналогичная закономерность свойственна микроэлементному составу свежесвыпавших (не промытых атмосферными осадками) пеплов современных извержений вулканов Камчатки [5]. Более высокие значения фоновых содержаний

**Таблица 2.** Фоновые содержания микроэлементов в вулканических почвах Камчатки и зональных почвах бывшего СССР, мг/кг (по [12])

Элемент	Почвы биоклиматических зон бывшего СССР					Почвенные провинции и районы Камчатки				
						северная провинция		южная провинция		
	подзолистые	серые лесные	черноземы	каштановые	сероземы	западный район	восточный район	западный район	центральный район	юго-восточный район
Li	23.5	26.4	33.8	34.2	37.2	28.11	18.9	15.0	25.0	18
Be	1.5	3.0	3.2	4.0	1.0	1.08	1.0	1.1	0.6	0.5
B	5.8	12.3	19.7	30.0	46.0	17.52	30.0	10.3	12.1	30.0
P	700.0	1500.0	700	700.0	700.0	2965.35	2000.0	1140.0	1341.1	3000.0
Ti	4045.0	4400.0	4780	4075.0	1990.0	2953.8	3600.0	3000	1924.1	1426.2
V	63.5	118.0	145	79.0	86.0	92.37	180.0	61.4	69.7	85.8
Cr	180.0	250.0	286	328.0	467.0	43.39	51.1	17.7	10.7	166.9
Mn	715.0	1025.0	885	722.0	725.0	547.66	1000.0	400.0	515.1	1236.1
Co	8.4	12.4	13.2	11.7	6.9	6.03	15.00	5.9	5.9	10.6
Ni	23.2	30.3	72.1	46.0	19.0	18.14	10.95	6.6	6.9	5.8
Cu	15.3	23.5	28.9	15.8	24.0	58.86	75.0	40	40.7	63.8
Zn	41.3	60.0	62	52.3	50.0	37.31	110.0	21.2	45.3	90.9
Sr	238.0	258.0	260.4	287.0	305.0	139.14	200.0	40.0	65.1	135.2
Zr	150.0	442.0	299	420.0	112.0	150.58	61.2	155.7	61.0	119.0
Mo	1.7	3.2	4.2	3.2	3.0	1.72	1.3	1.93	1.6	1.5
Ag	0.1	0.3	0.5	0.4	Нет данных	0.06	0.08	0.1	0.1	0.1
Sn	2.9	2.8	3.2	3.3	4.0	1.66	1.6	1.7	2.07	1.3
Pb	11.5	12.5	13.2	10.0	6.3	6.27	5.0	10.0	10.51	12.1

большинства элементов характерны для базальтовых пеплов вулкана Ключевской по сравнению с андезитовыми пеплами вулкана Карымский.

### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОЧВ

Проведено сравнение полученных региональных фоновых концентраций элементов в поверхностных органогенных горизонтах вулканических почв Камчатки с их фоном для зональных почв бывшего СССР (табл. 2). Как видно соотношение регионального и зонального фонов для конкретных элементов колеблется в широких пределах. Наиболее общими геохимическими особенностями вулканических почв Камчатки относительно зональных почв бывшего СССР являются устойчивые превышения региональных фоновых концентраций меди и фосфора для всех изученных районов; наиболее близкий по содержаниям микроэлементный состав к подзолистым почвам, развитым в сходных природно-климатических условиях.

Для оценки геохимических особенностей вулканических почв Камчатки относительно распространенности микроэлементов в почвах континентов рассчитаны их кларки концентраций (Кк). Результаты расчетов вынесены в табл. 3.

Анализ данных позволяет сделать следующие выводы:

– вулканические почвы, формирующиеся на средних и, особенно, кислых пеплах в целом обеднены микроэлементами относительно их общей распространенности в почвах континентов;

– повышенные содержания элементов (относительно их распространенности в почвах континентов,  $K_k > 1$ ), в той или иной степени, характерны для Cu, Mn, Sc, V и Ag, все из которых более типичны для магматических пород основного состава;

– микроэлементы, типоморфные для кислых магматических пород (Pb, Li, Ba, Mo и др.), имеют низкие содержания ( $K_k < 1$ ) в исследованных вулканических почвах, в том числе непосредственно сформированных на кислых пеплах, вероятно, в связи с изначальной обедненностью

**Таблица 3.** Фоновые содержания микроэлементов в вулканических почвах Камчатки относительно их распространенности в почвах континентов (кларки концентраций)

Элементы	Распространенность в почвах континентов, мг/кг (по [16])	Северная провинция		Южная провинция		
		западный район	восточный район	западный район	центральный район	юго-восточный район
Li	30.00	0.94	0.63	0.50	0.83	0.60
Be	1.50	0.72	0.67	0.73	0.40	0.33
B	31.00	0.57	0.97	0.33	0.39	0.97
Sc	8.00	1.25	0.86	0.66	0.83	1.88
Ti	3700.00	0.80	0.97	0.81	0.52	0.39
V	90.00	1.03	2.00	0.68	0.77	0.95
Cr	60.00	0.72	0.85	0.30	0.18	2.78
Mn	500.00	1.10	2.00	0.80	1.03	2.47
Co	9.00	0.67	1.67	0.66	0.65	1.18
Ni	20.00	0.91	0.55	0.33	0.35	0.29
Cu	23.00	2.56	3.26	1.74	1.77	2.77
Zn	60.00	0.62	1.83	0.35	0.75	1.52
Ga	20.00	0.62	0.65	0.50	0.51	0.74
Ge	1.30	0.48	0.46	0.53	0.84	0.23
Sr	220.00	0.63	0.91	0.18	0.30	0.61
Y	25.00	0.31	0.28	0.40	0.26	0.45
Zr	300.00	0.50	0.22	0.52	0.20	0.40
Nb	11.00	0.28	0.45	0.41	0.36	0.27
Mo	2.00	0.86	0.63	0.97	0.78	0.77
Ag	0.10	0.60	0.80	1.00	0.80	1.10
Sn	1.10	1.51	1.41	1.55	1.88	1.30
Ba	500.00	0.79	0.40	0.40	0.59	0.40
Yb	3.00	0.37	0.33	0.33	0.33	0.62
Pb	20.00	0.31	0.25	0.50	0.53	0.60

этимися элементами всех типов вулканических пеплов Камчатки;

– количество элементов с относительно повышенными содержаниями ( $K_k > 1$ ) в почвах зависит от состава пеплов, в которых они сформированы: отмечается общее увеличение их числа в ряду: кислые – средние – основные пеплы;

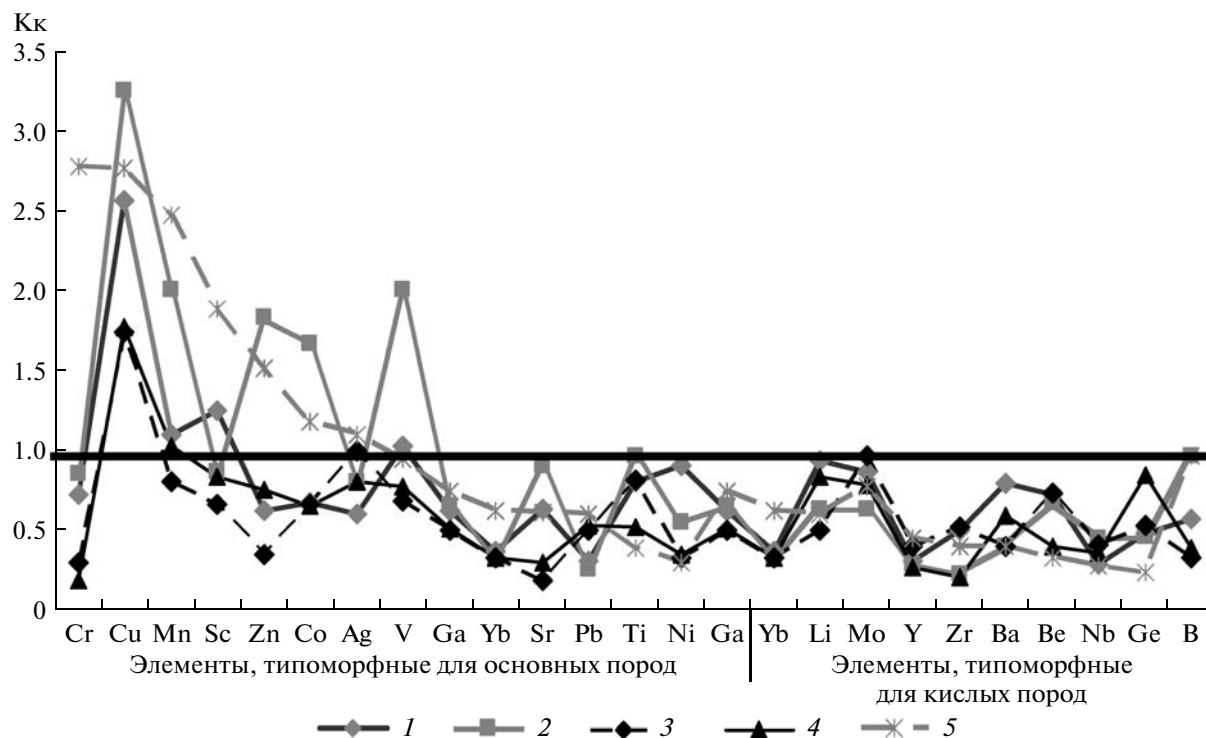
– количество элементов с относительно пониженными содержаниями ( $K_k < 1$ ) в почвах увеличивается в обратном направлении – от основных к кислым пеплам.

Перечисленные особенности геохимических свойств вулканических почв Камчатки отражены на рис. 2. Причины, обуславливающие повсеместные повышенные содержания меди в почвах Камчатки, требуют дальнейших исследований. Необходимо отметить, что высокие содержания меди характерны не только для обсуждаемых вулканических почв, но развиты также в природных

водах Камчатки [5], что нужно оценивать, как общую региональную специфику. Обращает на себя внимание дефицит никеля во всех выделенных районах почвенных провинций Камчатки (элемента типоморфного для основных пород). Наиболее контрастная нехватка этого элемента ( $K_k = 0.29$ ) отмечается для почв, сформированных именно в пеплах основного состава, что может быть объяснено только исходной низкой концентрацией никеля в этих пеплах.

Сравнение кларков концентраций элементов для почв Северной провинции, образованных на разновозрастных вулканических пеплах идентичного состава (восточный и западный районы), показывает значительный разброс этого показателя по ряду элементов. Для почв восточного района Северной провинции, образованных на молодых андезитовых вулканических пеплах (возраст ПП 50 лет), характерны существенно более





**Рис. 2.** Кларки концентраций элементов для почв Камчатки. Северная провинция: 1 – западный район (пеплы среднего состава), 2 – восточный район (пеплы среднего состава); Южная провинция: 3 – западный район (пеплы кислого состава), 4 – центральный район (пеплы кислого состава), 5 – юго-восточный район (пеплы основного состава).

высокие значения Кк для Cu, Mn, V, Zn, Co. Для почв Западного района этой провинции, сформированных на более древних андезитовых вулканических пеплах (возраст ПП 350–970 лет), отмечаются относительно повышенные значения Кк для Sc, Li, Mo, Ni, Ba, Zr.

Здесь необходимо уточнить, что в молодые почвы восточного района Северной провинции регулярно, в небольших количествах поступает свежий пирокластический материал современных извержений активных вулканов Северной группы, один из которых (Ключевской) поставляет базальтовые пеплы. Возможно, именно из-за свежей присыпки базальтового пепла, в почвах этого района повышено содержание элементов (Cu, Mn, V, Zn, Co), типоморфных для основных пород, и относительно занижены концентрации Sc, Li, Mo, Ni, Ba, Zr, в основном преобладающих в кислых породах. Вероятно, различия геохимических особенностей почв этих районов определяются не возрастом, а составом вулканических пеплов, на которых почвы образованы. Безусловно, оценка роли фактора времени в формирование геохимических особенностей вулканических почв требует дальнейших исследований при соблюдении полной идентичности ландшафтных условий (в первую очередь, близости составов пеплов).

В целом, несмотря на различия в микроэлементном составе почв, выделенных районов Камчатки, можно говорить об их общих региональных геохимических особенностях: для всех вулканических почв Камчатки характерны устойчивые высокие содержания Cu и P; почвы всех районов характеризуются более высокими содержаниями (относительно почв континентов) элементов типоморфных для основных магматических пород; во всех почвах наблюдается параллельное уменьшение показателей кларков концентраций от элементов, типоморфных для основных магматических пород, к элементам, типоморфным для кислых разностей.

Фоновые геохимические характеристики почв определяются составом вулканических пеплов, в которых они образованы. Общие геохимические особенности всех почв Камчатки обусловлены сходными свойствами вулканических пеплов, что в свою очередь является, по-видимому, отражением общей геохимической специфики многостадийного вулканизма Камчатского полуострова.

## ВЫВОДЫ

1. Установлен региональный геохимический фон микроэлементов в вулканических почвах, который в большей степени определяется микро-

элементным составом вулканических пеплов, на которых почвы сформированы.

2. Вулканические почвы, формирующиеся на средних и, особенно, кислых пеплах в целом обеднены микроэлементами относительно их общей распространенности в почвах континентов.

3. Более высокие значения фоновых содержания микроэлементов характерны для почв, образованных на средних вулканических пеплах Камчатки по сравнению с почвами, развитыми на кислых пирокластических отложениях.

4. Повышенные содержания элементов в почвах (относительно их распространенности в почвах континентов), в той или иной степени, характерны для Cu, Mn, Sc, V и Ag, все из которых более типичны для магматических пород основного состава.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башарина Л.А. Водные вытяжки пепла и газы пепловой тучи вулкана Безымянного // Бюл. вулканол. станции. 1958. № 27 С. 47–68.
2. Брайцева О.А., Кирьянов В.Ю., Сулержицкий Л.Д. Маркирующие прослои голоценовой тефры Восточной вулканической зоны Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 80–96.
3. Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д., Пономарева В.В., Мелекесцев И.В. Геохронология крупнейших эксплозивных извержений Камчатки в голоцене и их отражение в Гренладском ледниковом щите // Докл. РАН. 1997. Т. 352. № 4. С. 516–518.
4. Гуценко И.И. Пеплы Северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. С. 91–102.
5. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Роль вулканических пеплов в формировании почвенно-растительного покрова в зоне современного эксплозивного вулканизма // Вулканология и сейсмология. 2008. № 1. С. 19–34.
6. Захарихина Л.В., Рассохина Л.И., Литвиненко Ю.С. Ландшафтно-геохимические особенности территорий рудных месторождений Камчатки // География и природные ресурсы. 2005. № 1. С. 103–109.
7. Ковальский В.В., Андрианова Г.А. Микроэлементы в почвах СССР. М.: Наука, 1970. 88 с.
8. Мархинин Е.К., Токарев П.И., Пугач В.Б., Дубик Ю.М. Извержение вулкана Безымянного весной 1961 // Бюл. вулканол. станции. 1963. № 34. С. 12–18.
9. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Базанова Л.И. и др. Особый тип катастрофических эксплозивных извержений – голоценовые субкальдерные извержения Хангар, Ходуткинский “Маар”, Бараний амфитеатр (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1996. № 2. С. 3–23.
10. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. Катастрофические кальдерообразующие извержения вулкана Ксудач в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4–5. С. 28–53.
11. Малюга Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 264 с.
12. Сает Ю.А., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. С. 62–63.
13. Соколов И.А. Вулканизм и почвообразование. М.: Наука, 1973. 224 с.
14. Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А. и др. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 335 с.
15. Товарова И.И. О выносе воднорастворимых веществ из пирокластики вулкана Безымянного // Геохимия. 1958. № 7. С. 45–67.
16. Ярошевский А.А. Проблемы современной геохимии. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2004. 194 с.
17. Bursik K.M., Melekestsev I.V., Braitseva O.A. Most recent deposits of Ksudach volcano, Kamchatka, Russia // Geophysical Research Letters. 1993. V. 20. № 17. P. 1815–1818.