

## РАЙОНИРОВАНИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОЧВ КАМЧАТКИ

© 2009 г. Ю. С. Литвиненко\*, Л. В. Захарихина\*\*

\*ООО ЭкоГеоЛит,

119330 Москва, ул. Мосфильмовская, 17 Б, 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 28.01.2008 г.

Впервые проведено районирование современных вулканических почв Камчатского полуострова по составу и возрасту вулканических пеплов, в которых сформированы их поверхностные органогенные горизонты, с выделением почвенных провинций – Северной, Центральной, Западной и Юго-Восточной. Для вулканических почв выделенных провинций установлены параметры региональных геохимических фонов микроэлементов. Основным фактором, определяющим фоновые концентрации микроэлементов в этих почвах, является состав почвоподстилающих пеплов. Геохимическую специализацию поверхностных органогенных горизонтов вулканических почв Камчатки в той или иной степени, определяют только микроэлементы, имеющие наиболее высокие средние содержания для магматических пород основного состава – Cr, Cu, Mn, Sc, Zn, Co, V, Ag. Максимальное количество избыточных элементов установлено в почвах, сформированных в пеплах основного состава, минимальное – в почвах, сформированных в кислых пеплах. Все выделенные почвенные провинции характеризуются устойчивой медной специализацией. Для идентификации вулканических почв полуострова, образованных в пеплах различного состава, предложен мультипликативный геохимический показатель.

### ВВЕДЕНИЕ

На территории Камчатского полуострова исторически сложились условия почвообразования, связанные с деятельностью вулканических центров, поставлявших на поверхность Земли продукты извержений, контрастно отличающиеся по составу.

Роль почвообразующих пород для большинства почв Камчатки выполняют вулканические пеплы. В отличие от образования профиля постлитогенных (нормальных, остаточных) почв, заключающегося в развитии почвообразующего процесса вглубь подстилающей породы с поглощением входящих в ее состав химических элементов, приращение разреза вулканических почв происходит вверх за счет периодически выпадающего на поверхность пирокластического материала (синлитогенный характер почвообразования). Поскольку вулканические почвы наиболее распространены на территории региона, они приняты нами за основу районирования почвенного покрова, которое в настоящее время отсутствует. Почвы, в генезисе которых вулканизм не является определяющим фактором (аллювиальные, болотные, горные тундровые) на Камчатке занимают незначительные площади.

Еще одной специфической особенностью вулканических почв является полигенетичность строения их профиля, состоящего из нескольких наложенных друг на друга элементарных почвенных профилей,

образование которых связано с периодическим перекрытием поверхности пепловым материалом.

Вместе с тем, характер почвообразования, адекватный современному природно-климатическим условиям, в полной мере отражает поверхностный органогенный горизонт почв, образованный в разных по химическому составу вулканических пеплах. В этом смысле он является типодиагностическим и принят нами в качестве объекта для районирования почв региона, в результате которого выделены четыре основные почвенные провинции Камчатки – Северная, Центральная, Западная и Юго-Восточная.

При проведении эколого-геохимических исследований, мониторинга почв и литохимических поисков месторождений полезных ископаемых широко используются значения регионального геохимического фона микроэлементов в почвах.

В существующих справочных материалах по фону микроэлементов в почвах различных биоклиматических зон территории бывшего СССР [1] и на схематической карте биогеохимических зон и провинций этой территории [2] данные для вулканических почв отсутствуют.

Целью работы являлось районирование и оценка геохимических особенностей вулканических почв Камчатки в связи с составом и возрастом вулканических пеплов, из которых они образованы.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- на основе имеющихся данных [3] и своих наблюдений о распространении идентифицированных вулканических пеплов различного состава и возраста проведено районирование почв полуострова по их поверхностному органогенному горизонту, сформированному в этих пеплах, с выделением почвенных провинций;
- проведена оценка уровня колебаний местного геохимического фона микроэлементов для наиболее распространенных почвенных разновидностей в пределах провинций в зависимости от их сложения и физико-химических свойств, которые в свою очередь обнаруживают различия в зависимости от типа растительности, под которой почвы сформированы;
- выполнено сопоставление вулканических почв Камчатки с зональными почвами различных био-климатических зон территории бывшего СССР;
- рассчитаны параметры регионального фона микроэлементов в поверхностных органогенных горизонтах вулканических почв выделенных провинций и установлена их геохимическая специализация относительно распространенности микроэлементов в почвах континентов;
- выделены основные факторы, определяющие микроэлементный состав вулканических почв.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе работы применялись сравнительно-географический и сравнительно-хронологический методы исследования с изучением морфологических, физико-химических и химических свойств почв. При идентификации вулканических пеплов использовался также мезоморфологический метод. Ареалы распространений вулканических пеплов, в которых образованы поверхностные органогенные горизонты почв, уточнялись и устанавливались путем заложения серии почвенных разрезов в различных районах полуострова.

При изучении геохимических особенностей вулканических почв Камчатки был использован метод эталонных (ключевых) участков, на которых представлены наиболее типичные ландшафтно-геохимические условия, характерные для выделенных почвенных провинций.

Объектом геохимических исследований являлся современный органогенный горизонт, сформированный в приповерхностных пеплах различного состава, по которому проведено районирование почв региона.

Опробование почв проводилось на площадках размером 10 × 10 м (методом “конверта”) и по почвенно-геохимическим профилям, пересекающим наиболее характерные элементарные ландшафты территорий.

Определения валовых содержаний микроэлементов в указанном горизонте осуществлялись методом спектрального анализа. Для установления содержаний элементов, концентрации которых находятся за пределами обнаружения спектрального анализа (селен, теллур, мышьяк, сурьма, ртуть и др.), был использован масс-спектрометрический метод с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) и атомно-абсорбционный анализ. Спектральный анализ выполнен в аналитическом центре Бронницкой геолого-геохимической экспедиции и Центральной лаборатории ОАО “Камчатгеология”. Атомно-абсорбционный и ICP-MS анализы – в отделе научно-производственных аналитических работ Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ).

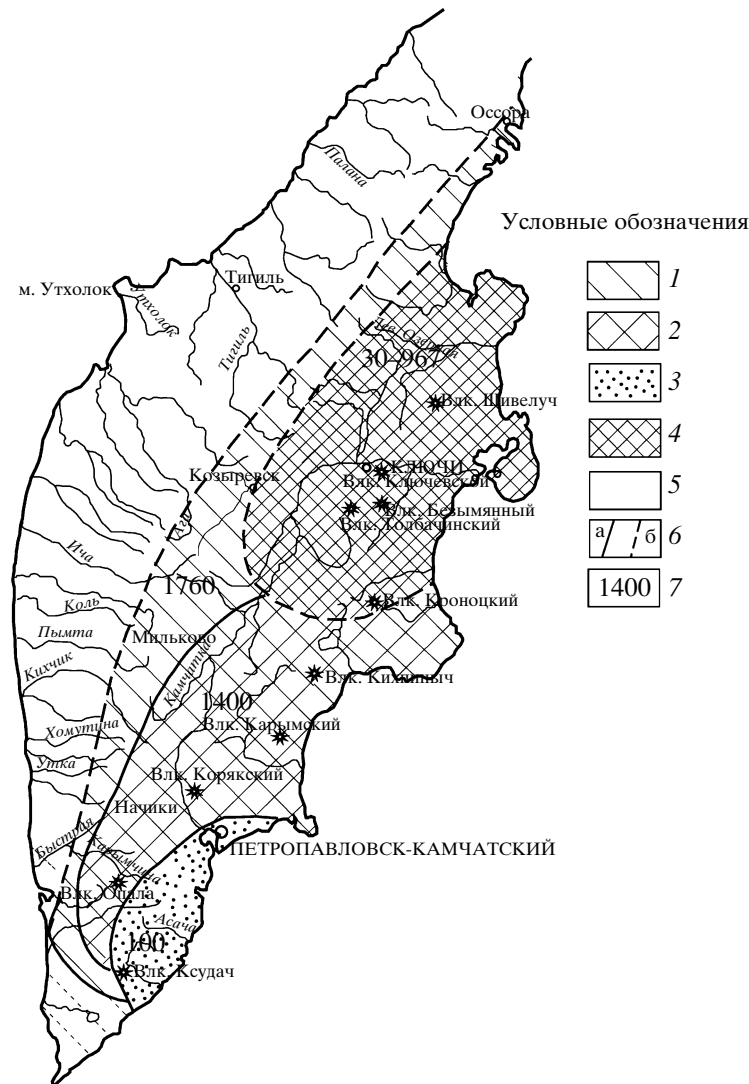
Общую рассеянную распространенность микроэлементов в почвах характеризуют их фоновые концентрации вне явных литохимических аномалий, которые и положены в основу оценки геохимической специализации почв выделенных провинций.

Определение параметров геохимического фона для почв выполнено путем расчета среднегеометрических содержаний в них микроэлементов (Сф) и стандартных множителей (ε) как меры дисперсии включенных в расчеты значений. В фоновые выборки включены пробы, отобранные на значительном удалении от выходов рудных тел месторождений и геохимических аномалий.

Для вулканических почв всех выделенных провинций установлены параметры регионального геохимического фона. С целью оценки размаха концентраций микроэлементов в почвах различных элементарных ландшафтов рассчитаны значения местного геохимического фона по данным опробования наиболее характерных ландшафтно-однородных участков местности в пределах Центральной и Юго-Восточной почвенных провинций.

Для установления геохимической специфики вулканических почв Камчатки полученные значения регионального геохимического фона микроэлементов сопоставлены с величинами их зонального фона, который отражает распространенность элементов в основных типах почв, характерных для почвенно-био-климатических поясов континентов [1].

Оценка геохимической специализации современных вулканических почв выделенных почвенных провинций Камчатского полуострова проведена путем расчета для входящих в их состав микроэлементов коэффициентов  $K_k$ , как отношения регионального фона к общей распространенности микроэлементов в почвах континентов [4]. Геохимическая специализация почв по конкретному элементу считается положительной при  $K_k > 1$ .



**Рис. 1.** Схематическая карта распространения приповерхностных вулканических пеплов Камчатского полуострова [3, 5, 6, 7, 8].

1–3 – зоны распространения пеплов извержений вулканов: 1 – Ксудач, 236 г.н.э. ~ 1760 л.н.; 2 – Опала, 606 г.н.э. ~ 1400 л.н.; 3 – Ксудач, 1907 г. – 100 л.н.; 4 – зона распространения пеплов вулканов северной группы; 5 – зона, не связанная со сколько-нибудь значительным перекрытием поверхности вулканическим пеплом; 6 – границы зон: а) – установленные, б) – предполагаемые; 7 – возраст приповерхностных пеплов (округленно).

### РАЙОНИРОВАНИЕ ПОЧВ КАМЧАТКИ В СВЯЗИ С СОСТАВОМ И ВОЗРАСТОМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕПЛОВ, В КОТОРЫХ ОНИ ОБРАЗОВАНЫ

В настоящее время в вулканологии накоплен обширный материал тифрохронологических исследований с определением абсолютного возраста пепловых прослоев и соответствующих им вулканических событий на основе радиоуглеродного датирования подстилающих и перекрывающих пеплы органических горизонтов [3, 5, 8]. Прослеживая распространение идентифицированных приповерхностных прослоев пеплов (рис. 1), проведем районирование вулканических почв полуострова, поверхностные

органогенные горизонты которых сформированы в пеплах, различающихся по возрасту, составу и источнику извержений.

Северо-восток полуострова и его восточное побережье к северу от вулкана Кроноцкий в основном попадают в ареал распространения почв, образованных в пирокластических отложениях Северной группы вулканов Камчатки. Деятельность этих вулканов (Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Толбачик) сопровождается часто повторяющимися извержениями незначительного количества пирокластического материала преимущественно андезитового, андезитобазальтового составов. Поверхностные органические горизонты почв этой территории сформированы в

довольно молодых пепловых отложениях, возраст которых колеблется ~ в пределах от 30 до 967 лет. Кроме того, их формирование сопряжено с регулярным привнесом свежего пирокластического материала современных извержений действующих вулканов в виде присыпок в поверхностные горизонты почв.

На рис. 1 западная граница ареалов распространения пеплов Северной группы вулканов (показанная как предполагаемая) проходит по верховьям крупных рек восточного побережья.

Однако исследования, проведенные на крайнем северо-западе полуострова, показали, что пеплы этих извержений имеют значительно более обширные ареалы. На мысе Утхолк в процессе почвенно-геоботанических изысканий, проведенных нами совместно с доцентом Санкт-Петербургской Лесотехнической академии, геоботаником В.Ю. Нешатаевым, в лесных и болотных почвах были установлены пепловые прослойки сучесчаного состава, белесой окраски. Наиболее отчетливо эти горизонты диагностировались здесь в многометровых торфяных горизонтах олиготрофных болот. Количество их (четыре) соответствует числу крупнейших извержений вулкана Шивелуч, произошедших в голоцене [5]. Кроме того, характерная окраска пеплов, их гранулометрический состав, а также значительная удаленность территории от других возможных источников (вулканических центров) позволили идентифицировать пеплы как продукты извержений вулкана Шивелуч разных периодов его активности. Очевидно, ареал почв, образованных в вулканических пеплах Северной группы вулканов, простирается вплоть до западного побережья Камчатки.

Центральные и юго-восточные районы полуострова сформированы в пеплах вулканов Южной Камчатки, деятельность которых характеризуется редко происходящими крупными кальдерообразующими извержениями, продукты которых имеют преимущественно кислый (риодацитовый) состав. Молодой пирокластический материал на эти территории не поставлялся уже довольно длительное время. Поверхностные органогенные горизонты почв образованы здесь в достаточно древних (для процессов почвообразования) пеплах: центральная часть – в риодацитовых пеплах извержения вулкана Опала возраста ~1400 лет, западный участок – в пеплах аналогичного состава вулкана Ксудач, возраста ~1760 лет. При этом наши исследования, проведенные в верховьях р. Ага показали, что западная граница пепла вулкана Ксудач проходит значительно восточнее указанной на рис. 1, вероятно, по Срединному хребту Камчатки, так как пепел названного извержения на этой территории (верховья р. Ага) не установлен.

Западное побережье находится на значительном удалении от центров активного вулканизма. По данным тифрохронологических исследований весь

этот район попадает в зону распространения почв, генезис которых не был связан со сколько-нибудь значительным перекрытием поверхности пепловым материалом.

Вместе с тем, на юго-западе Камчатки в верхней части почвенного профиля под поверхностным грубогумусовым горизонтом нами был установлен прослой вулканического пепла, не отраженный на схемах тифрохронологических исследований [9]. Пепел этот имеет легко суглинистый гранулометрический состав, светло-серый цвет, по химическому составу является риолито-дацитовым. Ареал его распространения довольно обширный – прослеживается с юга на север от р. Быстрой до р. Ага. Абсолютный возраст этого образования составляет ~ 2920 лет (устное сообщение О.А. Брайцевой). Принадлежность его к конкретному вулканическому событию на сегодня не установлена. Кислый состав пепла, его довольно древний возраст, обширный ареал распространения позволяют происхождение пепла пока условно отнести к крупным кальдерообразующим извержениям вулканов Южной Камчатки.

В целом можно говорить, что почвы центральных, южных и юго-западных районов Камчатки сформированы, как правило, в кислых пеплах вулканов Южной Камчатки, а почвы севера полуострова – в основных и средних пеплах вулканов Северной группы.

В ареале распространения кислых пеплов вулканов Южной Камчатки выделяется небольшой район на крайнем юго-востоке полуострова, поверхностные горизонты почв которого образованы в сравнительно молодом (извержение 1907 г) пепле вулкана Ксудач. Этот материал, в отличие от большинства продуктов более древних извержений названного вулкана, имеет средне-основной, основной состав. Вся нижележащая часть почвенного профиля здесь образована в кислых пирокластических отложениях.

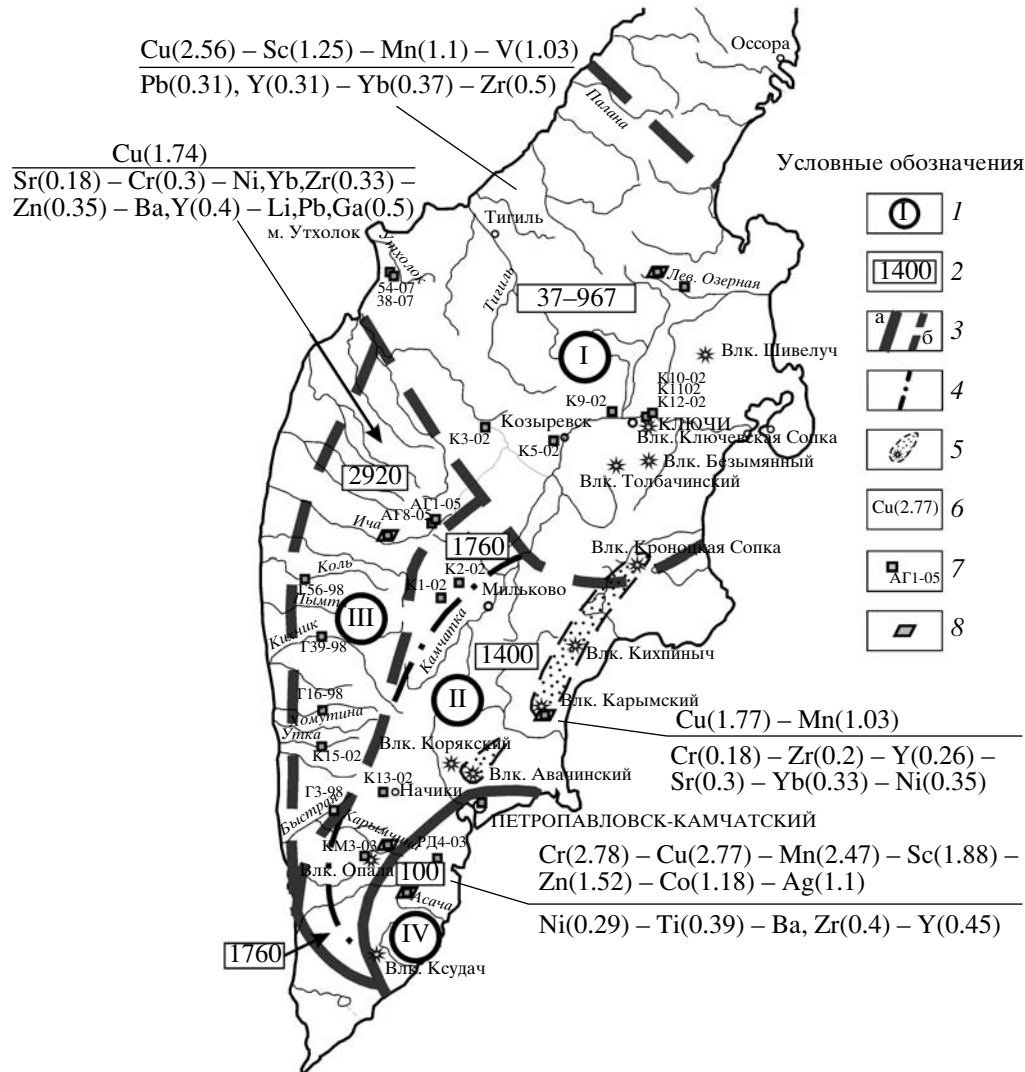
На основе охарактеризованных выше различий в составе и возрасте приповерхностных вулканических пеплов, в которых сформированы современные горизонты почв, выделено четыре основных почвенных провинции Камчатского полуострова (рис. 2).

– Северная. Поверхностные горизонты почв образованы в пеплах андезитового состава вулканов Северной группы Камчатки, возраст пеплов ~30–967 лет.

– Центральная. Поверхностные горизонты почв образованы в пеплах риодацитового состава вулкана Опала, возраст пепла ~1400 лет, и пеплах аналогичного состава вулкана Ксудач, возраста ~1760 лет.

– Западная. Поверхностные горизонты почв образованы в пеплах риодацитового состава неопознанной принадлежности, возраста ~2920 лет.

– Юго-Восточная. Поверхностные горизонты почв образованы в пеплах андезибазальтового состава вулкана Ксудач, возраст пепла ~100 лет.



**Рис. 2.** Схематическая карта районирования и геохимической специализации вулканических почв Камчатского полуострова. 1 – почвенные провинции (состав приповерхностных пеплов): I – Северная (пеплы андезитового состава), II – Центральная (пеплы риодацитового состава), III – Западная (пеплы риодацитового состава), IV – Юго-Восточная (пеплы андезибазальтового состава); 2 – возраст приповерхностных пеплов (лет); 3 – границы почвенных провинций: а – установленные, б – предполагаемые; 4 – граница между почвами, сформированными в пеплах идентичного состава вулкана Опала и Ксудач в пределах Центральной почвенной провинции; 5 – локальные ареалы свежих пеплов вблизи действующих вулканов Камчатки; 6 – в скобках геохимических формул указаны коэффициенты Кк элементов для вулканических почв провинций относительно их распространения в почвах континентов [4]; 7 – места заложения опорных почвенных разрезов, уточняющих распространение маркирующих пеплов, их номера; 8 – участки детальных геохимических исследований почв.

Ввиду отсутствия достаточного количества данных по распространности почв, сформированных в пеплах вулкана Ксудач, на этом этапе исследования они отнесены к Центральной почвенной провинции с определенной долей условности.

Современные почвообразующие процессы в пределах Центральной, частично, Северной и Юго-Восточной провинций осложнены в локальных зонах регулярным выпадением молодых пеплов действующих вулканов (Карымского, Кихпинич, Авачинского, Кроноцкого и др.). Почвы в таких зонах находятся в начальной стадии формирования, их

геохимические особенности специфичны, определяются характером извержений конкретных вулканов и отличаются от геохимических особенностей почв включающих их провинций.

### СПЕЦИФИКА ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Как отмечено выше, роль почвообразующих пород для всех вулканических почв Камчатки выполняют слабовыветривающиеся вулканические пеплы. Известно, что в процессе извержения и далее

при движении от источника до места выпадения пеплы сорбируют на своей поверхности химические вещества, в том числе микроэлементы [10–13], которые позже определяют геохимический состав формирующихся в них почв.

Это подтверждают наши исследования, проведенные ранее вблизи действующего вулкана Карымский [14], где современные геохимические характеристики вулканических почв в зоне активного эксплозивного вулканизма определяются составом свежевыпавших пеплов и, главным образом, содержанием в них растворимых форм микроэлементов, сорбирующихся на пепловых частицах.

Способность почвы поглощать элементы различного генезиса в большой степени определяются ее физико-химическими свойствами. К наиболее актуальным из них следует отнести: содержание в почвах высокодисперсного органического вещества – собственно гумуса (органические коллоиды почвы имеют более высокую емкость поглощения, чем минеральные частицы); степень насыщенности почв основаниями и показатель рН почвенной вытяжки. Чем выше указанные характеристики, тем большей поглощательной способностью обладают почвы.

Различия названных свойств поверхностных органогенных горизонтов вулканической почвы напрямую связаны с типом произрастающей на ней растительности. Под каменно-березовыми лесами в условиях Камчатки формируются грубогумусовые горизонты, под лугами – дерновые. Для почв, формирующихся под ольховыми стланиками и горно-тундровыми сообществами, характерны перегнойные высокогумусированные образования.

В целом все вулканические почвы Камчатки отличаются высоким содержанием органического вещества, кислой или слабокислой реакцией среды и низкой насыщенностью основаниями. Из всех названных выше почвенных разновидностей наиболее богаты органическим веществом почвы стланиковых лесов и горных тундр. Содержание углерода в их перегнойных горизонтах достигают ~15–20%. При этом для почв ольховых стлаников характерны самый низкий показатель рН водной почвенной вытяжки, до 4.22 единиц, и самая низкая для вулканических почв степень насыщенности основаниями ~1.7–5.9%. Почвы горных тундр характеризуются более высокими значениями водородного показателя рН (4.8–5.0) и несколько более насыщены основаниями ~ до 15–18%.

Наиболее низкие содержания органического вещества характерны, как правило, для почв каменно-березовых лесов ~7–11% углерода. При этом реакция среды в них близка нейтральной, показатель рН варьирует в пределах ~5.9 – 6.5, насыщенность основаниями в почвах средняя ~20–30%.

Содержание углерода в поверхностных дерновых горизонтах почв лугов ~10–17%, насыщенность

основаниями в почвах ~35–55%, реакция среды близка к нейтральной.

## ФОНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СОВРЕМЕННЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОЧВАХ КАМЧАТСКОГО ПОЛУОСТРОВА

### *Северная почвенная провинция*

Как отмечалось выше, современные горизонты почв Северной почвенной провинции формируются в пеплах Северной группы вулканов Камчатки, которые имеют преимущественно андезитовый состав и достаточно молодой возраст.

Геохимические исследования почв провинции проведены на севере Камчатского полуострова в верховьях реки Левая Озерная, на площади более 100 км<sup>2</sup>, где представлены типичные для территории элементарные ландшафты.

Расчеты параметров регионального геохимического фона произведены по пробам, отобранным из наиболее характерных типов вулканических почв района:

- слоисто-охристых грубогумусовых почв каменно-березовых лесов;
- охристых типичных перегнойных почв ольхово-стланиковых лесов.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

### *Центральная почвенная провинция*

Геохимические особенности поверхностного горизонта почв Центральной почвенной провинции, сформированных в кислых риодацитовых пеплах вулкана Опала, изучены в районе среднего течения р. Карымчина, на площади более 140 км<sup>2</sup>.

В пределах исследуемого района обследованы наиболее распространенные типы вулканических почв:

- охристые типичные перегнойные почвы ольхово-стланиковых лесов;
- слоисто-охристые грубогумусовые почвы каменно-березовых лесов;
- охристые типичные дерновые почвы субальпийских лугов и лугов лесного пояса;
- горные тундровые почвы горных тундр.

Параметры местного геохимического фона микроэлементов в современных органогенных горизонтах указанных типов почв приведены в табл. 2.

Максимальные фоновые содержания микроэлементов довольно равномерно распределены между почвенными типами, не обнаруживая какой-либо закономерности, и носят случайный характер.

Наиболее низкие значения фоновых концентраций большинства микроэлементов, напротив, тяготеют к конкретным типам почв – слоисто-охристым

**Таблица 1.** Региональный геохимический фон микроэлементов в вулканических почвах Северной почвенной провинции (Сф в мг/кг)

Элементы	Сф $n = 450$	$\epsilon$	Элементы	Сф $n = 450$	$\epsilon$	Элементы	Сф $n = 450$	$\epsilon$
Li	28.11	1.34	Zn	37.31	1.94	Sn	1.66	1.47
Be	1.08	1.34	Ga	12.32	1.36	Sb	0.70*	1.35
B	17.52	1.37	Ge	0.63	1.40	Te	<0.06*	–
P	2965.35	1.51	As	6.64*	1.46	Cs	1.23*	1.39
Sc	9.98	1.70	Se	<3*	–	Ba	326.54	1.65
Ti	2953.8	1.28	Sr	139.14	1.30	Yb	1.10	1.31
V	92.37	1.52	Y	7.80	1.46	W	0.31*	1.38
Cr	43.39	1.32	Zr	150.58	1.23	Tl	0.19*	1.39
Mn	547.66	1.50	Nb	3.12	1.22	Pb	6.27	1.27
Co	6.03	1.46	Mo	1.72	1.23	Bi	0.13*	1.28
Ni	18.14	1.47	Ag	0.06	1.35	Th	1.40*	1.28
Cu	58.86	1.30	Cd	0.14*	1.25	U	0.72*	1.28

Примечание. “\*” – данные ICP-MS анализа;  $n$  – здесь и далее – количество проб, включенных в расчет.

**Таблица 2.** Параметры местного геохимического фона микроэлементов в разновидностях вулканических почв Центральной почвенной провинции (Сф в мг/кг)

Элемент	Почвы ольховых стлаников		Почвы каменно-березовых лесов		Почвы субальпийских лугов и лугов лесного пояса		Почвы горных тундр	
	Сф ( $n = 108$ )	$\epsilon$	Сф ( $n = 75$ )	$\epsilon$	Сф ( $n = 52$ )	$\epsilon$	Сф ( $n = 93$ )	$\epsilon$
Sc	7.36	1.29	5.62	1.21	7.02	1.28	7.71	1.28
V	74.59	1.24	58.10	1.32	70.20	1.33	63.33	1.70
Cr	7.91	1.45	9.59	1.41	6.10	1.56	8.43	1.68
Mn	523.94	1.42	572.93	1.45	560.04	1.40	574.77	1.60
Co	3.77	1.49	5.26	1.36	5.37	1.51	6.43	1.60
Ni	6.27	1.39	6.52	1.28	7.66	1.41	7.14	1.35
Cu	43.12	1.26	32.91	1.35	39.70	1.31	36.71	1.60
Zn	25.56	1.52	51.19	1.37	47.02	1.47	57.06	1.56
As	1.79*	1.17	–	–	–	–	–	–
Se	<0.5*	–	–	–	–	–	–	–
Sr	76.69	1.18	74.18	1.23	92.66	1.47	80.23	1.34
Mo	1.03	1.52	1.90	1.21	0.92	1.43	0.98	1.42
Ag	0.08	1.39	0.09	1.51	0.06	1.21	0.06	1.23
Sb	<1*	–	–	–	–	–	–	–
Te	0.001*	1.41	–	–	–	–	–	–
Hg	0.02*	1.76	–	–	–	–	–	–
Pb	8.91	1.16	13.14	1.30	9.71	1.22	10.51	1.32

Примечание. “–” – нет данных; “\*” – данные атомно-абсорбционного анализа.

грубогумусовым почвам каменно-березовых лесов или охристым типичным перегнойным почвам ольховых стлаников. Первые из них характеризуются невысоким содержанием органического вещества, а в почвах ольховых стлаников, хотя и отмечается вы-

сокое содержание углерода, но они слабо насыщены основаниями и имеют кислую или слабо кислую реакцию среды. Эти обстоятельства можно рассматривать как дополнительные факторы увеличения миграционной способности ряда микроэлементов и

**Таблица 3.** Параметры регионального геохимического фона микроэлементов в вулканических почвах Центральной почвенной провинции (Сф в мг/кг,  $n = 120$ )

Элементы	Сф	ε	Элементы	Сф	ε	Элементы	Сф	ε
Li	24.98	1.25	Ni	6.92	1.28	Nb	3.98	1.19
Be	<1	–	Cu	40.66	1.50	Mo	1.56	1.36
B	12.08	1.48	Zn	45.26	1.44	Ag	0.08	1.39
P	1341.08	1.46	Ga	10.15	1.35	Sn	2.07	1.12
Sc	6.60	1.28	Ge	1.09	1.36	Sb	<1*	–
Ti	1924.10	1.41	As	1.79*	1.17	Te	0.001*	1.41
V	69.66	1.47	Se	<0.5*	–	Ba	295.83	1.45
Cr	10.72	1.43	Sr	65.14	1.17	Yb	1.00	1.00
Mn	515.10	1.57	Y	6.44	1.38	Hg	0.02*	1.76
Co	5.89	1.52	Zr	61.02	1.15	Pb	10.51	1.40

Примечание. “–” – нет данных; “\*” – данные атомно-абсорбционного анализа.

выноса их из указанных почв. Исключения составляют Mo и Ag, минимальные значения фона которых установлены в почвах лугов и горных тундр. Объяснение этому необходимо искать в свойствах данных элементов: с увеличением кислотности среды подвижность Mo падает, а весьма низкие концентрации Ag в почвах обуславливают малую роль реакции среды, как фактора его миграции.

Фоновые концентрации таких элементов, как Te, Se, As, Sb и Hg, установленные только для наиболее распространенных на исследуемой территории почв ольховых стлаников, крайне низки и находятся на уровне или ниже предела обнаружения атомно-абсорбционного анализа.

Размахи значений фоновых концентраций элементов ( $C_{f_{max}}/C_{f_{min}}$ ) в выделенных разновидностях вулканических почв показаны ниже в виде ранжированного по данному показателю ряда:

Zn (2.23) – Mo (2.06) – Co (1.71) – Cr (1.57) – Ag (1.5) – Pb (1.47) – Sc (1.37) – Cu (1.31) – V (1.28) – Ni (1.22) – Mn (1.1) – Sr (1.08).

Сравнительно невысокие величины этих размахов позволили объединить выборки, по которым произведены подсчеты местного фона, и рассчитать параметры единого регионального геохимического фона микроэлементов в вулканических почвах Центральной почвенной провинции (табл. 3).

#### *Западная почвенная провинция*

Западная почвенная провинция наиболее удалена от центров активного вулканизма, имеет ридоцитовый состав приповерхностного пепла и самый древний его возраст. Параметры регионального геохимического фона для почв провинции рассчитаны по данным опробования характерной территории в верховьях р. Ича площадью около 70 км<sup>2</sup> (табл. 4).

Фоновая выборка составлена по результатам анализа проб, отобранных из современного органогенного горизонта наиболее распространенных в провинции вулканических охристых типичных почв каменноберезовых лесов и ольховых стлаников.

#### *Юго-Восточная почвенная провинция*

Геохимические особенности почв Юго-Восточной почвенной провинции, сформированных в андезибазальтовых пеплах вулкана Ксудач, изучены на примере территории в верховьях р. Асача площадью около 20 км<sup>2</sup>.

Опробование выполнено в ареалах развития наиболее распространенных на территории вулканических охристых типичных почв: каменно-березовых лесов, ольховых стлаников и лугов лесного пояса.

Результаты расчетов фоновых концентраций микроэлементов для современных органогенных горизонтах указанных вулканических почв приведены в табл. 5.

Как следует из приведенных данных, среди рассматриваемых почвенных разновидностей невозможно выделить почвы, отличающиеся явным обогащением или дефицитом преобладающего числа элементов. Максимальные и минимальные значения фоновых содержаний различных элементов равномерно распределены между ними. При этом размахи фоновых концентраций для части элементов обнаруживают сравнительно высокие значения. Ряд микроэлементов, ранжированных по величине этого показателя, имеет вид:

Ag(2.86) – Sr(2.5) – Mn(2.47) – Sn(2.07) – Ti(1.86) – Yb(1.77) – Ba(1.67) – Li(1.67) – Y(1.63) – Zr(1.59) – Pb(1.55) – Co(1.5) – Cu(1.44) – V(1.43) – Zn(1.35) – Ga(1.2) – Mo(1.2) – Cr(1.12) – Ni(1.01) – Sc (1.00).

Причину такой геохимической особенности современных вулканических почв Юго-Восточной



**Таблица 4.** Параметры регионального геохимического фона микроэлементов в вулканических почвах Западной почвенной провинции (Сф в мг/кг,  $n = 40$ )

Элементы	Сф $n = 493$	$\epsilon$	Элементы	Сф $n = 493$	$\epsilon$	Элементы	Сф $n = 493$	$\epsilon$
Li	30	1.23	Ga	10	1.24	Sb	0.25*	–
Be	1.1	1.12	As	4.2*	–	Te	<0.02*	–
Sc	5	1	Se	1.4*	–	Cs	3.7*	–
Ti	3000	1.34	Sr	40	1.45	Ba	200	1.33
V	61.4	1.2	Y	10	1.38	Yb	1	1.4
Cr	17.7	1	Zr	155.67	1.19	W	1.4*	–
Mn	400	1	Nb	4.5	1.43	Tl	0.25*	–
Co	5.9	1.31	Mo	1.3	1.35	Pb	10	2.34
Ni	6.6	1.3	Ag	0.1	1.1	Bi	1.19	1.26
Cu	40	1.43	Cd	0.11*	–	Th	2.0*	–
Zn	21.2	1.31	Sn	2	1	U	1.1*	–

Примечание. “–” – нет данных; “\*” – данные ICP-MS анализа.

почвенной провинции необходимо искать в контрастном составе пеплов, входящих в состав почвенного профиля. Под андезибазальтовыми приповерхностными пеплами повсеместно залегает почвенный профиль, образованный прослоями кислых вулканических пеплов, перемежаемых погребенными гумусовыми горизонтами. Корневая система растений, проникающая на значительную глубину, пронизывает, в том числе, и кислые продукты извержений вулканов. Все это не может не привести к проявлению сложных по составу миграционных биогеохимических и гидрогеохимических процессов. В результате в приповерхностных почвенных горизонтах локальные участки с повышенными концентрациями элементов, характерных для основных пеплов, могут чередоваться с участками их выноса и переотложения элементов из более глубоких кислых горизонтов, что приводит к значительному увеличению разброса значений местного геохимического фона.

Результаты расчетов параметров регионального геохимического фона микроэлементов в современных вулканических почвах Юго-Восточной провинции, выполненных по всему массиву данных, вынесены в таблицу 6.

#### РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ПОЧВЕННЫХ ПРОВИНЦИЙ КАМЧАТКИ

Сравнение полученных региональных фоновых концентраций элементов в приповерхностных горизонтах вулканических почв Камчатки с их фоном для зональных почв бывшего СССР приведено в таблице 7.

Установлено, что соотношения регионального и зонального фонов для конкретных элементов ко-

леблются в широких пределах в зависимости от типа сравниваемых зональных почв и принадлежности вулканических почв к той или иной из выделенных почвенных провинций.

Наиболее общими геохимическими особенностями вулканических почв Камчатки относительно зональных почв бывшего СССР являются:

- устойчивые превышения региональных фоновых концентраций меди;
- близкие содержания свинца;
- устойчивый дефицит таких элементов, как хром, никель, стронций, олово, молибден и серебро;
- в целом более бедный (за исключением Cu) микроэлементный состав почв, сформированных в кислых пеплах (Центральная и Западная провинции), относительно большинства типов зональных почв.

Необходимо отметить наличие для вулканических почв абсолютных максимумов фоновых концентраций фосфора, мышьяка (Северная провинция), марганца и цинка (Юго-Восточная провинция).

Для оценки геохимической специализации современных вулканических почв выделенных почвенных провинций Камчатского полуострова рассчитаны коэффициенты  $K_k$  для входящих в их состав микроэлементов (табл. 8).

Расчеты показывают общую повышенную величину  $K_k$  олова для вулканических почв Камчатки. В то же время, при сопоставлении полученных данных с микроэлементным составом зональных почв бывшего СССР (см. выше табл. 7), было установлено, что фоновые концентрации олова в вулканических почвах существенно уступают его фону для всех типов зональных почв. Причина этого несоответствия может быть объяснена заниженным значением распространенности олова в почвах континентов, используемого нами при расчетах его  $K_k$  – 1.1 мг/кг [4], которое существенно ниже данных других авто-

**Таблица 5.** Местный геохимический фон микроэлементов в разновидностях вулканических почв Юго-Восточной почвенной провинции (Сф в мг/кг)

Элемент	Почвы каменно-березовых лесов	Почвы ольховых стлаников	Почвы лугов лесного пояса
	Сф ( $n = 10$ )	Сф ( $n = 5$ )	Сф ( $n = 5$ )
Li	(15.00)	25.00	17.50
Sc	15.00	15.00	15.00
Ti	1861.21	1000.00	1000.00
V	91.47	70.00	100.00
Cr	156.51	175.00	175.00
Mn	1732.05	700.00	1250.00
Co	10.00	10.00	15.00
Ni	5.92	6.00	6.00
Cu	59.16	85.00	60.00
Zn	92.59	85.00	125.00
Ga	14.56	15.00	12.50
Sr	200.00	80.00	90.00
Y	12.25	10.00	7.50
Zr	135.54	100.00	85.00
Mo	1.46	1.75	1.50
Ag	0.07	0.15	0.2
Sn	1.86	1.00	0.90
Ba	227.95	150.00	250.00
Yb	2.21	1.50	1.25
Pb	12.25	15.00	19.00

Примечание.  $n$  – количество объединенных проб, включенных в расчет.

ров – до 10 мг/кг [15]. Очевидно, выявленная оловянная специализация вулканических почв Камчатки имеет наведенный характер. В связи с чем этот элемент был исключен из числа избыточных.

По данным, приведенным в табл. 8, составлены геохимические формулы для выделенных почвенных провинций Камчатского полуострова.

**Таблица 6.** Параметры регионального геохимического фона микроэлементов в вулканических почвах Юго-Восточной почвенной провинции (Сф в мг/кг,  $n = 20$ )

Элемент	Сф	$\epsilon$	Элемент	Сф	$\epsilon$	Элемент	Сф	$\epsilon$
Li	17.98	1.30	Ni	5.78	1.20	Mo	1.54	1.26
Sc	15.00	1.00	Cu	63.77	1.30	Ag	0.11	1.85
Ti	1426.16	1.42	Zn	90.94	1.33	Sn	1.43	1.42
V	85.82	1.21	Ga	14.75	1.22	Ba	198.52	1.36
Cr	166.85	1.30	Sr	135.05	2.11	Yb	1.87	1.29
Mn	1236.13	1.57	Y	11.23	1.22	Pb	12.01	1.38
Co	10.60	1.17	Zr	118.98	1.24			

В числителе формул помещены элементы (без учета Sn) с региональными фоновыми концентрациями, превышающими их общую распространенность в почвах континентов ( $K_k > 1$ ), а в знаменателе – элементы, дефицитные относительно этой величины ( $K_k < 1$ ). Элементы в формулах ранжированы по значениям  $K_k$ , приведенным в скобках.

**Юго-Восточная провинция:**

Cr(2.78) – Cu(2.77) – Mn(2.47) – Sc (1.88) – Zn(1.52) – Co(1.18) – Ag(1.1)

V(0.95) – Mo(0.77) – Ga(0.74) – Yb(0.62) – Sr(0.61) – Li(0.6), Pb(0.6) – Y(0.45) – Zr(0.4), Ba(0.4) – Ti(0.39) – Ni(0.29).

**Северная провинция:**

Cu(2.56) – Sc (1.25) – Mn(1.1) – V(1.03)

Li(0.94) – Ni(0.91) – Mo(0.86) – Ti(0.8) – Cr(0.72) – Co(0.67) – Ba(0.65) – Sr(0.63) – Zn(0.62), Ga(0.62) – Ag(0.6) – Zr(0.50) – Yb(0.37) – Y(0.31), Pb(0.31).

**Центральная провинция:**

Cu(1.77) – Mn(1.03)

Sc (0.83), Li(0.83) – Ag(0.80) – Mo(0.78) – V(0.77) – Zn(0.75) – Co(0.65) – Ba(0.59) – Pb(0.53) – Ti(0.52) – Ga(0.51) – Ni(0.35) – Yb(0.33) – Sr(0.30) – Y(0.26) – Zr(0.20) – Cr(0.18).

**Западная провинция:**

Cu(1.74)

Ag(1.00) – Ti(0.81) – Mn(0.80) – V(0.68) – Co(0.66) – Mo(0.65) – Sc (0.63) – Ga(0.50), Pb(0.50), Li(0.50) – Y(0.40) – Ba(0.40) – Zn(0.35) – Zr(0.33), Yb(0.33), Ni(0.33) – Cr(0.30) – Sr(0.18).

Представленные формулы отражают геохимическую специализацию почв выделенных почвенных провинций Камчатки. Их анализ позволяет сделать следующие выводы:

– вулканические почвы, формирующиеся в средних и, особенно, кислых пеплах, составляющих основную часть почвенного покрова Камчатки, в це-

**Таблица 7.** Сравнение фоновых содержаний микроэлементов в вулканических почвах Камчатки и зональных почвах бывшего СССР (мг/кг) [1]

Элемент	Почвы биоклиматических зон бывшего СССР					Почвенные провинции Камчатки			
	Подзолистые	Серые лесные	Черноземы	Каштановые	Сероземы	Северная	Центральная	Юго-Восточная	ападная
Li	23.5	26.4	33.8	34.2	37.2	28.1	25.0	18.0	–
Be	1.5	3	3.2	4	1	1.1	0.5	–	–
B	5.8	12.3	19.7	30	46	17.5	12.1	–	–
P	700	1500	700	700	700	2965.4	1341.1	–	–
Ti	4045	4400	4780	4075	1990	2953.8	1924.1	1426.2	3000.0
V	63.5	118	145	79	86	92.4	69.7	85.8	61.4
Cr	180	250	286	328	467	43.4	10.7	166.9	17.7
Mn	715	1025	885	722	725	547.7	515.1	1236.1	400.0
Co	8.4	12.4	13.2	11.7	6.9	6.0	5.9	10.6	5.9
Ni	23.2	30.3	72.1	46	19	18.1	6.9	5.8	6.6
Cu	15.3	23.5	28.9	15.8	24	58.9	40.7	63.8	40.0
Zn	41.3	60	62	52.3	50	37.3	45.3	90.9	21.2
As	3	4.7	5.9	5.2	2.5	6.6	1.8	–	–
Sr	238	258	260.4	287	305	139.1	65.1	135.1	40.0
Zr	150	442	299	420	112	150.6	61.0	119.0	100
Mo	1.7	3.2	4.2	3.2	3	1.7	1.6	1.5	1.3
Ag	0.1	0.3	0.5	0.4	–	0.1	0.1	0.1	0.1
Sn	2.9	2.8	3.2	3.3	4	1.7	2.1	1.4	2.0
Pb	11.5	12.5	13.2	10.0	6.3	6.3	10.5	12.0	10.0

Примечание. “–” – нет данных.

лом обеднены микроэлементами относительно их общей распространенности в почвах континентов;

– положительную геохимическую специализацию вулканических почв Камчатки, в той или иной степени, определяют 8 элементов (из числа изученных): Cr, Cu, Mn, Sc, Zn, Co, V, Ag, все из которых более типичны для магматических пород основного состава (в том числе и упомянутые выше при сравнении с зональными почвами Р и As);

– микроэлементы, типоморфные для кислых магматических пород (Pb, Li, Ba, Mo и др.), являются дефицитными для исследованных вулканических почв, в том числе непосредственно сформированных в кислых пеплах, вероятно, в связи с изначальной обедненностью этими элементами всех типов рассматриваемых в работе вулканических пеплов – от основных до кислых, что в свою очередь является, по-видимому, отражением общей геохимической специфики многостадийного вулканизма Камчатского полуострова;

– вулканические почвы всех провинций характеризуются устойчивой медной специализацией, наиболее контрастно проявленной в почвах, сформированных в средних и основных пеплах;

– количество избыточных элементов в почвах зависит от состава пеплов, в которых они сформированы: отмечается общее увеличение их числа в ряду кислые – средние – основные пеплы, что в полной мере согласуется с вышеупомянутой типоморфной принадлежностью этих элементов к магматическим породам основного состава;

– количество дефицитных элементов и степень их дефицитности в почвах увеличивается в обратном направлении – от основных к кислым пеплам.

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, что нужно оценивать, как общую региональную специфику.

Учитывая выявленную высокую активность в формировании геохимической специализации вулканических почв Камчатки микроэлементов, типоморфных для магматических пород основного ряда, обращает на себя внимание дефицит никеля во всех выделенных почвенных провинциях. Наиболее контрастная нехватка этого элемента ( $K_k = 0.29$ ) отме-

**Таблица 8.** Распространенность микроэлементов в почвах континентов и их коэффициенты Кк для вулканических почв Камчатки

Элементы	Распространенность в почвах континентов, мг/кг [4]	Почвенные провинции Камчатского полуострова и Кк элементов в почвах			
		Юго-Восточная	Северная	Центральная	Западная
Li	30	0.6	0.94	0.83	(0.50)
Sc	8	<b>1.88</b>	<b>1.25</b>	0.83	0.63
Ti	3700	0.39	0.8	0.52	0.81
V	90	0.95	<b>1.03</b>	0.77	0.68
Cr	60	<b>2.78</b>	0.72	0.18	0.30
Mn	500	<b>2.47</b>	<b>1.1</b>	<b>1.03</b>	0.80
Co	9	<b>1.18</b>	0.67	0.65	0.66
Ni	20	0.29	0.91	0.35	0.33
Cu	23	2.77	<b>2.56</b>	<b>1.77</b>	<b>1.74</b>
Zn	60	<b>1.52</b>	0.62	0.75	0.35
Ga	20	0.74	0.62	0.51	0.50
Sr	220	0.61	0.63	0.3	0.18
Y	25	0.45	0.31	0.26	0.40
Zr	300	0.4	0.5	0.2	0.33
Mo	2	0.77	0.86	0.78	0.65
Ag	0.1	<b>1.1</b>	0.6	0.8	1.00
Sn	1.1	<b>1.3</b>	<b>1.51</b>	<b>1.88</b>	<b>1.82</b>
Ba	500	0.4	0.65	0.59	0.40
Yb	3	0.62	0.37	0.33	0.33
Pb	20	0.6	0.31	0.53	0.50

чается для почв, сформированных именно в пеплах основного состава, что может быть объяснено только исходной низкой концентрацией никеля в этих пеплах.

Дефицит никеля в современных почвах Западной провинции вполне согласуется с кислым составом почвоподстилающих пеплов, но не соответствует металлогенической специализации данного района Камчатки. В пределах этой почвенной провинции находится обширная никеленосная металлогеническая зона. Последнее обстоятельство является еще одним подтверждением того, что геохимический состав почв региона определяется составом вулканических пеплов, в которых они сформированы, а не составом геологического основания как в классических случаях почвообразования.

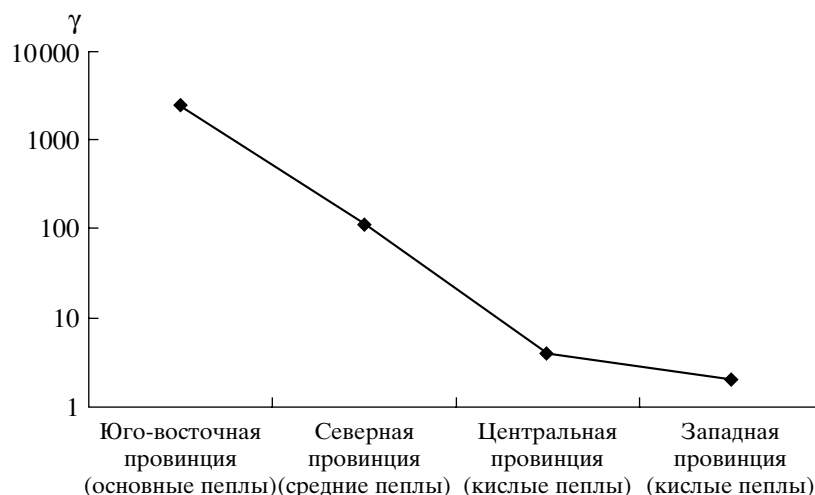
Приведенные выше геохимические формулы, отражающие геохимическую специализацию вулканических почв, в сокращенном виде вынесены на карту-схему почвенных провинций Камчатского полуострова (рис. 2). В числителе геохимических формул сохранены все приоритетные микроэлементы, Кк которых выше единицы, а в знаменателе приведены наиболее дефицитные элементы, Кк которых существенно ниже единицы.

Результаты исследований геохимических особенностей вулканических почв могут быть использованы в спорных ситуациях, когда почвы невозможно идентифицировать визуально по составу пеплов, в которых они сформированы. Для решения этой задачи возможно применение мультипликативного геохимического показателя, включающего большое количество элементов, ведущих себя однонаправлено в изучаемой среде. Это позволяет усилить полезный сигнал и подавить случайные шумы, связанные, в частности, с неточностью аналитических исследований и локальными колебаниями микроэлементного состава в зависимости от места отбора пробы.

Для идентификации вулканических почв Камчатки выведен мультипликативный показатель, включающий микроэлементы, обнаруживающие устойчивое падение концентраций в направлении от почв, сформированных в основных пеплах, к почвам, сформированным в кислых пеплах:

$$\gamma = \text{Cu} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Mn} \cdot \text{V} \cdot \text{Sr} \cdot \text{Co} \cdot \text{Sc} / 10^{10}, \text{ где}$$

символами элементов обозначены их среднегеометрические содержания в почвах (в мг/кг);



**Рис. 3.** График мультипликативного показателя  $\gamma$  для вулканических почв почвенных провинций Камчатки, сформированных в пеплах различного состава.

деление показателя на  $10^{10}$  не меняет его сути и производится для уменьшения его размерности.

Расчеты показали следующие значения показателя  $\gamma$  для выделенных почвенных провинций и, соответственно, для вулканических почв, сформированных в пеплах различного состава:

- Юго-Восточная провинция (пеплы основного состава) – 2425.9;
- Северная провинция (пеплы среднего состава) – 108.0;
- Центральная провинция (пеплы кислого состава) – 3.96;
- Западная провинция (пеплы кислого состава) – 2.05.

По результатам расчетов построен график показателя  $\gamma$  (рис. 3), который может быть использован в практических целях для идентификации вулканических почв Камчатки.

Разброс значений мультипликативного показателя  $\gamma$  позволяет говорить о том, что по геохимическим характеристикам можно довольно точно идентифицировать почвы, сформированные в почвах основного, среднего и кислого составов. Определить принадлежность почв, образованных в пеплах близкого кислого состава, к Центральной или Западной провинции по данному показателю представляется проблематичным из-за незначительного различия его значений для данных территорий.

Основная трудность геохимической идентификации почв, сформированных в кислых пеплах, заключается в их общей обедненности микроэлементами, в том числе типоморфными для кислых магматических пород. Исследования в этом направлении должны быть продолжены с расширением спектра опре-

деляемых в почвах элементов и применением более точных аналитических методов.

Таким образом, проведенные геохимические исследования вулканических почв Камчатки, свидетельствуют о том, что их исходную региональную геохимическую специализацию определяет состав пеплов, являющихся минеральной основой для таких почв. Именно этот фактор оказал решающее влияние на приоритетный состав и уровень фоновых концентраций микроэлементов в почвах выделенных почвенных провинций.

В меньшей степени геохимические особенности поверхностных органогенных горизонтов вулканических почв зависят от их сложения и физико-химических свойств, которые в свою очередь обнаруживают различия в зависимости от типа растительности, под которой сформированы почвы. Эти свойства определяют, главным образом, уровень колебаний значений местного геохимического фона микроэлементов в почвах различных элементарных ландшафтов в пределах выделенных почвенных провинций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате изучения поверхностных органогенных горизонтов вулканических почв Камчатки, сформированных в различных по составу и возрасту вулканических пеплах, выделено четыре почвенные провинции полуострова – Северная, Центральная, Западная и Юго-Восточная.

2. Различия в составе пеплов, являющихся минеральной основой для образующихся в них вулканических почв, нашло отражение в отличие геохимических особенностей выделенных почвенных провинций.

3. Установлен региональный геохимический фон микроэлементов в вулканических почвах для каждой провинции, который в большей степени определяется микроэлементным составом вулканических пеплов, в которых почвы сформированы.

4. Сложение и физико-химические свойства почв, зависящие от типа растительности, под которой они сформированы, определяют незначительный уровень колебаний значений местного геохимического фона микроэлементов в пределах выделенных почвенных провинций.

5. В целом вулканические почвы Камчатки относительно зональных почв бывшего СССР характеризуются повышенными концентрациями меди, близкими содержаниями свинца, устойчивым дефицитом таких элементов, как Cr, Ni, Sr, Sn, Mo и Ag.

6. Геохимическую специализацию почв, образованных в пеплах различного состава, в той или иной степени, определяют только микроэлементы, более типичны для магматических пород основного ряда.

7. Микроэлементы, типоморфные для кислых магматических пород, являются дефицитными для вулканических почв всех выделенных почвенных провинций, в том числе непосредственно сформированных в кислых пеплах.

8. Количество избыточных элементов в почвах увеличивается в ряду кислые – средние – основные почвоподстилающие пеплы от 1 до 8. Количество дефицитных элементов и степень их дефицитности увеличивается в обратном направлении.

9. Все провинции характеризуются однозначной и устойчивой медной специализацией, наиболее контрастно проявленной в почвах, сформированных в средних и основных пеплах.

10. Для геохимической идентификации вулканических почв, образованных в пеплах различного состава, предложен мультипликативный показатель, включающий микроэлементы, обнаруживающие устойчивое падение концентраций в направлении от почв, образованных в основных вулканических пеплах – к почвам, сформированным в кислых пеплах.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 05-04-48262).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сает Ю.А., Ревич Б.А., Янин Е.П.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. С. 62–63.
2. *Ковальский В.В., Андрианова Г.А.* Микроэлементы в почвах СССР. М.: Наука, 1970. 88 с.
3. *Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д., Пономарева В.В., Мелекесцев И.В.* Геохронология крупнейших эксплозивных извержений Камчатки в голоцене и их отражение в Гренландском ледниковом щите // Доклады РАН. 1997. Т. 352. № 4. С. 516–518.
4. *Ярошевский А.А.* Проблемы современной геохимии. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2004. 194 с.
5. *Брайцева О.А., Кирьянов В.Ю., Сулержицкий Л.Д.* Маркирующие прослой голоценовой тефры Восточной вулканической зоны Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 80–96.
6. *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.
7. *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.
8. *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.
9. *Захарихина Л.В., Шоба С.А.* О динамике почвообразования в условиях активного вулканизма // Вестник МГУ, сер. 17 почвоведение. № 4. 2003. С. 55–62.
10. *Баширина Л.А.* Водные вытяжки пепла и газы пепловой тучи вулкана Безымянного // Бюл. Вулканол. Станции. 1958. № 27 С. 47–68.
11. *Гуценко И.И.* Пеплы Северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. С. 91–102.
12. *Мархинин Е.К., Токарев П.И., Пугач В.Б., Дубик Ю.М.* Извержение вулкана Безымянного весной 1961 // Бюлл. вулканол. станции. 1963. № 34. С. 12–18.
13. *Товарова И.И.* О выносе воднорастворимых веществ из пирокластики вулкана Безымянного // Геохимия. 1958. № 7. С. 45–67.
14. *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.
15. *Малюга Д.П.* Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 264 с.