

## Химическая трансформация почв Камчатки после поступления в них продуктов вулканических извержений

Ю. С. ЛИТВИНЕНКО<sup>1</sup>, Л. В. ЗАХАРИХИНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО ЭкоГеоЛит  
119330, Москва, ул. Мосфильмовская, 17Б  
E-mail: ecogeolit@mail.ru

<sup>2</sup> Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН  
683002, Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, 30, а/я 56  
E-mail: zlv63@yandex.ru

Статья поступила 30.03.2017

Принята к печати 11.05.2017

### АННОТАЦИЯ

Установлено, что в условиях холодного гумидного климата изменение химического состава почв после поступления в них вулканических пеплов зависит от гранулометрического и петрохимического составов продуктов извержений, способа и форм поступления химических элементов в почвы, времени года и метеорологических условий пеплопадов. Петрохимический состав пеплов определяет главным образом характер изменения валового состава почв. Преобразования почв в части содержания подвижных форм в большей степени зависят от времени года и метеорологических условий пеплопадов. Подавляющая часть (до 99,3 %) подвижных форм большинства элементов поступают туда при пеплопадах не в составе пепловых частиц, а в газо- и водорастворенной формах непосредственно из дисперсионной среды вулканического аэрозоля. В 25 км от центров извержений в почвах установлены: в зимних условиях – рост валовых содержаний элементов и вынос их подвижных форм; в летний период – накопление подвижных форм элементов на фоне падения содержаний их валовых форм, здесь же наблюдается подкисление почв с существенным (примерно в 1,5 раза) снижением степени насыщенности их основаниями.

**Ключевые слова:** Камчатка, вулканические извержения, пеплопады, химические элементы, изменение свойств почв.

В научной и популярной литературе бытует устойчивое, но не всегда подтвержденное фактическими данными представление об обогащении вулканических пеплов микроэлементами, в том числе их подвижными формами, сорбированными на пепловых ча-

стицах [Башарина, 1958; Joergensen, Castillo, 2001; Louder, 2010]. С этим связывают наблюдаемый эффект повышения биопродуктивности экосистем в окрестностях вулканов после выпадения продуктов вулканической деятельности. Однако изменения химических

свойств почв при поступлении в них свежих продуктов вулканической деятельности остаются малоизученными.

Исследования проведены в рамках конкретного пространственно-временного этапа, связанного с воздушным переносом и выпадением на земную поверхность пеплов зимнего и летнего вулканических извержений с последующим их поступлением в поверхностный органогенный горизонт почв. Отбирались усредненные пробы пеплов каждого выброса. Они взяты до и после извержений. В период между отбором проб почв иных извержений не происходило. Выполнен анализ изменений концентраций валовых и подвижных форм элементов и расчет количественного баланса их подвижных форм применительно к различным метеорологическим условиям пеплопадов.

Цель работы – изучение особенностей изменения химического состава слоисто-пепловых почв северо-востока Камчатки при поступлении в них продуктов недавних вулканических извержений в разные сезоны года.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены на северо-востоке Камчатки в районе пеплопадов зимнего трещинного Толбачинского извержения имени 50-летия Института вуканологии и сейсмологии ДВО РАН (далее ТТИ-50), произошедшего в ноябре 2012 г., и летнего извержения влк. Шивелуч (июнь 2013 г.) (рис. 1).

Территория расположена в восточном районе Северной почвенной провинции полуострова в окрестностях активных вулканов северной группы Камчатки. Для района характерны слоисто-вулканические почвы [Захарихина, 2011]. Их названия предложены И. А. Соколовым в рамках разработанной им классификации почв Камчатки, основанной на усилении и ослаблении действия вулканизма на почвообразование [Соколов, 1973]. По определению И. А. Соколова, слоисто-пепловые почвы – это вулканические почвы, в наибольшей степени испытывающие влияние периодических пеплопадов. Их профиль характеризуется частым чередованием погребенных органогенных горизонтов и слабо из-

мененных процессами почвообразования вулканокластических отложений.

ТТИ-50 базальтового состава произошло после перерыва в вулканической деятельности с 1975–1976 гг. [Самойленко и др., 2012]. Вулкан Шивелуч, напротив, в последние годы находится в состоянии постоянной активности с частотой извержений среднего состава до 5–7 раз в год.

Оценка изменений геохимических и физико-химических свойств почв основывалась на результатах опробования на всю мощность верхнего органогенного горизонта до и после поступления свежих пеплов указанных выше извержений в разных метеоусловиях.

Первый выброс пеплов ТТИ-50 произошел в начале зимы 27 ноября во время сильного снегопада с северным направлением оси пеплопада, второй – 28 ноября при ослаблении снегопада с северо-западным направлением оси пеплопада (см. рис. 1).

Пеплы выбросов оказались законсервированы в нижней, приземной части снежного покрова. По данным замеров в шурфах, пройденных в феврале 2013 г., мощность горизонта с пеплом первого выброса в 75 км на север от центра извержения (точка наблюдений (т. н.) Тб-3) в осевой части пеплопада составляет 1–1,5 см. Мощность горизонта снега с пеплом второго выброса в 50 км на северо-запад от вулкана (т. н. Тб-4), соответственно, 4–6 см. Толщина снега между горизонтами на участках их наложения – 4–6 см, ниже пепловых горизонтов – 10–15 см. При общей мощности снежного покрова 1,3–1,5 м доля снега, загрязненного пеплом, составляет первые проценты.

Выпадение пеплов влк. Шивелуч извержения 27 июня 2013 г. произошло в теплых, без осадков метеоусловиях. Направление пеплопада – юго-юго-западное, в сторону пос. Ключи, расположенного в 50 км от центра извержения (см. рис. 1). Мощность пеплового покрова составила в 25 км от вулкана (т. н. Шв-4) 2,0 мм и в 50 км (т. н. Шв-6) ~0,8 мм.

Количества выпавшего пепла на 1 м<sup>2</sup> площади составляют: т. н. Тб-3 – 308,73 г; т. н. Тб-4 – 210,3 г; т. н. Шв-4 – 2150 г; т. н. Шв-6 – 940 г.

При расчете баланса вес верхнего органогенного горизонта почв на площади 1 м<sup>2</sup> при

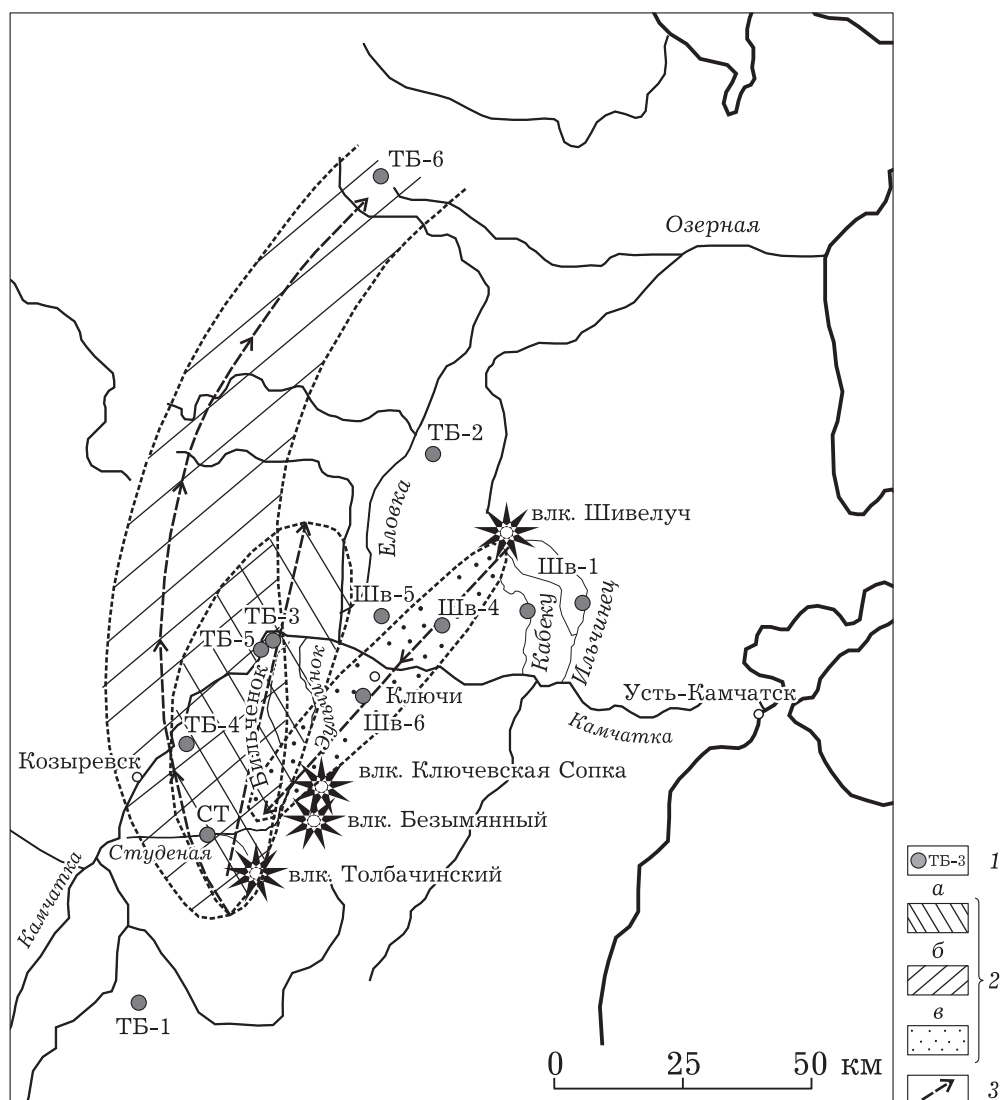


Рис. 1. Карта-схема района исследований.

1 – точки наблюдений, их номера; 2 – приблизительные ареалы выпадения пеплов извержений: влк. Толбачик, 27 ноября 2012 г. (а), 28 ноября 2012 г. (б), влк. Шивелуч, июнь 2013 г. (в); 3 – ось пеплопада

средней мощности 0,1 м и средней плотности 0,9 кг/дм<sup>3</sup> принимался в 90 кг.

Погоризонтное опробование снежного покрова на всю его мощность, включая горизонты, содержащие пеплы ТТИ-50, проведено в шурфах глубиной 1,3–1,5 м в феврале 2013 г. в т. н. Тб-3 и Тб-4. Одновременно произведен отбор почвенных проб из-под снежного покрова до поступления в них пепла. Повторное опробование почв в тех же точках наблюдения после поступления пеплов проведено в июне 2013 г.

Пробы свежевыпавших, непромытых осадками пеплов влк. Шивелуч извержения

27 июня 2013 г. отобраны с поверхности крупных листьев травянистой растительности на второй день после пеплопада в его осевой части в 25 км (т. н. Шв-4) и 50 км (т. н. Шв-6) в юго-юго-западном направлении от вулкана в сторону пос. Ключи (см. рис. 1).

Талые воды анализировались на содержание растворенных форм 71 химического элемента масс-спектральным с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) + атомно-эмиссионным (ICP-AES) методом анализа с индуктивно-связанной плазмой.

Валовые содержания 62 химических элементов в почвах и вулканических пеплах

определялись масс-спектральным (ICP-MS) + атомно-эмиссионным (ICP-AES) методом анализа с индуктивно связанной плазмой. Для растворения проб при определении валовых содержаний элементов применялось кислотное вскрытие в открытой системе с использованием азотной, соляной, хлорной и фтористоводородной кислот. При определении растворимых форм 65 элементов в почвах и пеплах анализировалась ацетатно-аммонийная вытяжка (рН 4,8) масс-спектральным (ICP-MS) + атомно-эмиссионным (ICP-AES) методом анализа с индуктивно связанной плазмой без разложения.

На основании полученных аналитических данных рассчитаны коэффициенты накопления химических элементов в почвах ( $K_n$ ) как отношение содержаний элементов после поступления пеплов в верхний органогенный горизонт почв к их концентрациям в тех же точках наблюдения до пеплопадов.

Известно, что погрешность определения химических элементов в природных средах при использовании ICP-MS метода не превышает 10–30 отн. %, ICP-AES метода – 10–15 отн. % [Карандашев и др., 2007]. Учитывая сравнительно невысокие содержания элементов в изучаемых средах, предложено условно считать имеющими случайный характер увеличение или уменьшение концентраций их валовых и подвижных форм в почвах менее чем в 1,2 раза (20 отн. %), т. е. при значениях  $0,83 < K_n < 1,2$ . Согласно принятому условию, величины  $K_n > 1,2$  связаны с накоплением элементов в почвах, величины  $K_n < 0,83$  – с их выносом из почв.

Выполнен расчет баланса химических элементов для ареалов пеплопадов с определения количеств (мг) подвижных форм, накопленных в расчетной массе почвы (90 кг) на  $1 \text{ м}^2$  площади после выпадения пепла, и приносимых в почвы с продуктами вулканической деятельности.

Физико-химическое состояние почв в точках наблюдений до и после выпадения пеплов оценивалось по следующим показателям: рН водной и солевой вытяжек, гидролитическая кислотность, содержания обменных форм кальция и магния (комплексометрическим методом).

### *Изменение химического состава почв после поступления в них пепла*

Значения коэффициентов накопления  $K_n$  для валовых содержаний химических элементов в исследованных почвах после поступления в них пеплов ТТИ-50 (27–28 ноября 2012 г.) и влк. Шивелуч (27 июня 2013 г.) в большинстве случаев близки к 1,0 (рис. 2, 3).

На разном расстоянии от центров извержений в почвах наблюдаются, как правило, обратные соотношения числа валовых и подвижных форм химических элементов, у которых  $K_n$  превышает 1,0. Наиболее значительные различия установлены в 25 км от центров зимнего ТТИ-50 и летнего извержения влк. Шивелуч, соответственно, в т. н. Ст и ШВ-4 (см. рис. 2).

В 25 км на ССЗ от центра ТТИ-50 (т. н. Ст; см. рис. 1) в почвах территории наложения ареалов выпадения пеплов первого и второго выбросов величина показателя  $K_n$  для валовых форм превышает 1,0 у 32 из 45 рассмотренных элементов (см. рис. 2). Однако признаки накопления ( $K_n > 1,2$ ) обнаруживают только восемь (в скобках значения  $K_n$ ): Mg (2,87), Ti (2,68), Ca (2,18), Fe (1,85), Mn (1,48), As (1,41), Al (1,32) и Bi (128).

В 25 км на ЮЗ от центра извержения влк. Шивелуч 27 июня 2013 г. (т. н. ШВ-4, левобережье р. Камчатка) количество химических элементов в почвах с  $K_n > 1,0$  для валовых форм составляет всего девять из 45 рассмотренных (см. рис. 2). В то же время в точке наблюдения установлено максимальное число элементов (24) со значениями для валовых форм  $K_n < 0,83$ , при которых велика вероятность их значимой потери для почв. В их число входят большинство основных петрогенных элементов – Al, Mg, Ca, Mn, K, Ti и 11 из 14 лантаноидов, за исключением Ho, Lu и Dy, имеющих также близкие к критическому значения  $K_n = 0,86–0,84$ . Остальные элементы, имеющие  $K_n < 0,83$ , представлены в основном щелочными и щелочно-земельными металлами (Li, Rb, Cs, Sr, Ba).

В отличие от ареала выпадения пеплов ТТИ-50 в почвах зоны летнего пеплопада у подножия влк. Шивелуч (т. н. ШВ-4) установлено резкое преобладание числа элементов

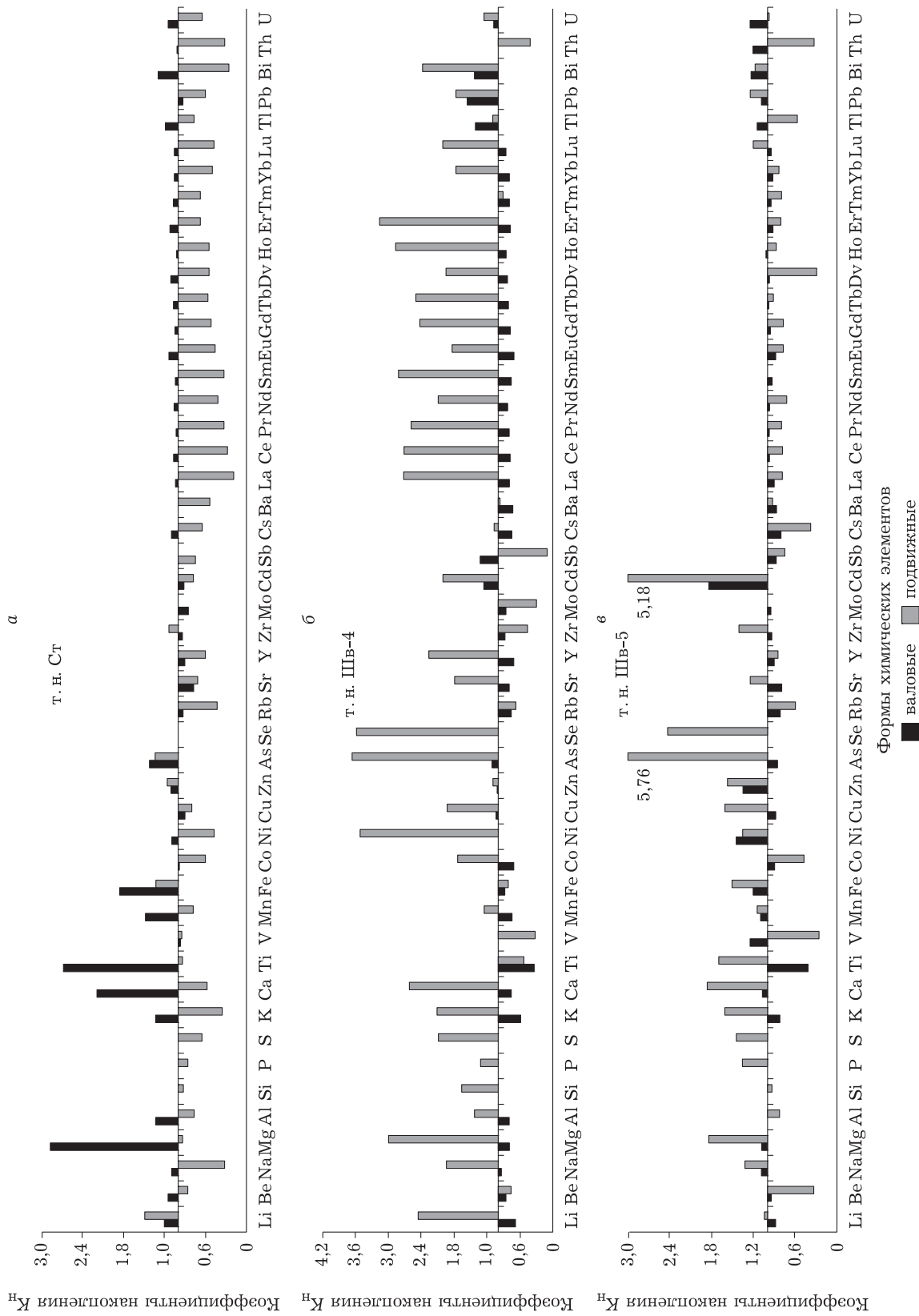


Рис. 2. Коэффициенты накопления  $K_n$  валовых и подвижных форм химических элементов в почвах ареалов выпадения пеллов зимнего ТПИ-50 (а) и летнего извержения влк. Шивелуч 27 июня 2013 г. (б) на расстоянии 25 км от центров извержений и в почвах у подножия влк. Шивелуч за пределами пеллопада в 35 км от центра его извержения (в). Валовые концентрации Si, P и S не определялись

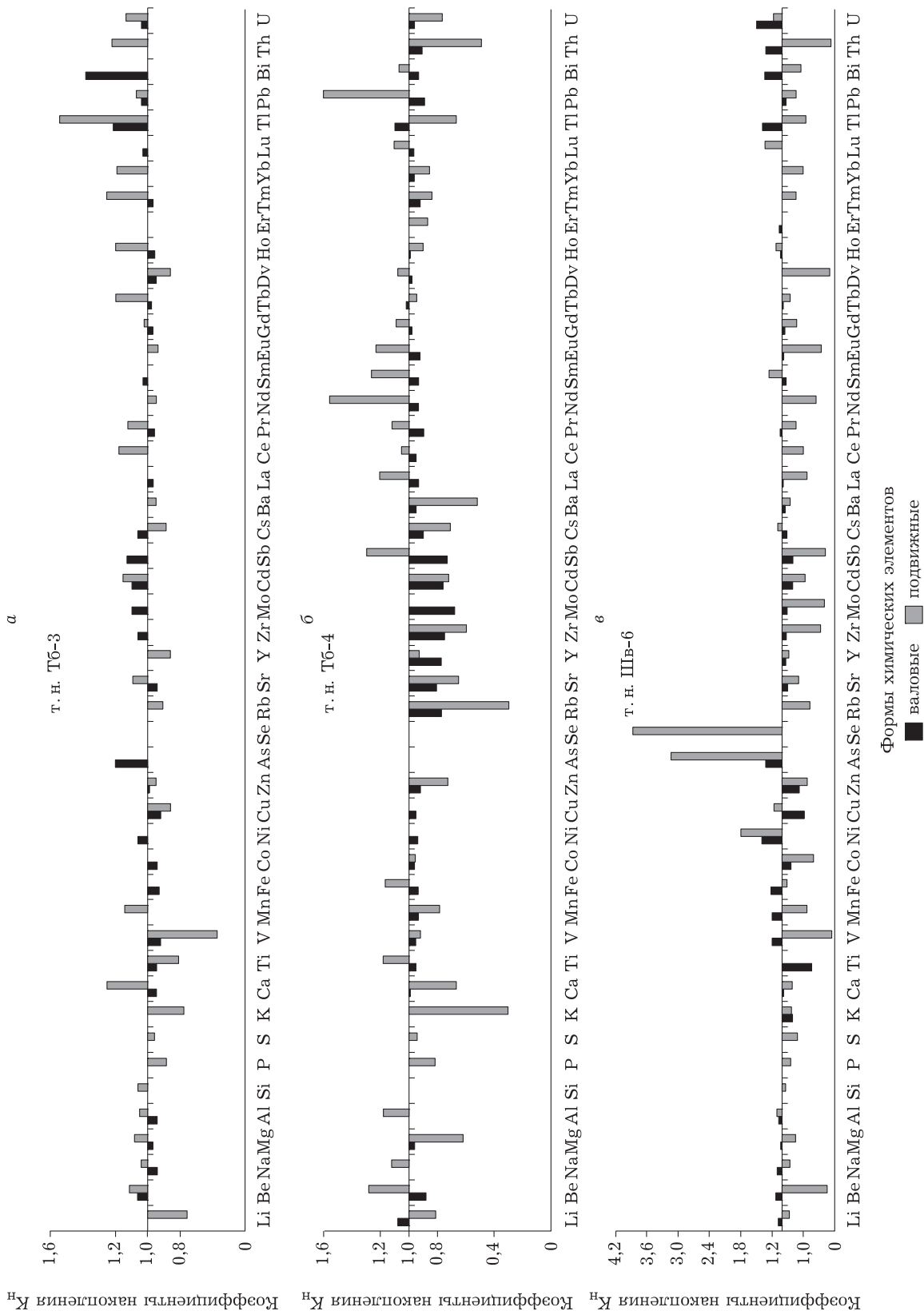


Рис. 3. Коэффициенты накопления  $K_d$  валовых и подвижных форм химических элементов в почвах ареалов выпадения пеплов зимнего ТТИ-50: первого выброса в 75 км (а) и второго выброса в 50 км (б) от центра извержения, и пеплов летнего извержения влк. Шивелуч (в) на расстоянии 50 км от центра извержения. Валовые концентрации Si, P и S не определялись

с  $K_n \geq 1,2$  для подвижных форм – 34 из 48 рассмотренных (см. рис. 2). В почвах накапливаются подвижные формы всех основных петрогенных элементов, за исключением Fe и Ti, лантаноидов без Tm, а также As, Se, Ni, Li, Bi, Y, S, Cd, Cu, Sr, Pb, Co, P и U. Ведущие места в приоритетном ряду занимают: As (3,65), Se (>3,57), Ni (>3,5), Er (3,16), Mg (3,0), Ho (2,87), Sm (2,82), La (2,72), Ce (2,71), Ca (2,61), Pr (2,58) и Tb (2,5).

Накопление подвижных форм лантаноидов (без Tm), Li, Na, Mg, Al, K, Ca, Mn, Co, Sr и Y происходит на фоне падения их валовых концентраций.

Таким образом, на равном расстоянии в 25 км от центров извержений в почвах ареалов летнего пеплопада влк. Шивелуч и зимнего ТТИ-50 установлены преимущественно разнонаправленные изменения концентраций валовых и подвижных форм элементов.

С удалением от центров обсуждаемых извержений интенсивность химических изменений почв после выпадения на них пеплов заметно падает (см. рис. 3). Приращение содержаний валовых форм элементов в почвах после поступления в них пеплов ТТИ-50 происходило главным образом на расстоянии первых десятков километров и преимущественно за счет пеплопада первого выброса.

Установлено значительное преобладание числа элементов с  $K_n > 1,0$  для валовых концентраций, вхождение в их состав петрогенных элементов и более высокие значения самого коэффициента накопления в 25 км от центра извержения (т. н. Ст) в сравнении с участками, удаленными от вулкана на 50 и 75 км.

В отличие от содержаний валовых форм элементов с увеличением расстояния от источника поступления пеплов ТТИ-50 отмечается рост числа накапливающихся в почвах подвижных форм со значениями  $K_n > 1,0$  и падение числа выносимых элементов с  $K_n < 0,83$  (см. рис. 3).

Характерно, что в состав накапливающихся элементов в т. н. ТБ-3 входят тяжелые (Tm, Tb, Ho и Yb), а в т. н. ТБ-4 – легкие (Nd, Sm, Eu и La) лантаноиды.

С увеличением расстояния от влк. Шивелуч до 50 км (т. н. ШВ-6) изменения валового химического состава почв после выпадения пеплов оказались несущественны (см. рис. 3). Количество элементов, для которых установ-

лен рост содержаний подвижных форм в почвах после поступления пеплов, сократилось до девяти (см. рис. 3): Se (>3,86), As (>3,14), Ni (>1,80), Sm (>1,25), Cu (1,17), U (1,16), Ho (1,11), Al (1,1) и Cs (1,08). При этом содержания подвижных форм всех химических элементов в самих пеплах влк. Шивелуч увеличивается с удалением от центра извержения (табл. 3). Однако в 50 км от центра извержения на 1 м<sup>2</sup> выпало пепла в 2,3 раза меньше, чем в 25 км. С удалением от центра извержения существенно возрастает число элементов с признаками выноса подвижных форм из почв ( $K_n < 0,83$ ). В т. н. ШВ-6 их количество составляет 28, включая основные порообразующие – K, Ca, Mg, S, Mn и большую часть лантаноидов. Устойчивые повышенные значения коэффициентов накопления  $K_n$  для Se, As и Ni на разном расстоянии от центра извержений позволяют рассматривать их в качестве индикаторов химических изменений в почвах за счет привноса пеплов влк. Шивелуч.

**Баланс подвижных форм  
химических элементов в почвах  
при выпадении пеплов  
в разных метеословиях**

**Почвы в ареалах зимних пеплопадов ТТИ-50.** В результате расчета количественного баланса химических элементов по данным ИСР-анализа в верхнем органогенном горизонте почв мощностью 0,1 м на площади 1 м<sup>2</sup> установлено, что в 75 км от центра ТТИ-50 (т. н. ТБ-3) после поступления продуктов извержения из снежного покрова в почвах наблюдается увеличение количеств подвижных форм у 20 из 50 рассмотренных элементов (табл. 1). Ряд этих элементов, сгруппированных и ранжированных (в том числе внутри групп) по величине процента накопления их подвижных форм в почвах относительно исходного количества до пеплопада, имеет вид:

$$\begin{array}{l} \frac{Pb}{>300} > \frac{-}{<300-100} > \frac{Tl}{<100-30} > \\ Ca-Tm-Th-Tb-Ho-Yb- \\ > \frac{Ce-Cd-Mn-U-Pr-Be}{<30-10} > \\ > \frac{Sr-Mg-Si-Al-Na}{<10-3} > \frac{Gd}{<3-1} \end{array}$$

Баланс подвижных форм химических элементов в почве зоны выпадения пеплов ГТИ-50 в 75 км от центра извержения (т. н. ТБ-3) на 1 м<sup>2</sup> площади пеплопада

Элемент		Содержания элементов по данным ИСР анализа (расчетная площадь 1 м <sup>2</sup> )										Расчитанные количества элементов на 1 м <sup>2</sup> площади пеплопада			
		в почве, мг/кг		после поступления пепла в почву		в пепле, мг/кг		в снеге (растворенные формы в талых водах), мкг/л		в пепле с пеплом		в пепле с пеплом		в пепле с пеплом	
предел обнаружения анализа		до выпадения пепла	после выпадения пепла в почву	1-й выброс (277,8 г)	2-й выброс (30,93 г)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
		мг	мг	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	
Li	0,006	0,017	0,013	0,039	0,024	26	0,84	0,23	-	0,32	0,004	0,012	0,30	96,3	
Be	0,001	0,0037	0,0041	0,00075	0,00028	1,1	0,038	<0,01	0,036	0,011	0,0001	0,0002	-0,01	-98,1	
B	0,5	0,67	0,4	<0,4	0,69	140	<5	<5	-	1,18	0,013	0,021	-1,16	-98,2	
Na	22	92	96	53	36	19 000	1200	910	360	511,9	5,69	15,84	496,1	96,9	
Mg	3	360	390	29	21	19 000	770	110	2700	211,5	2,35	8,71	202,8	95,9	
Al	1	21	22	11	3,5	51 000	1500	78	90	464,8	5,16	3,16	461,7	99,3	
Si	1	31	33	20	12	26 000	710	<40	180	226,5	2,52	5,93	-220,6	-97,4	
P	7	46	41	12	9,6	560	<60	<60	-	8,28	0,092	3,63	-4,65	-56,1	
S	7	28	27	19	10	14 000	760	250	-	217,6	2,42	5,59	212,0	97,4	
K	1	370	290	28	18	10 000	910	510	-	282,6	3,14	8,34	274,2	97,1	
Ca	21	1200	1500	130	110	55 000	1900	340	27 000	632,2	7,02	39,52	592,7	93,7	
Ti	0,1	0,42	0,34	0,74	0,49	1100	21	<3	-	9,49	0,11	0,22	-9,27	-97,7	
V	0,10	0,54	0,31	0,23	0,049	31	<3	<3	-	0,32	0,004	0,065	-0,26	-79,7	
Cr	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	7,5	<2	<2	-	0,085	0,0009	-0,015	-0,07	-82,4	
Mn	0,04	28	32	0,96	0,52	1700	42	4,9	360	16,45	0,18	0,28	16,17	98,3	
Fe	1	14	14	42	29	26 000	460	28	-	241,6	2,68	12,56	229,0	94,8	
Co	0,01	0,18	0,18	0,013	0,0097	24	0,71	0,069	-	0,23	0,003	0,0039	0,23	98,3	
Ni	0,1	<0,1	<0,1	0,056	0,15	15	1,1	0,87	<ПО	0,47	0,005	0,02	0,45	95,7	
Cu	0,01	0,084	0,072	0,52	1,4	1000	29	7,6	-	11,44	0,13	0,19	11,25	98,4	
Zn	0,1	3,7	3,5	0,36	0,74	100	12	11	-	5,03	0,056	0,12	4,90	97,6	
Ga	0,002	<0,002	<0,002	0,0025	<0,001	3,1	0,11	<0,01	<ПО	0,027	0,0003	-0,0007	-0,026	-97,4	



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
As	0,007	<0,007	<0,007	0,69	0,41	13	<0,5	<0,5	<ΠО	0,40	0,003	0,20	-0,20	~49,5
Se	0,07	<0,07	<0,07	0,62	0,37	6,2	<2	<2	<ΠО	0,24	0,003	0,18	-0,051	~21,9
Rb	0,003	1,1	1	0,2	0,078	35	1,7	0,71	-	0,62	0,007	0,058	0,56	90,6
Sr	0,2	3,4	3,7	0,76	0,58	370	14	4,2	27	4,92	0,055	0,23	4,69	95,3
Y	0,007	0,028	0,024	0,038	0,047	41	0,37	0,06	-	0,38	0,004	0,012	0,36	96,8
Zr	0,04	0,058	<0,04	0,006	0,0035	28	0,43	<0,03	-	0,24	0,003	0,0018	-0,24	~99,3
Mo	0,009	<0,009	<0,009	0,0042	0,0031	0,79	<0,2	<0,2	<ΠО	0,008	0,0001	0,0013	-0,007	~83,9
Cd	0,001	0,026	0,03	0,0019	0,004	5,2	0,12	0,038	0,36	0,058	0,001	0,0007	0,058	98,9
Cs	0,001	0,0056	0,005	0,03	0,013	0,64	0,043	0,0054	-	0,016	0,0002	0,0087	0,008	46,4
Ba	0,05	2	1,9	1,7	0,68	290	14	2,1	-	3,76	0,042	0,49	3,26	86,9
La	0,01	<0,01	<0,01	0,033	0,041	22	0,28	0,13	<ΠО	0,24	0,003	0,010	0,23	95,7
Ce	0,001	0,022	0,026	0,076	0,066	53	0,41	0,094	0,36	0,50	0,006	0,023	0,48	95,4
Pr	0,0002	0,0034	0,0038	0,011	0,0092	7,6	0,049	0,013	0,036	0,071	0,001	0,0033	0,068	95,3
Nd	0,0008	0,021	0,02	0,033	0,027	34	0,27	0,048	-	0,31	0,003	0,0100	0,30	96,8
Sm	0,006	<0,006	<0,006	0,01	0,01	7,6	0,061	0,009	<ΠО	0,070	0,001	0,0031	0,067	95,6
Eu	0,0005	0,0016	0,0015	0,0025	0,0024	1,9	0,018	0,0042	-	0,018	0,0002	0,0008	0,017	95,8
Gd	0,0003	0,0051	0,0052	0,0079	0,0089	8	0,056	0,013	0,009	0,074	0,001	0,0025	0,071	96,7
Tb	0,0003	0,00069	0,00083	0,0013	0,0013	1,1	0,009	<0,002	0,0126	0,010	0,0001	0,0004	-0,009	~95,8
Dy	0,0002	0,0037	0,0032	0,0024	0,0038	6,4	0,04	0,0069	-	0,057	0,001	0,0008	0,056	98,6
Ho	0,0002	0,00069	0,00083	0,0012	0,0015	1,3	0,01	<0,002	0,0126	0,011	0,0001	0,0004	-0,011	~96,6
Er	0,0002	0,0022	0,0022	0,0036	0,0045	3,5	0,029	0,0055	-	0,032	0,0004	0,0011	0,031	96,5
Tm	0,0002	0,00024	0,0003	0,00049	0,00053	0,51	<0,002	<0,002	0,0054	0,005	0,00005	0,0002	-0,005	~97,0
Yb	0,0002	0,0016	0,0019	0,0028	0,003	3,2	0,029	0,0038	0,027	0,029	0,0003	0,0009	0,028	97,0
Lu	0,0003	<0,0003	<0,0003	0,00037	0,00047	0,46	0,0041	<0,002	-	0,004	0,00004	0,0001	-0,004	~97,0
Tl	0,0003	0,0046	0,0071	0,12	0,028	5,5	0,26	0,019	0,225	0,088	0,001	0,034	0,054	61,3
Pb	0,02	0,027	0,11	0,14	0,34	3,9	0,82	0,49	7,47	0,27	0,003	0,049	0,22	81,4
Bi	0,001	<0,002	<0,002	0,014	0,013	0,23	0,015	<0,005	<ΠО	0,006	0,0001	0,0043	-0,002	~31,9
Th	0,0003	0,0098	0,012	0,0051	0,004	1,1	<0,01	<0,01	0,198	0,011	0,0001	0,0015	-0,009	~85,6
U	0,001	0,0069	0,0078	0,0017	0,0022	1	<0,008	<0,008	0,081	0,009	0,0001	0,0005	-0,008	~93,9

Элементов, для которых величины процентов накопления их подвижных форм в почвах варьируют в пределах 300–100 %, не установлено.

Имеющиеся данные не позволяют определить точные причины резкого накопления в почвах после пеплопада Pb и Tl. В качестве возможных причин можно предположить низкие исходные содержания этих элементов в почве и вхождение их в повышенных концентрациях в газовую составляющую вулканических выбросов с последующим накоплением в рассеянном виде в снеге.

Не представленные в формуле элементы обнаруживают признаки выноса из почв после пеплопада (Ti, K, Li и V), или не показывают каких-либо значимых изменений или их содержания ниже предела обнаружения ИСР-анализа. В то же время установлено, что талые воды из горизонтов снега с пеплом содержали повышенные относительно фона количества растворенных форм практически всех анализируемых элементов (см. табл. 1).

Не способствует закреплению и накоплению химических элементов в почвах низкое значение показателя рН 3,5–5,5 талых вод из горизонтов с пеплами. Более того, как отмечено в предыдущем разделе, часто в таких условиях наблюдается вынос подвижных форм элементов.

Расчет доли (%) подвижных форм химических элементов, сорбированных на пепловых частицах, от общего их количества в горизонтах снежного покрова с пеплом показал, что у 34 из 50 элементов она составляет менее 5 % (см. табл. 1).

Основные количества (более 95 %) подвижных форм большинства химических элементов выпадают из вулканического аэрозоля пепло-газовых туч на поверхность Земли не с дисперсной фазой (в сорбированном виде на поверхности пепловых частиц), а в газо- и водорастворенной формах.

Максимальные содержания растворенных форм в снеге из горизонтов, содержащих пеплы ТТИ-50, обнаружены в непосредственной близости от центра извержения на поверхности свежих лавовых потоков [Округин, 2013]. Далее такие горизонты с концентрациями растворенных форм элементов, на 2 и более порядка превышающих фон, просле-

жены в шурфах вдоль осей пеплопадов в т. н. Тб-3 и Тб-4, расположенных, соответственно, в 75 и 50 км от центра извержения (см. рис. 1). Площади наиболее активного выпадения таких форм элементов тяготеют к осевым частям пеплопадов в окрестностях вулкана.

**Почвы в ареалах летнего пеплопада влк. Шивелуч.** Расчеты баланса химических элементов (табл. 2) показали, что из всех точек наблюдений наиболее сильное увеличение количества подвижных форм элементов в верхнем органогенном горизонте почв после выпадения свежих пеплов произошло в ареале летнего пеплопада влк. Шивелуч (27 июня 2013 г.) в 25 км от центра извержения (т. н. Шв-4) несмотря на большую обогащенность пеплов, выпавших в 50 км от вулкана (табл. 3).

У подавляющего большинства химических элементов количество сорбированных на пепле подвижных форм в пределах расчетной площади пеплопада (1 м<sup>2</sup>) значительно уступает величинам аналитически установленного их накопления в верхнем органогенном горизонте почв. Ряд элементов, сгруппированных и ранжированных по количеству сорбированных на пеплах подвижных форм в процентах от их накопления в почвах ( $m_{\text{пеп.}} \times 100/m_{\text{п}} \%$ , в знаменателе), имеет вид:

$$\frac{\text{As}}{>100} > \frac{\text{S-Cu-Li}}{<100-30} >$$

$$> \frac{\text{Zn-Bi-Yb-Cs-U-Tl-Eu-Nd-Na-Dy-Lu-Ce-Y-Pr-La-Gd-Sm-Tb}}{<30-10} >$$

$$> \frac{\text{Ho-Er-P-Al-Co-Ca-Mg}}{<10-3} > \frac{\text{Ni-K-Si}}{<3-1} > \frac{\text{Se}}{<1}$$

В целом, в сравнении с ТТИ-50, можно говорить об увеличении роли сорбированных на пепле химических элементов в накоплении их подвижных форм в почвах ареала пеплопада влк. Шивелуч в 25 км от кратера.

В отсутствие снежного покрова, консервирующего продукты пеплопада, оценка доли выпадения на Землю и поступления в почвы газорастворенных форм элементов носит весьма условный характер. Наиболее вероятно, что вышеуказанные формы составляют основную часть разницы между фактически установленным общим количеством накоплен-

Т а б л и ц а 2

**Баланс подвижных форм химических элементов в почве зоны выпадения пеплов влк. Шивелуч  
27 июня 2013 г. в 25 км от центра извержения (т. н. Шв-4) на 1 м<sup>2</sup> площади пеплопада**

Элемент	Содержание, мг/кг			Рассчитанные количества элементов на 1 м <sup>2</sup> площади пеплопада			
	в почве		в пепле (2,15 кг)	установленное накопление в почве после пеплопада, мг (гор. 0–0,1 м)	поступило в почву с продуктами вулканизма		
	до пепло- пада	после пеплопада			сорбирован- ные на пепле, мг	в газорастворенной форме и за счет прочносвязан- ных форм	
			мг	% от всего			
1	2	3	4	5	6	7	8
Li	0,011	0,027	0,25	1,44	0,538	0,902	62,64
Be	0,0044	0,0034	0,005	–	0,011	–	–
Na	50	97	320	4230	688	3542	83,74
Mg	170	510	310	30 600	667	29933	97,82
Al	77	110	85	2970	183	2787	93,84
Si	21	35	7,2	1260	15,48	1244,52	98,77
P	42	55	40	1170	86	1084	92,65
S	33	69	1400	3240	3010	230	7,10
K	90	190	55	9000	118	8882	98,69
Ca	690	1800	1200	99 900	2580	97 320	97,42
Ti	0,19	0,1	0,18	–	0,39	–	–
V	0,4	0,13	1,7	–	3,66	–	–
Mn	32	40	12	720	25,8	694,2	96,42
Fe	33	27	39	–	83,85	–	–
Co	0,22	0,38	0,18	14,4	0,387	14,013	97,31
Ni	<0,10	0,35	0,23	31,5	0,495	31,005	97,80
Cu	0,073	0,14	1,9	6,03	4,085	1,945	32,26
Zn	3,2	3,5	3	27	6,45	20,55	76,11
As	0,017	0,062	2,2	4,05	4,73	–	–
Se	<0,07	0,25	<0,07	22,50	0,15	22,35	99,07
Rb	0,63	0,43	0,24	–	0,516	–	–
Sr	6,1	11	8	441	17,2	423,8	96,10
Y	0,053	0,12	0,37	6,03	0,796	5,234	86,80
Zr	0,041	0,019	0,083	–	0,178	–	–
Mo	0,009	0,0014	0,035	–	0,075	–	–
Cd	0,015	0,03	0,025	1,35	0,054	1,296	96,00
Sb	0,014	0,0015	0,0071	–	0,015	–	–
Cs	0,012	0,013	0,0085	0,09	0,018	0,072	80,00
Ba	8,9	8,8	2,8	–	6,020	–	–
La	0,025	0,068	0,21	3,87	0,452	3,418	88,32
Ce	0,059	0,16	0,56	9,09	1,204	7,886	86,75
Pr	0,0097	0,025	0,084	1,377	0,181	1,196	86,86
Nd	0,053	0,11	0,39	5,13	0,839	4,291	83,65
Sm	0,011	0,031	0,089	1,8	0,191	1,609	89,39
Eu	0,0028	0,0051	0,018	0,207	0,039	0,168	81,16

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Gd	0,012	0,029	0,079	1,53	0,170	1,36	88,89
Tb	0,0016	0,004	0,01	0,216	0,022	0,194	89,81
Dy	0,0082	0,016	0,052	0,702	0,112	0,59	84,05
Ho	0,0015	0,0043	0,0093	0,252	0,020	0,232	92,06
Er	0,0038	0,012	0,026	0,738	0,056	0,682	92,41
Tm	0,0012	0,0011	0,0032	–	0,007	–	–
Yb	0,0031	0,0055	0,021	0,216	0,045	0,171	79,17
Lu	0,00042	0,0008	0,0028	0,0378	0,006	0,0318	84,13
Tl	0,011	0,012	0,0081	0,09	0,017	0,073	81,11
Pb	0,13	0,23	0,14	9	0,301	8,699	96,66
Bi	0,0035	0,0083	0,046	0,432	0,099	0,333	77,08
Th	0,02	0,0084	0,016	–	0,034	–	–
U	0,0096	0,012	0,019	0,216	0,041	0,175	81,02

Примечание. Прочерк – аналитически не установлено накопления подвижных форм элемента в почве после выпадения пепла.

Таблица 3

**Содержания подвижных форм элементов в вулканических пеплах извержения влк. Шивелуч  
27 июня 2013 г., мг/кг**

Элемент	Шив-4, в 25 км			Элемент	Шив-6, в 50 км		
	от вулкана	Шив-6, в 50 км от вулкана	Шив-6/Шив-4		от вулкана	от вулкана	Шив-6/Шив-4
Li	0,25	0,32	1,28	Zr	0,083	0,15	1,81
Be	0,005	0,0066	1,32	Mo	0,035	0,043	1,23
B	0,2	2,2	11,0	Cd	0,025	0,032	1,28
Na	320	540	1,69	Sb	0,0071	0,013	1,83
Mg	310	430	1,39	Cs	0,0085	0,012	1,41
Al	85	120	1,41	Ba	2,8	3,4	1,21
Si	7,2	13	1,81	La	0,21	0,24	1,14
P	40	55	1,38	Ce	0,56	0,62	1,11
S	1400	1700	1,21	Pr	0,084	0,096	1,14
K	55	99	1,80	Nd	0,39	0,45	1,15
Ca	1200	1700	1,42	Sm	0,089	0,1	1,12
Ti	0,18	0,22	1,22	Eu	0,018	0,021	1,17
V	1,7	1,9	1,12	Gd	0,079	0,095	1,20
Cr	0,45	0,61	1,36	Tb	0,01	0,012	1,20
Mn	12	16	1,33	Dy	0,052	0,064	1,23
Fe	39	71	1,82	Ho	0,0093	0,012	1,29
Co	0,18	0,2	1,11	Er	0,026	0,031	1,19
Ni	0,23	0,28	1,22	Tm	0,0032	0,0041	1,28
Cu	1,9	2	1,05	Yb	0,021	0,023	1,10
Zn	3	3,9	1,30	Lu	0,0028	0,0039	1,39
As	2,2	2,7	1,23	Tl	0,0081	0,012	1,48
Rb	0,24	0,36	1,50	Pb	0,14	0,22	1,57
Sr	8	9,7	1,21	Bi	0,046	0,055	1,20
Y	0,37	0,4	1,08	Th	0,016	0,027	1,69
				U	0,019	0,025	1,32

ных в почвах подвижных форм элементов после пеплопада влк. Шивелуч и их количеством, привнесенным в почвы в сорбированном на пепле виде. Определенную часть этой разницы могут составлять подвижные формы химических элементов, накапливающиеся в почве за счет разложения их прочносвязанных форм.

Как следует из табл. 2, доля подвижных форм элементов, поступающих в почвы в газорастворенной форме из атмосферы и за счет разложения прочносвязанных форм, в общем аналитически установленном их накоплении в почвах у подавляющего большинства химических элементов составляет более 75 %.

### *Изменения физико-химических свойств почв после выпадения пеплов*

Подкисление почв с существенным снижением степени насыщенности их основаниями (примерно в 1,5 раза) наблюдается только вблизи вулканов как в ареале зимнего ТТИ-50 (т. н. Ст), так и летнего извержения влк. Шивелуч (т. н. Шв-4) (табл. 4). Вызвано оно, по мнению авторов, в основном поступлением вулканических газов, в состав которых, как известно, входят оксиды серы, образующие с атмосферной влагой серную кислоту. Образование подкисляющих почвы соединений с серой, сорбированной на

Т а б л и ц а 4

**Физико-химические свойства верхнего органогенного горизонта почв в районах пеплопадов ТТИ-50 и извержения влк. Шивелуч**

Точка наблюдения, местоположение	Время отбора проб	pH <sub>солев</sub>	pH <sub>водн</sub>	Гидролити-	Сумма	Степень насы-
				ческая кислотность	обменных оснований	щенности почв основаниями
				мг-экв./100 г	абс. сух. почвы	%
т. н. Ст, 25 км на ССЗ от кратера, правобережье руч. Студеный	Октябрь	4,8	5,7	16,4	7,12	30,27
т. н. ТБ-3*, 75 км на север от кратера, правобережная пойма руч. Бельчинок	Февраль	5,4	5,6	2,86	7,35	71,99
	Июнь	5,5	6,1	3,40	7,8	69,64
т. н. ТБ-3/1, 75 км на север от кратера, левобережье руч. Бельчинок, лес	Октябрь	5,3	5,9	2,52	8,88	77,89
	Июнь	5,1	6,3	3,33	5,05	60,26
т. н. ТБ-4, 50 км на СЗ от кратера, северо-восточнее пос. Козыревск	Октябрь	5,2	6,0	13,5	43,75	76,42
	Февраль	5,4	6,1	3,56	6,6	64,96
т. н. ТБ-2, 25 км на запад от кратера, левобережье р. Еловка	Июнь	4,9	6,0	3,71	5,8	60,99
	Октябрь	4,6	5,8	13,5	12,0	47,06
т. н. Шв-1, 35 км на ВЮВ от кратера	Февраль	4,2	5,2	22,9	40,7	63,99
	Июнь	4,8	5,6	17,1	43,75	71,90
т. н. Шв-5, 35 км на ЗЮЗ от кратера	Октябрь	4,7	5,7	12,7	27,0	68,01
т. н. Шв-4, 25 км на ЮЗ от кратера, левобережье р. Камчатка	То же	4,8	5,4	16,4	33,7	67,27
	Июнь	4,2	5,2	6,97	5,4	43,65
т. н. Шв-6, 50 км на ЮЗ от кратера, юго-восточная окраина пос. Ключи	Октябрь	3,9	4,8	23,8	16,0	40,20
	Июнь	5,6	6,4	4,14	7,1	63,17
	Октябрь	5,7	6,5	3,19	12,62	79,82

\* Точка наблюдений расположена в пойменном ольховом лесу, все остальные заложены в лесных формациях (лиственничник с примесью белой березы или ольхи) на выположенных территориях междуречий ручьев.

вулканических пеплах, носит резко подчиненный характер. На это указывают особенности изменения содержаний подвижных форм S в пеплах летнего извержения влк. Шивелуч при удалении от кратера. Концентрации последних в перенесенном пепле на 50 км, где не наблюдается изменения кислотно-основных свойств почв, составляет 1700 мг/кг, а в пепле, выпавшем в 25 км от вулкана, где рН почв и насыщенность основаниями снижаются – только 1400 мг/кг (см. табл. 3).

### ОБСУЖДЕНИЕ

В научной и популярной литературе до настоящего времени высказываются различные мнения о пользе или вреде вулканических пеплов, поступающих в почвы при вулканических извержениях. Истории известны факты как благотворного влияния пеплов на почвы, так и напротив – потери плодородия на многие годы даже после небольших вулканических событий.

Наиболее очевидная и часто обсуждаемая причина наблюдаемого эффекта повышения биопродуктивности экосистем при поступлении продуктов вулканической деятельности связывается с привнесением дополнительных элементов питания минерального происхождения с вулканическими пеплами [Joergensen, Castillo, 2001; Louder, 2010; Seward, Edwards, 2012; Ашинов, 2013]. Есть множество различных свидетельств о связанных с этим благоприятных свойствах свежего пирокластического вещества как источника дополнительного минерального питания. Так, после недавнего вулканического события на юге Исландии в 2010 г. (влк. Эйяфьятлайокудль) от исландских фермеров известно об увеличении урожайности культурных растений [Barak et al., 1983; Seward, Edwards, 2012].

Однако исследования, направленные на изучение свежих продуктов вулканической деятельности п-ова Камчатка, показали достаточно низкий геохимический потенциал пеплов. Большинство химических элементов содержатся в свежих вулканических пеплах в концентрациях (как валовые содержания, так и подвижные формы), не превышающих

их содержания в почвах полуострова [Захарихина, 2016].

Приведенный выше расчет баланса подвижных форм химических элементов в почвах при выпадении пеплов показывает, что основные их количества (более 95 %) поступают в почвы не с пеплами, а выпадают из вулканического аэрозоля пепло-газовых туч на поверхность Земли в газо- и водорастворенной формах. Даже при сравнительно большом объеме выпавшего пепла на единицу площади (2,15 кг/м<sup>2</sup>) в 25 км от центра летнего извержения влк. Шивелуч, роль сорбированных на пепловых частицах подвижных форм химических элементов в химических изменениях почв весьма ограничена. То есть анализ полученных результатов позволяет утверждать, что существующие представления о сорбционных способностях вулканических пеплов при извержениях вулканов [Башарина, 1958; Гуценко, 1965; Joergensen, Castillo, 2001; Louder, 2010] в значительной степени преувеличены.

Основная масса поступления элементов в газо- и водорастворимых формах приурочена к осевым частям пеплопадов, к склонам и подножиям вулканов. Возможно, в том числе и с этим обстоятельством связана исторически сложившаяся практика активного сельскохозяйственного использования земель именно в непосредственной близости от вулканов, на склонах и в нижних частях вулканических построек (Индонезия, Мексика, США (Гавайские острова), Италия, Япония) [Shoji et al., 1993; Shoji, Takahashi, 2002].

В целом выделяется три фактора, определяющие поступление элементов в верхний почвенный горизонт почв, это – гранулометрический и петрохимический составы пеплов, расстояние от центра извержения, способы и формы поступления химических элементов в почвы в разных климатических условиях.

**Гранулометрический и петрохимический составы пеплов.** Наибольшее увеличение количеств подвижных форм элементов в верхнем органогенном горизонте почв после выпадения свежих пеплов произошло в ареале летнего пеплопада влк. Шивелуч. Этому способствовал установленный более мелкозерни-

стый гранулометрический состав его пеплов и, следовательно, большая суммарная поверхность пепловых частиц, что обуславливает более высокую их потенциальную сорбционную способность.

Относительно повышенные валовые содержания элементов в почвах установлены, напротив, в районе пеплопадов зимнего трещинного Толбачинского извержения. Обусловлено это базальтовым петрохимическим составом пеплов этого вулкана. Как известно, среднее содержание большинства из рассматриваемых химических элементов в основных (базальтовых) вулканических породах больше, чем в средних (андезитовых) [Григорьев, 2003], к которым относятся продукты извержений влк. Шивелуч. Об этом свидетельствуют и данные геохимического состава вулканических пеплов обсуждаемых извержений [Захарихина, 2016].

**Расстояние от центра извержения.** Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением расстояния от центра извержения, несмотря на рост концентраций подвижных форм большинства элементов в пепле (см. табл. 3), интенсивность химических преобразований почв снижается. Последнее связано со снижением количества выпадающего пепла на единицу площади и ослаблением непосредственного воздействия на них газорастворенных форм химических элементов, содержащихся в дисперсионной среде вулканического аэрозоля.

**Способы и формы поступления химических элементов в разных климатических условиях.** Расчет баланса подвижных форм химических элементов в почвах при выпадении пеплов показал, что как при зимних, так и при летних вулканических событиях основные количества (более 95 %) подвижных форм большинства химических элементов выпадают из вулканического аэрозоля пепло-газовых туч на поверхность Земли не с дисперсной фазой (в сорбированном виде на поверхности пепловых частиц), а в газо- и водорастворенной формах. Роль непосредственно пеплов в обогащении вулканических почв подвижными формами химических элементов крайне ограничена.

Далее существенные коррективы в процессы накопления и миграции подвижных

форм химических элементов в верхнем органическом горизонте почв вносят метеорологические процессы и явления.

На равном расстоянии в 25 км от центров извержений в почвах ареалов летнего и зимнего пеплопадов выявлены общие разнонаправленные изменения концентраций валовых и подвижных форм элементов. Установлены: в зимних условиях – рост валовых содержаний элементов и вынос их подвижных форм; в летний период – накопление подвижных на фоне падения валовых форм, здесь же наблюдается подкисление почв с существенным (примерно в 1,5 раза) снижением степени насыщенности почв основаниями.

Объясняется это разными климатическими условиями при извержениях. Продукты зимнего извержения ТТИ-50 в процессе весеннего снеготаяния поступили в почвы из приземных тонких (первые сантиметры) горизонтов снежного покрова. Небольшие объемы талых вод из них обогащены анионами  $\text{SO}_4^{2-}$ , содержания которых составляли от 742 мг/л в непосредственной близости от центра извержения [Округин, 2013] до 34,56 мг/л в 75 км от него (т. н. Тб-3). Кроме того, в водах установлены повышенные концентрации  $\text{Cl}^-$  до 220,1 и  $\text{F}^-$  до 30,25 мг/л в 75 км от центра извержения, при значениях рН 3,5–4,9.

При весеннем таянии всего снежного покрова происходит образование большого объема слабо концентрированных водных растворов кислот, которые просачиваются через верхний органический горизонт почв и выносят из него подвижные формы химических элементов. При этом частично выносятся элементы, привнесенные с пеплами. Низкие концентрации кислот не приводят к разрушению прочносвязанных форм элементов, поэтому их общие валовые содержания обнаруживают признаки накопления в почвах.

При летнем извержении влк. Шивелуч кислотообразующие компоненты вулканических газов при отсутствии снежного покрова в больших количествах выпадали из пепло-газовой тучи непосредственно на поверхность земли в виде аэрозоля и сорбированных на поверхности пепловых частиц.

При взаимодействии компонентов вулканических газов с ограниченными объемами атмосферных осадков образовывались более концентрированные растворы кислот поступающих в верхний органогенный горизонт почв. Подтверждением этому может служить минимальное значение рН 3,9 водной вытяжки в верхнем органогенном горизонте почв в т. н. Шв-4 в 25 км на ЮЗ от влк. Шивелуч после его летнего извержения (см. табл. 4). Это могло привести к разложению определенного количества минеральной составляющей почв с переходом прочносвязанных форм химических элементов в подвижные. Учитывая незначительные доли подвижных форм элементов в их общем валовом количестве, даже первые проценты преобразования последних приводят к заметному росту концентраций подвижных форм.

Отмеченное падение валовых количеств многих элементов в верхнем органогенном горизонте почв после выпадения пеплов влк. Шивелуч свидетельствует о том, что привнос этих элементов при пеплопаде все же не компенсирует их общих потерь, связанных с выносом кислыми растворами.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящих исследований позволяют достаточно обоснованно говорить о том, что существующие представления о сорбционных способностях вулканических пеплов при извержениях вулканов в условиях холодного гумидного климата в значительной степени преувеличены.

Подавляющая часть подвижных форм химических элементов в окрестностях вулканов выпадает на поверхность Земли при пеплопадах из атмосферы в газо- и водорастворенном видах непосредственно из дисперсионной среды вулканического аэрозоля, а не в сорбированной форме в составе пеплов. Основная масса таких выпадений приурочена к осевым частям пеплопадов, к склонам и подножиям вулканов. С увеличением расстояния от центра извержения, несмотря на рост концентраций подвижных форм большинства элементов в пепле, интенсивность химических преобразований

почв снижается. Наиболее значимое влияние на характер химических преобразований почв в ареалах выпадения пеплов оказывают время года и метеорологические условия извержений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Ашинов М. И. Приемы повышения качества посадочного материала косточковых плодовых культур на основе использования органо-минеральных субстратов: автореф. ... дис. канд. с.-х. наук. Краснодар, 2013. 180 с.
- Башарина Л. А. Водные вытяжки пепла и газы пепловой тучи вулкана Безымянного // Бюл. вулканол. станции. 1958. № 27. С. 47–68.
- Григорьев Н. А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.
- Гущенко И. И. Пеплы Северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. С. 91–102.
- Захарихина Л. В., Литвиненко Ю. С. Генетические и геохимические особенности почв Камчатки. М.: Наука, 2011. 245 с.
- Захарихина Л. В., Литвиненко Ю. С. Особенности геохимического состава почв в ареалах выпадения вулканических пеплов активных вулканов Камчатки // Почвоведение. 2016. № 3. С. 333–343.
- Карандашев В. К., Туранов А. Н., Орлова Т. А. и др. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в элементном анализе объектов окружающей среды // Завод. лаб. Диагностика материалов. 2007. Т. 73, № 1. С. 12–22.
- Округин В. М. Вулканическая фантазия – месяц третий // Горный вестн. Камчатки. 2013. Вып. 1 (23). С. 79–92.
- Самойленко С. Б., Мельников Д. В., Магуськин М. А., Овсянников А. А. Начало нового трещинного Толбачинского извержения в 2012 году // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. Вып. 20, № 2. С. 20–22.
- Соколов И. А. Вулканизм и почвообразование. М.: Наука, 1973. 224 с.
- Barak P., Chen Y., Singer A. Ground basalt and tuff as iron fertilizers for calcareous soils // Plant Soil. 1983. N 73. P. 155–158.
- Joergensen R. G., Castillo X. Interrelationships between microbial and soil properties in young volcanic ash soils of Nicaragua // Soil Biol. Biochem. 2001. N 33. P. 1581–1589.
- Louder R. Volcanic Ash May be Helping Vegetation Growth. Reykjavik: Grapevine, 2010. P. 24.
- Seward W., Edwards B. Testing hypotheses for the use of Icelandic volcanic ashes as low cost, natural fertilizers // Geophysical Union Meeting. Abstr. Vienna. April 2012. P. 178.



Shoji S., Nanzyo M., Dahlgren R. A. Volcanic Ash soils. Genesis, Properties and Utilization. Amsterdam: Elsevier, 1993. 287 p.

Shoji S., Takahashi T. Environmental and agricultural significance of volcanic ash soils // Global Environ. Res. 2002. N 6. P. 113–135.

## Chemical Transformation of Kamchatka Soils after the Inclusion of Tephra

Yu. S. LITVINENKO<sup>2</sup>, L. V. ZAKHARIKHINA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *EcoGeoLit Ltd.*  
119330, Moscow, Mosfil'movskaya str., 17B  
E-mail: [ecogeolit@mail.ru](mailto:ecogeolit@mail.ru)

<sup>2</sup> *Geotechnological Research Center, Far Eastern Branch, RAS*  
683002, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Severo-Vostochnoye sh. 30, p/o box 56  
E-mail: [zlv63@yandex.ru](mailto:zlv63@yandex.ru)

It is established that in the conditions of cold humid climate the change in the chemical composition of soils after the arrival of volcanic ash in them depends on the granulometric and petrochemical composition of the products of eruptions, the method and the forms of chemical elements entering the soils, the season and the meteorological conditions of the ash falls. Petrochemical composition of ash determines, mainly, the nature of changes in the gross composition of soils. Transformations of soils in the part of the contents of mobile forms depend more on the time of year and the meteorological conditions of ash falls. The overwhelming part (up to 99.3 %) of the mobile forms of most elements enters the soils at ash falls not in the composition of ash particles, but in gas and water-soluble forms directly from the dispersion medium of volcanic aerosol. In 25 km from the centers of eruptions in soils are established: in winter conditions – growth of gross contents of elements and removal of their mobile forms; in the summer period – the accumulation of mobile forms of elements against the background of a fall in the content of their gross forms, acidification of soils is observed here with a significant (about 1.5-fold) decrease in the degree of saturation of soils with bases.

**Key words:** Kamchatka, volcanic eruptions, ash falls, chemical elements, changing soil properties.