

Номер проекта	13-05-00585
1.2	Руководитель проекта (фамилия, имя, отчество) Захарихина Лалита Валентиновна
1.3	Название проекта Вулканизм как определяющий фактор формирования геохимии экосистем Камчатки
1.4	Код и название конкурса А Инициативный
1.5	Год представления отчета 2013
1.6	Вид Отчета (цифра 1 – итоговый; цифра 2 - этап 2013 г.) 2
1.7	Аннотация (не более 1 стр.; описать содержание фактически проделанной за отчетный период работы и полученные результаты: для итоговых отчетов – за весь период работы над проектом, для промежуточных – за 2013 год) Установлена роль вулканических пеплов в формировании радиоэкологической обстановки на Камчатке. Формируясь за счет вулканических пеплов и обладая депонирующими свойствами, почва является основным связующим звеном в процессах миграции микроэлементов, в том числе радиоактивных, из пеплов в другие компоненты природной среды. В границах почвенных провинций (Южная и Северная), выделенных ранее по петрохимическому составу, подстилающих почвы, вулканических пеплов, относительно повышенный геохимический фон Th и U в природных средах характерен для Южной провинции, где в почвах распространены преимущественно пеплы кислого состава. Более низкий фон этих элементов отмечается для природных сред Северной провинции, где почвенный покров, образован на пеплах среднего и основного составов. Эта закономерность соответствует литературным данным по кларкам Th и U магматических пород соответствующего пеплам состава. Для территории Южной почвенной провинции характерен и более высокий общий региональный фон мощности экспозиционной дозы гамма-излучения над поверхностью Земли относительно северных территорий Камчатки. В среднем 10–11,5 мкР/ч на юге и 8–9,5 мкР/ч на севере полуострова.
1.8	Полное название организации, предоставляющей условия для выполнения работ по Проекту физическим лицам (использовать только официально утвержденное название) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук
3.3	Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы (в порядке значимости) 05-716, 05-716

3.4 Объявленные ранее цели проекта на 2013 год

Основной целью в рамках проблемы является исследование особенностей формирования геохимических свойств компонентов среды в условиях активного вулканизма путем изучения геохимических связей в рядах – вулканические пеплы – почвы – растения; вулканические пеплы – почвы – донные отложения – природные воды.

3.5 Степень достижения поставленных в проекте целей

Показано, что радиозэкологические свойства природных сред Камчатки в первую очередь зависят от петрохимического состава вулканических пеплов, слагающих минеральную основу почв полуострова. Формируясь за счет вулканических пеплов, и обладая депонирующими свойствами, почва является основным связующим звеном между пеплами и другими компонентами природной среды. Пеплы и почвы региона определяют геохимические свойства донных отложений водотоков, составляя большую часть их мелкой фракции, которые в свою очередь влияют на особенности гидрогеохимического состава природных вод Камчатки.

Питание поверхностных вод Камчатки смешанное – доля снегового и дождевого питания соответственно 30-35 % и 5 – 10 % от общего объема стока. Остальная часть приходится на подземное питание – основное и сезонное. Основной подземный сток в годовом цикле достигает минимальных значений к концу зимы. Усиление сезонного подземного питания происходит в теплый период года с максимумом в августе-сентябре за счет инфильтрации талых вод и выпадения дождей.

Атмосферные осадки, участвующие в питании природных вод Камчатки, при отсутствии их контакта с рудными и иными геохимическими аномалиями, формируют фоновый гидрогеохимический состав, проходя через мощный почвенно-пирокластический чехол. В зимнее время они обогащаются элементами от регулярно поступающих на снежный покров свежих вулканических пеплов, богатых, как известно, растворимыми формами элементов в том числе и радиоактивных, легко переходящими в талые воды

3.6 Полученные в 2013 году важнейшие результаты

Многолетние исследования генезиса и геохимических особенностей почв Камчатки позволили нам ранее выделить на территории полуострова Южную и Северную провинции, почвы которых унаследовали геохимические характеристики от вулканических пеплов различного петрохимического состава, на которых они сформировались (Захарихина, Литвиненко 2011). В этой связи, радиогеохимические исследования территориально привязывались, в первую очередь, к выделенным почвенным провинциям. Почвы Южной провинции развиты преимущественно на кислых пеплах вулканов южной Камчатки (Опала, Ксудач, Курильское озеро), находившихся при голоценовых извержениях в зрелой кальдерообразующей стадии развития. В отличие от почв северных территорий полуострова характеризуются более низким содержанием большинства химических элементов, слабой степенью насыщенности основаниями, более кислой реакцией среды, при относительно большем содержании гумуса и хорошо выраженных иллювиальных процессах.

Почвы Северной провинции образованы на пеплах преимущественно базальтового и андезитового составов современных извержений вулканов северной группы Камчатки (Шивелуч, Толбачик, Безымянный, Ключевская сопка), находящихся в ранней базальтоидной стадии развития. Почвы имеют более богатый общий микроэлементный состав, относительно повышенную степень насыщенности основаниями и более основную реакцию среды. Содержание гумуса в них пониженное, иллювиальные процессы не выражены.

РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ФОН ПОЧВ, ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОТОКОВ КАМЧАТКИ

Установленные региональные фоновые валовые концентрации тория и урана в минеральных почвах и природных водах обеих почвенных провинций существенно ниже кларков этих элементов в тех же средах. Наиболее низкие значения кларков концентрации ($K_k=0,036$ и менее) отмечаются для поверхностных вод Камчатки (таблица 1).

Результаты расчетов основных геохимических параметров и показателей распределения содержаний тория и урана в почвах, поверхностных водах и донных отложениях водотоков в пределах выделенных почвенных провинций Камчатки показали повышенный общий геохимический фон Th и U в природных средах Южной провинции относительно северных районов полуострова.

Исключение составляют почвы торфяных болот, характеризующиеся более высоким фоном U в Южной провинции (превышение 1.40 раз), а Th – на севере полуострова (превышение 1.55 раз). Нарушение этой закономерности для торфяных почв может быть объяснено их органогенной природой, отсутствием тесной генетической связи мощных торфяных горизонтов с редкими маломощными минеральными прослоями вулканических пеплов и, как следствие, повышенной ролью биогеохимических процессов.

В поверхностных водах территорий обеих провинций Камчатки средние фоновые содержания Th и U крайне малы. При этом содержания Th в большинстве обследованных водотоках оказались ниже предела обнаружения анализа, что не позволило определить достоверные показатели его регионального гидрогеохимического фона. Для этого элемента можно отметить большую встречаемость проб со значащими содержаниями (17.8% против 3%), существенно более высокую максимальную концентрацию и общий размах содержаний в водах, распространенных в пределах Южной провинции относительно Северной. Местный гидрогеохимический фон U в поверхностных водах южных районов Камчатки в 3 раза выше его фоновых концентраций в водотоках Северной почвенной провинции.

Фоновые содержания Th и U в донных отложениях водотоков в пределах Северной почвенной провинции практически не отличаются от регионального фона для развитых здесь минеральных почв. В донных отложениях водотоков Южной провинции установлены превышения фоновых содержаний обоих элементов в сравнении с минеральными почвами: Th в 1.46 и U в 1.4 раза. При сопоставлении по этим геохимическим параметрам отложений водотоков провинций между собой отмечаются, как и в почвах, более высокие региональные фоны Th и U в пределах Южной провинции с превышением над северными территориями, соответственно, в 2.56 и 2.12 раз. Характер изменений остальных геохимических показателей в донных отложениях обеих провинций также совпадает с их поведением в минеральных почвах.

По убыванию степени превышения фона Th и U (за исключением Th в торфяных почвах) на территории Южной почвенной провинции относительно Северной провинции, изученные природные среды, располагаются в следующем порядке: поверхностные воды – донные отложения водотоков – минеральные почвы (валовые концентрации элементов) – почвы торфяные (U) – минеральные почвы (подвижные формы элементов).

Характер изменений Th/U отношения в исследованных природных средах южных и северных территорий Камчатки выражается в однонаправленном его убывании в ряду донные отложения водотоков – почвы минеральные (валовые содержания) – почвы торфяные (валовые содержания) – почвы минеральные (подвижные формы) – поверхностные воды. Полученный ряд обнаруживает наличие явной закономерности, связанной с ролью воды в формировании радиогеохимических свойств рассматриваемых природных сред. В свою очередь последнее связано со значительно более высоким значением коэффициента водной миграции у U (3,1) относительно Th (0,07) (Соловов и др., 1990). Учитывая большую геохимическую подвижность урана в

Таблица 1. Геохимические параметры и показатели содержаний Th и U в природных средах в пределах почвенных провинций Камчатки

Показатели и параметры	Th		U	
	Южная провинция	Северная провинция	Южная провинция	Северная провинция
Минеральные почвы (валовые содержания)				
Региональный фон (Сф), мг/кг	2.063	1.191	0.763	0.579
Стандартное отклонение (σ)	1.016	0.483	0.416	0.249
Размах содержаний в фоновой выборке, мг/кг	0.280–4.300	0.200–2.200	0.130–1.700	0.088–1.200
Количество проб в фоновой выборке, n	45	131	44	131
Кларк концентрации, $K_k=C_f/\text{кларк}$	0.32	0.18	0.51	0.39
Минеральные почвы (подвижные формы)				
Региональный фон (Сф). мг/кг	0.025	0.019	0.039	0.033
Стандартное отклонение (σ)	0.018	0.013	0.021	0.022
% подвижных форм в валовом количестве	1.21	1.60	5.11	5.70
Размах содержаний в фоновой выборке, мг/кг мг/кг	0.004–0.059	0.001–0.048	0.001–0.100	0.002–0.094
Количество проб в фоновой выборке, n	16	44	15	45
Торфяные почвы (валовые содержания)				
Региональный фон (Сф), мг/кг	0.349	0.54	0.414	0.295
Стандартное отклонение (σ)	0.193	0.235	0.203	0.069
Размах содержаний в фоновой выборке, мг/кг мг/кг	0.170–0.818	0.300–0.880	0.120–1.157	0.200–0.360
Количество проб в фоновой выборке, n	14	8	10	8
Поверхностные воды				
Региональный фон (Сф), мкг/л	<0.002	<0.002	0.018	0.006
% значений выше предела обнаружения	17.8	3	88.7	63.5
Стандартное отклонение (σ)	–	–	0.01	0.003
Размах значений фоновой выборки, мкг/л	<0.002	<0.002	<0.002–0.053	<0.002–0.021
Количество проб в фоновой выборке, n	225	96	238	96
Кларк концентрации. $K_k=C_f/\text{кларк}$	<0.02	<0.02	0.036	0.012
Донные отложения				
Региональный фон (Сф), мг/кг	3.014	1.178	1.067	0.504
Стандартное отклонение (σ)	1.429	0.248	0.59	0.087
Размах содержаний в фоновой выборке, мг/кг мг/кг	0.340–6.100	0.530–1.700	0.130–2.800	0.260–0.710
Количество проб для расчета фона, n	39	33	35	33

средах, можно говорить о том, что падение значений Th/U отношения обусловлено главным образом опережающим ростом содержаний U.

Приоритетное положение донных отложений водотоков в ряду природных сред, ранжированных по убыванию средней величины Th/U отношения, может быть объяснено интенсивным вымыванием из них U проточной водой. Последнее место в ряду поверхностных вод Камчатки является следствием значительно более активного накопления в них U относительно Th за счет более интенсивного вымывания первого из всех сред, контактирующих с водой (горные породы, почвы и донные отложения). Безусловно, повышенный общий геохимический фон Th и U в природных средах Южной провинции относительно северных районов полуострова связан с разным петрохимическим составом вулканических пеплов, залегающих в почвенно-пирокластическом чехле этих территорий. Почвы Южной провинции сформированы преимущественно на пеплах кислого состава, которые по своей принадлежности к кислым магматическим породам имеют более высокие кларки рассматриваемых элементов, относительно пеплов среднего и основного составов, являющихся минеральной основой для почв Северной провинции.

Формируясь за счет вулканических пеплов, и обладая депонирующими свойствами, почва является основным связующим звеном между пеплами и другими компонентами природной среды. Пеплы и почвы региона определяют геохимические свойства донных отложений водотоков, составляя большую часть их мелкой фракции, которые в свою очередь влияют на особенности гидрогеохимического состава природных вод Камчатки.

Питание поверхностных вод Камчатки смешанное – доля снегового и дождевого питания соответственно 30-35 % и 5 – 10 % от общего объема стока. Остальная часть приходится на подземное питание – основное и сезонное. Основной подземный сток в годовом цикле достигает минимальных значений к концу зимы. Усиление сезонного подземного питания происходит в теплый период года с максимумом в августе-сентябре за счет инфильтрации талых вод и выпадения дождей.

Атмосферные осадки, участвующие в питании природных вод Камчатки, при отсутствии их контакта с рудными и иными геохимическими аномалиями, формируют фоновый гидрогеохимический состав, проходя через мощный почвенно-пирокластический чехол. В зимнее время они обогащаются элементами от регулярно поступающих на снежный покров свежих вулканических пеплов, богатых, как известно, растворимыми формами элементов в том числе и радиоактивных, легко переходящими в талые воды

ФОНОВАЯ МОЩНОСТЬ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕМЛИ

Вариации мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения на высоте 0.1 м над поверхностью Земли в пределах Южной и Северной почвенных провинций Камчатки изучены в различных ландшафтных условиях на ключевых участках и частично за их пределами (рисунок 1).

Массивы результатов замеров гамма-излучения в обеих провинциях были разбиты по основным ландшафтным условиям расположения точек наблюдений: склон, пойма и болото. Для обеих почвенных провинций Камчатки установлены две наиболее общие закономерности статистически значимых вариаций гамма-излучения в различных ландшафтных условиях.

1. На всей изученной территории Камчатки минимальные значения гамма-фона относительно остальных ландшафтов характерны для территорий болот. Торфяные, преимущественно, олиготрофные почвы, мощность которых составляет в среднем для камчатских болот от 2 до 3.5 м, экранируют радиационный фон подстилающих пород. В самом мертвом органическом веществе концентрации радиоактивных элементов, имеющих вторичное эпигенетическое происхождение, как известно, не велики.
2. На четырех из шести ключевых участках, а также за их пределами, отмечается более высокий радиационный фон для пойменных поверхностей относительно склонов. Обусловлено это, безусловно, поступлением на территории пойм с обширных водосборных площадей вещества, обогащенного, в том числе, и радиоактивными

элементами.

В пределах Южной почвенной провинции установлено значимое возрастание средних значений МЭД на крутых склонах с близко залегающими коренными породами и на водоразделах в зоне гольцов.

Проведены замеры МЭД гамма-излучения на территориях (склоны и поймы), попадающих в зону влияния действующих вулканов Камчатки. В границах Северной провинции исследования проведены на площади развития покровов молодых вулканических пеплов вулканов Ключевской, Безымянный, Шивелуч и Толбачик. В Южной провинции – на склонах вулкана Авача. Установлено, что на склонах и в поймах водотоков таких территорий наблюдается снижение средних значений МЭД гамма-излучения над поверхностью Земли относительно районов, расположенных на удалении от вулканических построек.

В целом выделенные ландшафтные условия обеих почвенных провинций по мере убывания величин регионального гамма-фона располагаются в одинаковом порядке: поймы – склоны – болота. Близки и соотношения фоновых значений для различных ландшафтов.

При сравнении по данным показателям Северной и Южной провинций между собой видно, что региональные фоновые значения МЭД гамма-излучения для всех рассматриваемых ландшафтных условий южной части Камчатки выше, чем на севере полуострова. Это в полной мере согласуется с отмеченной выше общей закономерностью распространенности на обследованных территориях тория и урана, фоновые содержания которых в природных средах Южной провинции выше, чем в – Северной.

Корреляционный анализ показал отсутствие значимых связей между МЭД гамма-излучения над поверхностью Земли и валовыми содержаниями Th и U в почвах. В тоже время установлена значимая положительная корреляция такого гамма-излучения от содержания в почвах подвижных форм урана ($r = 0.819$ при $r_{5\% \text{ крит.}} = 0.406$).

УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОТОКОВ

Оценка удельной активности радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{232}Th и ^{137}Cs в донных отложениях водотоков на ключевых участках в Южной и Северной (почвенных провинциях Камчатки показала следующее.

В донных отложениях водотоков Южной провинции средние величины и размахи значений (R) удельной активности радионуклидов составляют: ^{226}Ra – 19.5 ± 4.8 Бк/кг ($R=3.2$); ^{228}Ra – 16.3 ± 5.1 Бк/кг ($R=3$); ^{224}Ra – 20.0 ± 5.0 Бк/кг ($R=3.4$); ^{232}Th – 16.8 ± 5.3 Бк/кг ($R=2.5$) и ^{40}K – 332 ± 63 Бк/кг ($R=3.2$). В целом можно отметить малый разброс значений рассчитанных показателей. В донных отложениях водотоков Северной провинции удельная активность ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra и ^{232}Th , в подавляющем большинстве случаев, ниже предела обнаружения анализа (? 10 Бк/кг) и, соответственно, заметно ниже (приблизительно в 2 раза), чем средние значения этого показателя в донных осадках Южной провинции. Средняя удельная активность ^{40}K составляет – 329 ± 94 Бк/кг, что практически совпадает со значением этого показателя для Южной провинции. Уменьшение размаха его значений в донных отложениях Северной провинции ($R=1.3$) связано с меньшим территориальным разбросом точек опробования. Обращает на себя внимание более высокая частота встречаемости значащих величин удельной активности ^{137}Cs (в 2-х из 4-х проб) и незначительно более высокие ее значения в донных отложениях водотоков участка «Озерновский» в Северной провинции (14 ± 5 и 16 ± 5 Бк/кг).

Максимальные величины удельной активности ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra и ^{232}Th в донных отложениях водотоков Южной и Северной провинций не превышают типичные значения естественного природного фона для почв, грунтов и горных пород (20-50 Бк/кг для радиоактивных изотопов Ra и ^{232}Th ; 200-800 Бк/кг для ^{40}K (Ярошевский, 2004)).

РАДИОГЕОХИМИЯ СВЕЖЕВЫПАВШИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕПЛОВ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА КАМЧАТКЕ

В вулканических почвах Камчатки поступление элементов из выветривающихся пород геологического основания, от которого органогенные горизонты «оторваны» многочисленными прослоями пеплов, практически отсутствует. В таких условиях состав вулканических почв, вне зависимости от положения в разрезе (поверхностные или погребенные органогенные горизонты), подчинен составу подстилающих их пеплов. Основные отклонения от такой преемственности химического состава могут вносить подвижные формы элементов, привнесенные в почвы с вулканическими пеплами и вовлеченные в процессы латеральной и радиальной геохимической миграции.

В этой связи в рамках настоящих исследований представляются актуальными сведения о распространенности Th и U в свежевыпавших вулканических пеплах Камчатки, которые рассмотрены на примере продуктов современной эксплозивной деятельности пяти вулканов: Ключевского (2009 г), Корякского (2009 г), Кизимена (2011 г), Шивелуча (2006, 2009, 2013 гг) и Толбачика (2012 г) (таблица 2). Территориально вулканы Ключевской, Шивелуч и Толбачик приурочены к так называемой северной группе вулканов, расположенной на северо-востоке полуострова. Вулкан Кизимен находится южнее этой группы, а вулкан Корякский расположен на юго-востоке Камчатки в 35 км на север от г. Петропавловск-Камчатский.

Все выше перечисленные вулканы эпизодически поставляют свежий пепловый материал на поверхность Земли в своих окрестностях (первые десятки километров). Иногда перенос пеплов бывает значителен. К примеру, нами изучены пеплы извержений вулканов Шивелуч (2006 г) и Толбачик (2012 г), выпавшие, соответственно, в 110 км и 210 км на север от источников.

Извержения вулканов Корякский, Кизимен и Шивелуч сопровождаются выбросом пирокластического материала среднего состава. Вулканы Ключевской и Толбачик имеют базальтовый петрохимический состав пеплов.

В свежевыпавших пеплах рассматриваемых вулканов Камчатки концентрации Th и U в подавляющем большинстве случаев существенно уступают их кларкам для соответствующих типов магматических пород. Исключение составляет извержение 2012 г вулкана Толбачик: содержания Th мало уступают его кларку в базальтах континентов, а содержания U в 1,65-1,70 раз превышает кларк. При этом, концентрации U в пеплах совпадают с его содержаниям в свежей лаве того же извержения, в отличие от Th, содержание которого в пеплах заметно снижается. Анализ полученных данных позволяет выделить следующие основные особенности пеплов перечисленных выше вулканов по содержанию тория и урана:

? максимальные валовые содержания Th и U установлены в пепле начала извержения 2012 г вулкана Толбачик, произошедшем после длительного периода покоя вулкан; максимально высокие содержания подвижных форм элементов характерны для пеплов вулканов Шивелуч (2013 г) и Кизимен (2011 г), выпавших в летний период, а также вулкана Корякский (2009 г), пеплы которого выпали зимой, но были опробованы сразу после извержения с поверхности снежного покрова;

наиболее низкие содержания валовых и подвижных форм этих элементов характерны для базальтовых пеплов вулкана Ключевской, по дефициту подвижных форм U к ним близки пеплы первого выброса извержения 2012 вулкана Толбачик;

? в свежих пеплах, за исключением первого выброса извержения вулкана Толбачик, % подвижных форм в общем содержании элемента выше у U;

максимальные содержания Th и U установлены в талых водах из снега, содержащего пеплы извержения 2012 г вулкана Толбачик, отобранного с поверхности свежих лавовых потоков в непосредственной близости от центра извержения.

Минимальное значение Th/U отношения для валовых содержаний элементов установлено в базальтовых пеплах вулкана Толбачик, для подвижных форм - в базальтовых пеплах вулкана Ключевской. Отмечается общее снижение Th/U отношения в пеплах извержений 2012 г вулкана Толбачик и извержения 2013 г вулкана Шивелуч относительно всех других рассматриваемых извержений предыдущих лет. Особенно заметно это снижение для пеплов извержения вулкана Толбачик за счет более сильного относительного роста концентраций U. Возможно, причина последнего

Таблица 2. Содержание Th и U в вулканических пеплах (мг/кг) и в талой воде (мкг/л) из снега, содержащего эти пеплы

Вулкан. год извержения. расстояние от источника извержения. материал и место опробования		Вулканические пеплы (содержания в мг/кг)							Талая вода из снега с пеплом, мкг/л					
		Th			U			Th/U		Th	U	Th/U		
		Валовые	Подвижные формы	% подвижных	Валовый	Подвижные формы	% подвижных	Валовые	Подвижные					
Ключевской. 2009 г., в 30 км на СВ от вулкана		1.1	0.001	0.09	0.52	0.0016	0.31	2.12	0.63	< 0.007	< 0.004	–		
Корякский. 2009 г., в 20 км на запад от вулкана		1.9	0.028	1.47	0.65	0.016	2.46	2.92	1.75	0.02	0.02	1.00		
Кизимен*. 2011 г., в 255 км на ЮЮЗ от вулкана		2.2	0.034	1.55	1.1	0.018	1.64	2.00	1.89	лето				
Шивелуч. 2006 г., в 110 км на север от вулкана		1.4	–	–	0.59	–	–	2.37	–	0.009	0.13	0.07		
Шивелуч. 2009 г., в 18 км на запад от вулкана		1.8	0.0059	0.33	0.80	0.0089	1.11	2.25	0.66	0.022	0.023	0.96		
Шивелуч. 2013 г., в 25 км на ЮЗ от вулкана		1.4	0.016	1.14	0.76	0.019	2.50	1.84	0.84	лето				
Шивелуч. 2013 г., в 50 км на ЮЗ от вулкана		1.4	0.027	1.93	0.78	0.025	3.21	1.79	1.08	лето				
Толбачик. 2012 г	опробование 02.2013	снег с пеплом с поверхности лавового потока вблизи кратера**	4.51***	–	–	1.71***	–	–	2.64	–	1.84	1.23	1.50	
		снег с пеплом 1-го выброса (27.11.12 г)	ось пеплопада в 75 км на север от кратера	2.4	0.0051	0.21	1.7	0.0017	0.10	1.41	3.00	1.1	1.0	1.10
			периферия пеплопада в 50 км на ССЗ от кратера	недостаточно материала для анализа							< 0.01	< 0.008	–	
			пеплопада в 210 км на север от кратера	2.4	0.0091	0.38	1.6	0.0080	0.50	1.50	1.14	< 0.01	< 0.008	–
	снег с пеплом 2-го выброса (28.11.12 г)	ось пеплопада в 50 км на ССЗ от кратера	2.4	0.0095	0.40	1.6	0.0073	0.46	1.50	1.30	0.18	0.14	1.29	
		периферия пеплопада в 75 км на север от кратера	2.4	0.0040	0.17	1.8	0.0022	0.12	1.33	1.82	< 0.01	< 0.008	–	
	опробование 05.2013	снег с пеплом 1-го выброса (27.11.12 г)	ось пеплопада в 75 км на север от кратера	2.9	0.0039	0.13	1.7	0.0016	0.09	1.71	2.44	0.011	< 0.002	>5.5
			периферия пеплопада в 50 км на ССЗ от кратера	2.8	0.0058	0.21	1.8	0.0069	0.38	1.56	0.84	< 0.008	0.0051	<1.57
		снег с пеплом 2-го выброса (28.11.12 г)	ось пеплопада в 50 км на ССЗ от кратера	2.7	0.0070	0.26	1.7	0.0080	0.47	1.59	0.88	< 0.008	0.0077	<1.04
			периферия пеплопада в 75 км на север от кратера	2.7	0.0035	0.13	1.6	0.0024	0.15	1.69	1.46	< 0.008	< 0.002	–

Примечание. «*» - пеплы вулканов Безымянный и Кизимен отобраны в теплый период года; «**» - данные Округина В.М. (2013); «***» - содержания в свежей лаве вулкана Толбачик; «-» - данные отсутствуют или их не достаточно для расчета.

связана с тем, что указанное извержение произошло после длительного периода покоя вулкана.

Корреляционный анализ данных показал наличие в исследуемых вулканических пеплах значащих положительных связей ($r_{5\% \text{ крит.}} = 0.532$) между валовыми содержаниями Th и U ($r = 0.913$), между их подвижными формами в абсолютном ($r = 0.878$) и относительном ($r = 0.940$) выражениях. Значащие отрицательные связи установлены для валового содержания U с его подвижными формами в абсолютном ($r = -0.574$) и относительном ($r = -0.714$) выражениях и с Th/U отношением ($r = -0.789$). Напрашивающаяся, в связи с последней отрицательной связью, положительная корреляция в пеплах между валовым содержанием Th и величиной Th/U отношения не установлена. Это может говорить о том, что значения индикаторного отношения в основном определяются колебаниями валового содержания U.

В талых водах из снега, содержащего пеплы, выявлена очень тесная положительная связь между концентрациями Th и U ($r = 0.992$ при $r_{5\% \text{ крит.}} = 0.576$).

Пространственно-временные закономерности распределения Th и U в вулканических пеплах изучены на примере извержений разных лет вулкана Шивелуч и двух первых выбросов вулкана Толбачик 2012 г.

Сравнение пеплов вулкана Шивелуч извержений 2006, 2009 и 2013 гг показало отсутствие каких-либо явных временных закономерностей в распределении валовых содержаний радиоактивных элементов. При этом заметно устойчивое падение величины Th/U отношения от более ранних к более поздним извержениям. Отмечено увеличение абсолютных и относительных количеств подвижных форм Th и U и их отношения в непромытых осадками пеплах извержения 27 июня 2013 г, опробованных 29 июня, относительно более раннего извержения 2009 г, произошедшего зимой, проба пепла которого отобрана из средней части снежного покрова.

В пробах свежеснег выпавших пеплов выброса 27 июня 2013 г, отобранных с поверхности растений в осевой части пеплопада на расстоянии 25 и 50 км от центра извержения, установлен рост содержаний подвижных форм Th и U, соответственно, в 1,69 и 1,32 раза с увеличением расстояния от вулкана. Их отношение выросло в 1,29 раз. При этом валовая концентрация Th не изменилась, U – слабо увеличилась, с соответствующим незначительным уменьшением Th/U отношения.

Первый выброс пеплов извержения вулкана Толбачик 2012 г произошел в начале зимы 27 ноября с северным направлением оси пеплопада, второй – 28 ноября с северо-западным направлением оси пеплопада. В результате на север-северо-запад от вулкана в нижней части снежного покрова образовались два залегающих друг над другом горизонта, содержащих вулканический пепел. Точки наблюдений заложены: в 75 км от вулкана в осевой части пеплопад 1-го выброса (периферия пеплопада 2-го выброса) и в 50 км от вулкана в осевой части пеплопад 2-го выброса (периферия пеплопада 1-го выброса). Мощность нижнего горизонта с пеплом первого выброса в осевой части пеплопада составляет 1-1,5 см, на периферии - первые мм. Мощность верхнего горизонта с пеплом второго выброса, соответственно, 4-6 см и 2-3 см. Толщина снега между горизонтами 4-6 см. В точках наблюдений проведено двукратное погоризонтное опробование снега с пеплом в феврале и мае месяцах. Кроме того, 28 ноября была отобрана проба свежеснег выпавшего пепла первого выброса в 210 км от вулкана на площади ключевого участка «Озерновский» с поверхности снежного покрова.

Сравнение пеплов 1-го и 2-го выбросов извержения вулкана Толбачик 2012 г по данным опробования, проведенного в феврале 2013 г в осевых частях пеплопадов, показало близкие валовые концентрации Th и U и их отношения. При этом наблюдается заметный рост содержаний подвижных форм обоих элементов в пеплах 2-го выброса, соответственно, в 1,86 и 4,29 раз со значительным падением значения Th/U отношения с 3 до 1,3. В тоже время наблюдается резкое превышение содержаний Th в 6,1 раз и U в 7,1 раз в водах, полученных при таянии снега, содержащего свежеснег выпавший пепел 1-го выброса, в сравнении с пеплом 2-го выброса. Последнее, вероятнее всего, связано со значительно более интенсивным выпадением радиоактивных элементов на поверхность снежного покрова из аэрозоля газовой пепловой тучи при 1-ом выбросе вулкана.

В пеплах 1-го выброса вулкана Толбачик 2012 г, опробованных на удалении 75 и 210 км от него, установлены близкие валовые концентрации Th и U и их отношения. Содержания подвижных форм обоих элементов с увеличением расстояния обнаруживаю заметный рост, соответственно, в 1,78 и 4,71 раз со значительным падением значения Th/U отношения с 3 до 1,14. При этом в талых водах в этом направлении отмечается резкое, на два порядка, падение концентраций элементов. В результате оценки радиогеохимических свойств пеплов в осевой и периферийной частях пеплопада 2-го выброса по данным февральского опробования установлено, что они мало отличаются по валовым содержаниям Th и U. Одновременно в краевых частях пеплопадов происходит резкое падение содержаний их подвижных форм, некоторое снижение Th/U отношения для вала и его повышение для подвижных форм этих элементов.

Повторное опробование снега с пеплом обсуждаемых выбросов вулкана Толбачик в тех же точках наблюдения в мае 2013 г показало рост в пеплах обоих выбросов валовых концентраций Th при близких содержаниях U с соответствующим ростом Th/U отношения. Подвижные формы ведут себя менее однообразно. Для пеплов 1-го выброса к концу зимы в осевой части наблюдается заметное падение концентрации Th и слабое уменьшение содержания U. Высокие содержания подвижных форм элементов на периферии этого пеплопада является результатом заражения подтаявшим, значительно более мощным выше залегающим горизонтом с пеплом 2-го выброса. В осевой и периферийной частях пеплопада 2-го выброса вулкана установлены падение содержаний подвижных форм Th и параллельный слабый рост концентраций U с соответствующим падением их отношений.

Наиболее заметные изменения в снежном покрове, произошедшие за зиму, связаны с резким (на 2 и более порядков) падением концентраций Th и U в талых водах из горизонтов снега с пеплами обоих выбросов.

Вероятно, именно с резким падением к весне количеств радиоактивных элементов в талых водах связаны все выше описанные изменения радиогеохимических свойств пеплов. В частности, увеличение валовых содержаний Th в пеплах связано, по-видимому, с выпадением в осадок легкоподвижных растворенных форм элемента. Причины радиогеохимических изменений в пеплах, пролежавших в снеге с февраля по май, требуют дальнейших более глубоких исследований. Проведенные исследования позволяют утверждать, что основные изменения первично-конституционного распределения элементов в свежевыпавших вулканических пеплах являются следствием их взаимодействия с водой.

3.7 Степень новизны полученных результатов

Все имеющиеся научные исследования естественной радиоактивности на Камчатке посвящены, в первую очередь, ее связи с горными породами, вулканической деятельностью и современными гидротермальными процессами (Пузанков и др., 1977; Шаврова, 1937; Адамчук, и др., 1986; Андреев, 2011). Вместе с тем, оставались малоизученными вопросы общего радиогеохимического фона компонентов природной среды на обширных территориях полуострова за пределами вулканических построек и очагов разгрузки парогидротермальных систем.

В ходе выполнения проекта получены данные о содержании радиоактивных элементов в перенесенных на дальние расстояния вулканических пеплах, почвах на них образованных, природных водах и донных отложениях региона, как на фоновых площадях, так и в аномальных полях вблизи активно действующих вулканов. Установлена роль вулканических пеплов в формировании радиоэкологической обстановки на Камчатке.

3.8 Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем

Специфика формирования геохимических и в том числе радиогеохимических свойств природных сред в зонах активного вулканизма, заключается в регулярном периодическом поступлении в них свежих вулканических пеплов, которые, безусловно, должны влиять на формирование их элементного состава. Однако научных исследований, посвященных изучению особенностей формирования геохимических характеристик почв природных вод, донных отложений водотоков, в условиях активного вулканизма до настоящего времени фактически не проводилось. Исследования фоновой радиоэкологической обстановки на Камчатке особенно актуальны сегодня в связи с произошедшей в марте 2011 года аварии и продолжающимися до настоящего времени экологическими проблемами на атомной электростанции «Фукусима-1» в Японии. Полученные результаты объясняют естественный характер повышенного радиогеохимического фона в природных средах на юге Камчатки относительно северных районов полуострова. Фоновые концентрации Th и U в почвах и поверхностных водах Камчатки существенно ниже их кларков для указанных природных сред. Уровень мощности экспозиционной дозы гамма-излучения у поверхности Земли (в среднем 10–11,5 мкР/ч на юге и 8–9,5 мкР/ч на севере полуострова) уступает естественному уровню этого показателя для открытых горных территорий средней полосы России. Удельная активность ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в донных отложениях водотоков не превышает типичные значения природного фона для почв, грунтов и горных пород.

3.9 Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта (описать, уделив особое внимание степени оригинальности и новизны)

При выполнении исследований был применен системный подход, при котором все изучаемые природные среды рассматривались как элементы единой системы, находящиеся в постоянном взаимодействии, взаимосвязи и взаимозависимости. На основании выявленных характеристик отдельных компонентов среды устанавливались свойства экосистемы в целом, которые в свою очередь позволили определить иерархичность ее строения, то есть подчинения элементов низшего уровня элементам высшего уровня.

3.10.1.1 Количество научных работ, опубликованных в ходе выполнения Проекта (для Отчетов по продолжающимся Проектам – за 2013 год, для итоговых Отчетов – за весь период выполнения Проекта, цифрами)

7

3.10.1.2 Из них включенных в перечень ВАК

2

3.10.1.3 Из них включенных в системы цитирования (Web of Science, Scopus, Web of Knowledge, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris, GeoRef)

1

3.10.2 Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения проекта и принятых к печати в 2013 году (цифрами)

2

3.11 Участие в научных мероприятиях по тематике Проекта, которые проводились при финансовой поддержке Фонда (указать только количество мероприятий – цифрами)

1

3.12 Участие в экспедициях по тематике Проекта, которые проводились при финансовой поддержке Фонда (указать только количество экспедиций – цифрами)

1

3.15 Библиографический список всех публикаций по проекту за весь период выполнения проекта, в порядке значимости: монографии, статьи в научных изданиях, тезисы докладов и материалы съездов, конференций и т.д. (к отчету за второй год выполнения проекта – список публикаций за два года, к отчету за третий год выполнения проекта – список за три года)

1. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Особенности строения профилей вулканических почв в условиях высотной поясности Камчатки // Почвоведение. № 6. 2013. С.643-657.
2. Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. Specific Features of the Morphology of Volcanic Soils in the Altitudinal Zones of Kamchatka // Eurasian Soil Science. Vol. 46, No. 6, 2013. pp. 611—621.
3. Yu.S.Litvinenko Graphic method for estimating the biological absorption coefficient. Mineralogical Magazine, Goldschmidt2013 Conference Abstracts, www.minersoc.org, DOI:10.1180/minmag.2013.077.5.12, P.1621.
4. L.V. Zakharikhina, Yu.S.Litvinenko Biogeochemical poly-barrier qualities in plants. Mineralogical Magazine, Goldschmidt2013 Conference Abstracts, www.minersoc.org, DOI:10.1180/minmag.2013.077.5.26, P.2577.
5. Литвиненко Ю.С. История формирования почвенно-пирокластического чехла Камчатки. VII Международная научная конференция "Вулканизм, биосфера и экологические проблемы". Сборник материалов. - Майкоп: Изд-во АГУ, 2013. С.251-255.
6. Захарихина Л.В. Почвенно-пирокластический чехол и вулканическая почва, как единый объект исследований разных научных направлений. VII Международная научная конференция "Вулканизм, биосфера и экологические проблемы". Сборник материалов. - Майкоп: Изд-во АГУ, 2013.С.224-227.
7. Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. Вулканизм и геохимия окружающей среды. VII Международная научная конференция "Вулканизм, биосфера и экологические проблемы". Сборник материалов. - Майкоп: Изд-во АГУ, 2013., 2013. С.255-258.