

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ АЭРОЗОЛЬНОГО ПЕРЕНОСА**Алехин Ю.В., Лапицкий С.А., Макарова (Фроликова) М.А.,****Мухамадиярова Р.В. (геол. ф-т МГУ), Карпов Г.А., Кузьмин Д.Ю. (ИВиС ДВО РАН)***alekhin@geol.msu.ru, факс: (495) 939-48-08; тел.: (495) 939-49-43*

Ключевые слова: *полиэлементная эмиссия, вулканические аэрозоли*

Наши исследования потоков полиэлементной эмиссии из почвенного покрова и специфики состава вулканических аэрозолей привели нас к выводу, что это область геохимии практически не разработана в отношении межрезервуарного микроэлементного обмена литосфера – атмосфера. Наноразмерные аэрозольные частицы (0,001-1 мкм) подчиняются законам газовой динамики [13, 40] и во флюидных потоках достаточно устойчивы. Экспериментальные исследования потоков полиэлементной эмиссии из почв [4-7, 41] и низкотемпературного переноса микроэлементов позволили детализировать причины весьма высоких значений почвенной эмиссии, отмеченных в публикациях [39, 43, 44, 46-49] последних десятилетий, методическая обеспеченность которых вызывает сомнения. Высокая эмиссия труднолетучих макро- и микрокомпонентов, полученная методом криогенных ловушек и опубликованные [39, 43, 44] оценки (0.01-10 мг/м²·сутки по суммарной минеральной эмиссии) переводят этот процесс в один из важных в валовом балансе аэрозольных поступлений в атмосферу [17-20], сопоставимый с пылевой контаминацией. Сложность достоверного определения форм [32, 33], состава и дисперсности частиц газовой фазы, эмитирующей из почвенного покрова, в значительной степени связана с отсутствием методически обоснованных приемов отбора конденсатов [9, 10], свободных от аэрозольной компоненты, и методов их надежного разделения в стационарную стадию процесса [25-27]. Получение информации о коэффициентах распределения металлов между поровыми растворами, истинными газовыми комплексами и минеральными фазами почв, оценка роли газового электрофореза при переходе к молекулярным кластерам [16] и коллоидным [13, 40] аэрозолям (0.1 мкм и менее) позволили нам внести ясность в оценки потоков почвенной эмиссии.

В мировой геохимической литературе до 80-х годов двадцатого века было очень мало данных по металлоносности высокотемпературных вулканических газов. Мощное Толбачинское извержение (БТТИ) 1975 – 76 гг. позволило отобрать пробы конденсатов при температурах до 1000 градусов и получить надежные количественные определения содержаний в них большого ряда химических элементов, включая Zn, Cu, Pb, Au, Ag, Pt. Практически впервые были определены масштабы выноса элементов вулканическими эксгаляциями – производными расплава магнезиальных базальтов, поступающих с большой скоростью из верхней мантии [24]. Дифференциация многокомпонентной газовой фазы в приповерхностных условиях кратерной зоны на Северном прорыве БТТИ, обусловленная различной растворимостью летучих соединений в силикатном расплаве, различиями в их температурах кипения, термодинамической устойчивости, а также в упругости паров газовых комплексов, приводит к концентрированию определенных соединений элементов и образованию рудопоявлений меди, цинка и других металлов. В составе эксгаляционных рудных минералов были отмечены многие самородные металлы – золото, серебро, медь, свинец, висмут, вольфрам, многочисленные интерметаллические соединения: сульфаты, окисульфаты, хлориды и оксихлориды Cu, Zn, Pb, Fe, Al, V, Te, Se, Bi, окиси железа и меди [12, 14, 15, 29]. Образование золота было зафиксировано в интервале температур 180-625°C. Оно встречается в виде единичных кристаллов с контурами гексагонов, трапеций и треугольников или незначительных скоплений кристаллов тонкопластинчатого, игольчатого, до волосовидного габитуса. Размеры индивидов золота варьируют от 250 x 50 x 10 мкм до 0,3 мм в поперечнике, при толщине порядка 0,01-0,005 мм. Отмечались классические формы быстрого роста индивидов из газовой фазы. Доказательством осуществления переноса рудных компонентов современными магматогенными флюидными системами является и обнаружение большого числа рудных образований в пеплах действующих вулканов. Так, нами в эруптивных пеплах вулканов Камчатки - Карымского, Безымянного, Ключевского и Шивелуча обнаружены многочисленные зерна самородных металлов - Fe, Al, Zn, Cu, оксидов железа [21, 22], а в последнее время также сульфидов железа и интерметаллических соединений Fe, Ni, Cr, Mo, Mn. Зерна самородных металлов обычно представлены обособленными агрегатами того же размера,

сложенными из наноразмерных частиц порядка 0,2 мкм. Для оксидов и сульфидов железа, а также довольно часто встречающихся индивидов самородного железа и стекла наиболее характерно глобулярная форма образований, которая может быть обусловлена вихревой обстановкой в зоне транспорта и тонкодисперсным состоянием высокотемпературного расплавленного магматического вещества, насыщенного газами. Геохимическая специфика аэрозольного переноса в эруптивных колоннах при извержениях, часто заключается в высокой чистоте индивидуальных выделений самородных металлов от типичных элементов – примесей. Наличие выделений W без Mo и аналогичные примеры для других металлов заставляют предполагать наличие специфических газовых комплексов, устойчивость которых весьма различна при резких изменениях давления и температуры в эруптивных колоннах при извержениях. Наш анализ показал, что на роль таких форм переноса могут претендовать карбонилы металлов, широко используемые при получении особо чистых веществ. Эти ковалентные соединения с формально 0-валентным Me в ядре комплекса содержат переменное количество групп CO в лигандной части и достраивают свою электронную оболочку [31] до оболочки следующего инертного газа, т.е. имеют во внешней сфере 4, 5, 6 групп CO, что вместе с большими различиями в зависимостях констант образования от температуры, их распад делает неодновременным. Расчеты показывают, что при андезитовых извержениях на кислородных буферах QFM и Ni/NiO, при любых мольных долях углекислоты в газовой фазе, весь оксид углерода может быть связан в карбонильные комплексы, появляясь в свободном состоянии лишь в процессе декомпрессии. Ранее [1-3, 45] было показано, что растворимость труднолетучих компонентов во флюидах низкой плотности связана не с их собственной летучестью, но с реакциями ассоциации, комплексообразования и сольватации с более летучими газовыми компонентами. В данном исследовании подход развивается также на свойства более сложных реальных форм переноса - газовые кластеры и наноразмерные аэрозоли, которые, подчиняясь законам газовой динамики, способны к эмиссии из почв и термальных вод, особенно, в электрическом поле околоземной атмосферы (газовый электрофорез). Сконструированы, изготовлены и использованы при проведении полевых и лабораторных экспериментов холодильные и криогенные установки для изучения эмиссии микроэлементов из почв климатически разных регионов России. Впервые отбор конденсатов нами выполнен из различных горизонтов почвенных разрезов для определения глубин и механизмов поступления различных компонентов в конденсаты. Методами, ранее развитыми авторами, осуществлен не только отбор конденсатов, но и газовой-аэрозольных фаз в условиях их конвективного переноса с фиксацией состава на кислотных и щелочных барботерах. Разработанная техника отбора почвенных аэрозольных конденсатов в экспериментах с доминированием диффузионного или конвективного массопереноса показала ведущую роль условий перемешивания в концентрационных зависимостях и определяющую роль гидратации парами воды, а также естественных электрических полей, в формировании ассоциаций главных элементов и микроэлементов. Эти подходы нами в настоящее время переносятся на фумарольные и вулканические аэрозоли. Применение методов ИСП-МС анализов и ультрафильтрации позволяет получить коэффициенты распределения для широкого набора элементов фаз аэрозолей и между исходными газом, жидкостью и органо-минеральными фазами почв.

Полагаем, что аэрозольный перенос устойчивых газовых кластеров размером менее 1 мкм, когда к ним применимы уравнения газовой динамики и наблюдается броуновское движение без седиментации – абсолютно реальное и важное явление флюидного переноса компонентов в различных геохимических обстановках. Переход – от простых газовых форм через газовые полимерные комплексы к надмолекулярным кластерам и аэрозолям, - непрерывен, но термодинамическое описание состава газовых кластеров и аэрозолей должно проводиться в терминах термодинамики малых ансамблей, - такие объекты в качестве объемных фрагментов жидкой или твердой фазы непредставительны статистически. Дуализм образований зафиксирован в последние десятилетия в терминах типа «геогаз» и ему подобных [46-49]. Результаты по содержаниям ртути и эмиссии ее моноатомных паров, в том числе, в газо-гидротермальных системах Камчатки (влк. Мутновский, влк. Карымский, влк. Узон, Апапельские источники), также показывают значительность вклада в перенос ртути [34-36] именно паро-газовых аэрозолей.

Так, для ртутных термопроявлений руч. Апапель [42] в газо-паровой фазе нами непосредственно на источниках найдены концентрации: 9500, 190000 и 311000 нг/м³, что хорошо согласуется с данными Озеровой Н.А. с соавторами [30]. По данным Озеровой Н.А. наиболее высокое содержание ртути в газовой фазе, зафиксированное на выходе Апапельских источников, 75000 нг/м³, что на три порядка выше измеренных ими же и нами значений в атмосферном воздухе

района терм. Этот результат находится, с одной стороны, в согласии с нашими данными, но в очевидном противоречии с величиной константы Генри, определенной в работе [38], и нашими данными по валовым содержаниям ртути в водах Камчатки [8, 27], варьирующими в интервале 0,14 - 2,3 ppb при часто очевидном преобладании окисленных форм ртути. Для согласования результатов этих работ осуществлены пробоотбор как термальных вод Апательских источников, так и прямые измерения содержаний ртути в газопаровой фазе с помощью полевого атомного-абсорбера УКР-1МЦ и в пробе, отобранной в барботер с 3% HNO_3 после предварительной конденсации паровой фазы. Последнее значение (72 нг/м^3 газопаровой фазы) хорошо согласуется с содержанием ртути на золотом сорбенте (92 нг/м^3) и характеризует нуль-валентную форму переноса.

Таблица 1

Содержания ртути в водах источников и конденсатах паровой фазы
Апательские источники «верхние»

Источник	№ пробы	Характеристики источника	Hg в воде, ppb	Hg, нг/м^3 , конденсат водного аэрозоля
APV-05	КМЧ-109/07	$t=84,7^\circ\text{C}$, $s=1068 \text{ мг/л}$ (по NaCl), $\text{pH} = 7,8$, $E_h = 545 \text{ mV}$	0.194	9500
APV-09	КМЧ-113/07	$t=64,1^\circ\text{C}$, $s=536 \text{ мг/л}$ (по NaCl), $\text{pH} = 7,9$, $E_h = 379 \text{ mV}$	0.481	190000
APV-13	КМЧ-110/07	$t=97,6^\circ\text{C}$, $s=1189 \text{ мг/л}$ (по NaCl), $\text{pH} = 8,8$, $E_h = 589 \text{ mV}$	0.189	-
APV-14	КМЧ-111/07	$t=88^\circ\text{C}$, $s=1002 \text{ мг/л}$ по (NaCl), $\text{pH} = 7,2$, $E_h = 367 \text{ mV}$	0.227	311000
APV-19	КМЧ-114/07	$\text{pH} = 7,18$, $E_h = -400,00$	0.242	-

Апательские источники «нижние»

Источник	№ пробы	Характеристики источника	Hg в воде, ppb	Hg, нг/м^3 , конденсат водного аэрозоля
Источник №1	КМЧ-103/07	$t=41,7^\circ\text{C}$, $s=586 \text{ мг/л}$ (по NaCl), $\text{pH} = 7,3$, $E_h = 310 \text{ mV}$	0.188	-
Источник №2 (ванна), 1-ый слив	КМЧ-104/07	$t=41,5^\circ\text{C}$, $s=1024 \text{ мг/л}$ (по NaCl), $\text{pH} = 8,4$, $E_h = 329 \text{ mV}$	0.177	-
Источник №2 (ванна), 2-ой слив	КМЧ-105/07	$t=52,2^\circ\text{C}$, $s=1041 \text{ мг/л}$ (по NaCl), $\text{pH} = 6,75$, $E_h = 347 \text{ mV}$	0.296	2680
Ванна с грифонами ЮЗ «нижних» источников	КМЧ-106/07	$t=25,7^\circ\text{C}$, $s=738 \text{ мг/л}$ (по NaCl), $\text{pH} = 6,8$, $E_h = 366 \text{ mV}$	0.177	-
«Канавные источники»	КМЧ-107/07	$t=81 - 81,5^\circ\text{C}$, $s=1170 \text{ мг/л}$ (по NaCl), $\text{pH} = 7,3$, $E_h = 445 \text{ mV}$	0.487	7350

Эти значения находятся в резком контрасте с данными по валовому содержанию в конденсатах паровой фазы по данным Озеровой Н.А. и др. [30] и нашим (табл. 1). Высокие значения содержаний ртути в конденсатах (3,3 - 124 ppb, при пересчете объемных концентрации ртути в паро-газовой фазе на массу конденсата, с учетом давления насыщенных водяных паров, последняя колонка табл. 1) находятся в явном противоречии с концентрациями ртути в воде терм и могут быть объяснены только значительным переносом в аэрозольной фазе.

В работе Н.А.Озеровой и др. [30] отмеченные высокие содержания ртути в конденсатах парогазовой фазы современных термальных источников, по мнению авторов, свидетельствует о

поступлении мантийной ртути по зонам глубинных разломов, продолжающееся и в настоящее время. Так, приводимые авторами данные о содержаниях ртути в газовой фазе термальных источников кальдеры Узон, колеблются от $1.0 \cdot 10^{-6}$ до $2.5 \cdot 10^{-5}$ г/м³ (2.5 – 60 ppb, т.е. 2.5 – 60 мкг/л конденсата водяного пара плотностью 0.4 г/л). Самые высокие содержания ртути отмечены авторами при отборе конденсатов парогазовых струй из кратера вулкана Мутновский, - они составляли $5-7.5 \cdot 10^{-5}$ г/л (50-75 мкг/л, ppb), достигая очень высоких концентраций $2 \cdot 10^{-3}$ г/л конденсата, что авторами связывается с извержением вулкана Горелого. Следует отметить, что такие концентрации (от 2.5 до 5000 ppb) для конденсата 85-100°- пара на самом деле уникальны и отвечают периодам активизации вулканической и флюидной активности. Исключение представляет система кальдеры Узон, для которой до настоящего периода высокие концентрации ртути достаточно стабильны не только в газо-паровой фазе, но и в хлоридно-натриевых водах [28] достигая (по данным ВСЕГИНГЕО) 2.5-12.5 ppb. Но в то же время, по нашим данным [8] для эксплуатационных скважин ГЕОЭС в Мутновской геотермальной системе в конденсатах и сепаратах глубинных вод обычны содержания 0.2-0.5 ppb, а для других геотермальных систем зачастую [23] и несколько выше, но в норме в водах редко выше 1 ppb. Этот факт находится в согласии с приводимыми здесь результатами последних наших определений содержания ртути в воде Апапельских источников и хорошо подтверждает раннюю версию [38] о доминировании в газопаровой фазе паров атомарной ртути, медленном накоплении ее окисленных форм [37] в растворах и переходе в сульфидные фазы при определенном режиме сероводорода и полисульфидов [11, 45]. Согласовать эти данные по относительно низким концентрациям в жидкой фазе и высоким концентрациям в конденсатах газопаровой удастся именно в версии концентрирования нульвалентной и катионных форм ртути в аэрозольной фазе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 06-05-72550НЦНИЛ_а, 08-05-00581-а)

Литература

1. Алехин Ю.В., Лапицкий С.А., Пухов В.В., Ткаченко С.Ю. Экспериментальные исследования нуль-валентных форм переноса тяжелых металлов и глобальный цикл ртути. XV Российское совещание по экспериментальной минералогии // Сыктывкар. 2005. С. 141-143.
2. Алехин Ю.В., Вакуленко А.Г. Растворимость и термодинамические свойства NaCl в водяном паре при температурах 300-500°С и давлениях до 300 бар // Геохимия. 1987. № 10. С. 1468-1481.
3. Алехин Ю.В., Вакуленко А.Г., Разина М.В. Растворимость и гетерофазный гидролиз в малоплотных флюидах. В кн.: Экспериментальные проблемы геологии // М.: Наука. 1994. С. 543-555.
4. Алехин Ю.В., Ковальская Н.В., Минубаева З.И. Применение методики осаждения ртути на клиноптилолите при экспериментальных исследованиях диффузионной и фильтрационной миграции подвижных форм ртути и потока холодной эндогенной эмиссии // Прикладная геохимия. Вып. 4. Аналитические исследования. М.: ИМГРЭ. 2003.
5. Алехин Ю.В., Ковальская Н.В., Лапицкий С.А., Минубаева З.И., Пальяруло П. Экспериментальное изучение диффузионной и фильтрационной миграции подвижных форм ртути и потока холодной эндогенной эмиссии // Электрон. науч.-информ. журнал "Вестник Отделения наук о Земле РАН", №1'(21) 2003.
6. Алехин Ю.В., Макарова (Фроликова) М.А., Мухамадиярова Р.В. Закономерности полиэлементной газовой и аэрозольной эмиссии. // Доклады IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», М. 2009. Т. 3. С. 266.
7. Алехин Ю.В., Фроликова М.А. Природа высокой летучести компонентов конденсированных фаз и геохимические следствия. // Электрон. науч.-информ. журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН», № 1(26)'2008, М.: ИФЗ РАН, 2008.
URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2008/informbul-1_2008/hydroterm-2.pdf
8. Алехин Ю.В., Лапицкий С.А., Мухамадиярова Р.В., Пухов В.В. Новые результаты исследований отдельных составляющих геохимического цикла ртути // Электрон. науч.-информ. журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН», № 1(25)'2007, М.: ИФЗ РАН, 2007.
URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2007/informbul-1_2007/geoecol-7.pdf
9. Алехин Ю.В., Лапицкий С.А., Ковальская Н.В., Бычков Д.А. Компьютерная программа расчета доли адсорбированной ртути при обработке аналитических данных о содержании ее тер-

моформ, полученных на ртутном анализаторе «ИМГРЭ-900» // Прикладная геохимия, выпуск 5. «Компьютерные технологии». ИМГРЭ. 2004.

10. *Алехин Ю.В., Латицкий С.А., Мухамадиярова Р.В., Самсонов А.Е.* Экспериментальные и аналитические методы исследования процессов межрезервуарного микроэлементного обмена // Электрон. науч.-информ. журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН», № 1(26)'2008, М.: ИФЗ РАН, 2008.

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2008/informbul-1_2008/elaborate-1.pdf

11. *Бычков А.Ю.* Геохимическая модель современного рудообразования в кальдере Узон (Камчатка) // М.: ГЕОС. 2009. 124с.

12. *Вергасова Л.П., Набоко С.И., Серафимова Е.К., Старова Г.Л., Филатов С.К.* Эксгаляционное самородное золото // ДАН. 1982. Т. 264. №1. С. 201-203.

13. *Воюцкий С.С.* Курс коллоидной химии. Изд. 2 // М.: Химия. 1975. 512с.

14. *Главатских С.Ф., Трубкин Н.В.* Первые находки самородного вольфрама и серебра в продуктах эксгаляций БТТИ (Камчатка). // ДАН. 2000. Т. 373. № 4. С. 523-526.

15. *Главатских С.Ф.* Самородные металлы и интерметаллические соединения в продуктах эксгаляций БТТИ (Камчатка) // ДАН. 1990. Т. 313. № 2. С. 434-437.

16. *Губин С.П.* Химия кластеров // М.: Наука. 1987. 264с.

17. *Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А.* Физика атмосферных аэрозольных систем // СПб.: НИИХ СПбГУ. 1999. 194с.

18. *Ивлев Л.С.* Микроструктурные особенности аэрозолей вулканического происхождения. // Оптика атмосферы и океана. Т. 9. № 8. 1996. С. 1039-1057.

19. *Ивлев Л.С.* Химический состав и структура атмосферных аэрозолей // Л.: Изд. ЛГУ. 1982, 366с.

20. *Имянитов И.М., Чубарина Е.В.* Электричество свободной атмосферы. Л.: 1965. 368с.

21. *Карпов Г.А., Штеренберг Л.Е., Золотарев Б.П., Ероцев-Шак В.А., Покровская Е.В., Степанец М.И.* Рудные минералы в пеплах вулкана Карымский (извержения - январь 1996 г.) // Вулканология и сейсмология. 1999. №2. С. 24-28.

22. *Карпов Г.А., Мохов А.В.* Акцессорные самородные рудные минералы эруптивных пеплов андезитовых вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 41-49.

23. *Карпов Г.А., Алехин Ю.В., Латицкий С.А.* Новые данные по микроэлементному составу гидротерм и фумарол Камчатки // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский. 2008. С. 120-131.

24. *Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Шапарь В.Н.* Геохимические особенности эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения // М.: Наука. 1980.

25. *Миклишанский А.З., Яковлев Ю.В., Савельев Б.В.* О формах нахождения химических элементов в атмосфере: распределение микроэлементов между парами атмосферной влаги и аэрозолем в приземных слоях воздуха // Геохимия. 1978. №1. С. 3-10.

26. *Миклишанский А.З., Яковлев Ю.В., Меняйлов И.А.* О геохимической роли поступления химических элементов с летучей компонентой активного вулканизма // Геохимия. 1979. №11. С. 1652-1660.

27. *Мухамадиярова Р.В., Алехин Ю.В., Латицкий С.А.* Результаты определения вариаций содержания ртути в твердой, жидкой и газовой фазах территории России // Материалы III Региональной школы-конференции молодых ученых «Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана» // Петрозаводск. Карельский научный центр РАН. 2008. С. 79-84.

28. *Набоко С.И.* Металлоносность кальдеры Узон. - Сб. Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование // М.: Недра. 1974. С. 162-195.

29. *Набоко С.И., Главатских С.Ф.* Золото и серебро в вулканогенном флюидном режиме // Вулканология и сейсмология. 1996. №6. С. 3-19.

30. *Озерова Н.А., Шикина Н.Д., Борисов М.В., Широков В.А., Карпов Г.А., Кирсанов И.Т., Груздев М.А., Голованова Т.И.* Ртуть в современном гидротермальном процессе. - Сб. Современные гидротермы и минералообразование // М.: Наука. 1988. С. 34-49.

31. *Реми Г.* Курс неорганической химии. Т. II // М.: Мир. 1974. 776с.

32. *Савенко В.С.* Природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы // М.: ВИНТИ. 1991. 212с.

33. *Савенко В.С.* Эффект аномально высокой летучести сильных электролитов и его природа // ДАН. Т. 298. №4. 1988. С. 976-980.

34. Сауков А.А. Геохимия ртути // ИГН АН СССР, вып. 74. 1946.
35. Сауков А.А., Айдиньян Н.Х., Озерова Н.А. Очерки геохимии ртути // М.: 1972.
36. Смирнов В.И., Кузнецов В.А., Озерова Н.А., Федорчук В.П. Новое в геохимии ртути // Геология рудных месторождений. 1972. №4.
37. Сорокин В.И., Алехин Ю.В., Дадзе Т.П. Растворимость ртути в системах Hg-H₂O, Hg-S-(Cl)-H₂O и формы ее существования в термальных водах Камчатки и о-ва Кунашир // Очерки физико-химической петрологии. 1978. Вып. 8. С. 133-149.
38. Сорокин В.И., Покровский В.А., Дадзе Т.П. Физико-химические условия образования сурьмяно-ртутного оруденения // М.: Наука. 1988. 144с.
39. Табунс Э.В. Низкотемпературная эмиссия элементов из почв Северо-Запада России и ее геоэкологическое значение. - Дисс. канд. геогр. наук // С.-Петербург. 2005. 150с.
40. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии // Л.: Химия. 1984. 368с.
41. Фроликова М.А., Алехин Ю.В. Методы изучения полиэлементной эмиссии из почв фоновых территорий (на примере Национального парка «Паанаярви», Северная Карелия) // Материалы III Региональной школы - конференции молодых ученых "Водная среда и природно – территориальные комплексы: исследование, использование, охрана". Петрозаводск. 2008. С. 190-195.
42. Щеглов И.И. О современном отложении киновари в источнике Апапель // Докл. АН СССР. 1962. 145. №6.
43. Kristiansson K., Malmqvist L. Trace elements in the Geogas and their relation to bedrock composition // Geoexploration. 1987. V. 24. P. 517-534.
44. Malmqvist L., Kristiansson K. Experimental evidence for an ascending microflow of geogas in the ground // Earth Plan. Sci. Lett. 1984. V. 70. P. 407-416.
45. Migdisov Art.A., Suleimenov O.M., Alekhin Yu.V. Experimental study of polysulfane stability in gaseous hydrogen sulfide // Geochem. et Cosmochim. Acta. 1988. V. 62. No 15. P. 2627-2635.
46. Nriagu J.O. Natural versus anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere // Control and fate of atmospheric trace metals. Dordrecht: Kluwer. 1989. P. 3-14.
47. Malmqvist L., Kristiansson K. Experimental evidence for an ascending microflow of geogas in the ground // Earth Plan. Sci. Lett. 1984. V. 70. P. 407-416.
48. Nriagu J.O. Natural versus anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere // Control and fate of atmospheric trace metals. Dordrecht: Kluwer. 1989. P. 3-14.
49. Wang X., Cheng Z., Lu Y., Xu L., Xie X. Nanoscale metals in Earthgas and mobile forms of metals in overburden in wide-spaced regional exploration for giant deposits in overburden terrains // Journal of Geochemical Exploration. V. 58. 1997. P. 63-72.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/geoecol-1.pdf

Опубликовано 1 сентября 2009 г.

© *Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009*

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна