

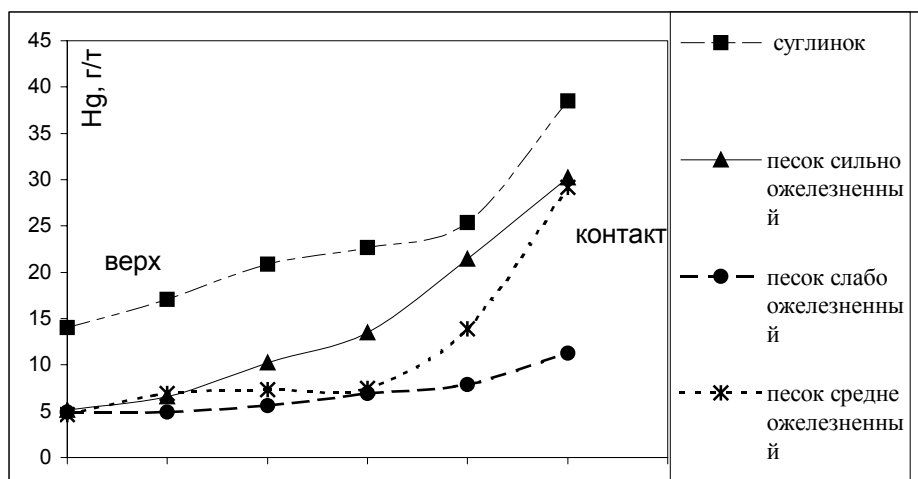
## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДИФфуЗИОННОЙ И ФИЛЬТРАЦИОННОЙ МИГРАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ РТУТИ И ПОТОКА ХОЛОДНОЙ ЭНДОГЕННОЙ ЭМИССИИ

Алехин Ю.В.\*, Ковальская Н.В.\*, Лапицкий С.А.\*, Минубаева З.И., Пальяруло П.\*\*

\*МГУ им. Ломоносова, геологический факультет; \*\* Университет г. Бари, Италия

*alekhin@geol.msu.ru; факс: (095) 939-26-78; тел.: (095) 939-48-08*

Выполнено несколько серий экспериментов, направленных на изучение миграционных свойств ртути в газообразной и жидкой фазах, через природные образцы известного состава. Проведены как динамические эксперименты по миграции, так и статические опыты по определению емкости поглощения суглинков и песков из жидкой и газовой фаз в отношении ртути. В этих сериях мы использовали как образцы пород с исходно фоновыми содержаниями ртути, до антропогенно загрязненных, так и образцы, где в качестве граничного условия жидкой ртути задавалось давление ее насыщенных паров. Мы получили необходимые кинетические параметры, а также данные по сорбционной емкости песков и суглинков, как главных природных барьеров при перемещении ртути вверх. Миграция и адсорбция ртути в гумусовых почвах, находящихся в постоянном динамическом обменном взаимодействии с атмосферным воздухом, не учитывались. Чтобы исключить из рассмотрения потоки эмиссии - реэмиссии из верхних почвенных горизонтов все эксперименты проведены с образцами почвообразующих пород с глубин более 1 м с очень низким содержанием гумуса как сорбента. Определено, что главным механизмом поглощения из водных растворов (как в динамических, так и в статических условиях) является поглощение окисленных форм ртути в результате химических реакций осаждения на фазовых поверхностях. Было найдено, что главным механизмом транспорта паров ртути является диффузия в газовой фазе, но уже в образцах с естественной влажностью лимитирующей стадией поглощения является процесс диффузии через жидкую пленку к поверхности минеральных зерен (рис. 1).



**Рис.1**  
Диффузионные  
профили  
концентрации ртути  
в колонках из  
влажных грунтов

Найденные при послойном анализе экспериментальных образцов концентрационные профили ртути, во всех случаях позволяют установить лимитирующую стадию и механизм протекающего процесса. При этом характер концентрационных профилей, возникающих в пористой среде транспорта, крайне специфичен и зависит как от механизма основного массопереноса, так и от лимитирующей стадии процесса миграции и сорбционной емкости среды транспорта, что и определяет величины коэффициентов эффективной диффузии ( $D_{эф}$ ), рассчитанные с использованием соотношения для плотности молярного потока ртути  $J = D_{эф} \cdot \text{grad}C_{Hg}$ , где  $\text{grad}C_{Hg} = \Delta C/l = \Delta C/(\xi \cdot h)$ , (где  $l$  – длина пути с учетом фактора извилистости  $\xi$  при высоте колонки  $h$ ). При этом нами впервые развит метод определения локального парциального давления паров ртути в поровом объеме грунтовых разрезов методом сравнения

исходных содержаний сорбированных форм ртути, определяемых при ступенчатой термоэвакуации, с данными по содержанию ртути в этих же образцах, уравновешенных с насыщенными парами жидкой ртути.

Проведены несколько серий прямых прокачек атмосферного и порового воздуха из каптированных скважин Байкальской рифтовой зоны и Прибайкальских степей, а также из пород Русской плиты с осаждением ртути в виде амальгамы на синтезированном нами специфическом сорбенте (табл. 1).

Таблица 1

## Результаты прокачек порового и атмосферного воздуха

№ п/п	Место и время отбора проб	Воздух	Содержание Hg, нг/м <sup>3</sup>
1	оз. Байкал, берег залива М.Орсо, август 2002г.	Атм.	17,5
2	оз. Байкал, залив М.Орсо, разломная зона, август 2002г.	Скв.	150
3	оз. Байкал, степь в Приольхонье, август 2002г.	Скв.	5,7
4	оз. Байкал, приразломная зона, август 2002г.	Скв.	38
5	г. Усолье-Сибирское, над ликвидированным цехом ртутного электролиза химкомбината, август 2002г.	Атм.	12060
6	г. Усолье-Сибирское, лес в 1,5 км от химкомбината, август 2002г.	Атм.	21,8
7	г. Усолье-Сибирское, лес в 1,5 км от химкомбината, август 2002г.	Скв.	234
8	Акватория Братского водхр. от г. Балаганск до р.Белой, август 2002г.	Атм.	22,5
9	г. Балаганск, Иркутская обл., август 2002г.	Скв.	6,0
10	г. Иркутск, ин-т Сиб ГЕОХИ РАН, на высоте 10м, август 2002г.	Атм.	32,1
11	г. Москва, МГУ, на высоте 70м, июнь 2002г.	Атм.	58,4
12	г. Москва, МГУ, на высоте 0,5 м, июнь 2002г.	Атм.	300
13	г. Москва, МГУ, на высоте в 0,5 м, апрель 2003г.	Атм.	1,8
14	Опробование в движении на автотрассе г.Москва – г.Петушки, декабрь 2002г. (без аэрозоля)	Атм.	2,9
15	Опробование в движении на автотрассе г.Москва – г.Петушки, декабрь 2002г. (с аэрозолем)	Атм.	35,3
16	Лаборатории Главного здания МГУ апрель - май 2003г.	Атм.	1,4-3,6
17	Владимирская обл., Мещера, июль 2002г.	Атм.	5,2
18	Владимирская обл., Мещера, июль 2002г.	Атм.	6,5
19	Владимирская обл., Мещера, июль 2002г.	Скв.	15,5
20	Владимирская обл., Мещера, сентябрь 2002г.	Атм.	3,15
21	Владимирская обл., Мещера, декабрь 2002г.	Атм.	1,8
22	Владимирская обл., Мещера, декабрь 2002г.	Атм.	1,3
23	Владимирская обл., Мещера, февраль 2003г.	Атм.	4,8
24	Владимирская обл., Мещера, июнь 2003г.	Атм.	2,1
25	Владимирская обл., Мещера, июнь 2003г.	Скв.	5,75
26	Владимирская обл., Мещера, июнь 2003г.	Скв.	7,8
27	Италия, г.Бари, март 2003г.	Атм.	2,6

Из данных таблицы следует, что региональный природный фон достаточно устойчив: для определенного времени года и погодных условий. Для 2002 года засушливого лета, задымленной атмосферы в регионе устойчив фон 17,5; 21,8; 22,5 нг/м<sup>3</sup> для Прибайкалья и 5,2-6,5 для Мещерской низменности. На этом фоне загрязненность городских территорий очевидна (Иркутск - 32,1; Москва – 58,4-300 при наличии вертикального распределения ). В тоже время для не засушливого периода (осень – весна) 2002-2003 гг. для Мещеры, Москвы характерны содержания в атмосферном воздухе, близкие к средним содержаниям в атмосферном воздухе

Европы (1,3-3,2 нг/м<sup>3</sup>). В частности, по нашим данным, в г. Бари, Италия в марте 2003 г. содержание ртути в атмосферном воздухе составило 2,6 нг/м<sup>3</sup>.

Точечные источники техногенного загрязнения практически не влияют на региональный фон (табл. 1, строки 5,6). На линейных источниках загрязнения (автотрассы) основное количество ртути содержится в аэрозоле (табл. 1, строки 14, 15) в отличие от незагрязненных пылевыми выбросами территорий.

Поровый воздух скважин в разломных зонах Байкальского рифта содержит значительно больше ртути, что указывает на процесс эндогенной эмиссии (табл. 1, строка 2). Примечательно, что и для платформенной ситуации (Русская плита, Мещера) содержание в поровом воздухе скважин в 2,5-3 раза превышает атмосферный фон.

Сравнение экспериментальных данных по давлениям паров с величинами, найденными из прокачек порового и атмосферного воздуха, позволяют для отдельных регионов не только оценить антропогенный вклад, но и подойти к определению потока природно обусловленной эндогенной газовой эмиссии. Получен мольный поток ртути (холодная эндогенная эмиссия) через поверхность земного шара:  $3,7 \cdot 10^7$  М/год. В массовом выражении - 7,4 тыс. т ртути в год, что существенно выше мировой годовой добычи ртути. В то же время эта оценка существенно выше, чем оценка Нриагу 2,5 тыс.т/год, и приближается к оценкам Торнтонна 18 тыс.т/год и Расмуссена 35 тыс.т/год, в которых принимались в рассмотрение и другие потоки ртути (вулканическая и антропогенная эмиссия).

---

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 02-05-65158.*

---

*Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(21) 2003*

*Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2003 года (ЕСЭМПГ-2003)*

*URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2003/informbul-1/hydroterm-15.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/informbul-1/hydroterm-15.pdf)*

*Опубликовано 15 июля 2003 г.*

*© Отделение наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2003*

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