

## Исследование процессов переноса и осаждения ртути содержащих веществ в атмосфере Южного Прибайкалья

В.Л. Потемкин<sup>1</sup>, В.Л. Макухин<sup>1</sup>, Е.А. Гусева<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

<sup>2</sup>Иркутский государственный технический университет  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Поступила в редакцию 20.01.2011 г.

Оценен вклад предприятий Приангарья и Прибайкалья в загрязнение Южного Байкала ртутью при атмосферных выбросах. Получено, что наибольшее влияние на озеро оказывают выбросы предприятий Слюдянки и Байкальска.

*Ключевые слова:* ртуть, атмосфера, концентрация, осаждение, оз. Байкал, моделирование; mercury, atmosphere, concentration, deposition, Lake Baikal, simulation.

### Введение

Тяжелые металлы являются одними из основных промышленных загрязнителей окружающей среды. Иркутская область относится к наиболее опасным областям и регионам России по загрязнению соединениями ртути [1].

По степени воздействия на организм ртуть относится к первому классу опасности (вещества чрезвычайно опасные). Несмотря на это, ртуть и ее соединения широко применяются в металлургии, электротехнике, медицине, в производстве целлюлозно-бумажной продукции, ацетальдегида, хлорвинила, красок, хлора и каустика, при изготовлении детонаторов, управляемых снарядов и в сельском хозяйстве. За счет хозяйственной деятельности человека в окружающую среду ежегодно поступает до 10000 т ртути [1]. Основными техногенными источниками ее эмиссии являются три отрасли промышленности: комбинаты цветной металлургии, получающие данный металл из ртутьсодержащих пород; предприятия по добыче и переработке руд различных металлов, где ртуть выступает как сопутствующий компонент; предприятия химической и электрохимической промышленности. Загрязнение окружающей среды металлами и другими примесями происходит и при сжигании жидкого и твердого топлива, а также при использовании ртути для экстрагирования и концентрирования золота [2, 3].

При производстве металлической ртути ее выбросы в атмосферу составляют от 5 до 7% общего объема производства, а при выпуске 1 т черновой меди в атмосферу выбрасывается более 2 т пыли с содержанием ртути до 4% [4].

В настоящей статье рассмотрены процессы распространения и осаждения ртути в регионе Южного Байкала с помощью математической модели распространения и трансформации примесей [5]. Модель успешно применялась ранее, например, при оценке влияния метеорологических процессов на загрязнение атмосферы в регионе оз. Байкал [6], при сравнении рассчитанных и измеренных концентраций соединений серы и азота в приводном слое озера [7, 8].

Источниками выбросов Hg являлись промышленные объекты городов Усолье-Сибирское, Ангарск, Шелехов, Иркутск, Слюдянка, Байкальск. Данные об интенсивности источников были взяты из работ [4, 9, 10].

Моделирование процессов распространения примесей проводилось в области площадью 200 × 200 км<sup>2</sup> и высотой 4 км над поверхностью оз. Байкал. Шаги по времени и горизонтали составляли соответственно 150 с и 1 км; шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 350 м он равнялся 50 м, далее – 150, 500, 1000 и 2000 м. Коэффициенты турбулентной диффузии рассчитывались с использованием соотношений полуэмпирической теории турбулентности [5].

### Анализ результатов

На рис. 1 представлено распределение концентраций ртути при северо-западном ветре со скоростью 2 м/с.

Примесь по долине Ангары выносится к оз. Байкал. Проведено сравнение рассчитанных величин концентраций Hg с данными немногочисленных измерений концентраций ртути в этом регионе [11], по порядку величины наблюдается удовлетворительное соответствие (табл. 1).

С использованием рассчитанных полей концентраций ртути выполнены оценки интенсивности осаждения

\* Владимир Львович Потемкин; Владимир Леонидович Макухин (aerosol@lin.irk.ru); Елена Александровна Гусева (fduccn@istu.edu).

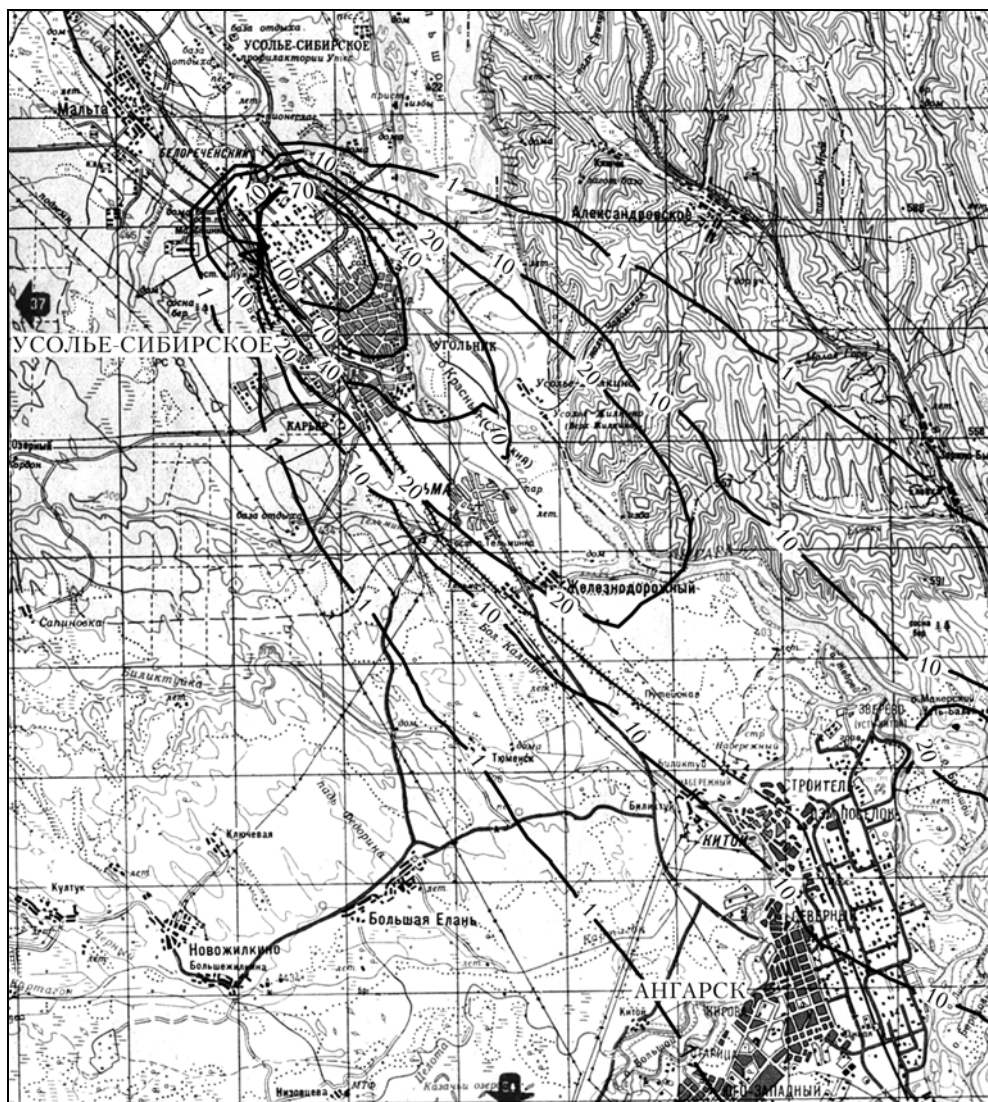


Рис. 1. Изолинии рассчитанных приземных концентраций ртути при северо-западном ветре в регионе Южного Байкала,  $\text{нг}/\text{м}^3$

Таблица 1  
Рассчитанные и измеренные значения концентраций ртути в г. Усолье-Сибирское

Станция измерения	Концентрация, $\text{нг}/\text{м}^3$	
	измеренная	рассчитанная
Усолье-Сибирское	22–300	10–250

$\text{Hg}$  на подстилающую поверхность региона Южного Байкала (рис. 2).

Сравнение с данными по содержанию ртути в снеговом покрове на опорных станциях Южного Прибайкалья [9] также показало их удовлетворительное по порядку величины соответствие (табл. 2).

Оценен вклад предприятий Приангарья и Прибайкалья в загрязнение Южного Байкала ртутью при атмосферных выбросах. Получено, что наибольшее влияние на озеро оказывают выбросы предприятий Слюдянки и Байкальска, их вклад равен 72%. Значительно меньше влияние Иркутско-Черемховского промышленного комплекса — 28% (табл. 3).

Таблица 2  
Рассчитанные и измеренные значения интенсивностей осаждения  $\text{Hg}$  в Приангарье

Станция измерения	Интенсивность осаждения, $\text{г}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$	
	измеренная	рассчитанная
Усолье-Сибирское	0,7–8,2	2–15
Ангарск	1–1,2	0,4–2

Таблица 3  
Вклад отдельных источников выбросов ртути в загрязнение Южного Байкала

Источник выбросов	Вклад, %
Усолье-Сибирское	20
Ангарск	1
Шелехов	1
Иркутск	6
Слюдянка	42
Байкальск	30

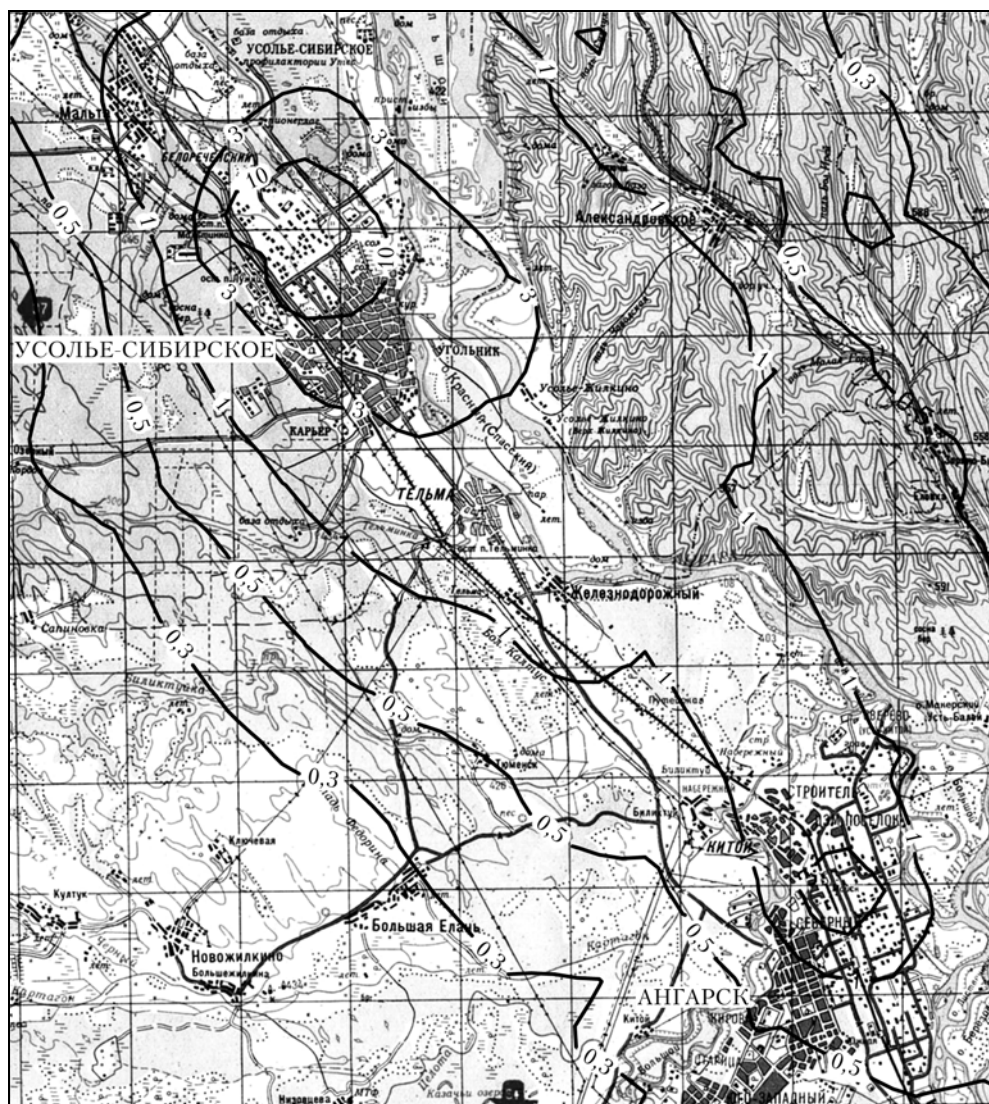


Рис. 2. Изолинии плотности массового расхода ртути в регионе Южного Байкала, г/(км<sup>2</sup> · мес)

Менее значимый вклад этого комплекса объясняется удаленностью источников выбросов от озера и наличием орографических неоднородностей, препятствующих переносу примесей.

Выполнены оценки влияния рельефа местности на перенос ртути в Прибайкалье. Для этого были проведены расчеты с учетом рельефа местности и без него. Оказалось, что при северо-западном ветре со скоростью 2 м/с Приморский хребет и Олхинское плато задерживают примерно треть часть от величины массы Hg, поступившей на озеро.

Представляет интерес оценить, какая доля валового выброса оседает вблизи источника и на удалении от него. Такие оценки были сделаны с помощью модельных расчетов. Получено, например, что в радиусе 5 км от Слюдянки оседает примерно 10% валового выброса ртути, в радиусе 80 км — 40% (табл. 4).

Эти оценки справедливы также для других источников выбросов: Усоля-Сибирского, Ангарска, Иркутска, Шелехова и Байкальска, и удовлетвори-

Таблица 4

Доля валового выброса Hg, оседающая вокруг организованного источника выбросов (Слюдянка) на площади радиуса R

R, км	Доля валового выброса, %
5	10
10	15
20	20
40	30
80	40

тельно согласуются с результатами других исследователей [9, 12].

### Выводы

Сравнение рассчитанных по модели и измеренных характеристик распространения ртути показало их удовлетворительное количественное соответствие.

Наибольшее влияние на оз. Байкал оказывают выбросы предприятий Слюдянки и Байкальска. Значительно меньше влияние Иркутско-Черемховского

промышленного комплекса из-за удаленности источников выбросов от озера и наличия орографических неоднородностей. При северо-западном ветре со скоростью 2 м/с Приморский хребет и Олхинское плато задерживают третью часть ртути от попавшей на озеро.

В радиусе 5 км от одиночного источника оседает примерно 10% валового выброса ртути, что соответствует результатам других исследователей.

1. *Краснопеева И.Ю.* Распространение ртути и ее соединений в окружающей среде и влияние на организм человека // Сиб. мед. ж. 2005. Т. 54, № 5. С. 7–12.
2. *Pai P., Heisler S., Joshi A.* An emissions inventory for regional atmospheric modeling of mercury // Water, Air, and Soil Pollut. 1998. V. 101, N 1–4. P. 289–308.
3. *Vieira J.L.F., Hassarelli M.M.* Determinação de mercúrio total em amostras de água, sedimento e sólidos em suspensão de corpos aquáticos por espectrofotometria de absorção atômica com gerador de Vapor a frio // Rev. saude publ. 1996. V. 30, N 3. P. 260.
4. *Петросян В.С.* Глобальное загрязнение окружающей среды ртутью и ее соединениями // Россия в окружающем мире: 2006 (Аналитический ежегодник) / Отв. ред. Н.Н. Марфенин. М.: МНЭПУ, Авант, 2007. С. 149–163.
5. *Аргучинцев В.К., Макухин В.Л.* Математическое моделирование распространения аэрозолей и газовых при-

месей в пограничном слое атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 1996. Т. 9, № 6. С. 804–814.

6. *Латышева И.В., Макухин В.Л., Потемкин В.Л.* Исследование характеристик Азиатского максимума и его влияния на загрязнение атмосферы в регионе оз. Байкал // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 5–6. С. 466–469.
7. *Потемкин В.Л., Макухин В.Л.* Распределение малых газовых примесей в атмосфере над озером Байкал // Геогр. и природ. ресурсы. 2008. № 2. С. 80–84.
8. *Потемкин В.Л., Макухин В.Л.* Загрязнение ландшафтов в котловине озера Байкал при лесных пожарах // Геогр. и природ. ресурсы. 2007. № 4. С. 60–63.
9. *Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 2007 году».* Иркутск: Мин-во природ. ресурсов и экологии Ирк. обл., 2008. 354 с.
10. *Ревич Б.А.* «Горячие точки» химического загрязнения окружающей среды и здоровье населения в городах России // Россия в окружающем мире: 2006 (Аналитический ежегодник) / Отв. ред. Н.Н. Марфенин. М.: МНЭПУ, Авант, 2007. С. 108–148.
11. *Алехин Ю.В., Латицкий С.А., Мухамадиярова Р.В., Пухов В.В.* Новые результаты исследования отдельных составляющих геохимического цикла ртути // Вестн. Отделения наук о Земле РАН. 2007. № 1(25). С. 1–4.
12. *Ртуть: обзор экотоксикологических свойств и некоторых промышленно-экологических проблем.* М.: Эколайн, 1997. 137 с.

***V.L. Potemkin, V.L. Makukhin, E.A. Guseva. Study of the processes of transfer and precipitation of Mercury-containing matter in the atmosphere of Southern Baikal area.***

The contribution of enterprises located in the Baikal region into contamination of Southern Lake Baikal by the mercury compounds by air emissions was estimated. It was found that emissions of the enterprises located in the cities of Slyudyanka and Baikalsk have the greatest impact on the lake.