

## **АНАЛИЗ ВЫНОСОВ РТУТИ С ПРОМПЛОЩАДКИ «УСОЛЬЕХИМПРОМА»**

### ***Владимир Федотович Рапута***

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, тел. (383)330-61-51, e-mail: raputa@sscc.ru

### ***Руслана Александровна Амикишиева***

Сибирский центр ФГБУ «НИЦ «Планета», 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская, 30, младший научный сотрудник, тел. (383)330-61-51, e-mail: ruslana215w@mail.ru

### ***Татьяна Владимировна Ярославцева***

ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, 7, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-61-51, e-mail: tani-ta@list.ru

Проведён численный анализ загрязнения ртутью окрестностей промплощадки «Усольехимпрома», в частности - территории г. Усолье-Сибирское. По результатам почвенной съёмки определены основные очаги атмосферных поступлений паров ртути, которые расположены в районе предприятия шламохранилища и бывшего цеха ртутного электролиза. С учётом взаимного расположения очагов и точек наблюдений предложены асимптотические описания процессов переноса лёгких примесей от наземных источников. Разработана модель реконструкции полей выносов за длительный период времени для доминирующих источников промпредприятия. Модель апробирована на данных биомониторинга за 2019 г. Получено вполне удовлетворительное согласие данных экспериментальных исследований содержания ртути в листьях тополя с результатами численного моделирования. Рассчитаны соотношения вкладов в загрязнение от разных объектов предприятия. Предложены рекомендации по использованию модели реконструкции для контроля проводимых в настоящее время реабилитационных мероприятий на промплощадке «Усольехимпрома».

**Ключевые слова:** ртуть, атмосфера, численное моделирование, «Усольехимпром», биомониторинг

## **THE ANALYSIS OF MERCURY EMISSIONS FROM «USOLYEKHIPROM» INDUSTRIAL SITE**

### ***Vladimir F. Raputa***

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Chief Researcher, e-mail: raputa@sscc.ru

### ***Ruslana A. Amikishieva***

Siberian Center FGBU «SRC «Planeta», 30, Sovetskay St., Novosibirsk, 630099, Russia, Junior Researcher, phone: (383)330-61-51, e-mail: ruslana215w@mail.ru

### ***Tatyana V. Yaroslavtseva***

FBSI «Novosibirsk scientific research institute of hygiene» of Rospotrebnadzor, 7, Parhomenko St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (383)330-61-51, e-mail: tani-ta@list.ru

The numerical analysis of mercury pollution in the vicinity of the "Usoliekhimprom" industrial site and a territory of Usolye-Sibirskoye was held. The main centers of atmospheric influx of mercury vapor, which are located in the area of the sludge storage and the former mercury electrolysis workshop, were determined by the results of the soil survey. Asymptotic descriptions of the processes of transfer of light impurities from ground-based sources, taking into account the relative position of foci and observation points, were proposed. A reconstruction model of concentration fields over a long period of time for the dominant sources of plant was developed. The model was tested on biomonitoring data for 2019. Quite satisfactory agreement between the data of experimental studies of the content of mercury in poplar leaves with the results of numerical modeling was obtained. The ratios of contributions to pollution from different objects of the enterprise were calculated. Recommendations on the use of the reconstruction model to control rehabilitation measures at the Usoliekhimprom industrial site, which are currently being carried out, have been proposed.

**Keywords:** mercury, atmosphere, numerical modeling, "Usoliekhimprom", biomonitoring

### *Введение*

«Усольехимпром» (УХП) - одно из крупнейших химических предприятий СССР, бездействующее в настоящее время по причине банкротства. Не утилизированная после закрытия производства ртуть является мощным источником атмосферного и водного загрязнения окружающей среды и угрозой здоровью жителей ближайших населенных пунктов, включая г. Усолье-Сибирское [1 - 4].

По результатам исследований состава почв на территории УХП присутствуют два основных очага: окрестности цеха ртутного электролиза (РЭ) и шламонакопитель (рис. 1, а). Общее количество накопленной ртути составляет примерно 620 т [5].

Интенсивность поступлений ртути в атмосферу определяется температурой среды и солнечной инсоляцией, а ее пространственное распределение - повторяемостью ветра. Все это в условиях ограниченных данных наблюдений существенно усложняет численный анализ процессов атмосферного загрязнения парами ртути. Использование данных биомониторинга позволяет существенно увеличить сеть мониторинга и соответственно повысить возможности численной интерпретации получаемой экспериментальной информации [6–11].

Целью исследований является разработка на базе данных биомониторинга модели реконструкции поля концентрации ртути в окрестностях УХП за летний сезон 2019 г., оценка вклада в атмосферное загрязнение окружающих территорий от цеха РЭ и шламохранилища комбината «Усольехимпром».

### *Объекты и методы исследования*

Объектами экспериментальных исследований служили листья тополя, отобранные в конце лета 2019 г. На рис. 1, б представлена схема отбора листьев в южной окрестности промплощадки УХП и на территории г. Усолье-Сибирское.

Линейная суперпозиция полей концентрации от двух источников описывается формулой [13, 14]

$$q(x, y, \theta_1, \theta_2) = \theta_1 q_1(x, y) + \theta_2 q_2(x, y). \quad (1)$$

где  $q_1(x, y)$  и  $q_2(x, y)$  – нормированные поля концентрации, создаваемые выносами ртути от очагов 1 и 2 соответственно,  $\theta_1$  и  $\theta_2$  – агрегированные параметры, зависящие от интенсивности эмиссии, характеристик скорости ветра и атмосферной диффузии.

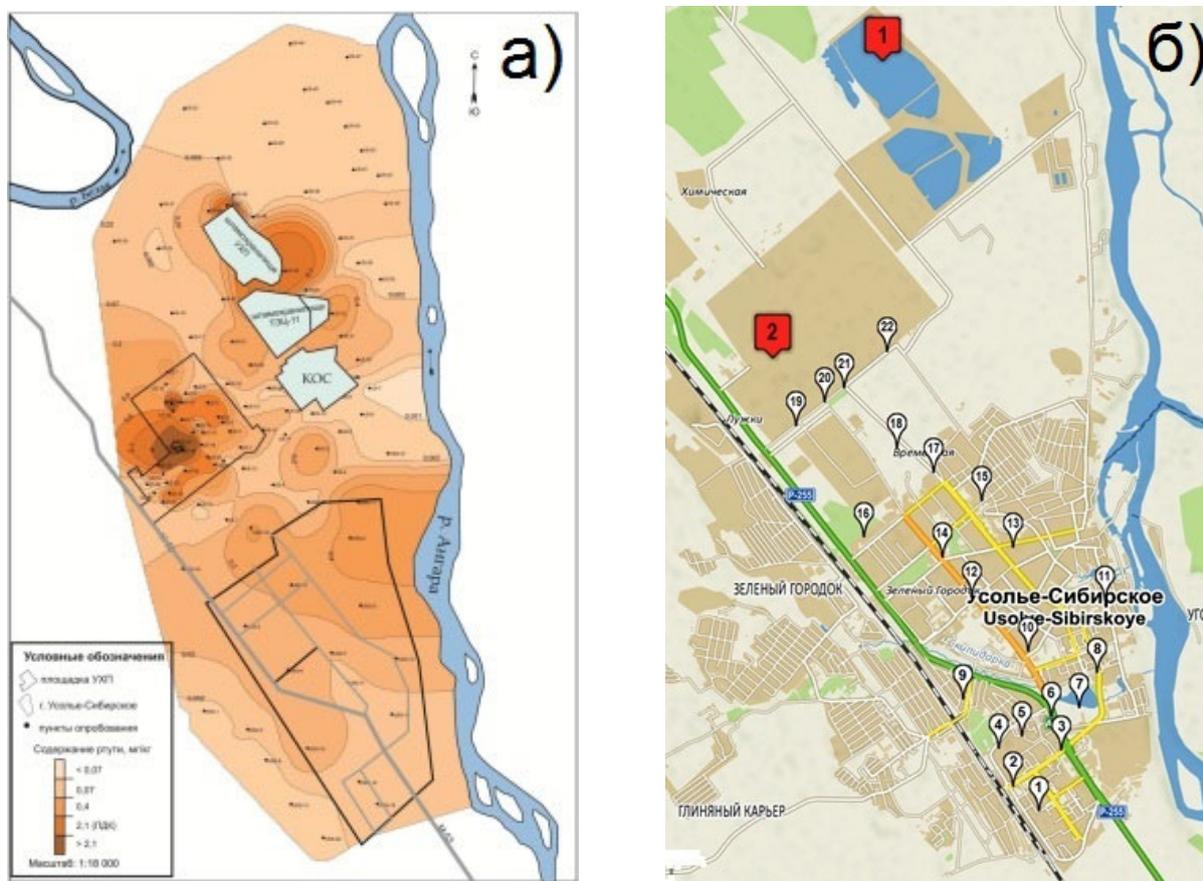


Рис. 1. Распределение концентраций ртути в почвах (мг/кг) на промплощадке «Усолейхимпром» и территории города Усолье-Сибирское (а) [4]. Схема отбора проб листьев тополя в окрестностях «Усолейхимпром» и на территории г. Усолье-Сибирское в летнем сезоне 2019 г. (б)

○ - положение точек отбора проб. 1, 2 - основные очаги ртути в почве

### Результаты и обсуждения

По отношению к очагу 1 (шламохранилищу завода) все точки наблюдений на территории города находятся на весьма значительном расстоянии (более 5 км) к югу от шламохранилища и попадают в относительно небольшой створ выносов ртути, что указывает на возможность использования асимптотической зависимости для оценивания поля концентрации в этих точках в виде [15, 16]

$$q(x, y, \theta) = \frac{\theta}{\rho(x, y)}, \quad (2)$$

где  $\rho(x, y)$  – расстояние между центром площадного источника и точкой  $(x, y)$ .

По данным проведённого мониторинга точки под номерами 18-22 находятся в зоне интенсивного действия обоих источников, на территории города уже наблюдается слабая динамика изменения концентрации ртути в почве. Учитывая, что расстояние от первого источника (шламоохранилища) до всех точек отбора листьев на территории Усолья-Сибирского является весьма значительным, для описания распределения концентрации следует воспользоваться региональной моделью вида (2). Тогда с учетом рис. 1, а также формул (1), (2) можем описать суммарное загрязнение в южном направлении от промплощадки УХП следующим выражением [11]

$$q(x, y, \theta_1, \theta_2) = \frac{\theta_1}{\rho(x, y)} + \frac{\theta_2}{r^2(x, y)}, \quad (3)$$

где  $(x, y)$  – координаты расчётной точки,  $r(x, y)$  – расстояние между центром очага ртути, расположенного возле цеха ртутного электролиза, и точкой  $(x, y)$ ,  $\frac{\theta_1}{\rho(x, y)}$  – составляющая суммарной концентрации на больших отдалениях от первого источника,  $\frac{\theta_2}{r^2(x, y)}$  – вклад от второго источника на ближних расстояниях.

Предполагается, что начальный подъем паров ртути является незначительным.

На рис. 2 представлены результаты сравнения измеренных концентраций ртути и восстановленных по модели (3). Для оценивания параметров модели (3) в качестве опорных были выбраны точки 1, 18 и 20 [17], все остальные точки наблюдений являются контрольными.

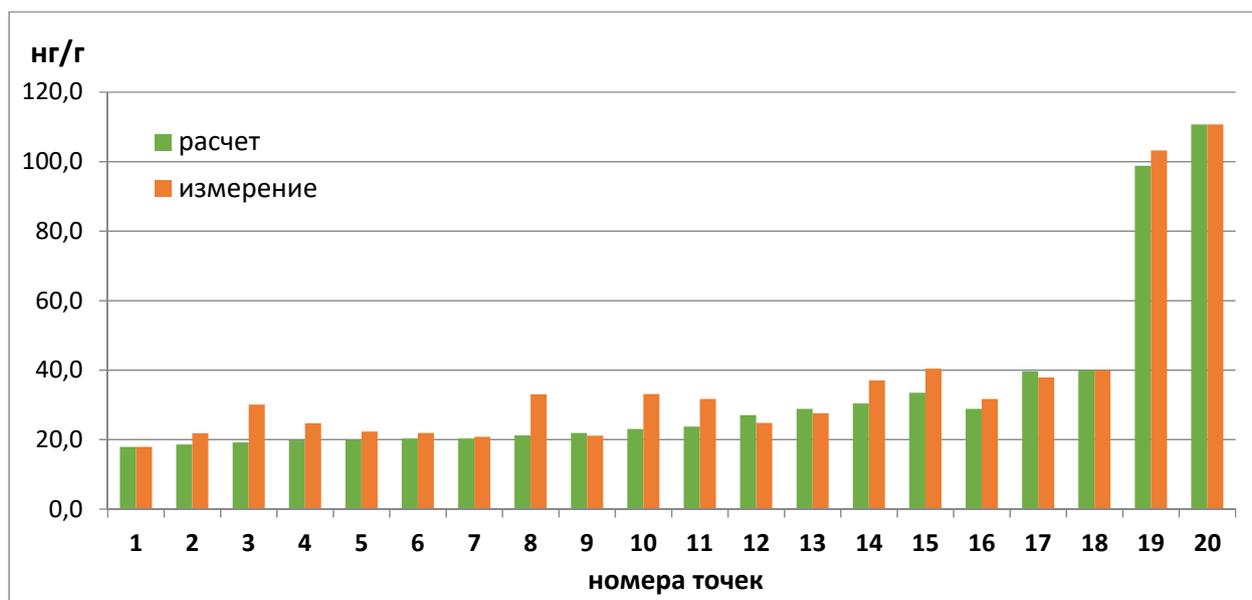


Рис. 2. Измеренные и рассчитанные по модели реконструкции (3) концентрации ртути (нг/г) в точках отбора проб

Полученные оценки параметров модели (3) позволяют рассчитать суммарное значение концентрации в заданных точках, а также определить вклад каждого источника отдельно (рис. 3). Анализ рис. 3 показывает, что основной вклад в загрязнения г. Усолье-Сибирское создают выносы ртути с шламохранилища комбината.



Рис. 3. Оценка вклада ртути от различных источников в точках пробоотбора

### Заключение

Для численного анализа загрязнения окрестностей промплощадки «Усольехимпрома» была разработана модель реконструкции от совокупности источников локального и регионального масштаба. Её апробация проведена на данных ртутного биомониторинга 2019 г. в южных окрестностях промплощадки и на территории г. Усолье-Сибирское. Результаты исследований позволили оценить вклады основных источников в суммарное поле концентрации ртути. Модель реконструкции может быть использована для контроля эффективности проводимых в настоящее время работ по рекультивации промплощадки комбината и оценок риска здоровью населения.

*Работа поддержана грантом Министерства образования и науки России в форме субсидии № 075-15-2020-787.*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Koval P. V., Kalmychkov G. V., Gelety V. F., Leonova G. A., Medvedev V. I., Andrulaitis L. D. Correlation of natural and technogenic mercury sources in the Baikal polygon, Russia // J. Geochem. Explor. - 1999. - V. 66. - P. 277-289.
2. Коваль П. В., Бутаков Е. В., Пастухов М. В., Удодов Ю. Н. Изменение окружающей среды и климата, природные и связанные с ними техногенные катастрофы: ртуть в биогеохи-

мическом цикле Братского водохранилища и экологические последствия ртутного загрязнения. - М.: ИФЗРАН, 2008. - Т. IV. - С. 99-121.

3. Wang Z. J., Zhang G., Chen X. B., Zhao Q. J., Wang W. Y., Sheng L. X., Bian H. F., Li Z. X., Wang D. L. Measurement and Scaling of Mercury on Soil and Air in a Historical Artisanal Gold Mining Area in Northeastern China // Chinese Geogr. Sci. - 2019. - V. 29. - I. 2. - P. 245-257.

4. Gordeeva O. N., Belogolova G. A., Pastukhov M. V. Mercury speciation and mobility in soils of industrial areas in the Baikal region, Southern Siberia, Russia // Environ. Earth Sci. - 2017. - V.76: 558.

5. Пастухов М. В., Полетаева В. И., Бутаков Е. В. Распределение ртути в шламонакопителе «УСОЛЬЕХИМПРОМ» и его влияние на окружающую среду // Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования / Материалы Международной научно-практической конференции. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2019. - С. 553-556.

<http://irigs.irk.ru/download/ConferenceCollectionAntipov.pdf>

6. Тютиков С. Ф. Биогеохимическая индикация: современное состояние и перспективы развития // Геохимия. – 2017. – № 10. – С. 907–916.

7. Михайлова Т. А., Калугина О. В., Шергина О. В. Фитомониторинг атмосферного загрязнения в Байкальском регионе // Сибирский экологический журнал. – 2013. – Т. 20. – № 5. – С. 725–731.

8. Рихванов Л. П., Юсупов Д. В., Барановская Н. В., Ялалудинова А. Р. Элементный состав листвы тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбисстем // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19. – № 6. – С. 58–63.

9. Ermakov V. V. Geochemical ecology and biogeochemical criteria for estimating the ecologic state of biospheric taxons // Geochemistry international. – 2015. – V. 53 (3). – С. 195–212.

10. Ермаков В. В., Тютиков С. Ф., Сафонов С. Ф. Биогеохимическая индикация микроэлементов: монография / Отв. ред. Т. И. Моисеенко. – М.: Российская академия наук. – 2018. – 386 с.

11. Рапута В. Ф. Модели реконструкции полей длительных выпадений аэрозольных примесей // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20, № 6. С. 506-511.

12. Седунов Ю. С., Борзилов В. А., Клепикова Н. В. Физико-математическое моделирование регионального переноса в атмосфере радиоактивных веществ в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Метеорология и гидрология. - 1989. - № 9. - С. 5-10.

13. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 272 с.

14. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1972. – 735 с.

15. Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 279 с.

16. Рапута В. Ф., Коковкин В. В., Шуваева О. В. Исследование процессов регионального переноса пыли с территории города // Оптика атмосферы и океана. – 2002. - Т. 15, № 5-6. - С. 475-478.

17. Успенский А. Б., Федоров В. В. Планирование эксперимента в некоторых обратных задачах математической физики // Кибернетика. - 1974. - № 4. - С. 123-128.

© В. Ф. Рапута, Р. А. Амикишиева, Т. В. Ярославцева, 2021