

**В. С. РУКАВИШНИКОВ^{1,2}, Н. В. ЕФИМОВА^{1,2}, А. Ю. ГОРНОВ^{1,3}, Т. С. ЗАРОДНЮК³, Т. И. ЗАБОРЦЕВА^{1,4},
В. И. ГРЕБЕНЩИКОВА^{1,5}, О. М. ЖУРБА^{1,2}, Я. А. ЛЕЩЕНКО^{1,2}, И. В. ДОНСКИХ²**

¹ Иркутский научный центр СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, rvs2010@mail.ru, medecolab@inbox.ru, gornov@icc.ru, zabti@irigs.irk.ru, vgreb@igc.irk.ru, labchem99@gmail.com, lsioz@mail.ru

² Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований, 665827, Ангарск, а/я 1170, Иркутская обл., Россия, irina.donskih.84@mail.ru

³ Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, tzarodnyuk@gmail.com

⁴ Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия

⁵ Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1, Россия

ОЦЕНКА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В ЗОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ Г. ШЕЛЕХОВА)

В качестве модельной территории в соответствии с ресурсной специализацией Восточной Сибири рассмотрен город Шелехов, расположенный в условиях резко континентального климата. Город является крупным центром производства алюминия, где находится не только алюминиевый завод, но и сопутствующие производства. Объекты исследования: атмосферный воздух, питьевая вода, почвенный покров, медико-демографические показатели, биологические матрицы человека. Выявление вклада наиболее значимых факторов в вариации показателя заболеваемости проведено с использованием математической модели. К числу приоритетных контаминантов г. Шелехова отнесены: 3,4-бензапирен, формальдегид, соединения фтора, взвешенные вещества. Риск, обусловленный ингаляционным путем воздействия, оценивается как недопустимый по вероятности развития неканцерогенных и канцерогенных эффектов. Содержание в почве химических примесей вблизи производства алюминия свидетельствует о ее загрязнении на расстоянии более 50 км, концентрации фтора, бериллия, алюминия, свинца, никеля, марганца, хрома здесь выше, чем в фоновых точках. Содержание фтора в почвенном покрове ассоциируется с концентрацией в атмосферном воздухе. У 32,5 % детей и подростков, проживающих вблизи производства алюминия, содержание фтора в волосах выше фонового, концентрации значительно увеличиваются в старших возрастных группах. Установлено, что вклад управляемых факторов в вариации показателя заболеваемости детского населения составляет: обеспеченность медицинской помощью — 19,0 %, загрязнение атмосферного воздуха — 16,6 %, социальные условия — 37,6 %.

Ключевые слова: производство алюминия, ресурсная специализация, загрязнение, медико-демографические показатели, математическая модель.

**V. S. RUKAVISHNIKOV^{1,2}, N. V. EFIMOVA^{1,2}, A. YU. GORNOV^{1,3}, T. S. ZARODNYUK³, T. I. ZABORTSEVA^{1,4},
V. I. GREBENSHCHIKOVA^{1,5}, O. M. ZHURBA^{1,2}, YA. A. LESHCHENKO^{1,2}, AND I. V. DONSKIKH²**

¹ Irkutsk Scientific Center SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia, rvs2010@mail.ru, medecolab@inbox.ru, gornov@icc.ru, zabti@irigs.irk.ru, vgreb@igc.irk.ru, labchem99@gmail.com, lsioz@mail.ru

² East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 665827, Angarsk, Post Box 1170, Irkutsk Region, Russia, irina.donskih.84@mail.ru

³ V. M. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia, tzarodnyuk@gmail.com

⁴ V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 664033, Irkutsk, Ulan-Batorskaya str., 1, Russia

⁵ A. P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, 664033, Irkutsk, Favorskogo str., 1, Russia

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENT AND PUBLIC HEALTH CONDITION IN THE AREA OF ALUMINUM PRODUCTION FACILITIES, EASTERN SIBERIA (BY THE EXAMPLE OF SHELEKHOV CITY)

According to the resource specialization of Eastern Siberia the city of Shelekhov located in the extreme continental climate is considered as a model territory. The city is a large center of aluminum production where there is not only an aluminum smelter but related manufacturing facilities. Subjects of the research are the ambient air, drinking water, soil, medical and demographic

© 2016 Рукавишников В. С., Ефимова Н. В., Горнов А. Ю., Зароднюк Т. С., Заборцева Т. И.,
Гребенщикова В. И., Журба О. М., Лещенко Я. А., Донских И. В.

indicators, human biological matrices. A mathematical model was used to identify the most significant contributions to morbidity factor variations. Priority contaminants in Shelekhov include 3,4-benzopyren, formaldehyde, fluorine compounds, suspended substances. The risk caused by inhalation exposure is estimated to be unacceptable level in terms of probable non-carcinogenic and carcinogenic effects. Chemical impurities found in soil near the aluminum manufacturing facilities indicate its contamination to a distance exceeding 50 km, where concentrations of fluorine, beryllium, aluminum, lead, nickel, manganese, chromium are higher than in the baseline points. The fluorine content in the soil cover is associated with its concentration in the ambient air. 32,5 % children and adolescents living in the vicinity of aluminum production have higher fluorine content in their hair than it is allowable. The concentration of fluorine in biological matrices is significantly increased in the older age groups. A contribution of controllable factors to the variation of children morbidity rate is as follows: provision of health care (19,0 % of the variability in incidence), air pollution (16,6 %), social conditions (37,6 %).

Keywords: aluminum production, resource specialization, pollution, health and demographic indicators, mathematical model.

ВВЕДЕНИЕ

Действие выбросов предприятий цветной металлургии, в том числе производства алюминия, описано в отечественных и зарубежных публикациях [1, 2]. В выбросах предприятий по производству алюминия, наряду с формальдегидом, хромом, свинцом, бензо(а)пиреном и дибензо(а,б)антраценом, могут содержаться бенз(а)антрацен, хризен, являющиеся опасными канцерогенами для человека. Кроме того, данное производство служит источником контаминации окружающей среды фтористыми соединениями, которые одновременно загрязняют целый ряд объектов (атмосферный воздух, почву, воду), что определяет уровень риска развития флюороза как у работающих, так и у всего населения [3].

На территории Восточной Сибири к числу ведущих отраслей промышленности относится производство алюминия. Значимость последнего для экономики и социального развития Восточной Сибири определяет цель данной работы — выявить особенности изменения качества среды обитания и формирования здоровья популяции в зоне влияния производства алюминия (на примере г. Шелехова).

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве модельной территории рассмотрен г. Шелехов, расположенный в условиях резко континентального климата (средние температуры января составляют -19°C , июля $+18^{\circ}\text{C}$, среднегодовая температура — $0,3-0,9^{\circ}\text{C}$). Объектами исследований были атмосферный воздух, питьевая вода, почвенный покров (на фоновых участках и в промышленной зоне), медико-демографические показатели и показатели заболеваемости детей, биологические матрицы человека (волосы, моча).

Материалами для изучения первичной заболеваемости детей послужили данные официальной статистики за 2002–2014 гг. Для характеристики состояния окружающей среды использовали данные гидрометслужбы (среднегодовые параметры температуры воздуха, скорости ветра, концентрации примесей в атмосферном воздухе). Оценку длительного химического загрязнения проводили по кратности превышения предельно допустимых концентраций среднегодовых (ПДК_{сс}) и максимально разовых (ПДК_{мр}), а также индекса опасности (HI), рассчитанного по среднегодовым концентрациям. Применение метода экспертных оценок позволило оценить социальные условия. Для геохимической оценки состава почвы выполнены измерения массовых долей меди, марганца, свинца, цинка, ванадия, хрома, кобальта, никеля на многоканальном анализаторе атомно-эмиссионных спектров «МАЭС», ГР 21013-01, погрешность определения не превышала 30 %. Анализ содержания иона фтора проводился на приборе «Мультитест-211» потенциометрическим методом (МУК 4.1.773-99).

Выявление вклада наиболее значимых факторов в вариации показателя заболеваемости детского населения проведено с использованием ранее разработанной и апробированной математической модели, в которой реализован метод поиска глобального экстремума многомерной функции [4, 5]. Математическая формализация зависимости заболеваемости населения от основных факторов имела следующий вид:

$$Z_i(a) = a_1 T_i + a_2 W_i + a_3 V_i + a_4 \frac{\ln HI_i}{\ln V_i} + a_5 \ln C_i + Q, \quad (1)$$

где T_i — среднегодовая температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; W_i — обеспеченность врачами (число специалистов на 1000 населения); V_i — среднегодовая скорость ветра, м/с; HI_i — индекс опасности для органов дыхания (показатель загрязнения атмосферного воздуха, усл. ед.); C_i — социальные условия, характерные для города (экспертная оценка, балл); Q — неучтенные факторы. Ассоциированность содержания поллютантов в различных объектах среды оценивалась с применением коэффициента корреляции Спирмена (R_{sp}).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Город Шелехов — один из крупных промышленных центров Иркутской агломерации с численностью населения 47,3 тыс. чел. (на 01.01.2016 г.). В рассматриваемый период показатели смертности изменялись в диапазоне 11,9–15,3, рождаемости — 10,3–15,9, что оценивается в целом позитивно. Показатель естественного прироста достиг наибольших значений в 2013 и 2014 гг. — 2,8 и 4,0 ‰ соответственно. При сохранении указанных тенденций рождаемости можно ожидать восстановления в Шелехове простого воспроизводства населения.

Основные факторы размещения и развития «стержневых» предприятий г. Шелехова — ресурсный и топливно-энергетический [6, 7]. Его специализацию определяет комплекс производств цветной металлургии, представленный экспортно ориентированными предприятиями Объединенной компании «Российский алюминий»: филиалом ОАО «РУСАЛ-Братск» (ИркАЗ), ЗАО «Кремний», ООО «СУАЛ-Порошковая Металлургия». Наибольшему загрязнению атмосферного воздуха подвержены северная и центральная части г. Шелехова. К числу приоритетных контаминантов относились: 3,4-бензапирен, обладающий как канцерогенным, так и токсическим действием, его среднегодовое содержание составило 3,5 ПДК_{сс}, формальдегид (среднегодовое содержание 1,3–6,3 ПДК_{сс} и максимальное — 6 ПДК_{мр}), взвешенные вещества (1,3 ПДК_{сс} и 1,2–4,4 ПДК_{мр}). Кроме того, в атмосферном воздухе города отмечено повышенное содержание примесей, характерных для производства алюминия. Хотя среднегодовые концентрации фторсодержащих примесей находились на уровне ПДК_{сс}, разовые превышали гигиенические нормативы (например, растворимые твердые фториды — в 3,3 раза, газообразный гидрофторид — в 1,8 раза).

Интегральные показатели риска для здоровья населения, связанные с химическим загрязнением компонентов среды, представлены в таблице. Риск, обусловленный ингаляционным путем воздействия, оценивается как недопустимый по вероятности развития не только неканцерогенных эффектов, но и канцерогенных. Канцерогенный риск входит в диапазон «более 1 случая на 1000 экспонированных лиц», что неприемлемо даже для профессиональных групп.

Мониторинг содержания в почве химических примесей вблизи производства алюминия свидетельствует о ее загрязнении на расстоянии более 50 км. В количествах, превышающих фоновый уровень, обнаружены: фтор, бериллий, алюминий, свинец, никель, марганец, хром, ванадий, цинк, молибден, медь. Однако именно фтористые соединения являются приоритетным загрязнителем. Содержание фтора в почвенном покрове ассоциируется с концентрацией в атмосферном воздухе ($R_{sp} = 0,68$; $p < 0,05$). Наибольшая экспозиция фтором характерна для населения, проживающего на территории в непосредственной близости к промышленной площадке, где для взрослых интегральная доза поступления фтористых соединений из почвы достигает 0,6 мг/кг в сутки, для детей — 1,3 мг/кг в сутки.

Известно, что фтор и его соединения обладают узким диапазоном физиологического оптимума, что требует особого внимания к проблеме воздействия на здоровье населения [8]. Биомониторинг фтора у детей, проживающих на экспонированных территориях, показал, что экскреция с мочой превышала рекомендуемый допустимый уровень у значительной части обследованных. Концентрации фтора в группе детей 5–14 лет находились в следующих пределах: минимальное значение — 14, максимальное — 157 мкмоль/дм³, среднее составило 59 мкмоль/дм³. У 32,5 % детей и подростков, проживающих вблизи производства алюминия, содержание фтора в волосах выше фонового, концентрации значительно увеличиваются в старших возрастных группах.

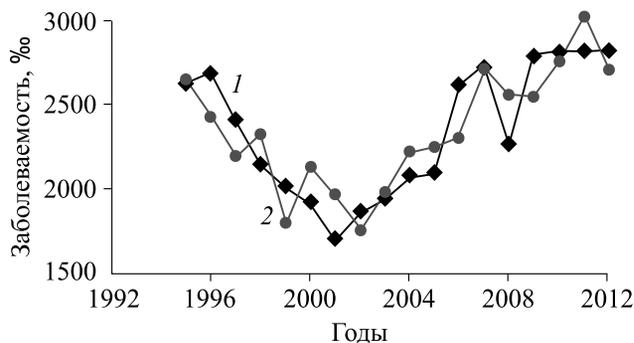
В связи с тем, что наибольший вклад в агрегированный риск здоровью населения г. Шелехова вносит атмосферный воздух, в качестве предиктора, отражающего техногенное воздействие в матема-

Компоненты агрегированного риска для здоровья населения при загрязнении объектов окружающей среды в г. Шелехове (Иркутская область)

Объект среды обитания	Общетоксический риск			Канцерогенный риск		
	Пути поступления		Всего	Пути поступления		Всего
	ингаляционный	пероральный		ингаляционный	пероральный	
Атмосферный воздух	12,9	—	12,9	0,009	—	0,009
Питьевая вода	—	0,51	0,51	—	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Почва	0,0017	0,016	0,016	$4,2 \cdot 10^{-8}$	$7,4 \cdot 10^{-7}$	$7,4 \cdot 10^{-7}$
Итого	12,9	0,53	13,43	0,009	$2,1 \cdot 10^{-7}$	0,009

Динамика заболеваемости (‰) детей г. Шелехова:

1 — реальные показатели, 2 — расчетные.



тической модели, будем использовать индекс опасности загрязнения воздушного бассейна. Так как детская субпопуляция является наиболее чувствительной к влиянию факторов среды, моделирование провели на примере этой группы. В результате решения задачи оптимизации получена зависимость заболеваемости детского населения Шелехова от рассматриваемых факторов (см. рисунок). Точность расчетов составила в среднем 7,7 % (или 172 случая), что не выходит за пределы ошибки показателя. Вклад рассмотренных факторов в уровень заболеваемости детей составил: обеспеченность медицинской помощью — 19,0 %, загрязнение атмосферного воздуха — 6,6 %, социальные условия — 37,6 %.

Точность расчетов составила в среднем 7,7 % (или 172 случая), что не выходит за пределы ошибки показателя. Вклад рассмотренных факторов в уровень заболеваемости детей составил: обеспеченность медицинской помощью — 19,0 %, загрязнение атмосферного воздуха — 6,6 %, социальные условия — 37,6 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, несмотря на существенное снижение загрязнения окружающей среды г. Шелехова вследствие внедрения природоохранных мер на предприятиях по производству алюминия, на территории города сохраняется высокий риск негативных эффектов в популяционном здоровье. Однако в настоящее время указанные риски не являются критическими и позволяют позиционировать г. Шелехов как наиболее перспективную урбанизированную территорию региона в условиях ресурсной специализации. Перспективы развития города и сохранения человеческого потенциала связаны с эффективным использованием его производственного потенциала, поступательным улучшением социальной инфраструктуры и оптимизацией медицинского обслуживания населения.

Работа выполнена в рамках Интеграционной программы ИИЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимова Н. В., Дорогова В. Б., Журба О. М., Никифорова В. А. Оценка воздействия фтора на детское население Иркутской области // Медицина труда и пром. экология. — 2009. — № 1. — С. 23–26.
2. Choi A. L., Sun G., Zhang Y., Grandjean P. Developmental fluoride neurotoxicity: A systematic review and meta-analysis // Environ. Health Perspect. 2012. — <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1104912> (дата обращения 29.09.2012).
3. Абраматец Е. А. Клинические случаи профессиональной хронической интоксикации соединениями фтора // Бюл. Вост.-Сиб. науч. центра СО РАМН. — 2010. — № 4. — С. 73–76.
4. Батурин В. А., Маторова Н. И., Ефимова Н. В., Урбанович Д. Е. Применение метода математического моделирования при оценке влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье детского населения // Медицина труда и пром. экология. — 2003. — № 3. — С. 42–45.
5. Ефимова Н. В., Никифорова В. А., Горнов А. Ю., Зароднюк Т. С. Использование математической модели при оценке влияния факторов окружающей среды на заболеваемость населения северных территорий Иркутской области // Вестн. Краснояр. гос. аграрного ун-та. — 2009. — № 3. — С. 97–101.
6. Итоги социально-экономического развития города Шелехова за первое полугодие 2015 года и ожидаемые итоги социально-экономического развития города Шелехова за 2015 год [Электронный ресурс]. — <http://www.gorod-shelehov.ru/city/economics/economic-development.php> (дата обращения 06.10.2016).
7. Савельева И. Л. Минерально-сырьевые циклы производств Азиатской России. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. — 274 с.
8. O'Mullane D. M., Baez R. J., Jones S., Lennon M. A., Petersen P. E., RuggGunn A. J., Whelton H., Whitford G. M. Fluoride and oral health // Community Dental Health. — 2016. — N 33. — P. 69–99.

Поступила в редакцию 19 октября 2016 г.