

ИЗУЧЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ МОНИТОРИНГА ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫБРОСАМИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

О.А. Берсенева

Иркутский государственный университет,
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1; *berseneva-oksana@rambler.ru*

Резюме. Изучены агрохимические и агроэкологические показатели почв сельскохозяйственного назначения, находящиеся на территориях сопредельных с Иркутским алюминиевым заводом. В результате проведенных исследований установлено, что под действием аэропромвыбросов алюминиевого завода изменяются химические свойства почв (увеличение рН (в среднем на 1.3 единицы)), насыщенность почвенного поглощающего комплекса основаниями, снижение содержания биогенных элементов и гумуса. Показано превышение нормативов ПДК для фторидов в 0.5, 5 и 15 км от эпицентра воздействия. Определена буферная способность почв по отношению к фторидам.

Ключевые слова. Почва, мониторинг, аэропромвыбросы, металлургическое производство, агроэкологические показатели.

STUDY OF AGROECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL INDICATORS OF AGRICULTURAL SOILS FOR THE PURPOSE OF MONITORING THEIR POLLUTION BY EMISSIONS FROM METALLURGICAL INDUSTRIES

О.А. Berseneva

Irkutsk State University
1, Karl Marx str., 664003, Irkutsk, Russia; *berseneva-oksana@rambler.ru*

Abstract. Agroecological and agrochemical indicators of agricultural soils located on the territories adjacent to the Irkutsk aluminum plant are studied. As a result of investigations carried out, it was established that the chemical properties of soils under the effect of airborne emissions of an aluminum plant (an increase pH by 1.3 units), the saturation of the soil absorbing complex by bases, a decrease in the content of biogenic elements and humus. The excess of the maximum allowable concentrations for fluorides in 0.5, 5 и 15 km from the epicenter of exposure.

Keywords. Soil, monitoring, emissions, metallurgical industries, agroecological indicators.

Введение

В настоящее время во многих крупных промышленных городах наблюдается сильное техногенное воздействие на природную среду. Мощными источниками загрязнения окружающей среды являются комбинаты цветной металлургии. Известно, что выбросы металлургических производств оказывают негативное воздействие на наземные экосистемы (Hruska, 2001; Ragone et al., 2002; Jha et al., 2008; Берсенева, 2010). Вследствие этого существует угроза их накопления в сельскохозяйственной продукции (Берсенева, 2010).

На основании анализа имеющихся теоретических материалов по исследованию территории, прилегающей к Иркутскому алюминиевому заводу (ОАО «ИрАЗ – РУСАЛ»), были выделены данные о характере и интенсивности выбросов завода, а также показаны преобладающие компоненты (химические элементы и соединения) этих выбросов.

ОАО «ИрАЗ-РУСАЛ» является первым крупным предприятием алюминиевой промышленности в Восточной Сибири – вступил в действие в 1962 году. Его выбросы составляют 80% от общего валового выброса предприятий. Иркутский алюминиевый завод специализируется на выпуске алюминия-сырца. Процесс электролиза алюминия сопровождается выделением загрязняющих веществ: фтористого водорода, фторидов, диоксида серы, оксида углерода, тяжелых металлов, смолистых веществ и бензапирена. Концентрация этих элементов увеличивается по мере приближения к заводу (Кузьмин, 2005).

Среди химических элементов в почвах, более всего накапливается фтор (Кузьмин, 2005; Помазкина и др., 2008). Максимальные концентрации валового, кислоторастворимого и водорастворимого фтора отмечаются вблизи «ИрАЗ – РУСАЛ» (в 0,5 км к Ю-В) в органогенных горизонтах. Валовое содержание и кислоторастворимые формы составляют тысячи мг/кг, а водорастворимая – сотни мг/кг. По мере удаления от завода доля кислоторастворимого фтора в почве, снижается, а водорастворимого – возрастает.

По имеющимся данным (Белозерцева, 2000) изменения физико-химического состава почв, связанные с выбросами предприятия, не прослеживаются, начиная с 20 км от источника воздействия по факелу выбросов.

Накопление поллютантов вблизи завода обуславливает снижение целлюлазной активности, в результате торможения деструкции органического вещества. Показано, снижение содержания гумуса и возрастание доли, связанных с кальцием и прочно связанных с минеральной частью почвы гумусовых веществ (Белозерцева, 2000).

В настоящее время в научной литературе имеются многочисленные исследования по содержанию и миграции тяжелых металлов, как одних из основных компонентов выбросов алюминиевого производства в различных почвенных горизонтах. Установлены основные загрязнители почв. Прослежена динамика по техногенным выбросам. Установлены фоновые уровни содержания фторидов в почвах. Гораздо меньше внимания уделяется кон-

тролю за физико-химическими свойствами почв, определяющими их плодородие и экологическую безопасность. Указанные обстоятельства послужили основанием для проведения исследований по изучению агрохимических и агроэкологических показателей почв сельскохозяйственного назначения для оценки степени их загрязнения выбросами металлургических производств.

Материалы и методы

Исследования проведены в Иркутской области в районе действия аэропромвыбросов Иркутского алюминиевого завода (г. Шелехов), расположенного в подзолах средней тайги, на серых лесных почвах. При приближении к заводу уменьшается полнота и сомкнутость древостоя, увеличивается доля сухостоя. В импактной зоне травяной ярус фрагментарен; в кустарниковом ярусе преобладают: рододендрон даурский, шиповник, ивы и др. (Бережная, Михайлова, 2004; Кузьмин, 2005).

Климат района исследования характеризуется резкой континентальностью со значительными колебаниями температур. Среднегодовая температура воздуха составляет -3.9°C . Наиболее холодным месяцем является январь со среднесуточной температурой -25°C . Самым теплым месяцем является, июль со среднесуточной температурой $+18^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков 270-400 мм. В июне-августе сумма осадков достигает половины годового количества, а иногда и превосходит таковую. Благодаря сибирскому антициклону преобладает малооблачная погода с недостаточной турбулентностью приземного слоя атмосферы, наблюдается высокая повторяемость продолжительных и приподнятых инверсий (64-89%), штилей (54-62%) и слабых ветров (79-89%). Эти условия способствуют интенсивному техногенному загрязнению почв (Беркин и др., 1993; Бояркин, 1995).

В качестве объектов исследования использовались почвы, подвергшиеся длительному воздействию аэропромвыбросов Иркутского алюминиевого завода и контрольная почва, не подвергавшаяся воздействию выбросов. С целью определения влияния техногенного загрязнения почв от Иркутского алюминиевого завода, который являлся моделью для исследования экологических последствий, связанных с деятельностью предприятий алюминиевой промышленности, нами были отобраны и проанализированы почвенные образцы из разрезов, заложенных на различном удалении от источника выбросов с учетом господствующей розы ветров. Опытными почвами служили участки, находящиеся в 0,5, 5 и 15 км от ОАО «ИркАЗ-РУСАЛ». Участок, находящийся на расстоянии 25 км служил контролем, поскольку был расположен вне зоны загрязнения (Берсенева, 2010). Образцы отбирали из верхнего горизонта (A_1) с глубины 0-10 см. Отбор образцов проводили в летний период 2006 - 2008 гг. в трехкратной повторности.

Исследование агрохимических свойств почв осуществляли по следующим общепринятым методикам: изучение гранулометрического состава проводили по методу Качинского, определение суммы обменных оснований по Каппену - Гильковицу, определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кир-

санова в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26207-91 (1992). Содержание органического углерода (гумуса) определяли методом Тюрина, общего азота по методу Кьельдаля, рН потенциометрическим методом (Аринушкина, 1970).

Содержание фторидов определяли потенциометрическим методом с помощью портативного рН метра - иономера «эконикс-эксперт» 001 (Россия). Нормирование уровня загрязнения почв фторидами проводили по содержанию водорастворимых фторидов (предельно допустимая концентрация 10 мг кг^{-1} почвы) (Кузьмин, 2005).

Буферные свойства почв определяли согласно градации, разработанной В.Б. Ильиным (1997).

Каждый опыт проводили в трех повторностях, после чего осуществляли статистическую обработку полученных результатов с целью оценки их достоверности. Для оценки достоверности полученных результатов рассчитывали среднее арифметическое значение с указанием среднего квадратичного отклонения (Гланц, 1998).

Результаты

Выбранные для исследования почвы существенно различались по своим физико-химическим и агроэкологическим характеристикам (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика исследуемых почв по физико-химическим показателям

Показатель	Пробы почв, расстояние от «ИрКАЗ-РУСАЛ»			
	0.5 км	5 км	15 км	25 км
Содержание частиц, < 0.01	30.8±1.43	31.7±2.0	31.4±2.5	30.9±1.44
рН Н ₂ О	7.5±0.04	7.8±0.72	7.4±0.68	7.1±1.37
Гумус, %	1.85±0.1	2.11±0.12	2.12±0.11	3.41±0.26
N общ, %	0.12±0.04	0.14±0.03	0.16±0.03	0.19±0.04
(Ca ²⁺ , Mn ²⁺ , Na ⁺), мг-экв/100г	30.7±4.3	31.6±2.5	30.3±3.4	20.3±2.0
K ₂ O, мг/кг	118±8.9	132±13.4	146±13.8	197.5±12.6
P ₂ O ₅ , мг/кг	231±17.1	245±12.8	267±13.3	433.8±17.8
Фториды, мг/кг	48.8±3.6	76.5±3.9	22.8±3.23	9.8±1.5

Примечания:

- 0,5 км – вдоль факела выброса (эпицентр загрязнения);
- 5 км – перед факелом выброса (ст. Олха);
- 15 км – вдоль факела выброса (граница Иркутского и Шелеховского района);
- 25 км – вдоль факела выброса (ст. Большой луг)

Согласно проведенным исследованиям, почвы имеют слабощелочную реакцию почвенного раствора (рН для почв, находящихся в 0.5 и 5 км от завода составляет 7.5 и 7.8 соответственно, а в 15 км 7.4). Реакция контрольной почвы близка к нейтральной. Изменение уровня рН подтверждает сведе-

ния о степени загрязнения почв фторидами, которые, согласно исследованиям ряда авторов (Помазкина и др., 2008), способствуют подщелачиванию почвы.

Сумма обменных оснований соответствует нормам, характерным для этого типа почв, однако поглощающий комплекс почв, находящихся в 0.5; 5 и 15 км от предприятия, более насыщен основаниями (30.7, 31.6 и 30.3 мг/экв на 100 г почвы соответственно) по сравнению с контрольной почвой.

Содержание гумуса во всех пробах ниже нормы, но увеличивается по мере удаления от предприятия, что может свидетельствовать о замедлении процесса гумификации или усилении минерализации почвенной органики.

Содержание общего азота в контрольной почве близко к норме, а вблизи источника воздействия его количество ниже нормы почти в 1.5 раза, что свидетельствует о дисбалансе процессов накопления и выщелачивания элемента. Такая же тенденция прослеживается и по количеству подвижных форм K_2O и P_2O_5 , в контрольной почве в пределах норм и по мере приближения к заводу содержание K_2O и P_2O_5 снижается, что может свидетельствовать о повышении скорости минерализации.

Известно, что степень накопления в почве поллютантов определяется их буферными свойствами (Ильин, 1997). Согласно литературным данным основными компонентами, создающими буферность, являются гранулометрический состав, гумус, а также реакция среды (рН) (Ильин, 1997).

Результаты расчета буферной способности почв, находящихся в районе аэропромвыбросов алюминиевого завода, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Буферная способность почв, находящихся в районе аэропромвыбросов ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ»

Пробы почв, расстояние от «ИрКАЗ - РУСАЛ»	Компоненты почв, определяющие ее буферность			Балл буферности почв, степень буферности (Ильин, 1997)
	Физ. глина	рН	гумус	
0,5 км	30.8±1.43 (10)	7.5±0.04 (10)	1.85±0.1 (3)	23
				слабая
5 км	31.7±2.0 (10)	7.8±0.72 (10)	2.11±0.12 (3)	23
				слабая
15 км	31.4±2.5 (10)	7.4±0.68 (10)	2.12±0.11 (3)	23
				слабая
25 км	30.9±1.44 (10)	7.1±1.37 (10)	3.41±0.26 (4)	24
				средняя

Представленные в табл. 2 данные показывают, что почвы, находящиеся в (0.5, 5 и 15 км) от промышленного узла, характеризуются слабой буферной способностью обезвреживать техногенные вещества. Буферная способность контрольной почвы – средняя.

Токсический эффект выбросов Иркутского алюминиевого завода на почвы в значительной степени связан с содержанием в них фтора. Наибольшее содержание фторида было зарегистрировано в почве, которая находилась, в 5 км от источника загрязнения и составляло 76.5 мг кг⁻¹ (7 ПДК). Содержание

фторид иона в почвах, находящихся в 0.5 и 15 км от предприятия, составило 48.8 и 22.8 мг кг⁻¹, что более чем в 4 и 2 раза превышает предельно-допустимый уровень. В контрольной почве содержание фторидов соответствует ПДК.

Заключение

Проведенные исследования показали, что под действием аэропромвыбросов алюминиевого завода изменяются химические свойства почв. К общим изменениям относятся: увеличение рН (в среднем на 1.3 единицы), насыщенность почвенного поглощающего комплекса основаниями, снижение содержания биогенных элементов и гумуса, что свидетельствует об ухудшении буферных свойств почв по мере приближения к источнику воздействия.

Результаты настоящего исследования могут быть рекомендованы производственным организациям, городским и областным комитетам по экологии, санитарно-эпидемиологическим службам для разработки мониторинговых программ по контролю за химическим составом почвы, что позволит получать экологически безопасную овощеводческую продукцию в условиях загрязнения.

Список литературы

- Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. – М., Наука, с. 10-17.
- Беркин Н.С., Филиппова С.А., Бояркин В.М. 1993. Иркутская область (природные условия административных районов). – Иркутск, Изд-во Иркут. гос. ун-та, с. 30.
- Бояркин В.М. 1995. География Иркутской области. – Иркутск, с. 20.
- Белозерцева И.А. 2000. Воздействие техногенных выбросов на почвенный покров Верхнего Приангарья: На примере зоны влияния Иркутского алюминиевого завода. – Автореферат дис. ... кандидата географических наук, 11.00.11. – Иркутск, 19 с.
- Бережная Н.С., Михайлова Т.А. 2004. Реакция сосновых древостоев на измерение техногенной нагрузки. – Материалы Российск. науч.-практ. конф. «Природная и антропогенная динамика наземных экосистем». – Красноярск, с. 65.
- Берсенева О.А. 2010. Эколого-микробиологическая характеристика наземных экосистем в районе предприятий алюминиевой промышленности. – Дис. ... канд. биол. наук. – Улан-Удэ, 148 с.
- ГОСТ 26207-91. 1992. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – М., Издательство стандартов, 7 с.
- Гланц С. 1998. Медико-биологическая статистика. – М., Практика, с. 40-49.
- Ильин В.Б. 1997. Буферные свойства почвы и допустимый уровень ее загрязнения тяжелыми металлами. – Агрехимия, № 11, с. 65-70.
- Кузьмин В.А. 2005. Геохимия почв юга Восточной Сибири. – Иркутск, Изд-во ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, с. 30-35.
- Помазкина Л.В., Котова Л.Г., Зорина С.Ю., Рыбакова А.В. 2008. Сравнительная оценка состояния агроэкосистем на разных типах почв Прибайкалья, загрязненных фторидами алюминиевого производства. – Почвоведение, № 6, с. 717-725.

Ragone S., Bernstein J., Lew E., Weisman R. 2002. Fatal aluminum phosphide ingestion. – *Clinical toxicology*, vol. 40, pp. 690-693.

Jha S. K., Nayak A. K., Sharma Y. K., Mishra D. K. 2008. Fluoride accumulation in soil and vegetation in the vicinity of brick fields. – *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, No. 4, pp. 369-373.

Hruska J. 2001. Relationship between Norway spruce status and soil water base cautions aluminum rations in the Czech Republic. – *Water, air and soil pollution*, No. 4, pp. 983-988.

References

Arinushkina E.V. 1970. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guidelines for the chemical analysis of soils]. Moscow, Nauka Publ., pp. 10-17.

Berkin N.S., Filippova S.A., Boiarkin V.M. 1993. *Irkutskaiia oblast' (prirodnye usloviia administrativnykh raionov)* [Irkutsk region (natural conditions of administrative districts)]. Irkutsk, p. 30.

Boiarkin V.M. 1995. *Geografiia Irkutskoi oblasti* [Geography of the Irkutsk region]. Irkutsk, p. 20.

Belozertseva I.A. 2000. *Vozdeistvie tekhnogennykh vybrosov na pochvennyi pokrov Verkhnego Priangar'ia: Na primere zony vliianiia Irkutskogo aliuminievoogo zavoda* [The impact of technogenic emissions on the soil cover of the Upper Angara region: On the example of the zone of influence of the Irkutsk aluminum plant]. Extended abstract of candidate's thesis. Irkutsk, 19 p.

Berezhnaia N.S., Mikhailova T.A. 2004. Reaktsiia osnovnykh drevostoev na izmerenie tekhnogennoi nagruzki [The reaction of pine stands to the measurement of anthropogenic load]. *Materialy Rossiisk. nauch.-prakt. konf. «Prirodnaia i antropogennaia dinamika nazemnykh ekosistem»* [Materials of the Russian Scientific-practical conference "Natural and anthropogenic dynamics of terrestrial ecosystems"]. Krasnoyarsk, p. 65.

Berseneva O.A. 2010. *Ekologo-mikrobiologicheskaia kharakteristika nazemnykh ekosistem v raione predpriatii aliuminievoi promyshlennosti* [Ecological and microbiological characteristics of terrestrial ecosystems in the area of enterprises of the aluminum industry]. Candidate's thesis. Ulan-Ude, 148 p.

GOST 26207-91. 1992. *Pochvy. Opredelenie podvizhnykh soedinenii fosfora i kaliia po metodu Kirsanova v modifikatsii TsINAO* [Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Kirsanov method modified by CINAO]. Moscow, Standartinform Publ., 7 p.

Glants S. 1998. *Mediko-biologicheskaia statistika* [Medico-biological statistics]. Moscow, Praktika Publ., pp. 40-49.

Il'in V.B. 1997. Bufernye svoistva pochvy i dopustimyi uroven' ee zagriazneniia tiazhelymi metallami [Buffer properties of soil and permissible level of its contamination with heavy metals]. *Agrokhimiiia – Agricultural chemistry*, no. 11, pp. 65-70.

Kuz'min V.A. 2005. *Geokhimiiia pochv iuga Vostochnoi Sibiri* [Geochemistry of soils in the south of Eastern Siberia]. Irkutsk, pp. 30-35.

Pomazkina L.V., Kotova L.G., Zorina S.Iu., Rybakova A.V. 2008. Sravnitel'naia otsenka sostoianiia agroekosistem na raznykh tipakh pochv Pribaikal'ia, zagriaznennykh ftoridami aliuminievoogo proizvodstva [A comparative assessment of the state of agroecosystems on

different types of soils of the Baikal region contaminated with aluminum fluorides]. *Pochvovedenie – Soil Science*, no. 6, pp. 717-725.

Ragone S., Bernstein J., Lew E., Weisman R. 2002. Fatal aluminum phosphide ingestion. – *Clinical toxicology*, vol. 40, pp. 690-693.

Jha S. K., Nayak A. K., Sharma Y. K., Mishra D. K. 2008. Fluoride accumulation in soil and vegetation in the vicinity of brick fields. – *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, No. 4, pp. 369-373.

Hruska J. 2001. Relationship between Norway spruce status and soil water base cautions aluminum rations in the Czech Republic. – *Water, air and soil pollution*, No. 4, pp. 983-988.

Статья поступила в редакцию: 17.04.2017

После переработки: 15.05.2017