

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ САЯНОГОРСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Дана оценка современного состояния экосистем в зоне влияния заводов алюминиевого производства. Выявлено негативное влияние техногенного загрязнения на компоненты экосистем. Увеличение выбросов, связанное с дальнейшим ростом производства алюминия, может привести к серьезным последствиям.

Ключевые слова: Саяногорский промышленный комплекс; производство алюминия; техногенные выбросы; экосистемы.

Быстрый рост народонаселения и бурное развитие промышленности привели к тому, что техногенное воздействие на окружающую среду превратилось из локального фактора в глобальный. В настоящее время объем выбросов загрязняющих веществ антропогенного происхождения стал соизмерим с масштабами природных процессов миграции и аккумуляции различных соединений [1]. Роль цветной металлургии в общей доли антропогенного воздействия на экосистемы котловины довольно высока и требует комплексного изучения. Проблема изучения возможности существования организма в условиях перманентного глобального загрязнения биосферы и поиска порога, за которым изменения биосистем в настоящее время приобретают особую актуальность, а индикация загрязнений становится одним из ведущих методов контроля за состоянием окружающей среды, становится значимой.

Несмотря на мировой опыт в ограничении мощности заводов (до 200–300 тыс. т/год), использовании сложных систем очистки отходов и жесткой регламентации нормы выбросов, зачастую устанавливаемых конкретно для каждого предприятия, а в последнее время выноса производства Al за пределы страны, в России продолжается гигантомания. Вместо небольших по мощности заводов, размещенных вдали от густонаселенных территорий, строятся заводы-гиганты, чаще всего без учета местных условий и природоохранных мероприятий, ориентированные на дешевую электроэнергию. Так, только два завода – Братский и Красноярский, с общей мощностью почти 2 млн т/год – обеспечивают около 57% общероссийского и 7% мирового выпуска алюминия. Заявление компании ОАО «РУСАЛ» о строительстве Богучанского (проектная мощность ~ 600 тыс. т/год) и Тайшетского (~ 750 тыс. т/год) заводов, а также планировании увеличить к 2017 г. производительность предприятий алюминиевого комплекса г. Саяногорска до 1 млн т алюминия в год в очередной раз показывает, что вопросы экологической безопасности региона и международный опыт не были полностью учтены в этих планах. В Саяногорский промышленный комплекс (СПК) входят Саяногорский (САЗ) и Хакасский (ХАЗ) алюминиевые заводы, на долю которых приходится основная масса выбросов вредных веществ на территории Южно-Минусинской котловины. В совокупности они ежегодно выпускают более 800 тыс. т. алюминия – почти четверть от общего объема производства заводами Восточной Сибири (по данным за 2009 г.). Специфическими элементами выбросов алюминиевых заводов являются F, Al и Na, а Ca и Mg – заводских тепловых станций. Также значительное загрязнение происходит от угольного пека, пыли электрофильтров, отработанной

футеровки, содержащей фтористые соединения S, Al и пр. и огромного количества твердых отходов.

Оба завода выгодно отличаются от остальных морально устаревших заводов Сибири тем, что при их строительстве было установлено современное оборудование, а производство алюминия связано с использованием обожженных анодов, с последующей сухой очисткой газов, что позволяет снизить энергозатраты и резко сократить выбросы полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), фторидов пыли и других вредных веществ (за исключением SO₂). Тем не менее всевозрастающее техногенное воздействие в равной степени отрицательно сказывается на всех компонентах окружающей среды и в совокупности отражается непосредственно на жизнедеятельности человека.

Загрязнение территории микроэлементами определяется рассеивающей способностью атмосферы в отношении твердых частиц и зависит от объема выбросов, конфигурации источника, гранулометрического и химического состава пыли. Наиболее неблагоприятная обстановка складывается на расстоянии 0,5–1,5 км от заводов, твердые частицы с содержанием F оседают на расстоянии 5 км, а газообразные соединения обнаруживаются в 30 км от источника [1–4]. Основными источниками загрязнения атмосферы на СПК являются центральная котельная ООО «Теплоресурс» (NO_x и SO₂) и фонари корпусов электролиза (HF и твердые фториды). Из пылегазового потока в экосистемы поступают: F преимущественно в растворе – 80%, Na на 50% в растворимой форме, Al в плохо растворимой форме – 70% [3]. Это в значительной мере предопределяет загрязнение экосистем: почвенные растворы, растения, животные и водные объекты – фтором, натрием и частично алюминием, ванадием, никелем; твердую субстанцию почв – алюминием, ванадием, никелем, натрием и фтором.

Техногенное воздействие САЗа на экосистемы котловины сказалось уже в первые годы его работы. Так, уже на второй год работы стали фиксироваться фториды в воздухе в п. Шушенское, расположенном в 40 км по прямой от завода, в концентрациях выше ПДК_{оо} и ПДК_{м-р}[5]. За 10 лет работы завода сформировалась зона экологического неблагополучия площадью в сотни квадратных километров, при этом наиболее опасными являются смолистые вещества, диоксид серы, бенз(а)пирен и фторид водорода на расстоянии 1,5 км от завода подвижные формы F в 10 раз превышают нормы ПДК [5]. В 1990 г. территория загрязнения фторсодержащими солями составляла 1100 км², а к 1996 г. она увеличилась еще на 500 км² [5]. С увеличением мощности на САЗе до 537 тыс. т/год в 2008 г. и вводом в строй ХАЗа в 2007 г. (300 тыс. т/год) общий

объем выбросов должен был прогнозируемо возрасти. Превышение в снеговой воде концентрации фториона над ионами сульфатов и хлоридов свидетельствует о преобладании в атмосферном воздухе фторидов и их приоритетной роли в загрязнении природной среды [3].

Согласно многолетним исследованиям, проведенными Н.Д. Давыдовой [4], территория, прилегающая к СПК, по величине загрязнения снежного покрова относится к среднему и умеренно опасному по твердым аэрозолям, чрезвычайно опасному и высоко опасному по снеговой воде и умеренно опасному по величине загрязнения почв. При этом содержание фтора (растворимая в воде форма) в верхней части (0–10 см) гумусового горизонта черноземов составила 1–2 ПДК, а на удалении 15–17 км от завода в остаточных солонцевых горизонтах – 5–10 ПДК. При намочении солонцевато-солончаковый слой пептизируется и становится практически непроницаемым для почвенных растворов, что может привести со временем к глубинным аномалиям, так называемым химическим бомбам замедленного действия [3]. Накопление фтора приводит к резкому падению показателей биологической активности почв и, следовательно, почвенного плодородия, что может привести к целому ряду неблагоприятных последствий для природы и человека. Доказано, что его аккумуляция в почве может способствовать увеличению токсичности для почвообразующих гетеротрофов [6].

Нарушение живой природы в зоне воздействия алюминиевого завода начинается с повреждения наиболее физиономичного компонента ландшафта – растительности. Загрязняющие вещества попадают в растения путем их поглощения преимущественно из воздуха через устьица и водных растворов через корневую систему, в меньшей степени – из твердой фазы почв [2, 7, 8]. Содержание фтора в растениях увеличивается к концу вегетационного периода и зависит от видовой принадлежности и внешних условий. Токсикологическое воздействие среды, накапливающей выбросы производства, газовый контакт зеленых частей с вредными примесями и концентрация их в тканях растений приводят к отмиранию растительности в промышленном районе [7]. При воздействии фторидов на растения происходят деформация роста листа и внутренние повреждения листовой (хлороз, некроз тканей), карликовость, усыхание деревьев и ослабление иммунитета на атаки болезней и насекомых [2, 3, 7, 8].

Большая часть территории, находящаяся под воздействием пылегазовых эмиссий заводов, занята относительно устойчивыми к загрязнению степными растительными сообществами, способными накапливать и выносить высокие концентрации фтора [3]. До середины 1995 г. значительные площади вокруг завода занимали пашни, залежи и пастбища, растительные сообщества последних находились на последней стадии дигрессии. Уже через 5 лет работы САЗа не в полную мощь в травянистой биомассе было обнаружено повышенное содержание фтора (до 100–150 мг/кг сухого вещества), а в соломе вблизи с. Михайловка (9 км от САЗа) его содержание варьировало от 10 до 30 мг/кг, что в десятки раз превышало фоновое содержание [9]. За 10 лет работы завода заражение растительности отмечалось на расстоянии до 16 км. Геохимические ис-

следования показали интенсивное накопление фтора в доминантных видах растений (ковыль Крылова, овсец пустынный, карагана карликовая), подстилке и живых корнях до глубины 30 см [5]. Характерными поллютантами из числа тяжелых металлов являются Ni, Va, Cr и Cu. Содержание Ni в подстилке на расстоянии 9 км колеблется от 31 до 52 мг/кг, в непосредственной близости от завода содержание его выше в 3,5–4 раза, а максимума достигает в 2–3 км в северо-восточном направлении, что соответствует господствующему здесь юго-западному переносу. Заметные накопления в подстилке и живых корнях выявлены для Va, Cr и Cu [5, 6]. В хвое сосны обыкновенной Очурского Бора (5–9 км к востоку от завода) уже на третий год работы САЗа отмечено накопление фторидов больше ПДК [5].

Накопление вредных химических элементов в растительности неизбежно приводит к их накоплению в организмах животных через трофические связи – ведущими процессами во взаимоотношении животных между собой и с другими компонентами экосистем. Животные, связанные с химическим составом через пищу, сами являются важным звеном в общей схеме обмена и передачи токсических элементов между компонентами экосистем. Техногенное загрязнение природных комплексов – довольно новый фактор для животных котловины, тем не менее, выработанные в течение эволюции механизмы поддержания гомеостаза позволяют организму как сложной саморегулирующейся и устойчивой биосистеме нивелировать стрессовое воздействие возмущающих факторов в субтоксичных условиях среды [10]. Поэтому в условиях перманентного глобального загрязнения биосферы особую актуальность приобретает проблема изучения возможности существования организма в субтоксичных условиях среды и поиска порога, за которым изменения биосистем приобретают необратимый характер [11]. Все чаще в отечественной и мировой практике биоиндикаторами выступают различные виды животных, и в настоящее время выработана целая система критериев для выбора животных-биоиндикаторов [1, 11–14]. Преимуществом животных-биоиндикаторов является то, что они адекватно отражают состояние биогеоценоза, динамику химического загрязнения, ферментативный механизм функционирования жизненно важных процессов, сходных с таковыми у человека [1]. В разное время в качестве биоиндикаторов на территории СПК выбирались мелкие млекопитающие и различные группы беспозвоночных [5, 6, 10, 15]. Для комплексной оценки состояния животного мира нами впервые были проведены исследования для амфибий, рептилий и птиц, обитающих в зоне воздействия СПК на различном расстоянии [10 и др.].

В первые годы работы завода его влияние на структуру животного населения было незначительным и определялось не столько степенью техногенного влияния, сколько совокупностью других антропогенных факторов, главными из которых являлись перевыпас скота и распашка земель [6, 10, 15]. Уже в первое десятилетие работы САЗа было отмечено некоторое накопление отдельных рассеянных элементов в том или ином звене трофической цепи в 4-километровой зоне. В 1987 г. содержание фтора в костных тканях мелких млекопи-

тающих колебалось от 110 до 509 мг/кг золы, что в 2,2–5,5 раз превышало нормы ПДК, а в их общей биомассе количество фтора достигало $5 \cdot 10^{-6}$ – $4 \cdot 10^{-4}$ кг/га [5, 16]. Также было отмечено повышенное содержание никеля в организме мелких млекопитающих [5]. В 1991–1992 гг. в 4-километровой зоне содержание в костной массе полевок изменялось от 1 250 до 3 500 мг/кг золы [6]. При этом высокое количество содержания фтора было зарегистрировано в восточном направлении, по розе преобладающих ветров. В 13–18-километровой зоне от завода были выявлены фоновые значения для всего биотического комплекса. С увеличением техногенных нагрузок происходили некоторые изменения в структуре герпетобионтного населения. Было выявлено, что по мере приближения к источнику выбросов происходят снижение численности и упрощение структуры герпетобионтного комплекса [6]. Снижение численности отмечалось у пауков, жуужелиц, муравьев, в то время как у личинок антицид, чернотелок и элатерид изменений в численности не прослеживалось и их динамика была связана с экологическими особенностями этих групп и влиянием других факторов.

Исследования, проведенные в 2004–2009 гг., показали, что в зоне воздействия СПК происходит существенное усиление на экосистемы, а также продолжают структурные перестройки в растительных и животных сообществах в сторону их упрощения и снижения общей биомассы [3, 4, 10, 15]. Только на расстоянии 18–20 км нагрузки приближаются к фоновым значениям. Выявлено, что вблизи заводов в экосистемы А1 поступает в составе плохо растворимых солей в количестве до 30 т/км² в год, а в растворимой форме – до 1,5 т; F в плохо растворимой форме поступает 1,3 т/км² в год, а в растворимой форме – 4 т; Na – соответственно 0,5 и 1,8 [3]. Отмечено, что поступление в природную среду веществ в растворимой форме на порядок меньше, но их роль в биогенной миграции значительно выше по сравнению с плохо растворимыми соединениями и многие из них токсичны. Вследствие их доступности они опасны не только для растений, но в большей мере для человека и животных, питающихся этими растениями [3].

По сравнению с данными, полученными в 1990-х гг., зона загрязнения значительно увеличилась, и уже в радиусе 15–16 км от СПК регистрируется превышение фтора в организме мелких млекопитающих. С удалением от центра воздействия происходит возрастание видового разнообразия и общей биомассы животных и снижение концентраций фтора в организме. Так в 4-километровой зоне содержание фтора в костных тканях мышевидных грызунов составляет 780–1150 мг/кг золы, в 6–10-километровой зоне – 600–1 000 мг/кг золы, на расстоянии 11–16 км – до 650 мг/кг золы. Несколькими значениями оказались в пробах, собранных вблизи оз. Бугоево (12 км севернее завода) – 960 мг/кг золы. Высокое содержание фтора отмечается в костных тканях ящериц в 4-километровой зоне – 1 998 мг/кг золы, в 6–10-километровой зоне – 720 мг/кг золы. В пробах остромордой и озерной лягушек, отловленных на оз. Красном в окрестностях с. Новониколаевка (14,5 км от СПК), содержание фтора достигает 1 180 мг/кг золы и 750 мг/кг золы соответственно.

Для герпетобионтного населения отмечена коренная перестройка структуры населения в непосредственной близости от источников эмиссий (1–3 км) [15]. Отмечено, что по мере удаления от заводов и уменьшения содержания основных ингредиентов выбросов происходит увеличение общего количества обитателей подстилки и травянистого покрова – прямокрылых, паукообразных и жесткокрылых. На расстоянии 1–2 км от источников выбросов наблюдается полная элиминация мирмицин, сетчатокрылых, на окраине Очурского бора полностью исчезают диплоподы, люмбрициды, энхетриды и моллюски [15]. На фоне этого происходит накопление химических веществ в организмах беспозвоночных животных (у отдельных видов – до 84,7–115,8 мг/г сухого вещества) [6].

Сосновые ленточные боры, расположенные в 8 км к юго-востоку от СПК, представляют собой механический барьер на пути перемещения загрязняющих веществ в экотонной зоне перехода степей к лесу. Поэтому здесь происходит активное накопление фтора в почвах, растениях и животных при его слабом выносе. Особенно много фтора было обнаружено в листовых лишайниках – 226 мг/кг, зеленых мхах – 280 мг/кг [3] и костных тканях мышевидных грызунов – 850 мг/кг золы. Аккумуляция вредных веществ в лесных экосистемах оказывает негативное влияние на герпетобионтный комплекс – полностью исчезают диплоподы, люмбрициды, энхетриды и моллюски [15]. Непосредственно сама сосна является одной из наиболее чувствительных к газообразным веществам хвойных пород, поэтому она одна из первых исчезает из состава фитоценозов в условиях сильной загазованности. Если серьезных нарушений в Очурском бору не было выявлено, то в непосредственной близости от завода (3–4 км на север от завода) в лесополосе из молодого сосняка обнаружены следы «ожогов», отмирание и усыхание значительной части деревьев.

Обеднение биотического компонента экосистем за счет выпадения слабоустойчивых видов, в конечном счете, может привести к изменению структуры и динамики растительного покрова и животного мира, нарушению водно-физических свойств почв, снижению биологической активности и устойчивости к внешним воздействиям.

В настоящее время в районе влияния СПК происходит существенное увеличение содержания в почвах подвижного фтора и его валовой формы в растениях, приближающегося к 4 ПДК, в костных тканях животных от 2 до 5,5 раз [3–6, 10], что, несомненно, может отразиться на здоровье человека. Благодаря своей высокой реакционной способности ион фтора может взаимодействовать с любой тканью живого организма и накапливаться в костях, зубах, волосах и ногтях, вызывая при избытке развитие скелетного и зубного флюороза у животных и людей [17]. Следует также отметить, что население, работающее на предприятии-источнике и не работающее, но проживающее в зоне максимального воздействия фтора, подвергается воздействию загрязнителя с одинаковой интенсивностью [18]. К сожалению, на данный момент исследований по выявлению заболеваний, связанных с воздействием СПК, в зоне воздействия

не проводятся. До сих пор отсутствует санитарная зона вокруг СПК из зеленых насаждений, которые могли бы усваивать частично продукты загрязнений. Особенно остро этот вопрос встал с появлением второго завода – ХАЗа, так как увеличение общей мощности заводов привело к росту выбросов вредных

веществ в атмосферу и увеличению площади загрязнения. Дальнейшее увеличение мощностей алюминиевых заводов прогнозируемо приведет к усилению техногенной нагрузки на окружающие экосистемы и может отрицательно отразиться на здоровье людей, живущих в зоне воздействия СПК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовникова Л.К., Орлов Д.С., Лозановская И.Н. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2006. 334 с.
2. Волкова В.Г., Давыдова Н.Д. Техногенез и трансформация ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1987. 188 с.
3. Давыдова Н.Д. Техногенные потоки и дифференциация веществ в геосистемах // Географические исследования Сибири: В 5 т. Новосибирск: ГЕО, 2007. Т. 2. С. 261–277.
4. Давыдова Н.Д. Экологические проблемы Сибири, связанные с эксплуатацией предприятий алюминиевой промышленности // Проблемы природопользования и экологической ситуаций в Европейской России и сопредельных странах: Материалы II Междунар. конф. Белгород, 2006. С. 199–202.
5. Щетников А.И., Зайченко О.А. Формирование ситуации экологического неблагополучия в районе размещения Саянского алюминиевого завода // Экологический риск: анализ, оценка, прогноз: Материалы Всерос. конф. Иркутск, 1998. С. 49–50.
6. Бессолицына Е.П., Зайченко О.А. Оценка состояния биотических компонентов ландшафта в зоне влияния Саянского алюминиевого завода // География и природные ресурсы. 1996. № 3. С. 38–46.
7. Дончева А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности. М.: Лесная промышленность, 1978. 96 с.
8. Рожков А.С., Михайлова Т.А. Действие фторсодержащих эмиссий на хвойные деревья. Новосибирск: Наука, 1989. 159 с.
9. Сараев В.Г., Харахинова С.И. Уровни содержания фтора в почвах и биологических объектах Южно-Минусинской котловины при воздействии алюминиевого завода. Деп. ВИНТИ, № 2548-В92. 03.08.1992. 57 с.
10. Преловский В.А., Базыин И.В. Оценка современного состояния биоты Южно-Минусинской котловины в связи с длительной деятельностью Саяногорского промышленного комплекса // Проблемы изучения и охраны животного мира на Севере: Всерос. науч. конф. Сыктывкар, 2009. С. 297–300.
11. Ивантер Э.В., Медведев Н.В. Экологическая токсикология природных популяций птиц и млекопитающих Севера. М.: Наука, 2007. 229 с.
12. Воронова Л.Д., Денисова А.В., Пушкарь И.Г. Мониторинг фоновое загрязнение фауны природных экосистем // Комплексный глобальный мониторинг состояния биосферы: Тр. III Междунар. симп. Л.: Гидрометеоздат, 1986. Т. 2. С. 123–130.
13. Криволицкий Д.А., Новакова Э., Кузнецова Л.В. Животный мир суши как объект биоиндикации состояния окружающей среды // Прикладные аспекты программы «Человек и биосфера»: Тр. III Совещ. по координации деятельности нац. комитетов соц. стран по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАВ). М., 1983. С. 27–36.
14. Ellenberg H., Dietrich J., Stoeppler M., Nurnberg H.W. Environmental monitoring of heavy metals with birds as pollution integrating biomonitors // Trans. 17th Congr. Intern. Union Game Biol. Brussels, 1985. Pt. 2. P. 1051–1053.
15. Бессолицына Е.П., Базыин И.В. Влияние металлургического предприятия на состояние мезонаселения почв степных геосистем // География и природные ресурсы. 2009. № 4. С. 44–49.
16. Сараев В.Г. Фтор в Южно-Минусинской котловине и его техногенные источники // География и природные ресурсы. 1994. № 1. С. 49–54.
17. Авцын А.П., Жаворонков А.А. Флюороз как биогеохимическая эндемия // Современные задачи и проблемы биогеохимии: Тр. биогеохимической лаб. М.: Наука, 1979. Т. 17. С. 134–142.
18. Ревич Б.А., Сотсков Ю.П., Тростина В.М. Накопление химических элементов в организме человека в техногенных геохимических аномалиях // Методы изучения техногенных геохимических аномалий. М.: ИМГРЭ, 1984. С. 20–31.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 14 марта 2011 г.