

7.7. ПРОБЛЕМЫ ГЕОКОНСЕРВАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

В.П. Ковалёв

Начатая М.С. Горбачёвым перестройка породила развал экономики. Урановая проблематика перестала быть востребованной. Радиогеохимики института приступают к обследованию приповерхностных хранилищ жидких и твердых низко- и среднеактивных отходов сибирских предприятий Минатома РФ и с применением мелкого бурения находят участки неконтролируемого распространения радиоэлементов за пределы санитарных зон предприятий.

В целом с 50-х годов захоронения отходов велись без учета знаний о геохимическом поведении элементов периодической системы в зоне гипергенеза. Вот почему даже в монографии Д.Г. Брукинса «Геохимические аспекты размещения радиоактивных отходов» (1984) есть лишь слабые намеки на геохимические принципы экобезопасной изоляции радиоактивных отходов. Однако проблема экологически безопасной изоляции радиоактивных отходов в геологической среде по своей сути есть чисто геохимическая проблема. Именно геохимия отвечает на вопросы – где, как и почему элементы включаются в миграцию или прочно удерживаются на месте в гипергенных системах, функционирующих в приповерхностных участках суши.

Радиационно опасные отходы ядерной промышленности различаются по химизму, активности и агрегатному состоянию. На заводах, перерабатывающих руды, накапливаются естественные радиоактивные элементы и продукты распада урана. В оружейных и энергопроизводящих реакторах нарабатываются продукты ядерного деления (ПЯД), трансурановые элементы (ТУЭ) и продукты нейтронной активации конструктивных материалов: ПЯД – в основном бета- и гамма-излучатели с короткими временами жизни, требующие изоляции порядка 300 лет; ТУЭ – актиниды, в основном альфа-излучатели.

С конца 80-х–начала 90-х годов параллельно с оценкой природной и техногенной нагрузок на биосферу велось радиогеохимическое обследование хвостового хозяйства ЭХЗ (Зеленогорск): илов полиуранатов в фильтрующих картах Сыргыл-Канского водораздела и захоронений твердых радиоактивных отходов на промплощадке завода. Здесь было установлено, что природный уран выносятся из почвенного покрова автономных ландшафтов в гидроморфные.

На участке ЭХЗ были прослежены подземные протечки урана с азотнокислыми водами в заболоченную пойму рч. Сыргыл. Чтобы исправить ситуацию, было предложено снабдить очистные сооружения искусственными сорбционными геохимическими барьерами, аналогичными тем, которые в проточных режимах аккумулировали урановое оруденение разных эпох (гидрогенные место-



Д.г.-м.н. В.П. Ковалёв



рождения). Подходящим материалом для них могли служить катионообменные глины района (Камалинское месторождение бентонитов), торфяники заболоченных речных пойм и свежесинтезированная гидроокись железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$. В природе известны концентрации урана в бентонитах, в торфах и сапропелевых илах, в «железных шляпах» зон окисления рудных месторождений. «Копирование» природных процессов образования урановых руд на геохимических барьерах, как оказалось, хорошо подходило для удержания от миграции техногенных радиоизотопов.

Продукты физического и химического выветривания образуют на суше почвенно-элювиальный покров с биоорганическим и минеральным поглощающим комплексом, ответственным за улавливание трудноустраимых аномалий поллютантов различной природы. Почвы автономных ландшафтов, в которых идет окисление гумуса и недоокисленных химических элементов, представляют собой «эмбрионы» геохимических ловушек (барьеров), цепко удерживающих даже высокоподвижные ионы. Настоящими геохимическими барьерами являются низинные эвтрофные болота с глеевыми и сероводородными восстановительными режимами. Уран в них становится четырехвалентным и дает почти нерастворимую гидроокись $\text{U}(\text{OH})_4$, произведение растворимости — $n \cdot 10^{-52}$.

Итогом развернутых лабораторией геохимии радиоактивных элементов (позже геоэкологии) исследований явилась монография В.П. Ковалёва, С.В. Мельгунова, Ю.М. Пузанкова, Н.А. Кулик, В.П. Раевского «Предотвращение неуправляемого распространения радионуклидов в окружающую среду. Геохимические барьеры на смектитовой основе» (1996).

К этому же времени был выполнен и защищен проект типового очистного сооружения для НЗХК (Новосибирск): «Научное и инженерно-технологическое обоснование бесконфликтного сопряжения жидких радиоактивных отходов со средой» (гос. рег. № 01930010744). В нем рассмотрено обустройство направленной фильтрующей подземной дрены с мультибарьерной ловушкой на входе из слоя алеврита с катионообменной глиной, слоя торфа, железной сетки и слоя гравия для равномерного растекания сбросных вод по днищу карты. Создание аккумуляций урана на барьерах подкреплено моделями образования гидрогенных месторождений в бентонитах, торфах и осадках гидроксида трехвалентного железа. Известно множество месторождений, рудопроявлений и аккумуляций урана и сопутствующих элементов в песчано-алевроглинистых осадках палеодолин с органогенным детритом на южном обрамлении Западно-Сибирской низменности (Долматовское, Семизбайское, Малиновое и др.).

Работами лаборатории заинтересовались специалисты Минатома РФ и РАН, их результаты отслеживаются Межведомственным научным советом по радиохимии при Президиуме РАН и ГК «Росатом» (председатель акад. Б.Ф. Мясоедов). Информация о ходе исследований запрашивалась этим советом неоднократно. Полученные результаты убедительно показали, что защита среды от радиоактивных загрязнений вполне достижима. Основной целью заказных хозяйственных работ ставится адаптирование разных видов отходов к системам природы, перевод техногенных форм в минеральные виды, аналогичные образованиям зоны гипергенеза. Сценариями захоронений предусматривается развитие процессов изменений в направлении устойчивости формируемых минеральных ассоциаций.

Существенно проще коллективу было обосновать обустройство могильников твердых отходов — Зеленогорскую площадку ЭХЗ, Ангарскую пло-

щадку АЭХК и 2-ю Северскую площадку СХК. Траншеи могильников ТРО полностью запечатывались бентонитовыми глинами Камалинского и Трошковского месторождений и выводились из режима проточности. Не требовали они и бетонных ограждений. Научное и инженерное обеспечение этих могильников защищено на Комиссиях Госкомприроды РФ в г. Сарове и в г. Москве. Содержимое бетонного шахтного приреакторного хранилища среднеактивных твердых отходов в г. Северске было предложено обваловать глиняными растворами и пастами. Обвальная остановка в начале 90-х годов оружейных плутоний-уран-графитовых реакторов неизбежно подвела ядерщиков к решению отложить ликвидационные работы по разборке графитовой кладки реактора и приреакторных временных хранилищ на 100–150 лет, чтобы дожидаться снижения радиации до безопасного уровня.

Химикам из группы Л.И. Разворотневой удалось на колонках торфа установить режимы фильтрации вод с очисткой растворов с уранил-карбонатными комплексами до уровня 10^{-5} – 10^{-6} г/л. На хвостохранилище НЗХК много лет ведется исследование всех звеньев проточной системы. С 2001 г. работами руководит А.Е. Богуславский, защитивший кандидатскую диссертацию, посвященную перераспределению урана-238 и 235, тория-235, радия-226 в почвенно-элювиальном покрове голоцена, характеризующем проточные химические реакторы зоны активного водообмена. Показано, что подвижные катионы уранила переносятся метеорными водами из автономных ландшафтов в подчиненные геохимические ландшафты, где оседают на хемосорбционных барьерах. Установлено, что в любых зонах увлажнения возникают свои эффективные геохимические барьеры с восстановительными режимами. Материалы работ актуальны для постановки и решения проблемы захоронения разных типов радиоактивных отходов.

Помимо создания экологически безопасных захоронений, сотрудниками лаборатории активно велись исследования, нацеленные на создание эффективных пресервов высокоактивных и особо опасных отходов ядерного цикла, совместимых с геологической средой.

Обзор мировых данных показал, что матрицеобразующими элементами следует выбирать те, которые в контакте с водой дают коллоидальные гидроксиды с большой активной поверхностью взаимодействия. К таким элементам относится кремний, оксиды которого хорошо стеклуются, а стекла в контакте с водой «одеваются» в гелевые рубашки толщиной около 50 нм, пресекающие выщелачивание металлов (Гребенщиков, 1940). Становится ясно, почему менее стойки к выщелачиванию боросиликатные и алюмофосфатные стекла (Брукинс, 1984). В контакте с водой они генерируют кислоты средней силы.

Понятно также почему не подходят для матриц «синроки» на титановой и циркониевой основе — эти металлы и без того дефицитны и дороги, чтобы направлять их на долговременную консервацию радиоактивных отходов. Гораздо легче подыскать сырье, подходящее для массового производства вяжущих радиоизотопы матриц. Для этой цели нами были предложены бентонитовые глины, более легкоплавкие из-за сниженного содержания глинозема в элементарных пакетах, гомогенно перемешиваемые с фракциями радиоактивных отходов, а также с раскисляющими, флюсующими и выгорающими добавками. Эти глины образуют хорошо формуемое тесто, усаживающееся без трещин при просушке и обжиге. С ними легко организовать дистанционно управляемые производства пресервов с инкорпорированными в них ПЯД И ТУЭ. Эти способы наиболее экологичны и экономичны.



Представленные направления в форме интеграционных проектов дважды поддерживались Президиумом СО РАН. Работы по геоконсервации защищены патентами № 2271587 и № 2361922. Лабораториями радиогеохимии (экологии) и физхимии алюмосиликатных систем (руководители В.П. Ковалёв и Г.Ю. Шведенков) выполнен огромный объем экспериментов по модификации катионообменных глин, по подготовке рецептур спеков и сплавов, по нахождению оптимальных режимов создания матриц. Итоги работ подведены в подготовленной монографии «Функционирование геосистем зоны гипергенеза и технологии геохимически надежной консервации радиоактивных отходов».