

УДК 911.9:621.039

В. И. БУЛАТОВ

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

АТОМНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ В РОССИИ

Рассмотрен ядерный комплекс России как объект эколого-географического изучения. Выполнен пространственный анализ радиоактивного загрязнения страны. Подчеркивается, что географическим дисциплинам необходимо больше внимания уделять обеспечению экологической безопасности регионов с реальными показателями радиоактивности, существующими в геосистемах. Важным элементом радиационной географии может быть обзорно-аналитическая деятельность. Анализ ситуации в ядерно-энергетической отрасли, ядерно-оружейном комплексе и вообще во всей сфере «атомного природопользования» России заслуживает самого пристального внимания и критического научного анализа. Оценена радиологическая ситуация отдельных регионов, речных бассейнов, ядерных центров, представлена и обобщенная картина. Предлагается введение в научный оборот терминов «радиационная география» и «атомное природопользование». Показаны финансовые проблемы и перспективы радиологической реабилитации регионов.

Ключевые слова: ядерный комплекс, атомное природопользование, радиоактивное загрязнение, георадиоэкология, реабилитация регионов, финансовые затраты.

The nuclear complex of Russia is treated in this paper as the object for ecologo-geographical study. A spatial analysis is made of the country's radioactive pollution. It is emphasized that the geographical disciplines must give more attention to ensuring ecological security of the regions, with realistic parameters of radioactivity existing in geosystems. Survey-analysis efforts can become an important element of radiation geography. Examination of the situation in the nuclear energy sector, the nuclear weapons complex and generally in the entire sphere of "nuclear resource management" of Russia deserves closer attention and critical scientific analysis. An assessment is made of the radiological situation for separate regions, river basins and nuclear centers; also, a generalized picture is presented. It is suggested that the terms "radiation geography" and "nuclear resource management" be introduced in scientific usage. The financial problems and the prospects for radioecological rehabilitation of regions are outlined.

Keywords: nuclear complex, nuclear resource management, radioactive pollution, georadioecology, rehabilitation of regions, financial expenses.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Анализ современного состояния ядерно-энергетической отрасли, ядерно-оружейного комплекса и в целом атомного природопользования России, включающего атомную промышленность и все сферы использования энергии атома, заслуживает самого пристального внимания. Открытие более 100 лет назад радиоактивности, способности некоторых атомных ядер самопроизвольно распадаться с испусканием элементарных частиц и образованием ядер других элементов, продолжает оставаться важнейшим научным событием в истории человечества. Совершенно очевидна необходимость углубления прежних и развития принципиально новых представлений о разномасштабном воздействии радиоактивности в ее эколого-географическом, технико-энергетическом, биолого-медицинском и политико-экономическом проявлении и влиянии.

Распад нестабильных атомных ядер сопровождается испусканием альфа-частиц, бета-распадом, а также жестким электромагнитным излучением (рентгеновским или гамма-излучением). Это фундаментальное свойство материи. «Всюдность», по В. И. Вернадскому, радиоактивных элементов делает их важнейшими маркерами происходящих на планете процессов. Природными источниками радиации, формирующими естественный фон облучения, являются радиоактивные изотопы горных пород (естественные радионуклиды — ЕРН). С повышенными концентрациями ЕРН в месторождениях урана, тория, каменного угля, нефти и газа, фосфатов, калийных солей, подземных вод, их распространением при добыче и использовании связано радиоактивное загрязнение, которое резко усилилось после испытаний ядерного оружия, в связи с созданием АЭС, появлением сотен искусственных радионуклидов для целей медицины, диагностики материалов и т. д. Источником накопления аномальных скоплений естественных радионуклидов стало сжигание каменного угля на тепловых электростанциях крупных городов.

В течение четверти века автор накопил и проанализировал материалы по радиоактивному загрязнению территории России и его влиянию на геосистемы, предлагая выделить особые научные направления — радиационную географию и атомное природопользование [1–3]. Некоторые итоговые данные исследования приведены в таблице.

Территории России, загрязненные в процессе атомного природопользования и ядерных испытаний

Местоположение	Время события	Площадь загрязнения, пострадавшие	Характеристика территории
Коми, Ухтинский радиевый промысел	1931–1956 г.	3000 км ² , 700 отвалов	Долинно-лесные ландшафты, средняя тайга
Чернобыльская зона РФ, 6 регионов	1986 г.	60 000 км ² , население 1580 тыс. чел.	Равнинно-лесные ландшафты, лесостепь
Восточно-Уральский радиоактивный след. Зона влияния ПО «Маяк»	29.09.1957 г.	25 000 км ² , официально пострададо 0,5 млн чел.	Южно-уральские предгорно-лесные и озерные ландшафты
Загрязнение от обсыхания оз. Карачай	1967 г.	2700 км ²	Озерная лесостепь Зауралья
Долина Енисея, Красноярский ГХК	1958 г.	2000 км ²	Пойменные интразональные ландшафты
Реки Теча–Исеть–Тобол–Иртыш–Обь, ПО «Маяк»	1948 г.	7000 км ²	Пойменно-долинные ландшафты
Поймы рек Томи и Оби, СХК, Томск	1953 г.	1500 км ²	Пойменные ландшафты таежной зоны
СЗЗ ядерных полигонов и спецплощадок	1949–1990 гг.	15 000 км ²	Арктические пустыни и полупустыни
Тоцкое испытание, Оренбургская область	14.09.1954 г.	2000 км ² , тысячи пострадавших	Степи и лесостепи Южного Приуралья
Северодвинск, авария реактора АПЛ	12.02.1965 г.	Локальный выброс	Северная тайга, Белое море
Нижний Новгород, авария реактора АПЛ	1970 г.	Локальный выброс	Городская территория
Бухта Чажма, взрыв реактора АПЛ	1985 г.	15 км ² , 11 чел. погибло от облучения	Шкотово, побережье Японского моря
Томская авария, СХК	06.04.1993 г.	Выброс на 35 км ²	Южная тайга к северо-востоку от Томска
Места проведения 80 «мирных» ПЯВ	1965–1988 гг.	40 000 км ² , опасные загрязненные и потенциально опасные территории	18 регионов России, Новая Земля
Акватории Карского и Баренцева морей	1967–1992 гг.	Сотни тысяч квадратных километров	Морская Арктика, Западный сектор
Загрязнение городов радиоактивными веществами, рудой, утерянными ИИИ	С 1946 г.	Тысячи локальных очагов	Городские экосистемы страны
Места разработок радиоактивных руд	С 1945 г.	4000 км ²	Забайкалье, Урал, Северный Кавказ, Якутия и др.
Малые и средние озерные водоемы, Сибирь	1949–1995 гг.	Десятки тысяч озер	Азиатская часть России, аквальные ландшафты
Слабо загрязненные почвы и торфяники (глобальный фон 90 мКи ¹³⁷ Cs и 40 мКи ⁹⁰ Sr	С 1949 г.	Сотни тысяч квадратных километров с кратным превышением глобального фона; ЯНАО – 230 тыс. км ²	Сибирь, Приморье. Влияние полигонов Новая Земля, Семипалатинского, Лобнор (КНР)
Лесные территории — очагово-загрязненные и вторично-загрязненные при пожарах		Загрязнения от ядерных испытаний, при переносах РВ при пожарах. Сотни тысяч квадратных километров	Брянская область, Алтайский край, Бурятия, Красноярский край, Томская область и др.

Примечание. Площадь РФ — 17,1 млн км², загрязнение — 1 %. Слабозагрязненные и потенциально опасные территории — до 10 % площади страны.

РОССИЯ КАК ОБЪЕКТ ГЕОРАДИОЭКОЛОГИИ

При оценке географических и радиоэкологических масштабов радиационных воздействий имеются специфические трудности. Они связаны с объективными историческими условиями: ядерная отрасль начиналась с формирования военно-промышленного комплекса при максимальной ведомственной закрытости, создание гражданской атомной энергетики не имело правовой и нормативной базы, атомный флот строился без анализа проблем утилизации реакторов.

Отдельные аспекты ситуации с радиоактивным загрязнением и связанными с ним рисками рассматриваются в опубликованных Обзорах по радиационной обстановке в регионах РФ, картах и сводных материалах по загрязнению территорий, почв, потенциальной радоноопасности, в Атласах (например, в «Атласе Чернобыльского загрязнения Белоруссии и России») и, конечно, в научной литературе. Текущая информация о радиоактивности объектов окружающей среды (приземной атмосферы, атмосферных осадков, речной и морской воды) на территории всей страны имеется на сайте Правительства России «Радиационная обстановка в РФ». Однако до настоящего времени не осуществлена эколого-географическая идентификация и ранжирование разномасштабных объектов ядерно-топливного цикла, атомной энергетики, промышленных и исследовательских реакторов, установок атомного флота и пр., вплоть до ядерного оружия и накопленных делящихся материалов в границах федеральных округов, регионов, речных бассейнов, ландшафтов [2, 4, 5].

Помимо производств, непосредственно относящихся к Росатому, а также НИИ с исследовательскими реакторами, в ядерной сфере функционирует около 2500 предприятий, организаций, учреждений, осуществляющих деятельность с использованием источников ионизирующего излучения (ИИИ). В их составе 7731 радиационно опасный объект: цеха, лаборатории, облучающие установки, стенды, дефектоскопы, приборы и т. д. Такие объекты есть в отраслях авиационной, металлургической (10 тыс. приборов), судостроительной и судоремонтной, химической, горной промышленности (около 1100 ИИИ), топливно-энергетическом комплексе, медицинской промышленности, на таможне, в санитарно-эпидемиологических службах. Роспотребнадзор оценивает число подобных объектов более чем в 15 тыс., из них 80 % используется в области медицины. Достаточно сказать, что количество уже отработанных ИИИ, помещенных в специальные хранилища, составляет несколько миллионов [4].

Требует анализа локально-точечное распространение радиационно опасных объектов (по территориям, городам, регионам), отсутствуют совершенно необходимые ландшафтно-радиоэкологические карты с анализом условий и последствий неизбежной миграции радионуклидов.

Уже стало аксиомой утверждение, что прогрессирующее радиоактивное загрязнение охватило все природные среды: космос, атмосферу, геологические породы, воды, почвы, биоту. Соответственно можно говорить о радиоактивном загрязнении в отдельно взятых странах, регионах, водосборных бассейнах и других геосистемах. В период холодной войны было взорвано 1200 ядерных устройств, максимальные выпадения которых отмечаются в северных умеренных широтах. На территории России на каждом квадратном километре обнаружено 90 мКи ^{137}Cs и 40 мКи ^{90}Sr , что свидетельствует об увеличении радиоактивности на 10–30 %. Из 83 субъектов РФ на территории более 20 наблюдаются уровни загрязнения выше 0,1 Ки/км² [2, 5]. Вблизи предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ) установлено содержание радиоцезия до 1000 Бк/кг. О влиянии повышенного общего фона ионизирующей радиации на генотипический состав популяций человека предупреждал еще в 1960-х гг. Н. В. Тимофеев-Ресовский.

Именно с того времени стало расти радиоактивное загрязнение, связанное с развитием атомной энергетики и использованием в медицине ионизирующего излучения. Уровень антропогенного радиационного загрязнения, несмотря на прекращение ядерных испытаний, в настоящее время сравним с уровнем естественного радиационного фона. Многие ученые неоднократно высказывали предположение, что техногенное радиационное загрязнение биосферы — одна из главных причин роста онкологической заболеваемости, которая занимает второе место в мире по смертности, унося ежегодно миллионы жизней. Таким образом, радиоактивное загрязнение — одно из самых опасных и масштабных антропогенных изменений биосферы.

Загрязнение ближнего космоса. На орбитах до 1000 км сейчас находится примерно 50 объектов с радиоактивными фрагментами. За всю историю космонавтики было запущено 53 космических аппарата с ядерной энергетической установкой (ЯЭУ) на борту (41 — русский, 12 — американских). Шесть российских аппаратов потерпели аварии. При этом опасность представляют радиоактивные изотопы плутония ^{238}Pu , ^{239}Pu , десятки килограммов которого используются в качестве топливных элементов. Так, из-за повреждения советского спутника «Космос-954» в январе 1978 г. было загрязнено около

100 тыс. км² территории Канады, а после разрушения «Космос-1402» в конце 1982 г. активная зона спутника развеялась в феврале 1983 г. над Южной Атлантикой. Вероятность загрязнения любой поверхности Земли из космоса достаточно высока.

Загрязнение атмосферы техногенными радионуклидами на территории Российской Федерации в основном обусловлено ветровым подъемом и переносом радиоактивной пыли с поверхности почвы, загрязненной в предыдущие годы в процессе глобального выведения продуктов испытаний ядерного оружия из стратосферного резервуара. Здесь очевидно влияние АЭС и предприятий ЯТЦ. В отдельных районах России на загрязнение приземной атмосферы оказывает воздействие ветровой перенос радиоактивных продуктов с загрязненных территорий, появившихся вследствие радиационных аварий. При добыче, переработке и транспортировке нефти и газа в окружающую среду, в том числе в атмосферу, поступают такие природные радионуклиды, как ²³⁸U, ²³²Th и их продукты распада, а также ⁴⁰K и радий, которые изначально содержатся в геологических структурах и пластовых водах.

Загрязнение земной поверхности. Ядерная сфера России широка и многогранна и охватывает сотни городов, где развиваются десятки научных направлений, функционируют специальные научно-исследовательские институты, опытно-конструкторские бюро и лаборатории. Только в Москве существует 19 предприятий и организаций, в составе которых имеются радиационно и ядерно опасные производства и объекты, осуществляющие разработку, производство, эксплуатацию, хранение, транспортировку и утилизацию ядерного оружия, его компонентов, радиоактивных материалов и изделий. К несомненным российским «лидерам» относятся следующие особо опасные предприятия: Горнохимический комбинат (ГХК) под Красноярском, Сибирский химический комбинат (СХК) в Северске под Томском, производственное объединение «Маяк» (Озерск, Челябинская область).

Исследованиями ученых Урала, Томска, Красноярска доказано, что концентрирование урана — отличительный признак живого вещества на территориях функционирования предприятий по его добыче, переработке и использованию. Так, в населенном пункте, расположенном в зоне влияния Сибирского химического комбината, отмечено значительное накопление урана в органах свиньи домашней. При этом максимальные концентрации обнаружены в органах дыхания (легкие, плевра), костях и крови животного. Значимо более высокие концентрации этого элемента найдены в составе волос детей, проживающих на данной территории, в составе крови населения, в биопсийном материале патологически измененной щитовидной железы, а также в золе других органов и тканей человека. Для зон ядерного техногенеза (г. Северска и населенных пунктов, расположенных в непосредственной близости от предприятия «Маяк») установлен факт присутствия в крови населения «горячих частиц».

Среди предприятий атомного природопользования наиболее известны АЭС. Доля ядерной энергии в мировом энергобалансе невелика — 7–8 % (в России 6 %), но воздействие атомной индустрии на окружающую среду огромно. Например, в реактор ВВЭР-1000 (таких блоков в России девять) загружают 70 т топлива с обогащением по ²³⁵U 3 %. Его активность около 50 Ки. Через год пребывания в рабочей зоне активность продуктов в реакторе будет в 100 млн раз больше. Несмотря на масштабные исследования влияния АЭС, до сих пор трудно оценить возможные негативные последствия и перспективы этого вида природопользования. Идет постоянное генерирование радионуклидов: «глобальных» (криптон — ⁸⁵Kr, радиоуглерод — ⁴¹C, тритий — ³H), «вечных» (плутоний — ²³⁹, ²⁴⁰Pu, йод — ¹²⁹I, америций — ²⁴¹Am) и просто долго живущих, таких как цезий, стронций, технеций и др. Вред трития общепризнан — его содержание в водах водоемов вблизи всех крупных предприятий ЯТЦ выше глобального в 3–10 раз. В природных средах вблизи ядерных центров накапливается плутоний, что обусловлено несовершенством технологии ядерной энергетики и аварийными ситуациями при производстве по переработке ядерного топлива. Изотопный состав таких выбросов отличается от такового при испытаниях ядерного оружия, следовательно, представляется возможным определить источник радионуклидов. В выбросах заводов по переработке ядерного топлива содержание ²³⁸Pu в 3–9 раз выше, чем в глобальных выпадениях.

В известный техногенный парадокс (ущерб от чрезвычайных ситуаций в промышленной сфере России растёт гораздо быстрее, чем продуктивность отраслей) ядерно-энергетический комплекс вносит свой весомый вклад. Эксплуатация действующих атомных станций осуществляется в соответствии с правилами и нормами, действовавшими на период их создания и реализованными в проектах. На настоящий момент ни одна из АЭС России, и прежде всего с реакторами чернобыльского типа (Ленинградская и Курская АЭС), не отвечает современным требованиям безопасности. Подтверждением тому стала авральная работа по проверке безопасности атомных станций во всей России после событий на АЭС «Фукусима» в Японии. Остановлена была, в частности, Белоярская АЭС на быстрых

нейтронах в г. Заречном, где ударными темпами возводится новый экспериментальный блок БН-800. С его созданием в санитарно-защитную зону АЭС попадет весь Екатеринбург.

Обнаруживаются все новые данные, относящиеся к истории накопления радиоактивных загрязнений в советское время. Так, на территории пос. Водный (Республика Коми, предприятие «Ухта» в 1931–1956 гг. действовал крупнейший в мире завод по производству радия из пластовых вод и привозных отходов урановых руд из месторождения Табошар (Таджикистан). Всего за эти годы добыто 162,7 г радия (конечный продукт — кристаллический бромид радия). Со временем выпуск радия был прекращен, так как повсеместное введение в практику искусственных изотопов сделало его производство нерентабельным. Первое радиохимическое предприятие СССР функционировало в условиях отсутствия опыта и знаний в области радиационной безопасности, научно обоснованных норм и правил работы с источниками ионизирующего излучения. Жидкие радиоактивные отходы сливались в реки, твердые складировались в долине р. Ухты. В итоге в начале 1940-х гг. образовалась первая в СССР радиоактивная свалка, ставшая с 2000 г. официальным хранилищем с 2000 т отвалов. В окрестностях пос. Водный осталось около 700 участков радиевого и уран-радиевого загрязнения на площади 3000 км² [6].

Загрязнение недр. Все больше данных накапливается по воздействию ядерных технологий на недра. Из 80 подземных ядерных взрывов (ПЯВ), которые активно проводились в 1970–1980-х гг. на территории России, 42 сделаны на объектах нефтегазового комплекса. Мощность ядерных зарядов, использовавшихся для интенсификации добычи нефти и газа, глушения открытых газовых фонтанов, отработки технологии и создания подземных емкостей, изменялась от 1,1 до 100 кт. Объем возникших после ядерных взрывов полостей составлял от 8 до 35 тыс. м³. Новообразованные полости являются проницаемыми (независимо от литологии горных пород) и связаны с окружающей средой разветвленной системой искусственной трещиноватости, объединяющей полости с продуктивными и водонасыщенными пластами в единую гидродинамическую систему. При взаимодействии с пластовой водой радиоактивные отходы легко растворяются, выщелачиваются и уже в виде взвесей, аэрозолей и механических примесей перемещаются на значительные расстояния и выносятся на дневную поверхность [7, 8].

Американские исследователи утверждают, что любой подземный ядерный взрыв рано или поздно найдет отражение в объектах природной среды на дневной поверхности в радиусе до 30 км. В ближайшие годы на территории России (повторим, что было 80 взрывов в 18 регионах) можно ожидать возникновения множества прямых выходов радионуклидов на поверхность и резкого ухудшения экологической обстановки. При этом радиоактивным загрязнением будут охвачены основные нефтегазодобывающие районы и территории, перспективные для расширения поисково-разведочных работ (в Сибири это ХМАО–Югра, ЯНАО, север Красноярского края, Саха (Якутия), Иркутская область). В обследованных местах выхода подземных радиоактивных флюидов зафиксированы повышенные содержания техногенных радионуклидов в почвах, донных осадках и поверхностных водах, которые превышают региональный фоновый уровень: ³H — в 2–34 раза, ⁹⁰Sr — в 2–16 раз, ²³⁹,²⁴⁰Pu — в 10–25 раз.

Еще одним фактором загрязнения недр являются утерянные радионуклидные источники. Только в ХМАО–Югре в эксплуатационных и разведочных скважинах заброшено более 200 радионуклидных плутоний-бериллиевых источников. Согласно оценочным расчетам, их общее число в Западной Сибири, прежде всего в нефтегазоносных районах, более 1000. Информации о количестве их по России нет. Кроме того, освоение нефтяных месторождений сопровождается загрязнением окружающей среды естественными радиоактивными элементами, поскольку в шламах, битумах и нефти концентрируется уран, а в пластовых водах — радий.

Заметным источником загрязнения недр является также подземное выщелачивание урана. Оно стало актуальным в связи с истощением рудных и россыпных месторождений в России. Сейчас основная добыча урана осуществляется в Забайкалье (Стрельцовское рудное поле) и Курганской области, где известны три месторождения и ведется добыча методом подземного выщелачивания (ЗАО «Далур», Далматовский район). В Змеиногорловском районе Курганской области для разработки Добровольного рудного поля, расположенного в палеодолине и примыкающего к Тобольскому высоконапорному артезианскому бассейну, планируется закачка концентрированной серной кислоты (56 тыс. т) на глубину 400–500 м. В случае нарушения экологических норм применяемой технологии существует угроза появления радиоактивного озера, которое будет загрязнять окружающую среду в течение миллионов лет, и огромных потерь подземных вод засушливого региона.

Региональные загрязнения. Говоря о значительных площадях загрязнения северных территорий, можно констатировать, что для большинства изученных регионов Сибири суммарные уровни загрязнения ^{137}Cs в почвах превышают уровень глобального фона, хотя в целом современная радиационная обстановка не представляет опасности для здоровья населения. В то же время практически во всех ландшафтных зонах Севера обнаруживаются участки локальных выпадений, где глобальный фон превышен в 2–3 раза. Наибольшая плотность таких участков характерна для территорий Алтайского края и Республики Бурятия, а также некоторых других регионов, пострадавших от ядерных взрывов в атмосфере на полигонах Новая Земля, Лобнор, Семипалатинский. Повышенный уровень содержания радиоцезия (до 1000 Бк/кг и более) установлен на участках вблизи предприятий ЯТЦ (Северск, Железногорск). Неоднородность распределения ^{137}Cs в почвах определяется влиянием многих факторов, из которых первичный — неравномерность выпадения атмосферных осадков в периоды ядерных испытаний. В дальнейшем имело место изменение конфигурации первичных ареалов под влиянием эрозионно-аккумулятивных процессов и литохимической миграции. Отмечается тенденция увеличения в 3–4 раза удельной активности ^{137}Cs в почвах с севера на юг (с 72 до 56° с. ш.). Поступивший в почвы после ядерных испытаний радиоцезий до сих пор аккумулирован преимущественно в горизонте 5–15 см, а ^{90}Sr проникает значительно глубже [5, 9].

Следует сказать о многочисленных горных разработках радиоактивного сырья, необходимого для создания и накопления ядерных материалов. Поиски, разведка и добыча их проводились целенаправленно и повсеместно с 1945 г. по всей территории СССР. В настоящее время высокорadioактивные отвалы пород с мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения от 11 до 1500 мкР/ч и более, оставленные на поверхности, являются бесконтрольными источниками радионуклидного загрязнения природной среды. «Лидируют» по этому показателю Забайкальский край, Бурятия, Саха (Якутия), Чукотка, Урал, Северный Кавказ.

В процессе исследования *озерных систем* азиатской части России с органоминеральным типом осадков не выявлено ни одного района, который с полным основанием можно принять за фоновый, без вклада локальных загрязнений. Практически во всех озерах отмечается присутствие техногенных радионуклидов, в том числе чернобыльского типа. При этом обнаружено крайне неравномерное загрязнение озерных систем не только по всей территории Сибири, но и в пределах одного региона и даже отдельно взятого озера. Максимальным средним уровнем загрязнения радиоцезием донных отложений озер следует считать величину 350 мКи/км² (оз. Кольванское, Алтайский край), минимальным — 0–3 Бк/кг (на пределе обнаружения) в озерах Сартлан (Новосибирская область), Хынуто (ЯНАО), озерах Республики Саха (Якутия).

Аналогичные результаты дали изучение широко распространенных *болот и торфяников*, которые аккумулируют в себе также глобальные выпадения радионуклидов из атмосферы. Ретроспективная оценка накопления радионуклидов в торфяниках позволяет выявить периоды поступления радиоактивных элементов от испытаний ядерного оружия, проводившихся в середине XX в. На примере вертикального разреза верхового торфяника Петропавловский Рям, расположенного в 10 км к северу от Сибирского химкомбината, прослежена динамика накопления выпавших из атмосферы радиоактивных элементов — как от испытаний ядерного оружия, так и от выбросов комбината [10].

К числу актуальных проблем распространения загрязнений относят выявление плутония в ландшафтах некоторых регионов Сибири. Если радиостронций и радиоцезий прекратят свое существование через достаточно короткий промежуток времени, то плутоний на геохимических барьерах — целинных почвах, лесных подстилках, в донных отложениях бессточных озер — будет существовать многие тысячи лет. Есть один фактор, вызывающий активное перераспределение плутония, — *лесные пожары*. В 2010–2013 гг. пожары отличались как своими масштабами, так и силой огня. Летом 2012 г. в Красноярском крае выгорело около миллиона гектаров леса, не меньше в Югре и на Ямале. Радиэкологи полагают, что это приведет к масштабному эоловому переносу мелкозема, содержащего искусственные радионуклиды, в том числе плутоний, который через дыхательные пути может попасть в организм человека [11].

Загрязнение морей. При оценке радиоактивного загрязнения России необходимо упомянуть и о морских акваториях. Важная информация для оценки загрязнений вод содержится в «Реестре потенциально опасных подводных объектов во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации», который является частью специальной программы, реализуемой МЧС с 2004 г.

В Баренцевом море повышенное содержание радиоактивных веществ характерно для Кольского залива и западного побережья, максимальные уровни ^{137}Cs (1444 Бк/кг) отмечены в донных отложениях губы Черной на юге Новой Земли. Четыре зоны повышенной активности цезия (Новоземельская,

Вайгачская, Обская и Енисейская) имеются в акватории Карского моря, куда, по расчетам А. Ю. Мирошникова, поступило от 43 до 58 кКи радиоцезия в результате глобальных атмосферных выпадений, ядерных испытаний, выноса радиоактивных продуктов реками, морскими течениями Северной Атлантики [5]. Известно о трех затонувших атомных подводных лодках (АПЛ): К-27, Б-159, «Комсомолец».

По информации, предоставленной норвежской экологической организацией «Беллона» (встреча Беллона–Росатом, 5 августа 2013 г.), в арктических морях России находится 17 тыс. затопленных контейнеров с радиоактивными отходами, 14 ядерных реакторов, в пяти из которых отработавшее ядерное топливо (ОЯТ). На дне лежат подлодка К-27 с двумя реакторами с ядерным топливом, 735 единиц радиоактивных конструкций. Не найден затопленный реактор АПЛ-421 с объемом активности 5,2 кКи. В целом активность объектов с ОЯТ, затопленных в Арктике, составляет 143,8 кКи.

Особое место в загрязнении акваторий, морских побережий, островов принадлежит радиоизотопным термоэлектрическим генераторам (РИТЭГ) и созданным на их основе радионуклидным энергетическим установкам (РЭУ) массой от 560 до 2500 кг. Имея мощность до 80 Вт, они могут на протяжении 25 лет работать без вмешательства человека, обеспечивая энергией маяки, приборы. В Советском Союзе было произведено 1007 РЭУ, прежде всего для навигационной аппаратуры морского флота и космической отрасли, 414 РЭУ были переданы военным. С 1974 по 1985 г. РЭУ устанавливались повсеместно, обеспечивая энергией не только маяки, но и аппаратуру сейсмического и специального контроля. Сейчас на Севморпути (в основном побережье и о-ва моря Лаптевых) работает 56 РЭУ, 12 — у Минобороны на Камчатке, 4 — у Росгидромета, 6 — в Антарктике, 191 установка уже складирована для утилизации на площадках ДальРАО, РосРАО, ПО «Маяк», В/О «Изотоп». До 2014 г. в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и до 2015 г.» предстоит утилизировать 269 РИТЭГов, в том числе 179 — в европейской части Арктики, 27 — в Арктической Сибири. На Балтике за четыре года планируется демонтировать 71 РИТЭГ из 87 имеющихся, на Кольском полуострове их не осталось. Ведутся поиски двух исчезнувших аппаратов: «Гонг» у о. Лишний вблизи Таймыра (содержит 700 кг титаната ^{90}Sr , активность 46–50 кКи) и аппарата, находившегося в районе Кувэквын на Чукотке (^{90}Sr и ^{90}Y , активность 39,3 кКи). На их поиски выделено 43,3 млн руб. Два РИТЭГа были утеряны при транспортировке на вертолетных подвесках: в 1987 г. на мысе Низкий, о. Сахалин, и в 1997 г. на мысе Мария. Последний был найден и поднят, его радиоактивность 1,5 млн Ки.

Разборка РИТЭГов осуществляется бывшим производителем (ВНИИ технической физики и автоматики), а захоронение происходит на ПО «Маяк» [12]. Финансовую помощь в решении этих проблем оказывают Норвегия, Финляндия, Франция, США. Особо подчеркнем, что в настоящее время происходит замена радиоактивных источников энергии для маяков и приборов на солнечные и ветряные.

Изучая Обь-Иртышский бассейн как радиоэкологический регион, автор пришел к выводу, что масштабное радиоактивное загрязнение — самое устойчивое и долговременное из того, что создано человеком [13]. При бассейновом подходе важнейшим элементом анализа функционирования системы и распространения загрязнений является трансграничный перенос, причем наиболее ярко процесс транзита радионуклидов проявляется в водных потоках. И челябинские, и томские сбросы заканчивают свой путь в Обской губе. Актуальным представляется исследование миграции, накопления и распределения техногенных радионуклидов ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu в пресноводных и наземных экосистемах, подверженных воздействию предприятий ЯТЦ. Главной геоэкологической задачей остается анализ поведения радионуклидов, их распространения и концентрирования в конкретных ландшафтно-геохимических условиях окружающей среды, изучение способности включаться в биохимические и геохимические циклы и бассейновые круговороты. От этого зависит качество окружающей среды, и прежде всего ее важнейшего для жизни компонента — воды. Этот аспект был одним из основных при попытке создания системы мониторинга и радиационного контроля Обь-Иртышского бассейна в 2006–2008 гг. российскими организациями с Европейским союзом в рамках проекта ЕС TACIS № R4.01/04.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕАБИЛИТАЦИИ РЕГИОНОВ

По данным экспертной оценки, в России имеется более 1000 мест размещения радиоактивных отходов, объем которых составляет около 950 млн м³, а активность — не менее 9 млрд Ки. Также известно около 100 мест размещения ОЯТ (9000 т, активность 5 млрд Ки). Так, последствием функ-

ционирования реакторов РБМК стали 15 тыс. т ОЯТ и 50 т плутония, к концу срока эксплуатации эти цифры увеличатся еще на 25 тыс. т ОЯТ и 155 т плутония. Ситуация с учетом роста объемов радиоактивных отходов, отходов ядерного топлива и не утилизируемого плутония оценивается как угрожающе опасная при любых предлагаемых сценариях действий. По авторской экспертной оценке, в 1996 г. накопленная активность составляла 4 млрд Ки, в 2002 г. она возросла до 6 млрд Ки, а в 2012 г. была равна 9 млрд Ки. Количество стратегических ядерных боеприпасов России в 1995 г. было 7114, в 2013 г. — 1480 (в США — 1654).

Финансовые затраты на ликвидацию радиоактивного загрязнения, обеспечение радиационной безопасности в 2006 г. были оценены В. М. Кузнецовым и А. Г. Назаровым по РФ в целом в 5,8 млрд долл. [4]. Наиболее значительные средства потребуются для решения проблем с затонувшими атомными подводными лодками (млн долл.): в Мурманской области — 1665, Приморском крае — 735, Архангельской области — 580, Камчатском крае — 285. Регионам, производившим компоненты ядерного оружия, необходимы средства (млн долл.): Челябинская область — 845, Красноярский край — 504, Томская область — 353, Москва и Московская область — 246, Обнинск — 131, Дмитровград — 112, Санкт-Петербург и Ленинградская область — 92, Саров — 17. Список областей, нуждающихся в финансовой поддержке для ликвидации последствий подземных ядерных взрывов, дезактивации оборудования нефтегазодобычи, модернизации НПО «Радон», реабилитации территорий урановых рудников, включает 24 субъекта РФ. Первое место по масштабу загрязнения занимает Пермский край (необходимо 110 млн долл.), последнее — Самарская область (1 млн долл.). В группе из четырех регионов с чернобыльским загрязнением на первом месте находится Брянская область (12 млн долл.). По нашим расчетам, для радиоэкологического оздоровления Обь-Иртышского бассейна требуется 1,4 млрд долл. Для сравнения: постройка хранилища в Сайда-Губе, где уже размещено более 50 отсеков атомных подлодок, обошлась Германии в 700 млн евро. Необходимо полностью утилизировать плавбазу «Лепсе», надо оборудовать хранилища в Гремихе и губе Андреева (Мурманская область), на Дальнем Востоке.

Сейчас основные усилия Росатома направлены на создание региональных центров кондиционирования и долговременного хранения радиоактивных отходов. Такой центр создается, например, в Фокино Приморского края. К 2025 г. в зависимости от объема бюджетного финансирования прогнозируется решение от 20 до 40 % проблем. Полное завершение работ по ликвидации ядерного загрязнения потребует более длительных сроков (50–70 лет) и значительных финансовых затрат (более 1,5 трлн руб. в ценах 2013 г.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При площади в 17,1 млн км² Российская Федерация имеет 1 % загрязненных и до 10 % слабозагрязненных и потенциально ядерно опасных территорий. Продолжается масштабное загрязнение территорий страны и накопление ядерных материалов и отходов. В условиях растущей нагрузки даже слабейшие проявления радиоактивности, суммированные механизмами каскадного усиления, оказывают мощное возбуждающее и трансформирующее воздействие на эко- и геосистемы. Такое положение заставляет сделать переоценку влияния разнообразных факторов радиоактивности на российскую и общепланетарную стабильность, на трансформацию естественно-научных и общественно-экономических концепций, связанных с современным военно-ядерным противостоянием, распространением ядерных технологий, проблемами энергетического будущего и выживанием человечества в отдаленной перспективе. Академик А. Н. Тюрюканов ранее определил этот феномен как «чернобыльский синдром в изучении биосферы». Новые краски добавляет к нему «синдром Фукусимы» — ведь катастрофа произошла с энергетическим реактором другого типа, с защитной оболочкой, в стране с высокой технической культурой. Все это подтверждает слова классика экологии и природопользования Н. Ф. Реймерса, сказанные еще в 1993 г.: «Экологически чистое пространство подобно шагреновой коже стремительно сжимается».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов В. И. Ядерно-радиоактивные аспекты географических исследований // География и природ. ресурсы. — 1995. — № 4. — С. 24–30.
2. Булатов В. И. Россия радиоактивная. — Новосибирск: ЦЭРИС, 1996. — 272 с.

3. Булатов В. И. Проблемы радиационной географии России // Материалы XIV Совещания географов Сибири и Дальнего Востока. — Владивосток: Изд-во Тихоокеан. ин-та географии ДВО РАН; Дальнаука, 2011. — С. 459–463.
4. Кузнецов В. М., Назаров А. Г. Радиационное наследие холодной войны: опыт историко-научного исследования. — М.: Ключ-С, 2006. — 720 с.
5. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Междунар. конф. — Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. — 620 с.
6. Кичигин А. И., Шуктомова И. И. Радиоактивное загрязнение территории Ухтинского радиевого промысла: современное состояние // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Междунар. конф. — Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. — С. 279–284.
7. Бахарев П., Кирюхина Н., Шахиджанов Ю. Радиоактивное «загрязнение». Экологические последствия использования подземных ядерных взрывов на объектах нефтегазового комплекса // Нефть России. — 2001. — № 1. — С. 86–89.
8. Артамонова С. Ю. Техногенные системы мирных подземных ядерных взрывов как источники радиоактивного загрязнения геологической среды // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Междунар. конф. — Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. — С. 63–68.
9. Рихванов Л. П., Страховенко В. Д., Маликова И. Н. и др. Радиоактивные элементы в почвах Сибири // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Междунар. конф. — Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. — С. 448–451.
10. Межибор А. М. Радиоактивные элементы в верховых торфах Томской области // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Междунар. конф. — Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. — С. 358–361.
11. Щербов Б. Л., Мельгунов М. С., Макарова И. В., Будашкина В. В. Плутоний в ландшафтах некоторых регионов Сибири // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Междунар. конф. — Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. — С. 576–580.
12. Платов А. И., Кузелев Н. Р., Мельниченко В. В. и др. Опыт безопасной эксплуатации РИТЭГ на стронции-90, современное состояние и проблемы // Ядерная и радиационная безопасность России. — 2003. — Вып. 1(8). — С. 128–135.
13. Булатов В. И. О реализации проекта радиэкологического мониторинга Обь-Иртышского бассейна (Евро-союз–Россия) // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Междунар. конф. — Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. — С. 110–114.

Поступила в редакцию 14 мая 2014 г.