

ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ
НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

УДК 574.4:631.438.2:539.1.04

ИТОГИ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ
НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

© 2007 г. С. В. Мамихин*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва

В статье подведены некоторые итоги применения информационно-вычислительных технологий в исследованиях экологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Сделан обзор ряда радиоэкологических информационных и информационно-прогностических систем, построенных с момента аварии. В качестве примера успешного использования методологии компьютеризации в радиоэкологических исследованиях небольшими научными коллективами рассматривается опыт кафедры радиоэкологии и экотоксикологии МГУ.

Компьютеризация, радиоэкология, информационно-вычислительные технологии, информационные системы, имитационное моделирование.

Современные научные исследования невозможно представить без использования компьютеров. Чернобыльская авария по времени совпала с началом широкого внедрения персональных компьютеров и связанных с ними информационно-вычислительных технологий в практику научных исследований. Это придало сильный импульс использованию в исследованиях по изучению экологических последствий аварии на ЧАЭС методологии компьютеризации, одной из наиболее современных и эффективных научных методологий, суть которой, по нашему мнению, в особом подходе исследователей, вооруженных информационно-вычислительными технологиями, к постановке задач, планированию исследований, обработке и анализу полученной информации, и в наличии исключительных возможностей, которые могут быть реализованы в рамках применения этой методологии. Областью применимости компьютеризации могут служить практически любые исследования, где промежуточным и тем более основным результатом является получение количественной информации, которую необходимо собрать, накопить, обработать, проанализировать и наглядно продемонстрировать заинтересованным лицам. Масштабность проводимых научных работ, большие объемы информации, которые необходимо было получить и обработать, настоятельная потребность в количественных прогностических оценках послужили непосредственными предпосылками к широкому при-

менению этой методологии в чернобыльских исследованиях.

В рамках методологии компьютеризации научных исследований можно выделить две составляющих, которые условно можно обозначить как техническую и информационную. Если под развитием технической составляющей компьютеризации понимать совершенствование аппаратных средств (собственно компьютеров и периферии к ним) и их программного обеспечения, то следует отметить, что в течение 20 лет, прошедших с момента аварии, этот процесс безусловно способствовал дальнейшему становлению компьютеризации как научной методологии и включению ее в ряд наиболее востребованных методологий при проведении радиоэкологических исследований.

В первую очередь следует отметить факт быстрого расширения доступа к вычислительным средствам в связи с появлением персональных компьютеров, которые в силу своей компактности, мобильности и возможности модернизации и расширения послужили прекрасной основой для создания различного рода автоматизированных систем. Этому способствовала также миниатюризация аналогово-цифровых преобразователей. Разработка данных устройств в виде небольшой платы, которая вставляется в стандартный разъем на материнской плате компьютера, или в виде компактного автономного модуля с коммуникационным портом совместно с разработкой специализированного программного обеспечения дает возможность превратить персональный компьютер в мощную мобильную научно-исследовательскую станцию по автоматизированному приему и обработке различного рода

*Адресат для корреспонденции: 119992 Москва, Воробьевы Горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения; тел.: (095) 939-50-09; e-mail: Lrad@soil.msu.ru.

экспериментальной информации. Это позволило создать компактные аппаратные комплексы разного целевого назначения, которые нашли широкое применение в лабораторных и полевых исследований экологических последствий аварии на ЧАЭС. Появилась возможность организовывать автоматизированный сбор данных, в том числе и без прокладки дополнительных коммуникаций, например для дистанционного радиационного контроля и оповещения о повышении радиационного уровня, или для получения информации об изменениях метеоусловий, которые могли бы повлиять на поведение радионуклидов в окружающей среде. Были также созданы мобильные спектрометрические комплексы, в том числе и для проведения натурных исследований вертикального распределения радионуклидов по профилю почвы.

Появление ученых–радиоэкологов в непосредственном пользовании персональных компьютеров, которые по быстродействию догнали и перегнали старые ЭВМ и к тому же обладали гораздо более развитыми средствами ввода–вывода, также способствовало повышению эффективности обработки и анализа полученных данных путем автоматизации этих процессов и расширению применения метода математического моделирования в радиоэкологии.

Еще одним примером из этой области может служить расширение коммуникационных возможностей научного радиоэкологического сообщества с началом повсеместного использования электронной почты и Интернета. Именно это сделало возможным подробное согласование планов работ, эффективную обработку результатов и своевременное подведение итогов научными коллективами, в которые входили ученые разных национальностей, при осуществлении международной программы по изучению экологических последствий аварии на ЧАЭС, реализованной в рамках Межправительственных соглашений между комиссией Европейского сообщества и странами СНГ по вопросам, связанным с ликвидацией последствий данной аварии в 1991–1995 гг., а также осуществление многих других международных проектов.

Информационная составляющая компьютеризации экологических исследований в настоящее время выражается в первую очередь в создании баз данных, банков математических моделей, информационных компьютерных систем различного типа (информационных, информационно-диагностических, географических информационных и т.д.). Если рассматривать с этой точки зрения итоги применения компьютеризации в исследованиях по изучению экологических последствий аварии на ЧАЭС, то в течение всего рассматриваемого периода можно было отметить постоянно

усиливающуюся тенденцию к формированию пока еще разрозненного, но стремящегося к единству информационного поля радиоэкологических знаний.

С момента аварии и в течение всего рассматриваемого периода, одной из первоочередных задач был сбор и обработка разнообразной информации. С самого начала проведения исследований по изучению экологических последствий аварии было ясно, что наиболее удобный способ накопления информации для дальнейшей ее обработки и анализа – создание компьютерных баз данных. Это, в свою очередь, потребовало такой организации полевых работ и опытов и разработки таких форм фиксации результатов мониторинговых наблюдений, которые обеспечивали бы необходимую унификацию данных. Особенно это касалось исследований динамики содержания радионуклидов в компонентах окружающей среды и мероприятий по контролю за уровнем радиоактивного загрязнения. Здесь следует отметить, что поскольку различного рода автоматизированные системы, как правило, накапливают данные в виде удобном для обработки на компьютере, их использование существенно облегчило процессы как сбора, так и обработки информации. Создаваемые базы данных использовались как для оценки оперативной обстановки в зоне загрязнений, так и для оценки развития ситуации. Для этого помимо использования уже существующих возможностей программного обеспечения, предназначенного для работы с данными, – электронных таблиц или систем управления базами данных (СУБД), разрабатывались специализированные пакеты программ, автономные или функционирующие в рамках СУБД (см. например [1, 2]).

Метод математического моделирования был одним из важнейших методов, применявшимся в ходе чернобыльских исследований. После аварии на ЧАЭС под эгидой МАГАТЭ осуществлялся ряд научно-исследовательских программ (VAMP (1988–1994), BIOMASS (1996–2001), EMRAS (начата в 2003)), посвященных именно моделированию, в рамках которых были разработаны как модели отдельных процессов, так и целостные модели, описывающие поведение радионуклидов в системах “почва–растения” или “почва–растения–животные”. Несколько математических моделей поведения ^{137}Cs в экосистемах было разработано в ходе международной программы, реализованной в рамках Межправительственных соглашений между комиссией Европейского сообщества и странами СНГ по вопросам, связанным с ликвидацией последствий аварии на ЧАЭС (1991–1995 гг.). Эти модели получили свое дальнейшее развитие при осуществлении различного рода проектов, например BIOMASS, SEMINAT, ECORAD_Oak и т.д. Модели характеризуются разнообразием подходов к их построению, спосо-

бов реализации и областью применимости. Хотя общее количество моделей не так велико, что объясняется спецификой проблемы и метода, тем не менее были предприняты попытки анализа и обобщения подходов различных коллективов с целью дальнейшей выработки единого алгоритма построения подобных моделей [3–5]. Более того, определенные шаги делаются и в направлении разработки специфических программных средств как для желающих заниматься самостоятельно радиоэкологическим моделирования (например, пакеты DYMOGEN, разработанные в ИБРАЭ (www.ibrae.ac.ru), и Ecolego (www.facilia.se) [6]), так и для желающих воспользоваться уже существующими моделями для проведения собственных численных экспериментов (например, система Ecorad [2]).

В ходе реализации упомянутых выше проектов, были выявлены многие проблемы, мешающие построению надежных радиоэкологических моделей. Важнейшая из них – отсутствие данных для проверки моделей. Особенно сложно найти необходимые для этого независимые данные, отражающие динамику протекания процессов. Имеющиеся данные зачастую противоречат друг другу. Так, например, данные, предлагавшиеся для сравнения работы моделей в проекте BIOMASS, не совпадали по многим позициям с материалами, полученными в ходе международного проекта КЕС–СНГ для опытных участков, похожих по гидрологическим условиям и растительному, и почвенному покрову.

Математическое моделирование представляет собой важную составную компьютеризации, как научной методологии. Подробное рассмотрение всей совокупности моделей, построенных в ходе исследований последствий чернобыльской аварии, по своему объему выходит за рамки данной статьи. Учитывая масштабность и перспективность применения данного метода при решении экологических проблем, возникших в результате аварии на ЧАЭС, автор считает, что данная тема заслуживает особого внимания и более объективной оценки. Он надеется, что ему в соавторстве с коллегами из других организаций, также занимающимися моделированием, удастся написать отдельную статью. В этой статье, в частности, можно было бы на конкретных примерах рассмотреть области применимости радиоэкологических моделей, возможность их универсализации и пути решения наиболее важных в данной области проблем.

Как уже отмечалось выше, компьютеризация радиоэкологических исследований последствий чернобыльской аварии способствовала формированию единого информационного поля. Наиболее очевидным проявлением этого стало создание и развитие компьютерных информационных и информационно-прогностических систем (ИС и

ИПС) радиоэкологической тематики самого широкого спектра – от узкоспециальных до общественно-значимых, доступных через Internet. Эти системы предназначены для использования в самых различных целях – от научно-исследовательских до административных и просветительских. Поскольку подобные системы на данный момент представляют собой наиболее высокую форму интеграции информации и включают в себя в том числе и базы данных, и математические модели, опыт их создания и эксплуатации представляет, как нам кажется, исключительный интерес как в плане подведения итогов компьютеризации исследований последствий чернобыльской аварии, так и применения подобного рода систем при любых других экологических инцидентах. Это дает нам основание уделить им особое внимание и кратко рассмотреть в ретроспективе хотя бы некоторые из них.

Примером широкопрофильной ИС административно-научного направления может служить управляемская информационная система Госкомчернобыля РФ, основой которой является Центральный банк обобщенных данных, представляющий собой совокупность распределенных в локальной сети баз данных, содержащих информацию, необходимую для решения задач по социальной защите населения и реабилитации территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Помимо радиоэкологической информации в систему вошли материалы, необходимые для учета тех факторов, которые могли так или иначе воздействовать на обстановку на загрязненных территориях, например, данные по химическому загрязнению, демографической обстановке, электронные карты и т.д. [7]

Примером более специализированной информационно-прогностической (экспертной) системы, ориентированной на прогнозирование последствий радиоактивного загрязнения, может служить система COSYMA, разработанная в рамках программы Комиссии европейского сообщества (СЕС) для оценки возможных последствий поступления радионуклидов в окружающую среду. Она позволяет охарактеризовать перенос радионуклидов воздушным путем и их осаждение, оценить потенциальные дозы и ущерб для здоровья населения, рекомендовать контрмеры и т.д. [8]. Аналогична по спектру решаемых проблем система по прогнозированию возможных последствий радиационной аварии и поддержке управления после аварийной ситуации, созданная в рамках международного радиоэкологического проекта по проблемам последствий Чернобыльской аварии, осуществлявшегося Международным союзом радиоэкологов (IUR) по заданию Комиссии Европейского сообщества в 1991–1995 гг. [9].

Большие возможности для обобщения накопленных данных и выработки прогнозов развития постчернобыльской ситуации с учетом пространственного распределения радиоактивных выпадений предоставили ГИС (Географические информационные системы)-технологии. С привлечением ГИС-технологий также был создан целый ряд ИПС.

Представителем этого типа систем может служить Интернет/Инtranет ГИС – система REDAC (RadioEcological Database After Chernobyl), которая объединяет материалы, полученные в ходе изучения радиоэкологических последствий катастрофы, главным образом в Киевской и Житомирской областях Украины, Гомельской и Могилевской областях Белоруссии, Брянской и Калужской областях России. Исходная информация представляет собой результаты исследований по следующим направлениям: экологический портрет загрязненных территорий; загрязнение окружающей среды; радиоактивные отходы и стратегия обращения с ними; переход радионуклидов в звеньях почва – растения и растения – животные; смыв радионуклидов поверхностным стоком с сельскохозяйственных и природных водосборов; перенос в водных средах; городская среда и контрмеры; контрмеры на естественных и сельскохозяйственных угодьях.

Одним из видов ИПС являются экспертные системы или системы поддержки решений (СППР). Примером такой системы может служить система FORCON, разработанная во ВНИИСХРАЭ, которая предназначена для поддержки при управлении сельскохозяйственным производством в условиях радиоактивного загрязнения [10]. Система позволяет осуществлять анализ радиологической обстановки и определять мероприятия по реабилитации сельхозугодий. Представляется возможность моделирования защитных мероприятий для различных условий и расчета затрат и изменения уровней загрязнения продукции. Проводится анализ эффективности сценариев применения различных контрмер и выбор наиболее оптимальных вариантов организации производства, в том числе и с экономической точки зрения.

В качестве еще одного из примеров СППР приведем систему поддержки радиоэкологического анализа RECASS (RadioEcological Analysis Support System), разработанную в НПО “ТАЙФУН” Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Суть этой системы – взаимоувязка данных об окружающей среде, уровнях загрязнения воздуха, почвы, воды и биоты с математическими моделями поведения радионуклидов во всех средах и формирования дозовых нагрузок на основе использования технологии ГИС. Основные задачи, для решения которых создавалась RECASS, –

собор, систематизация и представление данных мониторинга в виде данных объективного анализа радиационной обстановки, а также представление временной и пространственной картины ее изменения на загрязненных территориях для оценки риска проживания и эффективности реабилитационных мероприятий [11].

Отметим также систему поддержки принятия решений RESTORE, которая также построена с использованием ГИС-технологий и предназначена в первую очередь для оценки интенсивности переноса радионуклидов по пищевой цепочке от почвы до человека и оценки возможного внешнего облучения [12].

Помимо информационных систем радиоэкологической тематики, созданы ИС других направлений, но включающие в себя радиоэкологические материалы, например, в состав Российского государственного медико-дозиметрического регистра входит радиоэкологическая подсистема РЕКОР, в которой представлены данные о содержании радионуклидов в объектах окружающей среды, в том числе и почвах, и радиационном уровне на момент отбора проб, о типе почв и распределении плотности потока α - и β -частиц по почвенному профилю.

Радиоэкологические модули присутствуют и в экспертных системах более общего природоохранного направления. Так, Автоматизированная система регионального экологического прогноза (АСРЭП) представляет собой комплекс банка прогностических моделей и банка данных по природным характеристикам различных регионов и является “попыткой разработки компьютерного учета региональных экологических факторов при изучении тенденций изменения урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности лугов и пастбищ, оценки ресурсно-экологического потенциала территории” и др. [13]. Список вопросов, решаемых АСРЭП в аспекте охраны окружающей среды, включает в себя и миграцию техногенных загрязнителей в почвенном и растительном покрове и водоемах. Одними из важнейших рассматриваемых загрязнителей являются радионуклиды чернобыльского происхождения.

Информационно-вычислительные технологии активно использовались и при оценке пространственного распределения чернобыльских выпадений. Так, при создании Атласа карт радиоактивного загрязнения, в Институте глобального климата и экологии Росгидромета РАН совместно с кафедрой картографии МГУ им. М.В. Ломоносова был разработан и использовался для построения карт, вошедших в Атлас, комплекс программ автоматизированного построения и представления карт. В НПО “Припять” при участии ряда других организаций были осуществлены работы по уточнению карт радиоактивного загрязнения

территории Украины с применением компьютерного картографирования, основанного на методе математического моделирования с учетом принципиальных особенностей чернобыльских выпадений.

**ОПЫТ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС
В ЛАБОРАТОРИИ РАДИОЭКОЛОГИИ
(НЫНЕ КАФЕДРЕ РАДИОЭКОЛОГИИ
И ЭКОТОКСИКОЛОГИИ) ФАКУЛЬТЕТА
ПОЧВОВЕДЕНИЯ МГУ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА**

Следует отметить, что наиболее очевидную выгоду в плане повышения эффективности исследований применение компьютеризации в ходе чернобыльских НИР принесло небольшим исследовательским коллективам, значительно расширяя их возможности. Это можно проиллюстрировать на опыте применения информационно-вычислительных технологий в исследованиях, проводившихся лабораторией радиоэкологии МГУ, начиная с 1986 г. в 30-километровой зоне аварии ЧАЭС и на прилегающих загрязненных территориях Российской Федерации [2].

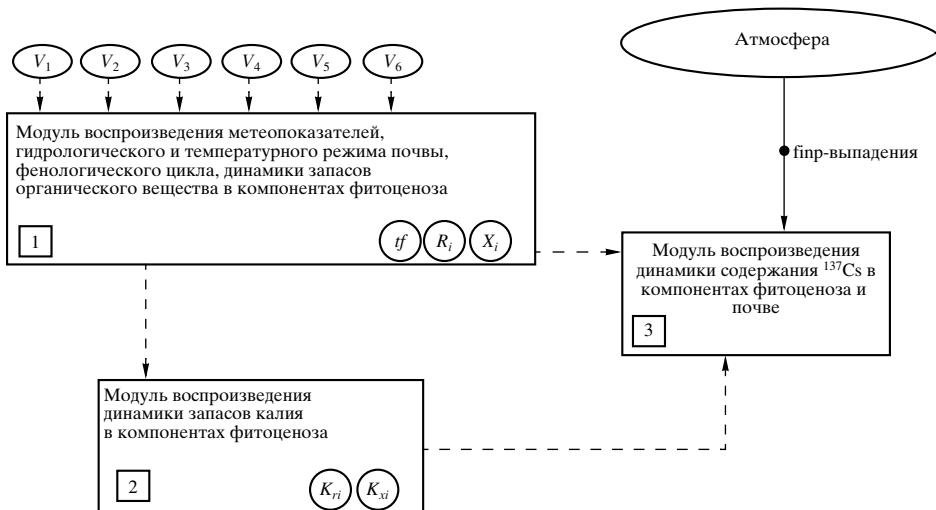
Основными задачами, в решении которых принимала участие лаборатория, были разработка рекомендаций по снижению ущерба и прогнозирование экологических последствий аварии (в первую очередь, возможное проникновение радионуклидов в грунтовые воды и радиоактивное загрязнение лесохозяйственной продукции). Была разработана оригинальная методика отбора и обработки проб растительности и почвы, которая позволяла ежегодно собирать требуемую унифицированную исходную информацию [14]. Развитие компьютерных и коммуникационных технологий в период проведения исследований позволило постепенно переходить на все более современные и эффективные методы работы. Так, например, для автоматической фиксации локальных метеопоказателей, которые могли бы оказать влияние на изучаемые процессы, мы начали использовать систему STARLOG Portable Data Logger фирмы UNIDATA, ядром которой является портативное программируемое устройство со встроенной оперативной памятью для сбора, интерпретации и хранения аналоговой или цифровой информации, поступающей с внешних датчиков. Накопленные данные переносились на ноутбук при подключении через коммуникационный порт, в виде текстовых файлов и файлов электронных таблиц. Для привязки мест пробоотбора к местности на более позднем этапе исследований использовалась технология спутниковой навигации GPS. Для обработки данных на местах временной дислокации экспедиций применялись

портативные компьютеры. Для проведения спектрометрических измерений нами использовался мобильный комплекс “Прогресс-БГ” с аналого-цифровым преобразователем, вставляемым в док-станцию для ноутбука или в ISA-разъем персонального компьютера.

Важнейшей задачей было получение информации о динамике изучаемых процессов. Для удобства работы с образцами и унификации получаемых материалов была предложена компактная единообразная шифровка проб и разработана структура баз данных. Унифицированная информация о загрязнении компонентов растительного покрова и почвенных профилей заносилась в базы данных, обрабатывалась, обобщалась и анализировалась с использованием электронных таблиц и специально разработанного пакета прикладных программ, который создавался и эксплуатировался в среде программирования СУБД dBase, а позднее FoxPro. Для наглядного представления о пространственном распределении плотности радиоактивного загрязнения на опытном полигоне информация из баз данных передавалась в графический пакет SURFER. Это позволяло отслеживать тенденции в изменении уровней загрязнения компонентов растительности и почвенного профиля и давать краткосрочные прогнозы на ближайшие несколько лет.

Более долгосрочный прогноз планировалось получить с помощью математических моделей. С этой целью были построены имитационные модели вертикальной миграции ^{137}Cs в автоморфных и гидроморфных почвах лесных экосистем (с шагом 1 сут) и модели многолетней динамики удельной активности ^{137}Cs в компонентах древостоя и почве экосистем лиственного и хвойного лесов полного спектра гидроморфности (с шагом 1 год). Первые модели реализовывались на алгоритмическом языке FORTRAN на БЭСМ-6 НИВЦ МГУ. Появление персональных компьютеров активизировало исследования с использованием метода математического моделирования. Модели реализовывались в различных версиях языка BASIC, значительно упростился процесс отладки программ, вывода результатов моделирования на печать и их графического представления. При построении моделей использовались результаты анализа исходной информации как из баз данных, так и из литературных источников. Для накопления и анализа данных из печатных работ, в том числе и для получения исходной информации, необходимой для построения моделей, в среде СУБД Access была создана информационная система “ЭКОЛИТ”. Для ее пополнения позднее стали использовать также сканирование и оцифровку печатных материалов.

Разработанные в лаборатории модели позволили дать прогноз на срок до 50 лет. Полученная



Общая структура модели (в эллипсах – входные переменные: V_1, \dots, V_5 (среднемесячные температура воздуха, относительная влажность воздуха, облачность, скорость ветра и месячная сумма осадков); в кругах – переменные, значения которых и величины определяющих их потоков передаются в другие модули: tf – фенологическое время, R_i и X_i – запас органического вещества в корнях и компонентах надземной части древостоя, K_{ri} и K_{xi} – запас К в них).

в ходе исследований информация передавалась Государственной комиссии, ПО “Комбинат” и НПО “Припять”. Прогностические оценки, полученные с помощью моделей, а также результаты обобщения и анализа данных, накопленных в компьютерных базах, были использованы при разработке практических рекомендаций по ведению лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Эта информация также использовалась при проведении работ по оценке ущерба от аварии, прогнозировании дальнейшего развития ситуации и выработке необходимых контрмер в рамках международных и российских проектов, контрактов и хоздоговоров (например, международного проекта ЕСР-5 “Поведение радионуклидов в природных и полу-природных экосистемах” в рамках Межправительственных соглашений между комиссией Европейского сообщества и странами СНГ по вопросам, связанным с ликвидацией последствий аварии на ЧАЭС (1991–1995 гг.) [15], и контракта Европейской комиссии по теме “Оптимальные пути восстановления территорий, загрязненных в результате Чернобыльской аварии” (1996–1997 гг.) [16]. Алгоритм, по которому были построены модели многолетней динамики ^{137}Cs , позднее был успешно использован при создании аналогичной модели поведения ^{90}Sr в почве и древесном ярусе соснового леса и реконструкции ситуации загрязнения данной экосистемы в результате Кыштымской аварии [17].

Дальнейшим развитием этого направления стала модель сезонной (посуточной) динамики ^{137}Cs в компонентах древостоя и почвенном профиле экосистемы лиственного леса, которая раз-

рабатывается в лаборатории с 2003 г. в рамках проекта ECORAD_Oak. К настоящему моменту модель состоит из 7 блоков, воспроизводящих метеорологические условия, поступление солнечной радиации на растительный покров, гидрологический и температурный режимы почвы, динамику запасов углерода в компонентах древесного и травянистого ярусов и в почве. Данная модель предназначена для прогнозирования развития ситуаций по широкому спектру сценариев выпадения на срок до 100 лет.

Общая структура модели данной версии представлена на рисунке. Модуль 1 состоит из 7 блоков, воспроизводящих метеорологические условия, поступление солнечной радиации на растительный покров, гидрологический и температурный режимы почвы, динамику запасов углерода в компонентах древесного и травянистого ярусов и в почве. Входные переменные V_i – среднемесячные значения температуры и относительная влажность воздуха, облачности, скорости ветра, температуры почвы на глубине 2 м и месячная сумма осадков.

Из этого модуля осуществляется передача в модули 2 и 3 необходимых для их работы расчетных данных по запасам углерода, интенсивности опада и дыхания, а также по скорости прохождения фенологического цикла.

С помощью модели была рассчитана многолетняя динамика удельной активности ^{137}Cs чернобыльского происхождения в компонентах древостоя и двух слоях лесной подстилки ((AoL + AoF) и AoH) и нижележащей почвенной толще с шагом в 1 см. Были также рассчитаны путем суммирования посуточных потоков радионуклида величины

годичных потоков между компонентами древостоя и почвой. В ходе численных экспериментов с моделью уточнены априорные предположения о формальном механизме поведения ^{137}Cs в двух основных подсистемах лесной экосистемы – в почве и древесной растительности и дано предварительное определение роли их компонентов и потоков между ними в биологическом круговороте этого радионуклида [18]. Модель была также использована для проведения численных экспериментов по изучению механизмов поведения ^{137}Cs в древостое и почве экосистемы широколиственного леса в условиях глобального изменения среднегодовой температуры.

Разработанные в лаборатории в ходе чернобыльских исследований базы данных и модели были интегрированы в радиоэкологическую информационно-прогностическую систему “ЭКОРАД”, которая постоянно модернизировалась по мере накопления информационных материалов и разработки новых моделей. В ИПС “ЭКОРАД” версии 3.0 реализованы следующие основные возможности: оперативное получение информации о методологии радиоэкологического мониторинга (выбор пробных участков; отбор и подготовка к измерению проб растительности, почвы, грунтовых вод; сравнительная оценка биологической доступности радионуклидов); получение информации о поведении в растительности и почве наиболее опасных в радиологическом аспекте радионуклидов; прогноз накопления радиоуглерода ^{14}C в компонентах лесного биогеоценоза при различных условиях поступления радионуклида; прогноз вертикальной миграции ^{137}Cs в почве лесных ландшафтов разной степени и его распределения по компонентам лиственного и хвойного лесов с различными режимами увлажнения; прогноз распределения ^{90}Sr по компонентам хвойного леса; пользование электронными словарями терминов из области радиационной безопасности, экологии, биогеохимии, лесоведения и почвоведения; пользование электронными пособиями по радиоэкологии и радиационной безопасности; получение информации о крупнейших радиационных авариях; получение информации о научных разработках кафедры радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ (методики, карта района проведения работ в 30-километровой зоне аварии ЧАЭС, библиография и т.д.); доступ к базе данных по загрязнению растительности и почвы в 30-километровой зоне аварии ЧАЭС в 1986–1995 гг.

Система обладает необходимой прозрачностью для моделей, использующихся в прогностическом блоке, приведены достаточно полные описания и ссылки на публикации. Реализация системы в среде Access позволяет легко ее модернизировать. Система построена по блочному прин-

ципу, что допускает ее расширение, включение новейших информационных материалов (например, нормативных документов), данных и моделей. ИПС “ЭКОРАД” ориентирована в первую очередь на использование в учебном процессе при подготовке специалистов в области радиоэкологии, однако может быть полезна в случае возникновения радиационного инцидента, поскольку исследователи будут иметь необходимую методологию проведения полевых исследований, обработки проб и подготовки их к измерению, шаблоны баз данных. Модели, включенные в систему, могут быть использованы для предварительного прогнозирования, а также в качестве основы для разработки локализованных моделей для получения более точных прогнозов.

В целом, использование информационно-вычислительных технологий в наших исследованиях сделало их более экономичными и результативными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в статье объем материалов по компьютеризации исследований ограничен как рамками статьи, так и степенью осведомленности автора, тем не менее, как нам кажется, он позволяет сделать вполне определенные выводы. Практический опыт, полученный при изучении экологических последствий Чернобыльской аварии, показал, что использование информационно-вычислительных технологий является необходимым инструментом экологических исследований, способствующим повышению их эффективности, а также успешному решению природоохранных проблем при условии целенаправленного подхода со стороны исследователей и должного внимания и усилий официальных органов, занимающихся данными проблемами.

Применение компьютеризации в ходе исследований экологических последствий аварии на ЧАЭС способствовало формированию единого информационного поля радиоэкологических знаний. Это обеспечит большую готовность научного сообщества в случае повторения радиационных инцидентов в будущем и упростит ликвидацию последствий таких аварий.

В заключение отметим, что итоги компьютеризации исследований экологических последствий аварии на ЧАЭС за прошедшие 20 лет подтверждают тезис Р.М. Алексахина, что радиоэкология является в настоящее время наиболее продвинутой областью экологии в изучении влияния техногенеза на окружающую среду [19], в том числе и в методологии проведения исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каширов В.А., Иванов Ю.А., Юдин Е.Б., Ященко А.А. // Проблемы сельскохозяйственной радиологии / Ред. Н.А. Лошилов. Киев, 1991. С. 213–218.
2. Мамихин С.В. Динамика углерода органического вещества и радионуклидов в наземных экосистемах (имитационное моделирование и применение информационных технологий). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 172 с.
3. Riesen T.K., Avila R., Moberg L., Hubbard L. // Contaminated Forests – Recent Developments in Risk Identification and Future Perspectives, NATO Science Series 2. Environmental Security. 1999. V. 58. P. 151–160.
4. Modelling the migration and accumulation of radionuclides in forest ecosystems. BIOSphere Modelling and ASSEment programme. Vienna: IAEA, 2002. P. 127.
5. Shaw G., Venter A., Avila R. et al. // J. Environ. Radioactivity. 2005. V. 84. P. 285–296.
6. Avila R., Broed R., Pereira A. // Proc. Int. Conf. on the Protection from the Effects of Ionizing Radiation, IAEA-CN-109/80. Stockholm: IAEA, 2003. P. 229–232.
7. Линге И.И., Осипьянц И.А., Дмитревская Л.А., Рязанов А.И. // Матер. междунар. семинара “Проблемы смягчения последствий чернобыльской катастрофы”. Ч. II. Брянск, 1993. С. 295–298.
8. Jones J.A., Mansfield P.A., Haywood S.M. et al. PC COSYMA: An accident consequences assessment package for use on a PC. 1993 Report (Contract CEC No F13P-CT92-0057). EUR 14916. P. 63.
9. Decision aiding systems for management of post-accidental situations. JSP-5 Final report. Brussels: ECSC-EC-EAEC, 1996. 82 p.
10. Фесенко С.В., Спиридонов С.И., Яцало Б.И. // Радиация и риск. 1997. Вып. 9. С. 85–89.
11. Вакуловский С.М., Шершаков В.М., Голубенков А.В. и др. // Радиация и риск. 1993. Вып. 3. С. 39–61.
12. Van der Perk M., Burema J.R., Gillett A.G. et al. // IUR Newsletter. 1999. № 34. P. 20.
13. Хомяков Д.М., Хомяков П.М. Моделирование влияния антропогенных и метеорологических факторов на агроценозы. М.: МГУ, 1995. 98 с.
14. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. М.: Наука, 1999. 268 с.
15. Behaviour of radionuclides in natural and semi-natural environments. Experimental collaboration project No 5. Final Report, European Comission EUR 16531EN. Brussels: ECSC-EC-EAEC. 1996. P. 147.
16. Optimal Management Routes for the Restoration of Territories Contaminated during and after the Chernobyl Accident. Final Report for the contracts COSU-CT94-0101, COSU-CT94-0102 and B7-6340/95/001064/MAR/C3 of the European Commission. Luxembourg: EC, 1997. P. 170.
17. Мамихин С.В., Никулина М.В. // Радиационная биология. Радиоэкология. 2005. Т. 45. № 4. С. 218–226.
18. Мамихин С.В., Никулина М.В., Манахов Д.В. // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин / Под. ред. В.И. Мигунова, А.В. Трапезникова. Вып. 6. Заречный, 2005. С. 292–308.
19. Алексахин Р.М. // Тез. докл. междунар. конф. БИОРД-2001: Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды. Сыктывкар, 2001. С. 38–39.

Поступила в редакцию
30.10.2006 г.

Results of Computerization of Researches of Ecological Consequences of Accident on Chernobyl NPP for Terrestrial Ecosystems

S. V. Mamikhin

M.V. Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty, Vorobjevy Gory, Moscow, 119992 Russia;
e-mail: Lrad@soil.msu.ru

In the paper some results of application of information and calculation technologies in researches of ecological consequences of accident on Chernobyl NPP are brought. The effectiveness of a computerization of investigations is scored. Technical and information component is selected. The singularities of application of the methodology of computerization in radioecological researches are considered. The special attention is given to integration of knowledge accumulated in the form of information materials, databases, mathematical models. The browse of the series of radioecological information and of informational-prognostic systems constructed from the moment of accident is made. As an example of successful usage of a computerization in radioecological researches provided by small scientific collectives experience of MSU division of radioecology and ecotoxicology are considered.