

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЫ г. ОБНИНСКА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. ЛЕЙПУНСКОГО МЕТОДАМИ БИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Е.И. Егорова

*Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*



Проведен биологический мониторинг санитарно-защитной зоны градообразующего предприятия г.Обнинска ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт Федерального агентства по атомной энергетике России и построены векторные карты с использованием ГИС, отражающие состояние биоты в зоне наблюдения и рекреационной зоне Обнинска. Выявлены закономерности динамики и механизмов функциональной активности почвенных микроорганизмов при сочетанном действии радионуклидов и тяжелых металлов.

Оценка состояния природной среды является основной задачей многих мероприятий в области охраны природы и природопользования. Без нее невозможно оптимальное решение производственных и социально-экономических проблем, определяющих перспективы устойчивого развития общества в целом и в особенности регионов с высокой техногенной нагрузкой, обусловленной, например, функционированием радиационно или химически опасных объектов, или ранее произошедшим загрязнением.

Одним из первых ученых, попытавшихся привлечь внимание людей к проблеме рационального природопользования, был Н.В. Тимофеев-Ресовский. По его мнению, рациональное природопользование, основанное на глубоком изучении законов природы, является необходимым условием существования человечества как биологического вида. Будучи горячим поклонником учения В.И. Вернадского о биосфере, Н.В. Тимофеев-Ресовский около 10 лет жизни посвятил работе в области радиационной экологии. Он исследовал устойчивость многих животных и растений к различным видам ионизирующего излучения, тщательно изучал процессы «миграции» радионуклидов в биогеоценозах [1].

В настоящее время оценка экологических последствий сочетанного действия токсикантов физической и химической природы в значительной степени осложняется слабой изученностью закономерностей линейных (аддитивность) и нелинейных (синергизм, антагонизм) эффектов при взаимодействии двух и более повреждающих агентов. Так, сочетанное действие антропогенных факторов, сопровождающееся из-

© **Е.И. Егорова, 2005**

менениями функциональной активности микроорганизмов непосредственно в среде их обитания, остается практически не изученным явлением.

В этой связи особую актуальность для г. Обнинска приобретают мониторинговые мероприятия, направленные на оценку влияния деятельности ГНЦ РФ-ФЭИ, на территории которого 50 лет функционирует ряд производств, связанных с обоснованием и разработкой объектов атомной энергетики.

Проектирование площадок АЭС, поддержание безаварийного состояния, а также реконструкция предприятия и вывод отдельных энергоблоков из эксплуатации подлежат обязательной экологической экспертизе [2]. Исходной информацией, характеризующей воздействие АЭС на природную среду и население региона, является динамика изменений природной среды и здоровья населения.

На современном этапе обращает на себя внимание развитие методов биомониторинга как наиболее адекватного подхода к оценке состояния экологических систем. В связи с этим разработка, совершенствование и внедрение методов биомониторинга в сеть мероприятий по контролю окружающей среды, как отдельных ведомств, так и конкретно ГНЦ РФ-ФЭИ в г. Обнинске являются актуальной задачей. Основной характеристикой экологического благополучия региона является интегральная оценка состояния биоценоза на основании существующих методов биомониторинга [3–11]. При этом надо иметь в виду, что набор конкретных методик в зависимости от целей проводимой оценки, а также по мере совершенствования аппаратно-методических средств регистрации биологических эффектов и экологических изменений, может несколько изменяться [12, 13].

На кафедре биологии и экологии Обнинского государственного технического университета атомной энергетики (ИАТЭ) накоплен теоретический и практический опыт проведения биологического мониторинга наземных и водных экосистем (рис. 1) [9–11].

При этом важно разграничить два подхода биомониторинга, заключающихся в проведении биотестирования и биоиндикации. Биотестирование осуществляется на молекулярном, клеточном и организменном уровнях, а биоиндикация – на популяционно-видовом.

В представленной работе получены и проанализированы результаты биологического мониторинга, проводимого на территории санитарно-защитной зоны ФЭИ и рекреационной зоны. Результаты получены по состоянию биохимических и физиологических показателей природного микробоценоза почв. Работа является частью комплексной биомониторинговой оценки влияния деятельности ФЭИ на экологическую обстановку Обнинска и состояние здоровья персонала ФЭИ, контактирующего с источниками ионизирующих излучений [9, 11].

Почва, как известно, является одним из основных аккумуляторов загрязняющих веществ в биосфере. Различные виды антропогенного воздействия на почву могут изменять условия существования почвенных микроорганизмов, нарушать нормальное протекание в почвах процессов микробной трансформации, а, следовательно, и процессов трансформации веществ в биосфере. На ранних стадиях развития техногенных экосистем микробоценозы являются не только активной структурной единицей экосистемы, но и наиболее информативной диагностической компонентой биоты, способной в силу высокой адаптации быстро реагировать на смену экологических условий и менять функциональную активность. Именно эта способность микроорганизмов была использована в целях биологического мониторинга почв в районе Обнинска, на территории которого расположено предприятие атомной энергетики.

Большинство представителей почвенной микрофлоры характеризуется значительной устойчивостью к действию ионизирующего излучения [14]. В то же время в ес-

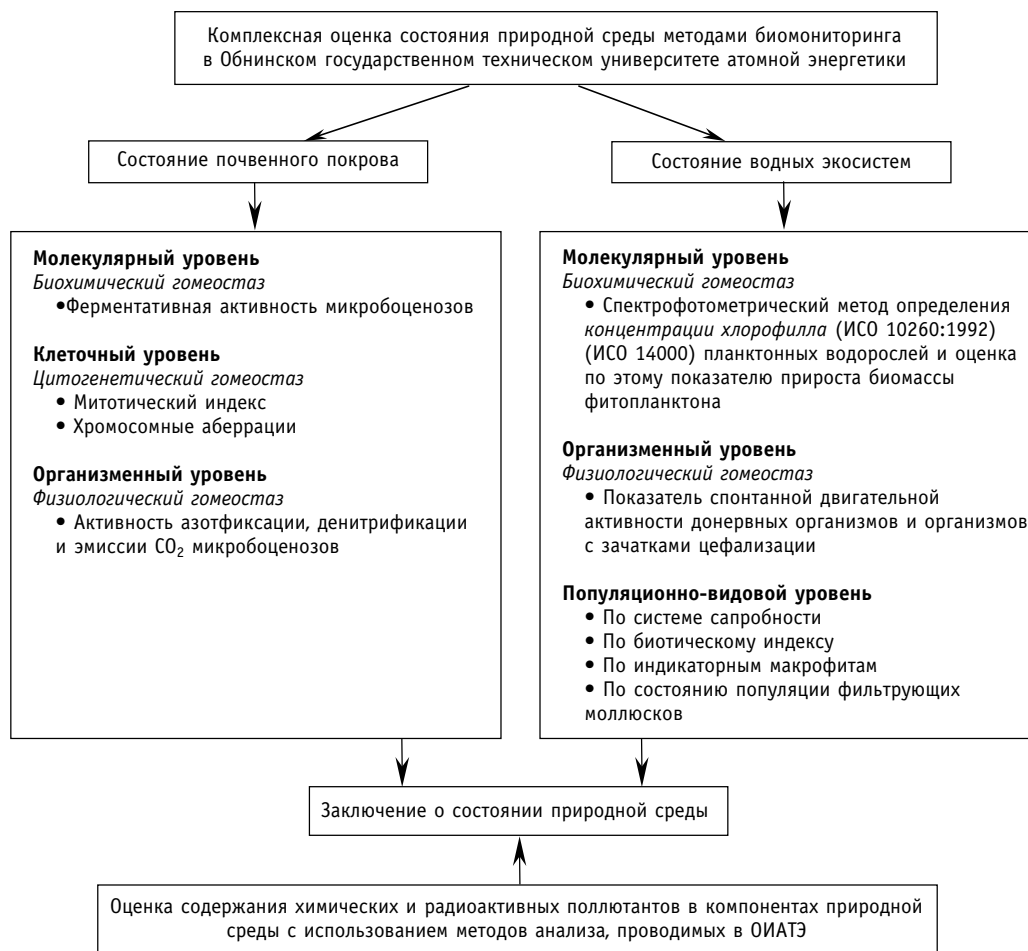


Рис. 1. Структура биологического мониторинга окружающей среды

тественной среде обитания на любой организм, кроме ионизирующего излучения, сочетанно действует целый комплекс факторов различной физической и химической природы. Одними из распространенных токсикантов, в значительной мере определяющими экологическое состояние почвенных ценозов, являются тяжелые металлы [15]. Проблема тяжелых металлов связана с их высокой токсичностью и аккумулярованием в почве в результате деятельности промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Наибольшую экологическую опасность представляют ртуть, кадмий, свинец и цинк.

Изменения в функционировании наиболее информативных в целях биомониторинга ферментных систем почвенного микробоценоза и физиологической активности микроорганизмов изучались в экспериментах, моделирующих условия радиационного и химического воздействия, характерного для загрязненных почв Брянской области [16; 17].

На рис. 2 и 3 выявленный Zn, Cd-зависимый эффект γ -потенцирования биологической активности почвенного микробоценоза представлен в явном виде и получен путем вычитания из сочетанного действия факторов всех исследованных биологических показателей раздельного действия металлов и γ -излучения на микробоценозы.

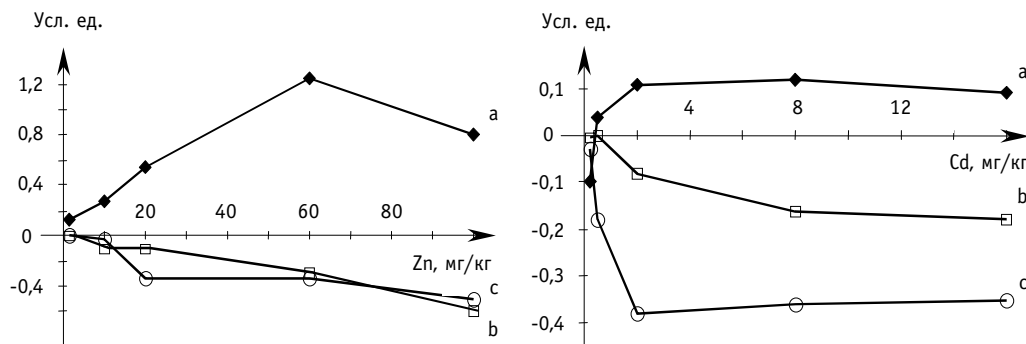


Рис. 2. Синергические эффекты сочетанного действия γ -излучения и Zn (график слева) и сочетанного действия γ -излучения и Cd (график справа) на инвертазную (а), каталазную (б) и дегидрогеназную (в) активность почв

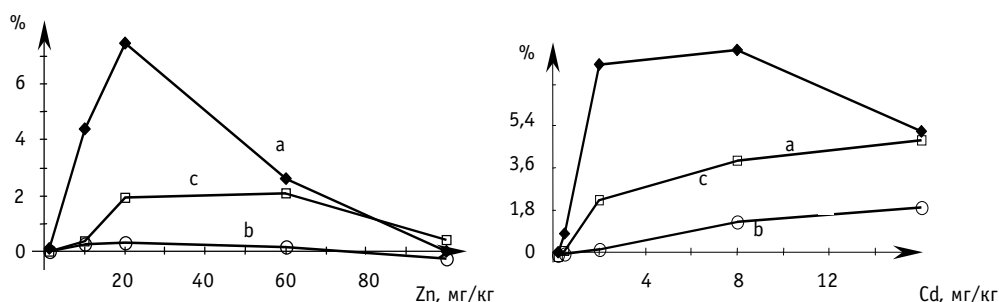


Рис. 3. Zn, Cd-зависимый эффект γ -потенцирования азотфиксации (а), денитрификации (б) и эмиссии CO_2 (в) в дерново-подзолистой почве при сочетанном действии γ -излучения и Zn (график слева) и при сочетанном действии γ -излучения и Cd (график справа)

Данные модельного эксперимента, выявившие Zn, Cd-зависимые γ -потенцирующие эффекты сочетанного действия факторов на микробоценозы почв, были использованы при анализе результатов, полученных в ходе мониторинговых работ в районе расположения предприятия атомной энергетики ГНЦ РФ-ФЭИ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2002–2004 гг. на кафедре биологии ИАТЭ проводилась работа, поддерживаемая программой инновационного сотрудничества Минатома РФ и Минобразования РФ по оценке влияния деятельности ФЭИ на природные биоценозы.

При участии студентов были отобраны образцы почв рекреационной зоны Обнинска и санитарно-защитной зоны ГНЦ РФ-ФЭИ в пойме, первой террасе р.Протвы и на территории города в поверхностном слое (глубина отбора 0–5 см) в июне 2002–2004 гг. Проведено геоморфологическое описание исследуемых участков почв. Схема пробоотбора приведена на рис. 4.

Для биологического мониторинга почв были использованы следующие подходы биотестирования: биохимический – оценка ферментативной активности микробоценозов и физиологический – оценка азотфиксации, денитрификации, метаногенности и эмиссии CO_2 . Оценка биологической активности почвенного микробоценоза проводилась по известным методикам, применяемым в почвенной микробиологии [18–21].

Отделом радиационного контроля ФЭИ были получены данные радиоактивных выбросов в атмосферу за период с 1999 по 2004 гг. Существенных отклонений от нормативных выбросов для предприятий атомной энергетики не отмечается. Ниже предельно допустимых норм находятся выбросы в атмосферу химических поллютантов.

Поскольку основной смыв из исследуемых почв идет в р. Протву, в лаборатории агроэкологии ВНИИС-ХРАЭ и на кафедре экологии ИАТЭ был выполнен химический анализ проб воды в репрезентативных точках (рис. 4) в 2002 и 2004 гг. по приоритетным загрязняющим веществам, в первую очередь, тяжелым металлам, некоторым анионам и катионам. Результаты химического анализа воды 2002 г. в реке, протекающей через санитарно-защитную зону ФЭИ, показали превышение отдельных показателей. Антропогенное воздействие хорошо просматривается по pH воды, ее анионному составу (HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- и F^-) и концентрации в воде металлов переменной валентности (Fe^{3+} и Mn^{2+}). По сравнению с фоновым уровнем, пробы воды из нижерасположенных точек пробоотбора отличаются уменьшением концентрации HCO_3^- , Fe^{3+} и Mn^{2+} , нарастанием концентрации NO_3^- , Cl^- и F^- и изменением pH. Студентами-экологами

получены результаты по содержанию углерода органических веществ в 8 точке ЗН (р-н плотины) и в точках, вниз по течению от ЗН на 2 и 3 км. Значения $\text{C}_{\text{орг-в-ва}}$ составили соответственно $5,89 \pm 1,02$ мг/л; $16,29 \pm 0,05$ мг/л и $3,49 \pm 0,05$ мг/л. Однако эти изменения не превышают 2–3 раз, незначительны с точки зрения концепции ПДК вредных веществ в водных объектах и могут быть объяснены смывом загрязняющих веществ с площади водосбора, охватывающей как жилую, так и промышленную зоны города. По данным 2004 г. хорошо просматривается динамика увеличения содержания солей Mn^{2+} в образцах воды. Превышение ПДК по Fe^{3+} в 2004 г. не наблюдается. Незначительное превышение ПДК_{Fe} получено лишь в пробе воды из створа 8, находящимся за промканализационным сбросом ФЭИ в районе плотины. Следует особенно отметить существенное превышение ПДК_{cd} в исследуемой воде в 2004 г., особенно в створах 6 и 7, расположенных до плотины. В образце воды из 5 створа (за городским ливневым стоком) отмечено превышение ПДК по Zn^{2+} в 4 раза.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с тем, что существенных выбросов радиоактивных и других элементов в природную среду предприятием ФЭИ во время всего периода наблюдения за состоянием микробоценозов исследуемых почв не наблюдалось, мной использовались результаты многолетнего эксперимента для анализа экологической обстановки вокруг предприятия атомной энергетики и г. Обнинска.

В представленной работе использован опыт практического применения разработанной в ИАТЭ прикладной ГИС PRANA для отображения данных состояния почвенной экосистемы по восьми исследованным биологическим показателям. В настоящее



Рис. 4. Схема точек отбора проб почвы и воды в санитарно-защитной зоне ФЭИ и рекреационной зоне г. Обнинска:
 ● пробы почвы; ▲ пробы воды; ■ сбросы ФЭИ;
 ~ санитарно-защитная зона ФЭИ; ■ река и пруды

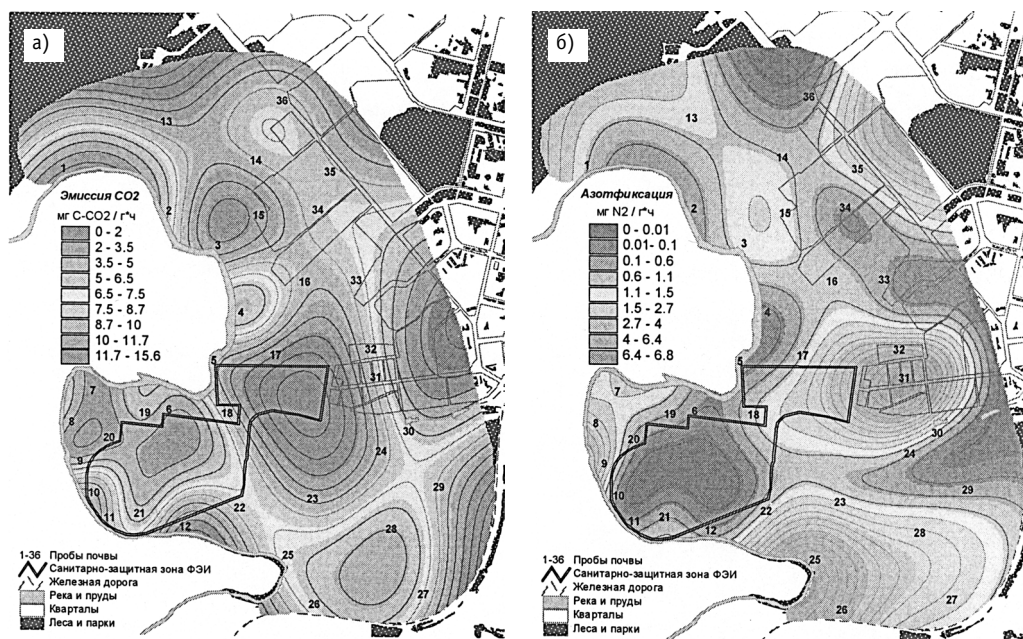


Рис.5. Изменение биологической активности почвенного микробоценоза санитарно-защитной зоны ФЭИ и рекреационной зоны г.Обнинска: а) по эмиссии CO_2 ; б) по нитрогеназной активности

время возможности ГИС широко используются как для поиска и представления входной/выходной информации, анализа пространственно распределенных данных, так и для формирования сценариев исследования, при проведении модельных оценок последствий загрязнения территории и реализации защитных мероприятий.

Четко прослеживаются зоны повышенной и пониженной биологической активности почвенного микробоценоза на рис. 5. Из модельных экспериментов известно, что малые концентрации тяжелых металлов усиливают, а высокие – угнетают биологическую активность почвенных микробоценозов; γ -излучение в малых дозах не изменяет физиологическую и биохимическую активность микроорганизмов, но потенцирует негативное влияние действия тяжелых металлов.

Уровень метаболической активности почвенных микробных сообществ (биологическая активность почв) является одним из объективных показателей экологического состояния обследуемой территории, т.к. различные формы поллютантов приводят к снижению активности почвенных микроорганизмов в отношении трансформации углерода и азота. Оценивая активность разных групп микроорганизмов, можно получить информацию о нарушениях биологических циклов азота и углерода в экосистемах под действием различных по природе поллютантов задолго до проявления очевидных признаков экологического неблагополучия (изменения состава фитоценозов, появления больных растений и других признаков).

Несмотря на общие закономерности динамики биологической активности, обусловленные варьированием влажности и органического вещества в точках отбора проб 2002–2004 гг., на исследуемой территории был выявлен ряд специфических особенностей. Определение потенциальной активности гетеротрофных микроорганизмов в отношении трансформации органического вещества почв после добавления раствора глюкозы (выравнивание по влажности и содержанию легкодоступного углерода всех образцов) обнаружило высокую величину потенциальной эмиссии CO_2 в С33 (рис. 5а). Это коррелирует с повышенным содержанием металлов (Cd; Zn), обнаруженных в пробах речной воды в этих точках. Определение нитрогеназной активнос-

ти почвенных бактерий подтвердило эту закономерность (рис.5б). В некоторых точках СЗЗ зоны отмечен низкий уровень азотфиксирующей активности почвенного микробоценоза. Это может быть обусловлено тем, что наибольшее влияние на процесс азотфиксации оказывает концентрация минерального азота, а по данным химического анализа речной воды максимальное содержание нитратов отмечено в точках отбора образцов СЗЗ. В этих почвах и зафиксирован минимальный уровень нитрогеназной активности.

В лаборатории радиационного контроля ФЭИ проведен радионуклидный анализ некоторых образцов почв санитарно-защитной зоны ФЭИ. Однако их радиоактивность не превышает средней активности γ -излучения естественных радионуклидов земного происхождения. Если использовать средние значения удельной активности этих радионуклидов в почве, то можно рассчитать соответствующую им среднюю мощность поглощенной дозы в воздухе. Она будет равна $4,4 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч. При этом ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th вносят в полученное значение соответственно 35, 25 и 40% [22]. Данные по ^{137}Cs находятся также в пределах допустимых уровней на территории расположения предприятия атомной энергетики.

По результатам химического, радиационного и биологического анализа исследуемых образцов почв в санитарно-защитной зоне ФЭИ был проведен корреляционный анализ зависимости биологической активности почв от сочетанно действующих радиационных и химических факторов по аналогии с [23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в модельном эксперименте данные по усилению малыми дозами радиации стимулирующего и ингибирующего действия тяжелых металлов на биохимические и физиологические показатели почвенного микробоценоза позволяют выдвинуть следующие положения. Экспериментально установленные биологические эффекты получены в диапазоне поглощенных доз от 0,36 сГр до 1,2 сГр, причем для популяций почвенных микроорганизмов условия облучения с длительностью от 3 до 10 сут. носили характер хронического радиационного воздействия. В исследуемых образцах воды р. Протвы обнаружено повышенное содержание Zn, Pb, Cd. В связи с этим можно предположить, что зарегистрированные в ходе биологического мониторинга санитарно-защитной зоны предприятия атомной энергетики в районе Обнинска изменения в функционировании почвенного микробоценоза могут быть связаны с сочетанным действием аккумулированных в почве радионуклидов и тяжелых металлов.

Полученные закономерности могут явиться следствием и других причин. Выявленные в ходе данного исследования изменения биологической активности почв могут быть связаны с отклонением pH почв в щелочную область, изменением концентрации водорастворимых органических веществ, усилившейся минерализацией почв в зоне наблюдения. Однако следует уделять особое внимание рациональному природопользованию во избежание попадания в окружающую среду поллютантов в любых концентрациях, т.к. экспериментально доказано их синергическое или потенцирующее взаимодействие в природе, приводящее к изменению в функционировании живых организмов.

Используемый в работе комплекс экспресс-диагностических методов оценки биохимической и функциональной активности почвенных микроорганизмов может быть применен для выявления районов, подвергшихся техногенному загрязнению в результате аварий на предприятиях атомной энергетики.

Учитывая сделанные выводы, до полного выяснения молекулярно-физиологических механизмов сочетанного действия, очевидна необходимость выявления нелиней-

ных эффектов взаимодействия факторов физической и химической природы для адекватного анализа реальной экологической обстановки на предприятиях ядерной энергетики.

Литература

1. Тимофеев-Ресовский Н.В. Очерки. Воспоминания. Материалы. – М., 1993.
2. Егоров Ю.А., Тихомиров Ф.А. Современные экологические концепции ядерной энергетики. Экология регионов атомных станций/ Под ред. Ю.А. Егорова. – М.: Атомэнергопроект, 1994. – С. 5-43.
3. Последствия Чернобыльской катастрофы: здоровье среды/ Под ред. В.М.Захарова, Е.Ю. Крысанова. – М., 1996. – 170 с.
4. Егорова Е.И., Белолипецкая В.И. Биотестирование и биоиндикация окружающей среды. Уч. пособие по курсу «Биотестирование». – Обнинск: ИАТЭ, 2000. – 80 с.
5. Kozmin G.V., Egorova E.I. Ecological estimation of an environmental state near nuclear power plants / Joint International Seminar on Exposure and Effects, Modelling in Environmental Toxicology: a first dialogue between nuclear and non-nuclear environmental scientists and managers. – Antwerp, 2002. – A3.
6. Egorova E.I., Kozmin G.V. Biological monitoring of the environment in anthropogenic contaminated areas/International Conference on Radioactivity in the Environment. – Monaco, 2002. – SD.
7. Егорова Е.И., Козьмин Г.В. Экологическая оценка состояния природной среды в районах размещения атомных электростанций: Рефераты докладов XIII ежегодной конференции Ядерного общества России «Экологическая безопасность, техногенные риски и устойчивое развитие». – М., 2002. – С. 355-358.
8. Егорова Е.И., Козьмин Г.В., Трофимов А.И. Проблемы экологической оценки состояния природной среды в районах размещения атомных станций // Вестник РАЕН. – 2002. – № 2. – С. 36-39.
9. Егорова Е.И., Цыб А.Ф. Биолого-эпидемиологический мониторинг ГНЦ РФ-ФЭИ/Тез. докл. научной сессии МИФИ–2003. – М., 2003. – С. 28-29.
10. Егорова Е.И., Иголкина Ю.В., Степанов А.Л. Мониторинг почв в районе размещения предприятия атомной промышленности// Успехи современного естествознания. – 2003. – № 12. – С. 92-93.
11. Егорова Е.И., Цыб А.Ф. Биологический мониторинг ГНЦ РФ-ФЭИ Минатома РФ: Тезисы докладов научной сессии МИФИ–2004. – М., 2004. – С. 213-214.
12. Егорова Е.И., Сыныныс Б.И. Биотестирование объектов окружающей среды. Лабораторный практикум по курсу «Биологический мониторинг». – Обнинск: ИАТЭ, 2003. – 89 с.
13. Экологический мониторинг. Методы биомониторинга: Уч.пособие/Под ред. Д.Б. Гелашвили. – Н. Новгород: ННГУ, 1995. (в 2-х ч).
14. Сокурова Е.Н. Действие различных ионизирующих излучений на азотфиксирующие бактерии и микрофлору почвы / Дисс...канд.биол.наук. – М., 1956.
15. Микроорганизмы и охрана почв / Под ред. Д.Г.Звягинцева. – М.:МГУ, 1991. – С. 3-24.
16. Егорова Е.И. Активность азотфиксации, денитрификации и эмиссии CO₂ при сочетанном действии g-излучения и тяжелых металлов в почве// Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – Т. 36. – Вып. 2. – С. 218-235.
17. Егорова Е.И., Полякова С.М. Ферментативная активность почв при сочетанном действии гамма-излучения и тяжелых металлов//Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – Т.36. – Вып. 2. – С. 227-233.
18. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 1990. – С.15-17, 33-35.
19. Умаров М.М. Ацетиленовый метод изучения азотфиксации в почвенно-микробиологических исследованиях// Почвоведение. – 1976. – № 11. – С. 92-95.
20. Yoshinari T., Hynes R. & Knowles R. Acetylene inhibition of nitrous oxide reduction and measurement of denitrification and nitrogen fixation in soil// Soil Biol. Biochem. – 1977. – V. 9.
21. Степанов А.Л., Опищенко В.Г. Оценка интенсивности дыхания, азотфиксирующей и денитрифицирующей активности горно-луговых почв северо-западного Кавказа // Вестник Москов-

ского университета. – 1989. – Сер.17. – № 2. – С. 55-57.

22. *Моисеев А.А., Иванов В.И.* Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 62.

23. *Егорова Е.И.* Ферментативная активность почв Брянской области, пострадавшей в результате аварии на Чернобыльской АЭС// Известия вузов. Ядерная энергетика. – 1995. – № 3. – С. 72-77.

Поступила в редакцию 24.11.2004

УДК 621.039.524

Calculating Research of Emergency Situation with Rupture of the First Circuit and Superposition of Disrepair of Boron Injection with High Pressure in Core of Reactor VVER-1000 \A.N. Shkarovskiy, V.I. Aksenov, N.P. Serdun'; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 8 pages. – References, 5 titles.

Calculating research of accidents with rupture of the first circuit with equivalent diameter 50 – 100 mm in reactor operation on power rating is developed. The loss of coolant from the first circuit accompany superposition of disrepair of boron injection with high pressure. Maximum time of operator non-interference in course of emergency process is determined. Algorithm of operator actions in support of safety systems is selected. It is shown, in all researching conditions safety systems with interference of operator in its supporting (20 – 80 mm) and without interference of operator (100 mm) ensure the reactor cooldown and its supporting in subcritical condition without exceeding maximum permissible limit of damage of fuel rod.

УДК 621.039.586:504.5

Investigations of Secondary Atmospheric Contamination by ^{137}Cs in Bryansk Region after the Nuclear Accident at the Chernobyl NPP \I.Ya. Gaziev, I.I. Kryshev, Ya.I. Gaziev, A.D. Uvarov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 8 pages, 2 illustrations? 4 tables. – References, 9 titles.

The article presents methods and results of investigations of secondary radioactive atmospheric contamination after the Chernobyl accident in territory of Novozybkov radioecological and sanitary area of the EMERCOM of Russia in Bryansk region. Estimations of radiation doses of inhalation intake of ^{137}Cs for the population of Novozybkov in 1992 and 2004 are given.

УДК 502.13:574

Biological Methods for Environmental Assessment of the Recreation Zone in the Vicinity of the Obninsk Institute of Physics and Power Engineering \E.I. Yegorova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 9 pages, 5 illustrations. – References, 23 titles.

A bioassay for sanitary zone of protection has been carried out in the vicinity of the Institute of Physics and Power Engineering (IPPE) in Obninsk. Vector maps with GIS have been made to show the state of biota in the observation area and the Obninsk recreation zone. Conformity of dynamics and mechanisms of the functional activity of microorganisms in soils under general contamination with radionuclides and heavy metals has been found.

УДК 621.039.58:614.876

Analysis of Personnel Irradiation Doses during 50 Years Operation of the First NPP \V.I. Vaizer, L.A. Kotchekov, D.P. Masalov, A.I. Shtifurko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 4 pages, 1 table.

It is necessary to pick out exceptional years with rising irradiation doses in history of the First NPP.

- 1954–1957 – removal of defects; adjust of equipment and technologies; average annual dose $\bar{D} \sim 20$ mSv.
- 1958–1970 – mounting and operation of numerous (17) test loops for researchers of reactor work regimes; $\bar{D} \sim 8$ mSv.
- 1971, 1987 – fundamental repairs with complete fuel unloading of reactor; $\bar{D} \sim 13$; 8 mSv.
- 1988 – reconstruction of the «hot» cell to cut fuel subassemblies; decontamination of reactor production rooms and equipment; $\bar{D} \sim 7$ mSv.
- 1998–1999 – discovery and removal of mass leaks of fuel subassemblies; $\bar{D} \sim 10$ mSv.
- 2003–2004 – the preparation to the decommissioning; unloading of spent fuel stores; cutting