

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова
Российской академии наук
(ИИЕТ РАН)

На правах рукописи

Мануйлова Екатерина Григорьевна

**ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТАНОВЛЕНИЯ
РАДИОЭКОЛОГИИ И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
В РОССИИ**

Специальность 07.00.10 – история науки и техники

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

Научный руководитель:

доктор биологических наук,
профессор

Назаров Анатолий Георгиевич

Москва 2016

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. Истоки становления радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга в России в конце XIX – первой половине XX вв.....	11
1.1. Открытие явления естественной радиоактивности Антуаном Беккерелем в 1896 г. как «точка отсчета» становления радиоэкологии	11
1.2. Первые исследования радиоактивности природных сред в России.....	17
1.3. Методы определения радиоактивности	26
1.4. Создание в регионах России научно-исследовательских центров изучения естественной радиоактивности природных систем биосферы	27
1.4.1. Одесская радиологическая лаборатория.....	28
1.4.2. Московский центр изучения радиоактивности	34
1.4.3. Сибирский центр изучения радиоактивности	35
1.4.4. Центры изучения радиоактивности в Санкт-Петербурге	37
Заключение к Главе 1	43
Глава 2. Научные предпосылки формирования радиоэкологии как фундаментальной основы радиоэкологического мониторинга	47
2.1. Учение В.И. Вернадского о биосфере	47
2.2. Биогеоценологическая концепция В.Н. Сукачева.....	50
2.4. Концепция Геомериды В.Н. Беклемишева и его вклад в развитие экологического мониторинга	56
2.5. Значение трудов по радиобиогеоценологии Н.В. Тимофеева-Ресовского в развитии методологии радиоэкологического мониторинга	61
Глава 3. Формирование и развитие отдельных направлений радиоэкологии	70
3.1. Радиоэкология как наука	70

3.2. Сельскохозяйственная радиоэкология и ее основатели	72
3.3. Лесная радиоэкология	80
3.4. Морская радиоэкология.....	87
3.5. Радиоэкология почв и микроорганизмов.....	93
Заключение к Главам 2 и 3	97
Глава 4. Эколого-биологические аспекты радиоэкологического мониторинга на современном этапе развития радиоэкологии (на примере атомной отрасли)	100
4.1. Организация радиоэкологического мониторинга в атомной отрасли	101
4.2. Выбор перспективных площадок размещения объектов использования атомной энергии.....	114
4.3.Значение радиоэкологического мониторинга при обращении с радиоактивными отходами	121
4.4.Переход к экоцентрической концепции радиационной защиты	123
Заключение к Главе 4	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	129
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	133
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	153

Введение

Актуальность темы исследования определяется тем, что к настоящему времени вопросы развития и содержания радиоэкологических исследований все больше привлекают внимание специалистов-экологов различных областей народного хозяйства. Взаимосвязь радиоэкологии с теоретическими положениями учения о биосфере, биогеоценологией и другими естественноисторическими дисциплинами с одной стороны, а с другой – непосредственная связь научной методологии радиоэкологических исследований с эмпирическими данными посредством ее эффективного инструментария – радиоэкологического мониторинга в зонах воздействия промышленных предприятий хозяйственного производства делает радиоэкологические работы востребованными, а историко-научные исследования становления радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга в целом актуальными.

Изучение истории радиоэкологии в России приобретает особую значимость в связи с вопросами обеспечения радиационной и экологической безопасности предприятий атомной отрасли, нефтедобывающей промышленности и других отраслей, где применение радиоэкологического мониторинга является обязательным в деятельности предприятий. Дальнейшее безопасное развитие атомной отрасли обусловлено необходимостью совершенствования существующих систем мониторинга в соответствии с изменением парадигмы обеспечения радиационной безопасности с антропоцентрической («защищен человек – защищена природа») на экоцентрическую с учетом историко-научных предпосылок развития радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга.

Степень изученности проблемы. При проведении исследования автором был изучен большой массив литературных, архивных и фондовых данных. Выяснилось, что специальные исследования по истории становления радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга и обозначению роли эколого-биологических аспектов в их развитии ранее не проводились. По истории

изучения радиоактивности природных сред России имеются немногочисленные работы. Одной из основных, охватывающей период исследований с 1896 г. до 1917 г., является монография Л.Л. Зайцевой и Н.А. Фигуровского «Исследование явлений радиоактивности в дореволюционной России» (1961), где отдельные главы посвящены изучению радиоактивности природных объектов и возникновению первых радиологических лабораторий на территории России.

Географическим аспектам изучения естественной и искусственной радиоактивности посвящена диссертационная работа М.С. Хвостовой «История изучения естественной и искусственной радиоактивности природных объектов России» (2006). В ней предпринята плодотворная попытка периодизации истории изучения естественной и искусственной радиоактивности природных объектов России.

Опубликованы научно-биографические работы, посвященные ученым, внесшим непосредственный вклад в развитие радиоэкологических знаний: В.А. Карчагин «Алексей Петрович Соколов // Успехи физических наук» (1928), Ю.А. Храмов «Соколов Алексей Петрович» (1983), К.Ш. Надарейшвили и Д.К. Надарейшвили «Иван Тархан-Моурави - первый исследователь в области радиобиологии и радиационной экологии» (2013), Н.В. Дылис «Академик Владимир Николаевич Сукачев» (1958), М.С. Гиляров «Из воспоминаний о В.Н. Сукачеве» (1986), В.В. Бабков и Е.С. Саканян «Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский» (2002) и др.

Уникальные сведения о проводимых работах по изучению радиоактивности были найдены в библиографических обзорах работ Л.М. Горовиц «К учению о биологическом значении лучей радия» (1905), П.Г. Мезерницкого «Радий и его применение в терапевтической клинике» (1912), А.Е. Молоткова «Библиография русской радиологии и рентгенологии за 1896-1938 гг. Выпуск 1 «Радий и радиоактивные вещества» (1938).

Большую роль в анализе развития радиоэкологии и мониторинговых исследований сыграли труды Р.М. Алексахина «У истоков отечественной

радиоэкологии (атомный Ротамстед и радиоэкологическая Мекка)» (1997), «У истоков отечественной радиоэкологии. К 100-летию со дня рождения В.М. Ключковского» (2001), Р.М. Алексахина и Ф.А. Тихомирова «Радиоэкология: достижения, задачи и горизонты» (1985).

Результаты этих работ использованы автором в общем историко-научном анализе данного исследования.

Цель настоящей работы заключается в изучении истоков и процесса становления радиоэкологических знаний в России, выявлении эколого-биологической сущности радиоэкологического мониторинга.

Достижение поставленной цели определялось решением следующих **задач**:

— сбор, систематизация и обобщение материалов литературных, фондовых и архивных источников по выявлению истоков и последующих радиоэкологических исследований природных сред и объектов в России от первых работ в конце XIX в до настоящего времени;

— исследование процесса получения и накопления фактических данных по воздействию радиации на биологические объекты и о радиоактивности биокосных систем биосферы (почв, природных вод и грязей, растительности, атмосферного воздуха), обосновывающих эколого-биологическую сущность радиоэкологического мониторинга;

— определение основных теоретических предпосылок радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга;

— обозначение основных историко-научных этапов становления и развития накопленных в России радиоэкологических знаний;

— изучение роли обособившихся научных направлений радиоэкологии в целостной картине радиоэкологических знаний;

— выявление основополагающего значения эколого-биологической составляющей радиоэкологического мониторинга на современном этапе в качестве важнейшего критерия обеспечения безопасности предприятий атомной отрасли.

Объект исследования – радиоэкологические исследования биологических объектов и природных систем в различных регионах России конца XIX- начала XXI вв.

Предметом исследования является история развития радиоэкологических исследований и радиоэкологического мониторинга в России XIX-XXI вв.

Научная новизна работы заключается в раскрытии особенностей истории развития радиоэкологических знаний в России от первых исследований после открытия рентгеновских лучей и явления радиоактивности в конце XIX в. до настоящего времени. В диссертации впервые раскрывается ведущая роль эколого-биологических аспектов радиоэкологического мониторинга как основного инструментария радиоэкологии и ее отдельных направлений.

Методология исследования опирается, в основном, на источниковедческий и сравнительный историко-экологический методы. В силу того, что проводимое исследование находится на стыке ряда научных дисциплин, в частности: экологии, радиобиологии, радиоэкологии, радиологии, радиационной гигиены, истории науки и др., в основу положен комплексный подход.

Хронологические рамки исследования охватывают период с открытия рентгеновских лучей и явления радиоактивности в 1896 г. до создания систем радиоэкологического мониторинга современности.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. В истории становления и развития радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга в России можно выделить три основных историко-научных этапа:

Первый этап – начальный: истоки становления; создание региональных центров изучения радиоактивности - радиологических лабораторий в России; начало формирования теоретических основ развития радиоэкологии (1896 – 1940 гг.);

Второй этап: интенсификация развития радиоэкологических знаний после открытия явления искусственной радиоактивности и Кыштымской аварии;

формирование направлений радиоэкологии; развитие методологической и технической базы исследований (1940 – 1986 гг.);

Третий этап – современный: развитие радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга после аварии на Чернобыльской АЭС; появление современных комплексных систем мониторинга; изменение парадигмы обеспечения экологической безопасности (1986 – наст. вр.).

2. Радиоэкология и ее направления имеют неразрывную связь с эколого-биологической сущностью радиоэкологического мониторинга.

3. Эволюция радиоэкологических знаний связана с учением В.И. Вернадского о биосфере, биогеоценологией В.Н. Сукачева, концепцией Геомериды В.Н. Беклемишева, радиационной биогеоценологией Н.В. Тимофеева-Ресовского и другими эколого-биологическими дисциплинами, которые служат теоретическим фундаментом радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга.

4. Эколого-биологические аспекты радиоэкологического мониторинга являются базисом в обеспечении экологической и радиационной безопасности вводимых, действующих и выводимых из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов атомной отрасли.

Источниковая база исследования. В основе лежит анализ обширного комплекса научной литературы конца XIX-начала XXI в. Изучены архивные материалы, хранящиеся в Архивах Российской Академии наук и Центральном архиве атомной отрасли. Изучены научные материалы, хранящиеся в Российской государственной библиотеке, Государственной публичной научно-технической библиотеке России. Автором за время работы в Госкорпорации «Росатом» обработаны ежегодные отчеты по экологической безопасности экологически значимых организаций атомной отрасли за несколько лет.

Для нашего исследования были привлечены источники, несущие в себе информацию о проводимых радиоэкологических исследованиях России - труды В.И. Вернадского, А.П. Соколова, П.П. Орлова, Е.С. Бурксера, В.М.

Клечковского, В.Н. Беклемишева, Н.В. Тимофеева-Ресовского, Г.Г. Поликарпова и мн. др.

Также большое значение для диссертационного исследования имели:

- статьи в различных периодических и непериодических изданиях, таких как «Записки русского бальнеологического общества», «Журнал русского физико-химического общества», «Природа», «Атомная энергия», «Радиохимия», «Радиобиология», «Радиационная биология. Радиоэкология» и др.;

- Труды Государственного радиевого института, Биогеохимической лаборатории АН СССР, Коми филиала АН СССР, Севастопольской биологической станции и др.;

- ежегодные отчеты Госкорпорации «Росатом», ее основных дивизионов и других организаций (ФГБУ «Гидроспецгеология», Минприроды России, НПО «Тайфун») и другие фондовые материалы.

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные данные могут быть использованы: при проведении дальнейших исследований по истории радиоэкологии; для включения в учебные курсы по радиоэкологии для студентов высших учебных заведений экологических и иных факультетов; при совершенствовании существующих и создании новых систем радиоэкологического мониторинга в организациях атомной отрасли, в том числе разработки единого нормативного документа Госкорпорации «Росатом» по радиоэкологическому мониторингу, отсутствующему в настоящее время.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации были представлены на научных семинарах и конференциях, в том числе международных:

— на Экологической секции Годичной научной конференции Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН (2014-2016 гг.);

— на Международном общественном форуме-диалоге «Атомная энергия, общество, безопасность» (2014 г.) и Региональном форуме-диалоге Общественного совета Госкорпорации «Росатом» (2014 г.);

— на Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (2016).

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и литературы, списка иллюстративного материала и приложения.

Глава 1

Истоки становления радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга в России в конце XIX – первой половине XX вв.

1.1. Открытие явления естественной радиоактивности Антуаном Беккерелем в 1896 г. как «точка отсчета» становления радиоэкологии

На пороге XX века были сделаны два удивительных открытия. В конце 1895 г. Вильгельмом Конрадом Рентгеном (1845–1923) обнаружены рентгеновские лучи. В 1896 г. французским ученым Антуаном Анри Беккерелем (1852-1908) открыто явление радиоактивности, которое оказало колоссальное влияние на развитие науки и стало значимым фактором воздействия на человека и биосферу. С момента проведения опытов Беккерелем началось бурное развитие исследований, связанных с ионизирующим излучением, как в России, так и за рубежом. Через два года Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри обнаружили радиоактивность тория, а Эрнест Резерфорд показал, что радиация состоит из трех типов излучения (α -, β - и γ -лучи).

Эти открытия вызвали большой интерес у российских ученых, которые следили за научными разработками зарубежных коллег. Активному обмену знаний способствовали как переводы и издания научных статей и книг иностранных авторов в России, так и публикации российских работ в целом ряде иностранных изданий. Отличительной чертой начального этапа формирования радиоэкологии была быстрая передача знаний, обширный информационный обмен. Доказательством этому служит издание в 1904 г. в двух столицах различных переводов книги Марии Кюри с разницей в два месяца (Склодовская-Кюри, 1904а, б), а также двух переводов и изданий лекций приват-доцента физической химии и радиоактивности Университета в Глазго Ф. Содди в 1908 г. в Москве и Одессе

(Содди, 1910а, б), что свидетельствует о необычайном интересе, проявленном в России к новой теме.

И если сами понятия «радиоэкология» и «мониторинг» появились позже, то предпосылки их зарождения стали закладываться еще при поиске и наблюдениях за распространением радиоактивных минералов в природе. Необходимость таких исследований была продиктована острой нехваткой сырья для проведения научных опытов, которые активно проводились зарубежными учеными, а также слабой минералогической изученностью территории нашей страны.

Среди самых ранних работ отечественных ученых известны исследования И.Р. Тарханова, Е.С. Лондона, С.В. Гольдберга и Л.М. Горовиц-Власовой. Остановимся кратко на характеристике их основных научных достижений в области радиоэкологии и радиобиологии.

И.Р. Тарханов. Физиолог, академик Иван Романович Тарханов (Иван Рамазович Тархнишвили, 1846-1908) был учеником И.М. Сеченова. Он начал изучать реакции различных систем организма на облучение в конце XIX в. По мнению К.Ш. Надарейшвили (1978), Тарханов стал первым исследователем в области радиобиологии и радиационной экологии. В предварительном сообщении «Об физиологическом действии Рентгеновских лучей на центральную нервную систему» (Тарханов, 1896), опубликованном в «Больничной Газете Боткина» 28 августа 1896 г., приведены результаты проводимых опытов по воздействию рентгеновских лучей на травянистых лягушек (*Rana temporaria*) и мух (сем. *Muscidae*), которые показали, что их произвольная двигательная деятельность зависит от такого воздействия и что «*X-лучи действуют умеряющим образом на произвольно-двигательные центры мозговых полушарий*» (там же, с. 8).

Также сравнивалось развитие искусственно оплодотворенных яиц миног (*Petromyzontiformes*) под влиянием облучения с развитием яиц, оплодотворенных при обыкновенных условиях. Замечено, что в рентгенизированной партии яиц не развилось ни одного животного, а в контрольной – несколько десятков.

Исследования академика Тарханова, по его мнению, стали «...первой попыткой, стремящейся доказать, что X-лучами можно не только фотографировать и диагностировать {...}, но и влиять на ход жизненных функций, умеряя их главного регулятора, т.е. центры церебро-спинальной оси. По крайней мере для организма лягушек *Rana temporaria* положение это едва ли может подлежать сомнению» (там же, с. 12-13). На основании проведенных им работ были сделаны предположения о возможности применения рентгеновского излучения в лечебных целях.

В цитируемой работе при описании проводимых экспериментов ученый подмечает, что он использовал две категории лягушек - лягушек лабораторных, державшихся долгое время в лаборатории, истощенных, и лягушек «взятых с воли, деревенских», более сильных. При этом чистота и качество экспериментов по воздействию облучения определялись ученым при сравнении деревенских лягушек с деревенскими, а лабораторных - с лабораторными.

В 1904 г. Тарханов начал проводить опыты по изучению влияния лучей радия на центральную нервную систему животных (Кузнецов, 2011). Таким образом, исследования академика И.Р. Тарханова можно считать пионерными в области изучения воздействия ионизирующих излучений на живые организмы в России. Они послужили первыми кирпичиками, положенными в фундамент развития будущих радиобиологических и радиоэкологических наблюдений.

С.В. Гольдберг и Е.С. Лондон. Первые шаги по наблюдению за влиянием радия на живые организмы были сделаны в 1903 г. учеными С.В. Гольдбергом¹ и Е.С. Лондоном (1868-1939) из Санкт-Петербургского института экспериментальной медицины, которые проводили наблюдения за воздействием лучей Беккереля на кожу. Первыми, кто испытал на себе влияние этих лучей, стали сами ученые. Последствия отразились прежде всего в получении ожогов рук после работы с радием, что потребовало введения ограничений при организации труда.

¹ Даты жизни найти не удалось

Хирург-рентгенолог С.В. Гольдберг проводил исследования бактерицидного действия лучей и emanации радия, изучая такие виды, как *Bacillus prodigiosus*, стафилококки (*Staphylococcus*), стрептококки (*Streptococcus*), тифозную палочку (Сальмонелла энтерика или сальмонелла кишечная, *Salmonella enterica*), возбудителей сибирской язвы (*Bacillus anthracis*), дифтерийные палочки (*Corynebacterium diphtheriae*), туберкулезные палочки (*Mycobacterium tuberculosis*) и др. Также он наблюдал за воздействием излучения на сперматогенез морских свинок, на прорастание бобов, изучал зависимость воздействия от расстояния и пришел к выводу о том, что действие лучей радия обратно пропорционально расстоянию (Мезерницкий, 1912).

Е.С. Лондон ставил опыты по воздействию бромистого радия на зрительный аппарат человека, проводил специальные исследования на слепых людях в надежде получить в радиации источник исцеления. К тому же его интересовали вопросы о воздействии радия на организмы животных. О проводимых работах доктор рассказывал на лекциях, прочитанных 27 и 28 апреля 1903 г. (Лондон, 1903). Исследованиям подвергались белые мыши (*Mus musculus*), морские свинки (*Cavia porcellus*), кролики и другие животные. В результате облучения у животных наблюдалось выпадение шерсти, разрушение и омертвление клеток гиподермального слоя, покраснение ушей, что послужило доказательством чувствительности нервных элементов. Лондон подчеркивал также воздействие лучей радия на низшие животные формы и растения, упоминая в выступлении эксперименты с тараканами, гусеницами, личинками, головастиками, растительными семенами, листьями. Как отмечает С.П. Ярмоненко (1997), в 1903 г. Е.С. Лондону и немецкому биологу Хейнеке удалось вызвать гибель мышей, подвергнутых воздействию радия или рентгеновскому облучению, причем оба они отметили особенность поражения органов кроветворения.

Предпосылки развития радиационной генетики прослеживаются в следующем замечании Лондона, сделанном по результатам проведенных им наблюдений: «Если личинки лягушек пробыли короткое время в лучах радия, то из

них выходят уродливые формы головастиков. Эти уроды также недолговечны, как и уроды, так сказать, натуральные» (Лондон, 1903, с.14). Особое место Е.С. Лондон уделял воздействию радиоактивного излучения на бактерии с практической точки зрения для умерщвления болезнетворных бактерий: *«В лучах радия найдено новое средство борьбы с бактериями и, судя по новейшим исследованиям, найдено в них также средство против таких жестоких болезней, как волчанка, кожный рак и др.»* (там же, с. 15).

Говоря о широком распространении эманации радия в природе - *«Особенно богат ею воздух, выступающий из-под земли и распространяющий ее в надземной атмосфере. Эманация, по исследованиям, действует так же губительно, как и лучи радия. И вот невольно зарождается целый ряд вопросов»* - ученый задался пророческим, как окажется позже, вопросом - *«Не кроется ли в эманации важный доселе нам неизвестный биологический фактор? Это дело будущих исследований»* (там же, с. 15).

Следует отметить, что исследования Лондона печатались не только в России, но и в зарубежных изданиях и были знакомы иностранным коллегам (London, 1903, 1904, 1905).

В 1911 г. вышла книга Е.С. Лондона «Радий в биологии и медицине», которая считается первой в мире монографией по радиобиологии. Этот факт подтверждает то, что в основе первых радиоэкологических исследований лежат биологические аспекты.

Л.М. Горовиц-Власова. Свой интерес к радиобиологическим исследованиям Е.С. Лондон смог привить Любови Моисеевне (Михайловне) Горовиц-Власовой (1879-1941), работавшей под его руководством в Институте экспериментальной медицины. Получив среднее образование в Одессе и понимая, что в России того времени пути к получению высшего образования ей – женщине – закрыты, она уехала в Париж, в Пастеровский институт с рекомендательным письмом от известного бактериолога Я.Ю. Бардаха.

В те годы там работал выдающийся русский ученый И.И. Мечников. Впоследствии Горовиц стала его ученицей и под руководством Мечникова защитила диссертацию «О самозащите организма против бактерий». После возвращения в Россию в 1905 г. Любовь Михайловна начинает работать с Е.С. Лондоном, теперь в область ее научных интересов входит изучение биологического значения лучей радия. Результаты собственных исследований, а также обширного анализа проведенных до 1906 г. работ по изучению радиоактивности природных сред и действию ионизирующего излучения на живые организмы (всего 178 ссылок в библиографии), нашли отражение в докторской диссертации Горовиц-Власовой (Горовиц, 1906).

В ней отдельным блоком отражены результаты исследований радиоактивности природных сред зарубежными учеными. Ссылаясь на широко цитируемое открытие Elster'a и Geitel'a, Горовиц раскрывает значение трудов профессора Vicentini, который констатировал радиоактивность вод Альбано, ученого Harnaide'a (в 1904 г. указал на радиоактивные свойства минеральных вод Plombieres), упоминает вклад ученых Giovanni и Schott'a. Из диссертационного обзора мы узнаем, что учеными Mache и Meyer'ом в 1905 г. выявлена зависимость радиоактивных свойств воды от температуры источников. Горовиц интересовали также наработки зарубежных коллег и по изучению взаимосвязи между радиоактивностью минеральных вод и их давно известными целебными свойствами (описывает опыты Bergell'a и Bickel'a). Из ее обзора можно понять, что бактерицидные свойства радиоактивных минеральных вод одновременно обнаружены в 1904 году учеными Danysz, Лондоном и Гольденбергом.

Уделяя особое внимание проблеме облучения живых организмов и подробно описывая методологию опытов, Горовиц также приводит результаты собственных исследований действия радия на нормальные ткани и органы кроликов (Приложение 1). В полученных выводах она дает сведения о трех группах чувствительности тканей и органов организмов по отношению к действию радия.

Диссертацию Горовиц можно назвать первой диссертацией по радиобиологии в России, в которой содержатся радиоэкологические основы воздействия радиации на человека и организмы биосферы.

Единство природного и социального аспектов в исследованиях, вызванных открытием радиоактивности, подтверждается тем, что основными объектами работ по изучению этого свойства природных сред стали минеральные воды, источники и грязи, что было необходимо для улучшения качества жизни и среды обитания человека. Определяя радиоактивность природных сред, русские ученые стремились к тому, чтобы Россия не зависела от стран Западной Европы и имела бы свои собственные радиокурорты и целебные воды и грязи.

1.2. Первые исследования радиоактивности природных сред в России

Одним из основных научных направлений после 1896 г. стало изучение естественной радиоактивности природных сред.

Изучение радиоактивности в центральной части России

Одним из первых ученых, обративших внимание на изучение радиоактивности природных объектов в России, был профессор Московского университета **Алексей Петрович Соколов** (1854-1928), который с 1901 г. заинтересовался областью радиоактивных явлений². В 1903 г. на годовичном заседании Русского бальнеологического общества в Пятигорске он впервые подчеркнул, что учение об ионизации и радиоактивности атмосферного воздуха имеет большое значение для развития бальнеологии и климатотерапии и является новым не только в России, но и за рубежом.

² Об А.П. Соколове подробнее см.: *Карчагин В. А.* Алексей Петрович Соколов. // Успехи физических наук. 1928. Т. 8, № 3. С. 269–278; *Яковлев К. П.* Алексей Петрович Соколов. Очерк жизни и деятельности // Ученые записки Московского ун-та. 1940. Т. 52, № 3. С. 115–123; *Храмов Ю.А.* Соколов Алексей Петрович // Физики: Биографический справочник / Под ред. А.И. Ахиезера. Изд. 2-е, испр. и дополн. М.: Наука, 1983. С. 251. – 400 с. 200 000 экз. (в пер.); *Никифоров К. Г.* Алексей Петрович Соколов // Платоны и Невтоны земли калужской. Изд-во «Гриф», Калуга, 2002, с. 79–94.

Ученый объяснял целебные свойства климата горных и приморских территорий именно ионизацией атмосферы. Он указал на необходимость сбора научных материалов об этом явлении из разных мест России, и в течение целого ряда лет предпринимал поездки на Кавказ, в Крым и другие регионы для исследования радиоактивности природных вод и лечебных грязей - биокосных систем биосферы, а также для исследования ионизации воздуха (Соколов, 1904а). В этом же году увидела свет работа «Наблюдение ионизации воздуха в Пятигорске и Кисловодске 27 мая — 9 июня 1903 г.» (Соколов, 1904б), а в 1905 г. опубликован труд «Радиоактивность некоторых русских минеральных вод, грязей и почв» (Соколов, 1905) (приложение 2).

Развивая сферу применения ионизации в медицинских целях, Соколов считал, что целый ряд сдвигов в жизненных процессах человеческого организма происходит в результате динамики ионного режима в атмосферном воздухе (Кауфман, 1937). Эти предположения были обоснованы рядом замеров в курортных местностях. Он предлагал лечить ионизированным воздухом легочный туберкулез, артериосклероз и инфекционные болезни и активно работал над методом аэроионизации.

Ученый уже тогда стал отслеживать определенные закономерности распространения радиоактивности и выявлять причинно-следственные связи, предположив, что эманация радия попадает в грязи из почвенного воздуха. Он также занимался лабораторными исследованиями радиоактивности горных пород и некоторых радиоактивных минералов из русских месторождений. Исследования, начатые Соколовым, позже привели к становлению первого радиологического центра в центральной части России.

Изучение радиоактивности в Санкт-Петербурге

Одновременно с Соколовым, изучением радиоактивности воздуха и почв занимался профессор медицинской химии Клинического института в Санкт-Петербурге **А.В. Пель** (1850-1908). Магистр фармации, доктор философии и химии еще в 80-х гг. XIX в. начал изучать гигиенические условия окрестностей

Санкт-Петербурга – исследовал бактериологическое загрязнение воздуха, воду рек и способы ее очистки. Результаты исследований, приведенные в работах Пеля (1894, 1902), свидетельствуют о проведении ученым комплекса наблюдений, в том числе химического исследования атмосферных осадков, снега, воды и почв.

В первых работах он сумел подметить экологические взаимосвязи между различными компонентами окружающей среды, изучая окрестности Царского Села: *«...встречается залегающий на синей глине силурийский известняк. Этот известняк, принимая в себя атмосферные осадки, направляет их далее, по своим трещинам и разрушенным образованиям, в более пониженные точки, где они и выходят наружу в виде ключей»* (Пель, 1902, с. 3). Вода этих ключей была неоднократно исследована Пелем как по химическим, так и по бактериологическим показателям. Многолетние исследования воды прудов Царского Села и сравнение ее с Невской водой навели ученого на мысль, что разница в качестве зависит от органических свойств и способности умерщвлять бактерии. Но чем обусловлены эти способности, он определить не мог. Открытие явления радиоактивности позволило Пелю применить новые научные данные в своих исследованиях и высказать предположение, что именно радиоактивность влияет на разницу в свойствах воды (Пель, 1903а). В своем докладе «О радиоактивности почв Царского Села» (Пель, 1903б), сделанном в октябре 1903 г. на заседании Фармацевтического общества, ученый сообщил о результатах исследования почвенного воздуха на различных глубинах, о выявлении взаимосвязи между радиоактивностью синей и зеленой глины, сланца и почвенного воздуха. Уже тогда им была обозначена биологическая способность воды прудов Царского Села умерщвлять холерные и тифозные микробы быстрее, чем невяская. Он подчеркивал, что радиоактивные свойства воздуха и почвы оказывают определенное влияние на рост растений и связывал с этим отличие растительности Царского Села от растительности его окрестностей.

Вопросы радиоактивности такой классической биокосной системы, как русские грязи, интересовали профессора Санкт-Петербургского университета

И.И. Боргмана (1849-1914). Опыт зарубежных коллег Эльстера и Гейтеля, обнаруживших наличие радиоактивных веществ в лечебных грязях одного из итальянских курортов, побудили российского ученого к началу изучения русских целебных грязей, которые были получены из 5 разных грязелечебниц страны (Куяльницкая, Аренбургская, Кеммернская, Сакская и Бердянская грязи). В 1905 году он смог впервые определить активность малоактивных грязей, им исследовалось и было обнаружено выделение эманации при нагревании грязи.

Труды И.И. Боргмана представляют особое значение при изучении предпосылок формирования радиоэкологии в целом и радиоэкологических наблюдений в России с точки зрения ее эколого-биологической составляющей. Неслучайно в работе «Исследование некоторых русских целебных грязей в отношении радиоактивности», которая датирована 11 мая 1904 г., ученый акцентирует внимание на проведении исследований по возможности целебных грязей, обладающих радиоактивными свойствами, действовать на бактерии (Боргман, 1906). Изучая радиоактивность грязей, ученый обращается к доктору Е.С. Лондону с просьбой исследовать Куяльницкую грязь в Институте Экспериментальной Медицины. Из полученных Е.С. Лондоном результатов следовало, что из грязи, взятой им для исследования, выделяется эманация, задерживающая рост бактерий.

Направления исследований Боргмана были основаны на изучении известного свойства лечебных грязей оказывать целебное действие на организм человека благодаря бактерицидным и бактериостатическим свойствам. Сам Боргман по итогам проведения многочисленных опытов приходит к выводу о том, что *«всякая живая ткань, радиоактивируясь под влиянием эманации радия, приходит в состояние воспаления»*. Ключевым здесь выступает понятие *«живой ткани»*, которое позволяет судить о понимании ученым того, что изучение радиоактивности природных сред без учета воздействия на живые организмы невозможно.

Необходимо подчеркнуть, что научные труды Боргмана были известны не только в России, но и за границей. Так, опубликованная в журнале *The Nature* в 1904 г. работа «Radioactivity of Russian Muds» («Радиоактивность российских грязей» - Е.М.) цитировалась зарубежными учеными, например, в популярной энциклопедии немецкого профессора P. Lazarus'a (1913).

Изучение радиоактивности в Сибирском регионе

Наряду с изучением радиоактивности природных объектов юга России, исследования нового явления проводились и на территории Сибири, несмотря на трудности в освоении территории. Развитию радиологических исследований в столь отдаленном регионе способствовала укомплектация первых сибирских ВУЗов (Томского государственного университета с его медицинским факультетом и Томского технологического института) научными кадрами Московского и Санкт-Петербургского университетов, имеющих прочные связи с научными кругами Европы. К выпускникам этих ВУЗов относятся и первые исследователи явления радиоактивности и радиоактивных элементов в Сибири - П.П. Орлов, В.С. Титов, Д.В. Алексеев, П.П. Пилипенко, П.П. Гудков, М.Н. Соболев, В.А. Обручев (Рихванов, 1997).

Одним из первых начал изучать радиоактивность природных объектов Сибири профессор медицинского факультета Томского государственного университета **Петр Павлович Орлов** (1859–1937). По сведениям Л.Л. Зайцевой и Н.А. Фигуровского (1961), прибыв в 1904 году в Томск, он был назначен на должность профессора и заведующего кафедрой химии Томского университета и сразу начал подготовку к проведению исследований по радиоактивности.

При организации работ возникло множество трудностей, основными из которых стали отсутствие источников финансирования и слабый интерес сибирской научной общественности, что подтверждают письма академику В.И. Вернадскому (Архив РАН. Ф. 518). Однако это не сломило его упорства, и в 1907 году была организована экспедиция в Енисейскую губернию, причем за счет собственных средств Орлова (первая экспедиция Российской Академии наук была

организована только в 1908 г.). В результате проведения полевых исследований экспедиции были получены данные по радиоактивности воздуха на руднике Юлия, минеральных вод оз.Шира и Доможаково. Летом 1911 г. П.П. Орлов совместно с П.П. Пилипенко объездили несколько месторождений радиоактивных минералов и осуществляли отбор проб для определения степени радиоактивности природных объектов. Результаты анализов проб показали высокую активность глины у станицы Андреевской, источников на восточном подножии горы Синюхи и почти всех источников, связанных с Тигерецко-Колыванским гранитным массивом. В 1914 году была показана высокая радиоактивность ключей по р.Ушайке (Заварзинские источники). По результатам проводимых наблюдений в Томске П.П. Орлов отмечал довольно высокую активность ключей и колодцев г.Томска и р.Томи в зимнее время (Рихванов, 1997). И сейчас результаты радиоэкологического мониторинга водных объектов показывает, что наиболее высокие концентрации радиоактивных веществ наблюдаются, как правило, в период зимней межени (январь-март), что обусловлено длительным низким уровнем и расходом воды в реке при преобладании подземного питания, так называемой «маловодностью». Сезонность, подмеченная Орловым, позволяет судить о проведении ученым наблюдений и замеров в разное время года, определенной систематичности проводимых мониторинговых исследований.

Отдельного внимания заслуживает статья «Заметки о радиации и радиоактивности», которая вышла в газете «Сибирская жизнь» 9 января 1905 г., старшего лаборанта при кафедре органической химии Томского технологического института (ныне Томский политехнический университет) **Д.В. Алексеева** (1875-19??), удивительно обстоятельно описывающего в ней применение радия в физиологии и медицине и приводящего результаты опытов по воздействию лучей радия на животных и растения (Радиоактивность и радиоактивные элементы..., 1996). Анализируя полученные результаты, он приходит к выводу, что воздействие радия на организмы зависит от количества вещества, по аналогии с принципом воздействия ядов. Названия конкретных видов, на которых

проводились испытания, в статье не приводятся, за исключением того, что облучались молодые ростки гороха и бобов. Также Алексеев большое внимание уделяет исследованию радиоактивности различных руд, минералов, минеральных и горячих источников и т.п., ссылаясь на результаты работ профессора Соколова из Московского университета. В своих размышлениях автор подчеркивает, что радиоактивность является целебной силой только при непосредственном употреблении минеральной воды и ванн на месте их природного образования, а привозимые издалека воды и грязи, по мнению Алексеева, лишаются «своей души» – радиоактивности и биологической активности.

В Томском технологическом институте исследованиями радиоактивности горных пород, минеральных источников и вод занимался лаборант кафедры физики **В.С. Титов**. Им с 1905 г. проводились исследования по определению радиоактивности воды и газа Белокурихинских теплых источников (Рихванов, 1997). В 1913 г. в Томске издается книга В.С. Титова «Радиоактивная эманация в водах и газах терм деревни Белокуриха на Алтае». В ней автор отразил полученные сведения по радиоактивности вод и газов, ставшие в дальнейшем основой для отслеживания динамики этих показателей в работах других ученых. Исследования Титова и его книга имели очень большое научное и методологическое значение для развития бальнеологии. Нормы воздействия радия в форме радона на организмы мужчин и женщин, установленные впервые в Белокурихе, были положены в основу нормирования на других курортах России.

Минеральные источники Забайкалья изучались доктором **И.А. Багашевым** (1843-19??). По данным Зайцевой и Фигуровского (1961), в 1905 г. он описал 165 минеральных источников Забайкалья и выполнил 61 анализ этих источников. При проведении работ по изучению радиоактивных веществ в Забайкалье в 1910 г. И.А.Багашев отмечал высокий уровень заболеваемости населения казачьих поселков, использующих в качестве источников питьевой воды колодцы и ключи с высокой радиоактивностью.

Изучение радиоактивности регионов Юга России

Изучение радиоактивности Кавказских минеральных вод непосредственно у их выходов и бюветов начаты в 1907 г. химиком и инженером-технологом **Э.Э. Карстенсом** (1876-1944), работавшим в химической лаборатории Кавказских Минеральных Вод. Работая как инженер, он ездил за границу и изучал технические особенности обустройства курортных местностей, в том числе радиоактивных терм (Карстенс, 1911). 2 декабря 1908 г. на заседании Русского бальнеологического общества в Пятигорске он доложил о результатах своих исследований. Проведение анализов проб, отобранных непосредственно около бюветов и источников, позволило сравнить полученные ранее учеными А.П. Соколовым и П.Г. Мезерницким результаты опытов, сделанных вдали от источников. Результаты наглядно показали, что радиоактивность существенно выше рядом с самими источниками и уменьшается при удалении от них. Для определения природы наблюдаемого явления Карстенсом был проведен обширный ряд работ по определению радиоактивности не только вод, но и иных сред - горных пород, почв, атмосферного воздуха. Им выяснено, что почвенный воздух, выносящий с собой эманацию, является главным источником ионизации атмосферного воздуха, о чем было доложено на заседании Русского Бальнеологического общества в Пятигорске 17 июля 1913 г. (Карстенс, 1913а).

Сохранившиеся работы Карстенса и его коллеги И.И. Штанге позволяют судить о продуманной системе наблюдений, анализа и контроля вод Кавказских источников. Они проводили измерения с определенной периодичностью, в разное время года, отбирали пробы в различных местах, не только в самих источниках, но и в буровых скважинах, изучали колебания результатов в зависимости от условий среды. Пример опубликованных результатов контрольных анализов за 1913 год представлен на рисунках в приложении 3 (Карстенс, Штанге, 1913б).

Выпускник Московского университета химик-радиолог **В.И. Спицын** (1893-1923) в 1914-1921 также внес вклад в изучение радиоактивности районов Юга

России, изучая горные породы, грязи, источники минеральных вод, в частности, в Кубанской области в местечке Алексеевский Горячий Ключ на Кубани. Осенью 1915 г. им были взяты образцы пород Феодосии и Судака, радиоактивность которых была определена уже в Москве при помощи фонтактоскопа. Ученый разбил образцы на две части: одни брались взяты с поверхности из различных мест Феодосии и Судака, другие же - из вырытого колодца в Феодосии, от последовательно лежащих друг на друге слоев пород (Спицын, 1915). Исследования Спицына показали, что радиоактивность разных слоев глины, *«лежащих друг на друге»*, отличается. Также была исследована радиоактивность смеси воды, вытекающей из кристаллических пород во вновь вырытой водосборной галерее. Он сравнивал полученные значения с водой, вытекающей из кристаллической массивной породы. Морская вода радиоактивности не обнаружила. Такой подход Спицына к проведению исследований – отбор проб в нескольких пунктах, наблюдательность и внимательное отношение к учету условий среды, сезонность проводимых наблюдений, отслеживание и анализ изменчивости – свидетельствует о том, что это еще не был мониторинг в том виде, в каком мы понимаем его сейчас, но это были первые пробные шаги, заложившие основу дальнейшего развития форм наблюдения и контроля.

Наибольший вклад в развитие исследований радиоактивности объектов Юга России внес профессор **Е.С. Бурксер** (1887-1963), который стал инициатором создания первой радиологической лаборатории в России (более подробно см. подраздел 1.4.1). В октябре 1910 г. стали проводиться измерения радиоактивности различных вод, в том числе почвенных. В январе 1911 г. Е.С. Бурксером было начато исследование радиоактивности Одесских лиманов – Хаджибейского и Куяльницкого (Андреевского), радиоактивность грязей которых была установлена, как нами отмечено, еще в 1904-1905 гг. учеными И.И. Боргманом и А.П. Соколовым. Определение радиоактивности рапы лиманов натолкнуло Е.С. Бурксера на мысль, что она зависит не только от растворенной в рапе эманации, но и от солей радия и тория. Одновременно он измерял также радиоактивность

лиманных вод и ила. Во время проведения исследований удалось установить, что из различных горных пород, окружающих лиманы, не активны пески и известняки, а наиболее радиоактивны – глины. В сумме было произведено около 300 измерений радиоактивных вод, ила, горных вод и т.д. (Зайцева, Фигуровский, 1961).

1.3. Методы определения радиоактивности

Одним из определяющих факторов развития первых исследований стали технические возможности и методы проведения анализов проб, опытов и экспериментов. В своей работе ученые в первые десятилетия XX в. использовали несколько методов определения радиоактивности. П.Г. Мезерницкий выделил в качестве основных четыре из них: радиографический, флуороскопический, электрический и термический (Мезерницкий, 1914).

Радиографический метод заключался в действии радиоактивных веществ на фотопластинку в темноте, однако основным недостатком этого метода служила способность некоторых нерадиоактивных веществ действовать на пластинку при длительном соприкосновении с ней (воск, цинк, некоторые пары и газы, выделяющиеся из органических соединений и др.).

Флуороскопический метод состоял в том, что к экрану, покрытому флуоресцирующими соединениями, «*приближают испытуемые вещества и по большей или меньшей яркости свечения экрана делают заключение о большей или меньшей их радиоактивности*» (там же, с. 8).

Электрический метод считался самым точным и единственно пригодным для научных исследований. Он основан на измерении силы тока, проходящего через ионизированный «лучами» радиоэлементов воздух. Для измерения тока использовались электроскопы и электрометры, фонтаскопы (использовались преимущественно при измерении радиоактивности жидкостей – минеральных источников и т.д.). Каждый аппарат для измерения активности состоял из двух частей: измерительного прибора и цилиндра для ионизации воздуха.

Термический метод основывался на предположении, что «общая энергия лучей пропорциональна количеству радиоактивного вещества. Достаточно поэтому посредством чувствительного термометра измерить развивающееся тепло при полном поглощении лучей, чтобы вычислить, какому количеству радия оно должно соответствовать» (там же, с. 8).

Электрический метод (определение ионизации воздуха путем спадения листочков электроскопа) считал одним из основных и доктор А.В. Бекетов, но подчеркивал и значение исследований на флюоресценцию и почернение фотографической пластинки (Бекетов, 1914).

В.И. Спицын в своих исследованиях для определения радиоактивности грязей использует два метода: Strutt'a-Jolly и Elster-Geitel'я. Первый метод, который ученый называет более рациональным, заключается в том, что «*грязь или вообще исследуемую породу переводят в раствор или сплавляют в электрической печи и изгнав целиком эманацию из данной навески, определяют по ней прямо содержание в долях грамма Rd и Th на грамм породы*» (Спицын, 1915, с. 3). Вторым методом заключается в определении степени ионизации воздуха, вызываемой помещенной в электрометр высушенной и измельченной грязью. «*Для быстрого количественного радиоактивного анализа грязей приходится пользоваться способом Elster-Geitel'я*» (там же, с. 12). При проведении работ ученый использует электрометр Шмидта, фонтатоскоп.

1.4. Создание в регионах России научно-исследовательских центров изучения естественной радиоактивности природных систем биосферы

Казалось бы, то, что началось на первый взгляд с разрозненных исследований в области изучения радиоактивности природных сред и влияния радиации на живые организмы после открытия Беккерелем явления естественной радиоактивности в 1896 году, в разных регионах страны и специалистами разных областей знаний, позже послужило ценнейшим научным материалом для

систематизации знаний по радиоактивности, причем проведение исследований природных сред в разных географических провинциях позволило сформировать большую базу эколого-биологических данных. Именно результаты проведенных работ позволили прийти к пониманию необходимости создания радиологических центров в разных регионах страны: в 1910 году начала функционировать первая радиологическая лаборатория в Одессе, в течение следующих десяти лет проводится большой объем систематических исследований в созданных центрах изучения радиоактивности в Москве, Томске, Санкт-Петербурге.

1.4.1. Одесская радиологическая лаборатория

Одесская радиологическая лаборатория была создана в марте 1910 г. постановлением общего собрания членов Одесского отделения Императорского русского технического общества. Как определил инициатор создания и руководитель лаборатории химик-неорганик и геохимик Евгений Самойлович Бурксер, главной задачей лаборатории было исследование русских радиеносных минералов, определение радиоактивности минеральных вод и грязей, в частности одесских лиманов, а также изучение радиоактивности в научном и практическом отношении (Бурксер, 1911). К важным направлениям работ лаборатории относилось изучение биологического действия радиоактивных веществ.

Изначально создание радиологической лаборатории в Одессе сопровождалось большими трудностями, прежде всего возникли проблемы финансирования работ (правительство не посчитало нужным выделить средства), отсутствия необходимого для исследований оборудования. Несмотря на сложности и маленький штат сотрудников Одесская лаборатория начала исследования радиоактивности минеральных источников, почв и грязей не только районов Юга, но и других регионов России. Разосланные предварительно запросы с просьбой направить на безвозмездной основе для исследования образцы минералов и руд, в которых могут содержаться радиоактивные элементы, вызвали большой интерес. Благодаря представленным в лабораторию образцам со всей

страны стало возможным начать исследования и возник первый центр по изучению радиоактивности в России. То, что именно на периферии, а не в центральных регионах России возникла первая радиологическая лаборатория, подтверждает отзыв академика В.И. Вернадского о работах Е.С. Бурксера, датированный письмом от 09 февраля 1939 г., в котором Владимир Иванович подчеркивает, что появление такого учреждения случилось *«раньше, чем создалась организация этих исследований в Ленинграде при Академии Наук»* (Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 211).

По мере расширения научных задач лаборатории были организованы экспедиции в различные регионы России. В июне 1912 г. началась экспедиция по изучению радиоактивности минеральных источников Кавказа, задачи которой касались не только определения радиоактивности минеральных источников Тифлисской губернии, а были также ориентированы на установление причин радиоактивности этих источников путем исследования свойств отложений и горных пород. В результате экспедиции удалось определить радиоактивность около 60 минеральных источников Тифлисской губернии и Батумской области. В 1913 г. сотрудниками лаборатории был проведен значительный объем работ, несмотря на малочисленный состав из четырех человек, работавших без вознаграждения (Е.С. Бурксер, О.В. Клефнер, С.Н. Зайцев, Г.К. Савченко-Бельский).

Исследования и работы Бурксера не ограничиваются только задачами геохимии; человек обширных взглядов он понимает необходимость изучения воздействия радиации на живые организмы. Так, в 1913 г. лабораторией начато изучение действия радиоактивных веществ на растения и животных. В 1914 г. доктор М.А. Мисиков изучал действие радиоактивных веществ на бактерии (Зайцева, Фигуровский, 1961). В этом же году при радиологической лаборатории впервые началась организация специального биологического отдела. Подробно научная деятельность и процесс развития исследований Одесской

радиологической лаборатории в период 1917-1925 гг. изложены Е.Л. Якимюк (2012).

Раскрыть и осознать многогранность проводимых Бурксером и его радиологической лабораторией работ позволяет переписка с В.И. Вернадским, с которым Евгений Самойлович в письмах делится результатами своих исследований, просит советов и *«ценных указаний»* (Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 210). В них кроются факты, которые помогают уловить ход и направление мыслей ученого, проследить изменение его научных интересов, найти подсказки к определению той роли, какую сыграли труды Бурксера в развитии радиоэкологических наблюдений и радиоэкологии в целом.

Первое упоминание о живых организмах встречается в письме В.И. Вернадскому от 10 марта 1911(?) г., в котором он приводит результаты исследований минеральных источников Кубанской области и говорит, что четыре из них *«содержат чистого йода в литре больше, чем водоросли»* (Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 212). Иных упоминаний или описаний поставленных опытов, которые могли бы разъяснить полученные результаты, в письме не приводится.

В письме от 28 октября 1912 г. (там же) указывается на то, что радиоактивность отложений Екатерининского и других источников в Боржоме зависит почти исключительно от радия. Отложения других источников Кавказа оказались очень слаборадиоактивными, что Бурксер объяснял это вероятной зависимостью *«от различных условий образования отложений»*. Это свидетельствует о понимании ученым необходимости отслеживания взаимосвязей между различными компонентами природных сред. Работа в этом направлении активизируется после 1920-х гг. По совету В.И. Вернадского в программу исследований лаборатории включается изучение морских водорослей (Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 210). Бурксером подготовлена работа о составе коллоидов иловых грязей, **природу их возникновения он объяснял жизнедеятельностью соответствующих бактерий и водорослей.**

В середине 20-х гг. ученый начинает работы биогеохимической направленности: *«Область исследования живого вещества меня сейчас очень интересует, и несколько работающих у меня химиков по определению в нем Ra, Rb, Th, Y охотно вместе со мною будут работать под вашим руководством»* (письмо б/д. Здесь и далее, если не указано иное, выделено мной - Е.М.). В 1927 г. Бурксер впервые дал количественное определение содержание радия в живых организмах, что подтверждает приведенное ниже письмо (копия письма приведена в приложении 4). Определение было сделано раньше и независимо от работы Всесоюзной Академии, где такие работы начались в 1926 г. в биогеохимическом отделе Комиссии Естественных Производительных Сил (Вернадский, 1929).

В письме Евгений Самойлович пишет:

«Многоуважаемый Владимир Иванович!

Получил Ваше письмо. Интересующая Вас работа о Ra в растениях напечатана мною в Biochem. Leitschrift. Вероятно, в 1 кв. номере, но ни журнала, ни оттисков пока я не получил. По получении тотчас вышлю. Насколько мне известно, до сих пор Ra в растениях не определяли. Работу эту я продолжаю и сейчас. Th мы искали и не нашли, но наша установка не обнаруживает в общей массе менее 0,5 мгр Th, с лицензиями и деньгами на работы сейчас очень плохо.

Уран мы обязательно поищем химическим путем: важно наладить правильный сбор материала. Я охотно буду исследовать предлагаемые Вами образцы видных организмов. Боюсь только, что обнаружение столь ничтожных количеств урана представит огромные затруднения – может быть, искать накопления UX после удаления Ra?

Работа с микро.... [неразб.] идет хорошо, первоначальная обработка поср. H_2SO_4 и HF – далее удаление SO_4 в виде $BaSO_4$.

Получил Вашу речь «О рассеянии хим.элементов». Мне кажется, если удастся в ряде организмов определить весь комплекс радиоактивных элементов (H, Th, Rb, Ra, K), можно будет прийти к каким-либо выводам об их роли в

явлениях жизни или случайности их нахождения в живом веществе. Пока я ставлю опыты с семенами гороха (лат. Pisum), пшеницы (лат. Triticum), льна (лат. Linum), горчицы (лат. Sinápis). Далее думаю исследовать икру рыб, яйца. К сожалению, очень мало средств и работы очень задерживается.

Всего хорошего, Е. Бурксер.

Одесса, 19.02.1927 г.».

Заинтересовавшись работой Вернадского «О рассеянии химических элементов», чуть позже Бурксер напишет в одном из писем: *«Я считаю необходимым во всех случаях определять также Rb, K и Th, чтоб произвести полный учет всех радиоактивных элементов в организмах и ископаемом живом веществе»* (Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 210).

В ответ на запрос Вернадского в одном из писем конца 20-х гг. (копия письма приведена в приложении 5) ученый сообщает Владимиру Ивановичу результаты для ряски – $2,55 \cdot 10^{-11}$ % Ra в живом веществе – и подчеркивает, что сотрудниками лаборатории *«исследован целый ряд проб «живого вещества», но лишь в редких случаях наблюдается такая радиоактивность»* (там же).

В начале 1930-х гг. в лаборатории начали ставить опыты по определению радия в молоке, воловьем мясе, картофельных клубнях, бычках, раках и яблоках *«в целях выяснения радиоактивности различных видов жизни»*, а также в туге (Thúja), для которой были получены очень высокие значения радиоактивности.

Одесской радиологической лабораторией проводились мониторинговые исследования воздуха, о чем говорит следующий отрывок из письма В.И. Вернадскому от 05 февраля 1938 г.: *«Я сейчас начал работы по сравнению различных методов определения в воздухе озона и йода, т.к. с мая я думаю возобновить свои наблюдения в 3 пунктах: у моря, в степи и сосновом лесу Киевской обл.»* (отрывок письма приведен в приложении 6). Проведение наблюдений в различных пунктах свидетельствует о системном подходе к проведению работ и учете экологических особенностей местности.

Бурксером также уделялось внимание вопросам, связанным с изучением *жизни* соляных водоемов, которые интересовали В.И. Вернадского. В своих исследованиях Евгений Самойлович подходит к доказательству роли живого вещества, активно изучает и доказывает роль бактерий в геохимических циклах. Им выявлено, что в процессах метаморфизации озер основную роль играют сульфат-редуцирующие бактерии, что удалось показать на процессе образования сероводорода в слоях рапы Славянских озер в так называемых воронках (там же).

Работа Одесской лаборатории осуществлялась в тесном контакте с работами, которые проводились в Петербурге в Радиевом институте и Биогеохимической лаборатории. Сохранившаяся в архивах переписка доказывает, что Бурксер всегда видел в лице В.И. Вернадского научного руководителя и постоянно обращался к нему за *«авторитетным советом»*. Этому свидетельствует 13 съезд русских естествоиспытателей и врачей, состоявшийся летом 1913 г. в г.Тифлисе. На съезде был поднят вопрос о дальнейшем планомерном изучении радиоактивных богатств страны, подчеркнута необходимость разработки общих методов радиоактивных исследований, а также выдвинуто предложение об определении центрального учреждения для изучения радиоактивности. В качестве потенциального кандидата рассматривалась Одесская радиологическая лаборатория, однако Е.С. Бурксер заявил, что центральным учреждением, объединяющим работы всех русских ученых-радиологов, должна стать «Радиевая комиссия», организованная при Академии Наук инициатором в деле исследования радиоактивности в России В.И. Вернадским (Зайцева, Фигуровский, 1961).

Энтузиазм Бурксера привел к тому, что лаборатория продолжила действовать и в 1921 г. была преобразована в Институт прикладной химии и радиологии, а в 1925 г. – в Химико-радиологический институт, ставший центром радиологии на юге России.

Таким образом, Е.С. Бурксер не только внес вклад в изучение радиоактивности южных регионов страны, но активно интересовался

исследованиями природных объектов иных районов, осуществлял мониторинговые исследования горных пород, илов, природных вод, атмосферного воздуха. Результаты первых лет работы лаборатории по наблюдению косных тел и абиогенных процессов их образования привели ученого к пониманию необходимости изучения биологической составляющей, оценке роли живого вещества. Для этого в лаборатории был организован специальный биологический отдел.

1.4.2. Московский центр изучения радиоактивности

В радиологической лаборатории Московского университета, основанной позже Одесской, уже в 1912 г., как отмечает К.П. Яковлев в своей работе «К истории первых работ по радиоактивности в Физическом институте МГУ», начинали свой путь в науку В.И. Спицын, В.И. Баранов, В.А. Соколов, Е.С. Щепотьева, З.В. Ершова, О.Г. Грачева и др. (Яковлев, 1963).

А.П. Соколов, установивший одним из первых радиоактивные элементы, которые вызывают радиоактивность целебных грязей и минеральных источников, после тяжелой операции проходил лечение во Франции, где работал в лаборатории М. Кюри в Париже. Вернувшись в Москву, в начале 1912 г. он вместе с ассистентами К.П. Яковлевым и А.П. Снесаревым приступил к созданию радиологической лаборатории при физическом институте Московского университета. Как и Бурксера, Соколова ожидали сложности, однако почти сразу в лаборатории был установлен прибор для определения радиоактивности природных сред.

Придавая большое значение исследованиям радиоактивности природных объектов России и осознавая роль местного населения в изучении глубинки, А.П. Соколов установил связь с минералогическими учреждениями и краоведами различных регионов страны и организовал экспедицию на Урал (Зайцева, Фигуровский, 1961).

В 1913 г. радиологической лабораторией был создан практикум по радиоактивности для студентов, выпущено первое учебное пособие — методическая разработка к задачам практикума. К периоду работы лаборатории относятся не только исследования радиоактивности воздуха, целебных грязей, почв и вод некоторых минеральных источников России, но и работы по определению радиоактивности горных пород, руд, минералов из русских месторождений.

Профессору А.П. Соколову как физику по образованию удалось подойти к постановке задач исследований в более широком охвате – в программу работ была включена методика определения радия и радона. Он разработал компенсационный метод определения радия по радону, получивший в дальнейшем всеобщее признание и являющийся в течение длительного времени наиболее точным методом определения малых количеств радия и радона (25 лет Радиевого института, 1947).

Созданная А.П. Соколовым лаборатория стала первым центром изучения радиоактивности в Центральной части России. Благодаря проводимым в лаборатории систематическим исследованиям радиоактивности минеральных вод и отчасти грязей и атмосферного воздуха ряда районов России были выявлены многие закономерности, заложены основы систем наблюдений, осуществлялась активная популяризация знаний и появились первые специалисты-радиологи.

1.4.3. Сибирский центр изучения радиоактивности

Через десять лет после начала исследований П.П. Орловым радиоактивности природных объектов Сибири, в 1914 г. была создана лаборатория Томского университета, ставшая под его руководством центром изучения радиоактивности в регионе. Сложности в создании радиологического центра у профессора были связаны не только с отсутствием необходимых средств, но с удаленностью и труднодоступностью Сибирского региона и Алтая и слабой заинтересованностью местной общественности к явлениям радиоактивности, о

чем позволяет судить переписка ученого с В.И. Вернадским (Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 1214).

В 1915 г. работа профессора П.П. Орлова «К вопросу о нахождении радиоактивных веществ в шлаках золотоносных областей России» была опубликована в виде отдельного 6 выпуска Трудов Радиевой экспедиции Императорской Академии наук. Она представляет интерес для исследователей радиоактивности и в настоящее время.

Альтруизм Орлова помог разработать фундаментальную научную программу по изучению радиоактивности и радиоактивных веществ в Сибири. Она составлялась с привлечением широкого круга специалистов различных областей знаний: А.И. Ефимова (зав. кафедрой физики Технологического института), Д.А. Алексеева (зав. кафедрой химии), геологов и горняков П.П. Гудкова, А.В. Лаврского, Б.Л. Степанова, Л.Л. Тове и др., что обусловило ее комплексность и высокую научную значимость (Рихванов, 1997).

Вместе с отцом изучала радиоактивные источники Сибири и выезжала в экспедиции М.П. Орлова (1890-1956), ставшая впоследствии профессором кафедры аналитической химии Томского государственного университета. В 20-х гг. основной объем работ П.П. Орлова и М.П. Орловой был направлен на изучение радиоактивности минеральных вод. В конце 1925 г. Орлова ездила в научную командировку в Москву и Ленинград для ознакомления с работами по радиоактивности. В декабре 1926 г. участвовала в работе 1-го Сибирского краевого научно-исследовательского съезда в Новосибирске с докладом «Нахождение радиоактивных элементов и редких газов в Сибири и возможности их использования». Однако позже Орлова переключилась на изучение натуральных каучуков. После смерти отца в 1937 г. большую поддержку Марии Петровне оказал именно В.И. Вернадский, сочувствие и отеческое отношение которого, о чем свидетельствуют письма Орловой (Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 1214), позволили не бросить научную деятельность и продолжить работу над диссертацией.

Несмотря на то, что основным направлением работ Сибирского центра изучения радиоактивности стал поиск и изучение минеральной базы, профессором Орловым и сотрудниками лаборатории проводились работы по определению радиоактивности различных природных сред, результаты которых актуальны и в наше время для проведения мониторинга и сравнительного анализа. Ученым впервые предложен метод исследования природы радиоактивных минералов, который можно было использовать для ускорения изучения радиоактивных месторождений России.

1.4.4. Центры изучения радиоактивности в Санкт-Петербурге

Впервые интерес академика В.И. Вернадского (1863-1945) к изучению радиоактивности возник в 1908 г. после участия в работе Британской ассоциации наук в Дублине. На этом форуме выступил Д. Джоли, один из основателей новой науки - радиогеологии. Его идеи о тепловом режиме Земли, о связи радиоактивности и геологии увлекли Вернадского (Наумов, Рихванов, 2013). Фактически активные исследования радиоактивности в России начались сразу после открытия явления радиоактивности и проводились уже в течение целого десятилетия. Проведение таких работ в разных регионах страны стало неожиданностью для В.И. Вернадского, которого в первое десятилетие XX в. занимали иные научные задачи. Постоянная переписка с учеными-энтузиастами позволила академику включиться в эту работу и, учитывая отсутствие центрального института или лаборатории, в которых могли бы формироваться единые подходы к проводимым исследованиям, Владимир Иванович стал так или иначе осуществлять методическое руководство этими работами. С ним советовались и просили *«ценных указаний»*.

Видя, как слабо развиты в России минералогия и геохимия, Вернадский настаивал на изучении богатств своей страны. Он хорошо понимал, что эти исследования имеют не только общечеловеческое, но и политическое, международное значение, предвидел, что владение большими запасами радия

может дать могущество и власть. С 1908 г. по инициативе и под общим руководством Вернадского организуются первые широкомасштабные экспедиции по обследованию на радиоактивность различных регионов России. В декабре 1910 г. академик выступил на Общем собрании Российской Академии наук с исторической речью «Задача дня в области радия», в которой подчеркивал важность и необходимость исследования территории России на радий - элемент, открывающий новые горизонты в науке и практической жизни.

С 1911 г. Владимир Иванович организует ряд экспедиций в Забайкалье, Закавказье, Среднюю Азию, на Урал. Вскоре при участии К.А. Ненадкевича в Петербурге создается Минералогическая (Радиогеохимическая) лаборатория для исследования радиоактивных минералов.

В 1912 г. по инициативе и под руководством Вернадского организуется постоянно действующая Радиевая экспедиция, на которую была возложена организация всех экспедиционных работ по поиску радиоактивного сырья, а в 1917 г. был создан Радиевый отдел при КЕПС (Комиссия по изучению естественных производительных сил), прообраз будущего Радиевого института. И наконец, в январе 1922 г. создан Государственный Радиевый институт, который, по мысли Вернадского, должен был стать научным центром, объединяющим и координирующим все ведущиеся в России работы по радиоактивности в их физическом, химическом и геохимическом направлениях (Шашуков и др., 1997). Институт объединил в своем составе все имеющиеся к тому времени в Петрограде радиологические учреждения и отдельные подразделения, в том числе Радиевую лабораторию Академии Наук, Радиогеохимическую лабораторию и Радиевое отделение Государственного Рентгенологического и радиологического института.

В последующие годы тематика института существенно трансформировалась. Определяя задачи института на 1927-1928, Вернадский отмечал: *«Главное внимание института будет сосредоточено на трех основных вопросах: первый вопрос – это изучение и освещение роли живого вещества в истории химических элементов в земной коре и, в частности, в вопросе о*

возможном разделении изотоп химических элементов в природе в результате «проявления жизни» (там же, с. 9). Одновременно было предложено основную часть внимания Геохимического отдела обратить на изучение вопроса о распространении радиоэлементов в живой природе, равно как и на организацию изучения радиоактивности морей, вод и горных пород, т.е. на постановку работ с очень слабыми активностями.

Исследования живого вещества с целью определения среднего химического состава растений и животных, их биомассы и продуктивности для последующей количественной геохимической оценки были начаты В.И. Вернадским еще в декабре 1918 г. на Украине в лаборатории технической химии Киевского университета и продолжены в 1919 г. на Старосельской биостанции, где проводилось изучение диатомовых водорослей, биогенных газов в почве, фитомассы лесных экосистем. В 1920 г. во время работы В. И. Вернадского в Таврическом университете биогеохимические исследования организуются на Салгирской плодородческой станции. В 1926 г. Вернадский при поддержке Академии наук организовал при Комиссии по изучению естественных производительных сил СССР Отдел по изучению живого вещества. Вначале он работал с двумя штатными сотрудниками и рядом нештатных, составивших впоследствии ядро будущей Биогеохимической лаборатории. В числе первых сотрудников созданного Отдела по изучению живого вещества оказался химик и врач Александр Павлович Виноградов (1895-1975). Летом 1927 г. Виноградовым были организованы летние экспедиционные работы по сбору организмов и растений для определения их химического элементного состава и радиоактивности. Работы проводились в районе Петергофа.

В 1928 г. из Отдела по изучению живого вещества при КЕПС на базе Радиевого института создается Биогеохимическая лаборатория Академии наук (БИОГЕЛ), где были заложены теоретические, методические и экспериментальные основы биогеохимического направления исследований. Став первым её директором, В.И. Вернадский оставался им до конца жизни – в течение

16 лет. Основной научной задачей лаборатории явилось познание явлений жизни с геохимической точки зрения. В.И. Вернадский выделял четыре основные задачи, стоящие перед лабораторией: 1) сопоставление изотопного состава химических элементов в живом и неживом веществе; 2) количественное определение элементарного химического состава живых организмов; 3) определение геохимической энергии живых организмов; 4) определение радиоактивности организмов и ее вклада в геохимическую энергию живого вещества (Из истории организации биогеохимических исследований...). В исследованиях должны были учитываться происхождение организмов, их экологические особенности, систематическое положение и региональная специфика распространения. Главной организационной задачей стало создание мощной аналитической базы. Такие исследования проводились впервые не только в СССР, но и во всем мире (Архив РАН. Ф. 566). Особенности создания Биогеохимической лаборатории Академии наук³ и ее развитие нашли отражение в переписке В.И. Вернадского и А.П. Виноградова, которая содержит ценные факты, мысли, обсуждения задач и результатов работ. Именно вклад этих выдающихся ученых в работу БИОГЕЛ позволил развить новую область научного знания – биогеохимию. В письме Виноградову от 06.09.1932 Вернадский таким образом акцентирует основное значение работ лаборатории: *«В сущности неизбежно биогеохимическая лаборатория должна изучать биосферу – но выдвигать биологическую сторону явлений, как менее изученную, в этом аспекте»* (Переписка В. И. Вернадского и А. П. Виноградова, 1995, с. 95). Виноградову была поручена научная организация систематических исследований по сбору и химическому анализу живых организмов. Он и сотрудники лаборатории осуществляли отбор огромного количества живых организмов, определяли вес растений, насекомых, планктона.

³ В 1934 году Лаборатория переименовывается в Биогеохимический институт АН СССР, а в 1947 году преобразуется в Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского

«В работе Биогеохимической лаборатории мы обращаем очень большое внимание на изучение концентрации химических элементов живыми организмами по сравнению с их средним содержанием в среде жизни организма. Мы смогли поставить эту работу и ищем концентраторов хрома, ванадия, марганца, и т.д. – но эти явления интересуют нас в первую голову в связи с отражением биогеохимических процессов в живом веществе, а не в связи со средою его жизни. Но концентрация организмами радия ни в коем случае не может быть оставляема без внимания в структуре биосферы» (там же, с. 43).

Доказательством концентрационной функции организмов по отношению к радию стало получение количественных данных о его содержании в пяти видах ряски (*Lemna*) в прудах под Ленинградом и Киевом (работы Б.К. Бруновского и К.Г. Кунашевой). В письме Виноградову от 17.07.1927 Вернадский обращает особое внимание на изучение ряски и определяет необходимость проведения повторных работ: *«... хорошо бы иметь два анализа в разное время. Тогда мы будем иметь для этой Lemna четыре анализа разных аналитиков и в разное время. Было бы очень хорошо иметь ту же ряску из совсем другой местности»* (там же, с.21). Данные для ряски из *«совсем другой местности»* были получены благодаря исследованиям Е.С. Бурксера (см. подраздел 2.1.). Основные результаты работы за несколько лет нашли отражение в докладе В.И. Вернадского *«О химическом элементарном составе рясок (Lemna) как видовом признаке»* (Вернадский, 1931).

Проводимые сотрудниками лаборатории исследования позволили заключить: *«Несомненна концентрация радия (радиоактивных элементов?) в водных организмах в десятки, сравнительно с нормальным рассеянием – или даже с концентрацией Ra в почве»* (письмо Вернадскому от 24. 03.1928, Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 334). В 1930-31 гг. больший интерес проявляется к изучению состава водорослей, особое значение приобретают работы Мурманской экспедиции. Для проведения опытов применялись различные методы и методики: сжигание растений, опыты возгонов от организмов, микрометрическое

определение, озоливание, количественные анализы, микрометод. Спектроскопия в первые годы существования лаборатории не проводилась – не было нужного оснащения, и приходилось высылать образцы за границу В.И. Вернадскому, но даже в Париже были проблемы с использованием этого метода, что подтверждает письмо Вернадского Виноградову от 28.03.1928 (Переписка В. И. Вернадского и А. П. Виноградова, 1995, с. 36). Сотрудникам БИОГЕЛа – первопроходцам биогеохимических исследований приходилось постоянно искать новые технологии, *«налаживать методы»*.

В.И. Вернадский отслеживал все научные труды того времени, которые могли бы помочь в развитии исследовательских работ. Так, в одном из писем от 13.06.1931 (Переписка В. И. Вернадского и А. П. Виноградова, 1995, с. 69) он просит Виноградова уточнить данные о сине-зеленых водорослях, полученные В.М. Будриком (1926). В переписке встречается упоминание работ Бурксера по определению Rb в морской воде (по-видимому, имеется в виду «Опыты определения рубидия в воде Черного и Азовского морей и одесских лиманов» (Бурксер и др., 1932)). В нескольких письмах Владимир Иванович ссылается на труды П.П. Орлова и М.П. Орловой.

1. Таким образом, работы по изучению радиоактивности природных сред, проводимые в регионах, нашли отражение и в формировании программ исследований Биогеохимической лаборатории. Это позволило проводить сравнительный анализ результатов, полученных в различных местностях и условиях. Примечательно, что сотрудники БИОГЕЛа осуществляли не просто отбор живого вещества для исследований, а отслеживали места и условия обитания организмов. Ученых интересовали не только показатели единичных живых организмов, но и их соотношение с показателями биоценозов, в которых они обитают. Например, проводился отбор проб биомассы луговых биоценозов, биоценозов пней, перегноя – *«объединений, дающих представления о запасе элементов»* (Письмо Виноградова Вернадскому от 07.06.1932. Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 334).

Заключение к Главе 1

Открытие явления радиоактивности можно считать точкой отсчета в развитии первых радиозкологических наблюдений. Одними из первых ученых, начавших изучать биологическое действие радиоактивности, были И.Р. Тарханов, Е.С. Лондон, Л.М. Горовиц, С.В. Гольдберг. Анализ изученных работ конца XIX-начала 40-х гг. XX в. показал, что радиозкология зарождалась на основе синтеза различных знаний, она тесно переплетена прежде всего с радиобиологией, радиационной гигиеной, бальнеологией и др. науками. Неожиданные физические свойства радия первым делом вызвали радиобиологический интерес, возникла *«надежда утилизировать новооткрытое вещество с терапевтической целью»* (Горовиц, 1906). И хотя большая часть первых работ по изучению влияния радиации на живые организмы носила радиобиологический характер, проведенный анализ не позволяет проводить четкую черту между радиозкологией и радиобиологией в первое десятилетие XX в., настолько тесно они были взаимосвязаны.

Одним из главных научных направлений после 1896 г. стало также изучение естественной радиоактивности природных сред. В качестве приоритетных направлений исследований по изучению радиоактивности природных сред в первом десятилетии XX века можно выделить следующие:

- исследования воздушной среды, вод, почв, минеральных источников, грязей в бальнеологических и климатотерапевтических целях для развития отечественных курортов и здравниц.
- исследования горных пород, воздушной и водных сред при поиске месторождений радиоактивных минералов.

Системное изучение грязей и минеральных вод имело большое значение для развития радиозкологических наблюдений и послужило одной из важнейших предпосылок последующего развития радиозкологического мониторинга. Причем именно тогда, в период с 1896 г. по 1910 г., одноразовые наблюдения начинают уступать систематическим многократным. В работах начинают прослеживаться

элементы мониторинга – ученые приходят к пониманию необходимости возвращаться к предыдущим исследованиям, отслеживать динамику, взаимосвязи и закономерности распространения, изучать изменение результатов по времени и сезонам. Изменяются также технические и технологические возможности осуществления наблюдений, совершенствуется приборная база, что является одним из факторов развития и становления систем радиоэкологического мониторинга.

Изначально первые радиологические лаборатории России создавались для изучения радиоактивности природных сред. При проведении многочисленных наблюдений и постановке экспериментальных опытов постепенно стал проявляться интерес ученых к воздействию радиоактивного излучения на живые организмы, роли живого вещества в радиоактивности среды. В программы исследований российских региональных центров изучения радиоактивности ставились исследования по изучению живых организмов, в программы полевого мониторинга – наблюдения эколого-биологической составляющей.

Все лаборатории поддерживали постоянную связь с Минералогической лабораторией, организованной в 1911 г. при Геологическом и Минералогическом музее Академии наук. Академик Владимир Иванович Вернадский включился в эту работу в 1908 г. До этого более 10 лет велись активные исследования радиоактивности природных сред, под его руководством они получили статус системности и государственной поддержки (Онопrienko, 2014).

Таким образом, первые исследования радиоактивности природных сред и влияния ионизирующих излучений с момента открытия рентгеновских лучей в 1895 г. и явления радиоактивности в 1896 г. до 1940-х гг. можно обозначить как начальный этап развития радиоэкологических знаний. Сформировавшаяся база первичных радиоэкологических данных заложила необходимый фундамент для дальнейшего становления радиоэкологии. Общий обзор первых радиоэкологических исследований в России, проводимых на начальном этапе становления радиоэкологии, приведен в Приложении 7.

Основные ключевые фигуры и события I – начального – этапа развития радиоэкологических знаний отражены на рисунке 1.

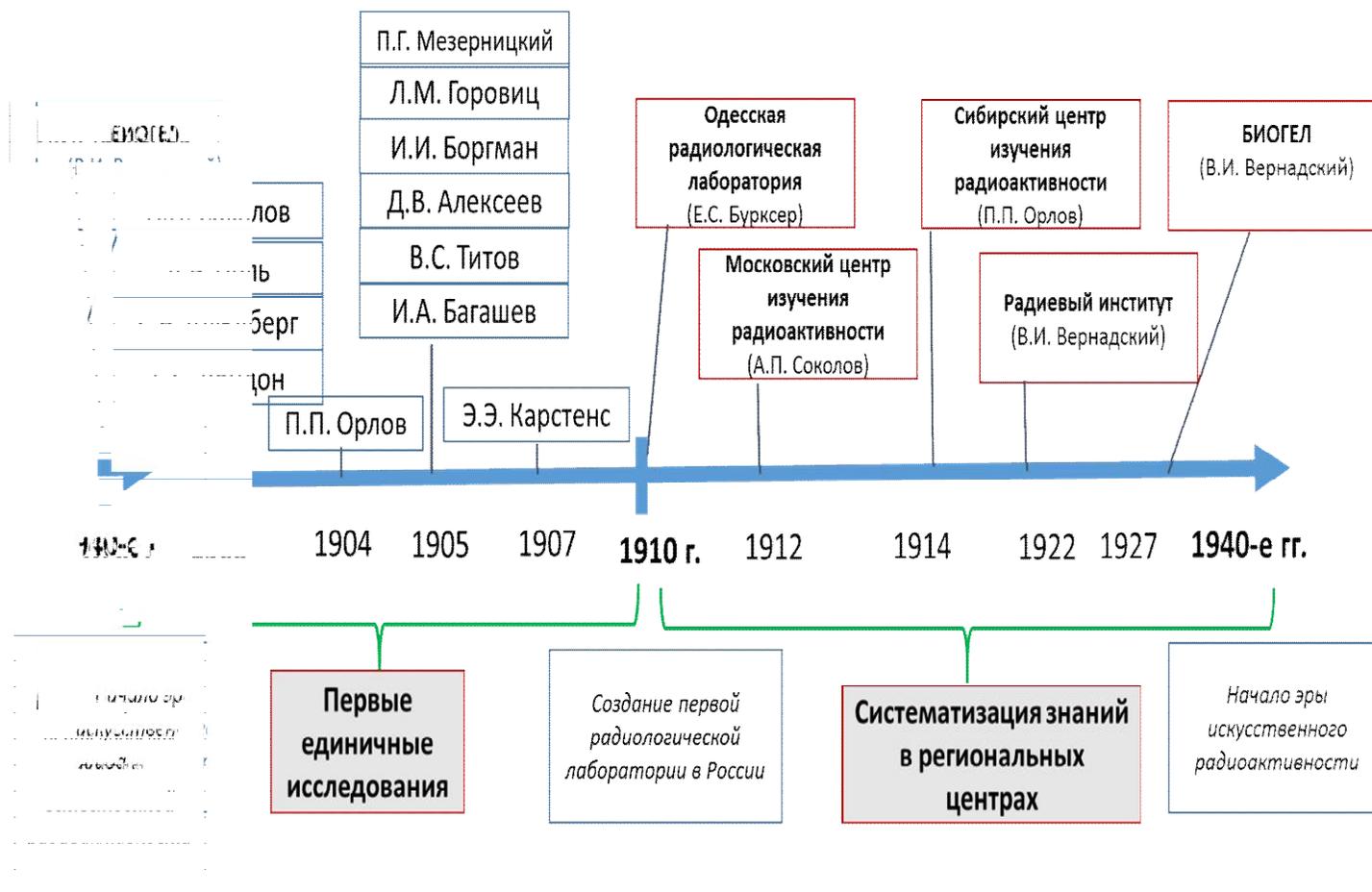


Рисунок 1.

Основные ключевые фигуры и события начального этапа становления радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга (Составлено автором)

Глава 2

Научные предпосылки формирования радиоэкологии как фундаментальной основы радиоэкологического мониторинга

Мощный импульс для дальнейшего углубления радиоэкологических знаний и развития мониторинговых исследований дало учение В.И. Вернадского о биосфере, а затем создание биогеоценологии В.Н. Сукачева. В представленной работе впервые предпринимается попытка представления учения о биосфере Земли и биогеоценозах как базисе развития радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга.

2.1. Учение В.И. Вернадского о биосфере

Поворотным моментом в развитии радиоэкологических исследований стало учение о биосфере академика В.И. Вернадского. Именно он смог оценить огромное значение явления радиоактивности для развития науки и общества в будущем. Возникновению учения о биосфере способствовал длительный период накопления знаний в области естественных наук. К началу XX в. назрела необходимость его обобщения и систематизации. Одним из первых ученых, которому удалось по-новому осмыслить взаимосвязь компонентов природы и взглянуть на них в целом, стал В.В. Докучаев (1846-1903) – создатель учения о почве. В его трудах о почве как уникальном природном теле нашли отражение принципы оригинального комплексного синтетического подхода к естественнонаучному знанию (Докучаев, 1898, 1948). Установленная Докучаевым связь между живыми и неживыми компонентами природы имела большое значение для развития таких научных направлений, как биогеохимия, ландшафтоведение, биогеоценология, экология и др. Достойным учеником Докучаева стал В.И. Вернадский.

«В.И. Вернадский поставил докучаевский метод на строгую количественную основу: главным в разработке концепции о биосфере стал метод эмпирического обобщения, который, согласно В.И. Вернадскому, опирается на факты, не выходя за их пределы и не заботясь о согласии или несогласии полученного вывода с имеющимися представлениями о природе» (Назаров, 1974).

Саму идею существования особой геологической оболочки, сосредоточившей все живое вещество Земли, будущий академик высказал в свои неполные 22 года, о чем свидетельствуют исследования И.И. Мочалова (1982). Обозначенная в конце 1884 г. идея биосферы содержала только намеки на существование взаимосвязи между живой и неживой материей, однако уже тогда ученый подходил к биосфере как к геологической оболочке Земли. С 1916 г. появляются первые работы В.И. Вернадского, посвященные живому веществу. Исследования живого вещества с целью определения среднего химического состава растений и животных, их биомассы и продуктивности для последующей их количественной геохимической оценки начаты В.И. Вернадским, как уже было указано, в 1918 г.

Основные идеи В.И. Вернадского о биосфере сложились к началу 20-х гг. и были опубликованы в 1926 г. в книге «Биосфера», состоящей из двух очерков: «Биосфера в космосе» и «Область жизни».

Само учение о биосфере состоит из отдельных учений, которые представляют собой самостоятельные научные концепции. Основным из них является учение о живом веществе – основополагающем в биосферной концепции В.И. Вернадского. Ученый определил живое вещество как совокупность всех живых организмов, неразрывно связанных с биосферой, как ее функция и как часть ее структуры.

Вернадским было выделено шесть основных функций биосферы, большинство из них представляют биогеохимические функции живого вещества. С позиций проводимого исследования наиболее значимыми из них представляются две: функция рассеяния атомов и концентрационная функция.

Обобщая большое количество экспериментальных данных В.И. Вернадский в 1909-1910 гг. пришел к выводу о повсеместном распространении всех химических элементов. Именно благодаря функции рассеяния атомов формируется неоднородный радиационный фон в различных регионах Земного шара.

Концентрационная функция определяется способностью различных видов живых организмов накапливать отдельные химические элементы. Важным направлением исследований для ученого стало установление концентрации естественных радионуклидов живым веществом биосферы в целом и накопление их отдельными видами организмов. Одни из первых экспериментов по концентрации редких и рассеянных элементов в чистой воде и в планктоне показали, что *«в планктонных живых организмах концентрация в них в основном радия, отчасти радиоактивного тория, вообще природных естественных радиоактивных изотопов в сто раз выше, чем в окружающей воде. Значит, действительно живые организмы весьма интенсивно накапливают, концентрируют, а в связи с этим и транспортируют рассеянные редкие элементы и вещества»* (Тимофеев-Ресовский, 2000, с. 79). Концентрационная функция имеет исключительное значение для становления радиоэкологии и организации систем радиоэкологического мониторинга, что сумел глубоко осознать Н.В. Тимофеев-Ресовский, впервые сформулировавший понятие коэффициентов накопления, суть которых раскрыта далее в подразделе 2.5.

В итоговом обобщающем труде «Химическое строение биосферы Земли и её окружения», являющемся синтезом всех работ ученого, посвященных изучению биосферы, Вернадский писал: *«Живые организмы являются функцией биосферы и теснейшим образом материально и энергетически с ней связаны, являются огромной геологической силой, ее определяющей»* (Вернадский, 1989).

2.2. Биogeоценологическая концепция В.Н. Сукачева

Одним из последователей В.И. Вернадского стал Владимир Николаевич Сукачев (1880-1967) – выдающий русский ученый, впитавший идеи В.В. Докучаева, В.И. Вернадского, Г.Ф. Морозова и создавший новое научное направление – биogeоценологию.

Начало научной деятельности Владимира Николаевича связано с развитием ботанической географии (Дылис, 1958), затем его внимание привлекает зарождающаяся наука о растительных сообществах Земли – фитоценология. На основе этой науки и докучаевского почвоведения Г.Ф. Морозов построил свое учение о лесе (Морозов, 1949), а Сукачев способствовал его дальнейшему развитию.

Отслеживая траекторию мысли о комплексности природных явлений у Сукачева, нельзя не отметить огромный практический опыт, который помог ученому прийти к столь значимым научным обобщениям. Сукачевым и его учениками были поставлены многочисленные эксперименты по изучению растительных сообществ как в искусственно созданных посевах, так и в естественных сообществах. Он руководил десятками экспедиций, работавшими в разное время на территории всего Советского Союза, организовал ряд стационаров в заповедниках, лабораторий, научных обществ и др. О проводимых экспедиционных исследованиях, позволивших накопить достаточный фактологический материал и прийти к пониманию сущности биogeоценоза, говорят воспоминания современников ученого (Блюменталь, 1986).

Основной объем экспериментальных исследований проводился в заповеднике «Лес на Ворскле»⁴, где детально изучались строение лесостепных

⁴ Участок экспериментальных исследований, расположенный в Белгородской области. С 1924 года существовал как заповедник «Лес на Ворскле», который в 1951 году был ликвидирован и стал учебно-опытным лесным хозяйством. В настоящее время участок заповедника «Белогорье»

трехсотлетних дубрав, сезонные и многолетние изменения сообществ, их средообразующее влияние на микроклимат. В них участвовали, кроме геоботаников, специалисты по позвоночным животным, энтомологи, микологи, альгологи и почвоведы. Сукачев писал впоследствии, что идеи о биогеоценозе как особом природном объекте и о необходимости выделения особой науки биогеоценологии сформировались у него во время комплексных исследований в «Лесу на Ворскле».

Первые представления о тесной взаимосвязи живых организмов в растительных сообществах и среды их обитания были высказаны В. Н. Сукачевым еще в 1915 г. в работе «Введение в учение о растительных сообществах». Позднее он неоднократно возвращался к этой идее, дополняя ее новыми фактами. Оформление нового учения о биогеоценозе происходит с 1940 г., когда В. Н. Сукачев высказал свое представление о сложных природных комплексах, которые он сначала назвал геоценозами (Сукачев, 1928).

В 1947 г. концепция о биогеоценозе была теоретически обоснована в статье «Основы теории биогеоценологии» (Сукачев, 1947). Наиболее полное представление о биогеоценозах изложено В. Н. Сукачевым в изданной под его общей редакцией и при непосредственном участии коллективной монографии «Основы лесной биоценологии». Здесь он определил биогеоценоз как *«совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействий этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутреннее противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении, развитии»* (Основы лесной биогеоценологии, 1964, с. 23).

Учение о биогеоценозе отражает идею взаимодействия явлений органической и неорганической природы. Вслед за В.И. Вернадским, В.Н.

Сукачев также отмечает особую роль растительных и животных организмов в трансформации вещества и энергии, формирует концепцию биогеоценологии, основываясь на биогеохимических функциях живого вещества, сформулированных в труде «Биосфера». При характеристике биогеоценозов Сукачев подчеркивал, что процессы обмена вещества и энергии в биогеоценозах, взаимосвязь их с другими природными явлениями находятся в зависимости от свойств первичных компонентов ценоза, которые определяют всю жизнедеятельность биогеоценоза.

Термин «биогеоценоз» иногда ошибочно трактуется как синоним термина «экосистема», введенного британским ученым А. Тенсли в 1935 г. Сам Сукачев подчеркивал, что *«понятие биогеоценоза близко к понятию экосистемы, предложенному Тенсли»* (Сукачев, 1945). Однако, несмотря на сходство двух концепций, они не тождественны. Экосистема — образование более общее, безранговое. Экосистема может быть представлена прудом, болотом, лужей, муравейником, горным хребтом и биосферой в целом. Биогеоценоз ограничен границами растительного сообщества — фитоценоза и обозначает конкретный природный объект, занимающий определенное пространство на суше и отделенный пространственными границами от таких же объектов. Например, лесная экосистема может состоять из нескольких биогеоценозов.

Последователь Сукачева профессор Н.В. Дылис (1912-1985), сравнивает биогеоценоз с *«подлинной природной лабораторией, где одновременно решаются тысячи разнообразных процессов и реакций, из которых наиболее общее и наиболее существенное значение <...> имеют процессы обмена веществом и энергией как между компонентами биогеоценоза, так и между всем биогеоценозом и его ближайшим окружением»* (Дылис, 1978, с. 20). Этот процесс Сукачев назвал основным биогеоценологическим процессом и рассматривал его изучение как одну из основных задач биогеоценологии.

Владимир Николаевич сумел применить биогеоценологический подход в практической деятельности и наглядно доказал, что биогеоценологические

принципы использования природных ресурсов эффективно «работают». Биогеоценотический подход наиболее ярко выразился в решении вопросов защитного лесоразведения. Научная идея была подтверждена трудами экспедиций, в частности Комплексной научной экспедиции Академии Наук по защитному лесоразведению, применявшей принципы биогеоценологического исследования, в которых Сукачеву удалось организовать работу различных специалистов (геологов, геоморфологов, почвоведов, ботаников, зоологов, микробиологов, лесоводов и др.). Экспедиция рассматривала лесную защитную полосу на всех стадиях развития как лесной биогеоценоз, где растительность неотделима от среды произрастания. Такой подход позволил в очень короткий срок представить рекомендации для проектирования и создания полезащитных лесных насаждений (Побединский, 2000).

По сведениям академика М.С. Гилярова (1986), долгие годы сотрудничавшего с Сукачевым по разработке проблем биогеоценологии, в основу деятельности основанного Сукачевым в 1944 г. Института леса АН СССР были положены именно биогеоценологические идеи. Перевод Института леса в Красноярск, превращение его остатков в Лабораторию лесоведения и последующая временная передача ее в ведомственное подчинение побудили Владимира Николаевича организовать в Москве небольшую лабораторию биогеоценологии, в составе Ботанического института АН СССР. Эта лаборатория, руководимая позднее Н. В. Дылисом, вошла затем в состав Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР. Заведая лабораторией, Владимир Николаевич организовал и Научный совет по проблемам биогеоценологии, которым он активно руководил. Под эгидой ученого проходили многочисленные заседания и пленумы этого Совета, на которых было немало интересных докладов крупнейших специалистов, связанных в своих исследованиях с проблемами созданного В. Н. Сукачевым и развивавшегося под его руководством нового направления в науке.

Учение о биогеоценозах дополняется и сейчас по мере развития экологического знания и постоянного проведения новых научных работ о миграции веществ по трофическим цепям, изучению биомассы, продуктивности экосистем, потоков веществ и энергии.

Роль учения В.И. Вернадского о биосфере и биогеоценологии В.Н. Сукачева в развитии радиоэкологического мониторинга

Учение В.И. Вернадского о биосфере и биогеоценологию В.Н. Сукачева представляется целесообразным рассматривать не как отвлеченные от практической деятельности научные труды, а как основополагающий, теоретический фундамент для научно-практического развития радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга.

В.И. Вернадский выявил сложнейшие неразрывные взаимосвязи процессов живой и неживой природы. Учение о биосфере и роли живого вещества планеты позволили сформировать новый подход к проведению исследований и показать, что экологические исследования и прогнозирование регионального и глобального характера не могут осуществляться без понимания функций биосферы. Благодаря трудам выдающегося ученого совокупность живых организмов – «живое вещество» стало рассматриваться как один из основных объектов мониторинга при исследовании природных систем.

В.Н. Сукачев в своих работах проводил линию на сближение двух областей знания – биогеоценологии и биогеохимии. Ученому удалось раскрыть связи между биогеохимическими процессами и биогеоценологической, экосистемной организацией живого. По мнению Э.Н. Мирзояна (2016), сближение биогеоценологии с учением о биосфере отразилось на прогрессе методов исследования. Изучение процессов превращения вещества и энергии внутри биогеоценозов и между ними потребовало использовать методы точного количественного учета и применить способы математической обработки

полученных результатов, новейшие приборы и методы физики, химии, кибернетики, физиологии растений и др. экспериментальные методы.

Пониманию принципов учения о биосфере способствовало непосредственное взаимодействие с Вернадским. Сукачев принимал участие в снабжении работ Биогеохимической лаборатории Вернадского объектами исследований. Так, в письме от 27.09.1926 Сукачев пишет Владимиру Ивановичу о направлении мешка листьев, узнав что он *«желал бы иметь для исследования желтые листья клена и дуба»* (Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 1593). Сотрудники Вернадского работали в питомнике Лесного института – проводили опыты с цинком в лесных сообществах, результаты которых также способствовали развитию научной мысли Сукачева.

Комплексный подход, применяемый Вернадским и позже развитый Сукачевым в учении о биогеоценозах, дал возможность по-новому взглянуть на радиоэкологические исследования. В.Н. Сукачеву удалось подчеркнуть необходимость изучения структурно-функциональной организации и энергетики биогеоценозов как систем, получающих и преобразующих определенные количества вещества и энергии в живой массе растений, животных и микроорганизмов. Здесь особо актуальным представляется изучение последствий привноса и миграции радиоактивных элементов.

Владимир Николаевич одним из первых обратил внимание на важность изучения биогеоценологических взаимоотношений для правильной организации дела рационального использования и охраны природных ресурсов. Он постоянно подчеркивал необходимость проведения комплексных стационарных исследований в различных природных зонах страны, указывал на большое значение, которое имеет всемерное использование действующих биогеоценологических стационаров и на необходимость организации новых, в том числе крупной биогеоценологической станции, на которой могли бы быть сосредоточены наиболее квалифицированные силы и соответствующее современным требованиям оборудование и которая готовила бы кадры, учила их

методике ведения работ (О научной разработке биологических вопросов...; Очередные задачи биогеоценологии..., 1971). Сукачевым, его учениками и последователями заложены многочисленные опыты в различных регионах страны, собраны обширные экспериментальные данные, тщательно проанализированные и опубликованные в многочисленных работах. Важно подчеркнуть, что биогеоценотический подход, применяемый при постановке научно-исследовательских работ в биогеоценологических стационарах, формирует суть мониторинговых исследований. Тем самым он имеет важнейшее методологическое значение.

2.4. Концепция Геомериды В.Н. Беклемишева и его вклад в развитие экологического мониторинга

Говоря о предпосылках развития радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга, следует обратиться и к научному наследию Владимира Николаевича Беклемишева (1890-1962). Хотя он и не был связан напрямую с радиоэкологическими исследованиями, в рамках стоящих перед нами задач в настоящей работе мы попытались оценить роль ученого Беклемишева как одного из основоположников экологии и экологических мониторинговых исследований, с которыми более чем тесно переплетена радиационная экология.

Действительный член Академии медицинских наук ССР, дважды лауреат Государственной премии СССР, профессор Беклемишев был разносторонним ученым: зоолог, сравнительный анатом, биоценолог, паразитолог. Именно многообразие научных интересов позволило ученому выработать уникальный синтетический взгляд на живой мир, охватывающий одновременно как отдельные виды, так и структуру биоценозов и биосферы в целом. Подробному анализу жизни и научной деятельности В.Н. Беклемишева посвящена обстоятельная монография Е.Б. Музруковой и Л.В. Чесновой «Владимир Беклемишев – пророк XX века» (2009). В связи с этим мы коснемся лишь некоторых аспектов созданной Беклемишевым методологии биологического мониторинга, имеющей

непосредственное отношение к сущностным основам экологии, радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга.

Окончив в 1913 г. Петербургский университет, в 1918 г. Владимир Николаевич переезжает в Пермь, где начинает читать лекции по зоологии беспозвоночных в Пермском университете. Разработанный им курс лекций позже вошел в учебник «Основы сравнительной анатомии беспозвоночных», за что в 1946 г. ученый был удостоен Сталинской премии. В 1923 г. Беклемишеву поручается руководство энтомологическими исследованиями Пермской малярийной станции. В связи с проблемой малярии на Урале Беклемишев организует на станции обширные эколого-географические исследования. Они были направлены на изучение природных условий распространения и особенностей размножения малярийного комара. По существу Беклемишевым в этих исследованиях была создана оригинальная методология биологического мониторинга, раскрывающая глубинные экологические взаимосвязи популяции комаров с условиями их местообитания. Тем самым В.Н. Беклемишев сумел одним из первых понять, что знание популяционно-биологических закономерностей имеет громадное практическое значение для борьбы с паразитами и переносчиками заболевания и в решении прикладных задач предотвращения эпизоотий. Благодаря изучению популяционной биологии переносчика ему удалось объяснить эпидемиологию трансмиссивных болезней человека и продумать меры для борьбы с ними. Обобщения по этой проблематике были напечатаны в труде «Популяционная биология как одна из теоретических основ борьбы с комарами» (Беклемишев, 1970а). В основу исследований Беклемишева, построенных на сравнительно-экологическом анализе паразитарных отношений, было положено учение о жизненной схеме вида.

При проведении энтомологических исследований на Пермской малярийной станции ученым и его коллегами был проведен огромный объем работ по наблюдению не только за биологическими особенностями и морфологией малярийного комара (*Anopheles maculipennis* Mgn.), но и за условиями его

обитания. Интерес ученого к экологическим аспектам обоснован тем, что малярийный комар относится к гетеротопам, населяющим на разных фазах своего жизненного цикла различные биотопы, следовательно необходимо было детально изучить экологические условия водной стадии развития вида, стадию взрослого насекомого и экологию вида в целом. Экология вида в целом охватывает такие вопросы, как законы численности популяции, фенологию, экологические факторы географического распространения вида и др. Такой комплексный эколого-биологический подход к проводимым исследованиям нашел отражение в монографии «Экология малярийного комара» (1944). Наличие в стране обширной сети маляриологических учреждений и планового начала в их исследовательской работе позволило получить данные о распространении подвидов анофелес почти по всей территории СССР. Беклемишев смог установить в общих чертах ареалы распространения отдельных подвидов. Вклад Владимира Николаевича в развитие экологического мониторинга особенно наглядно проявился в его научных работах по решению проблем малярии. Осознание значения и глубокие знания морфопрцессов и морфологии видов нашло отражение в собственной мониторинговой концепции Беклемишева. Применение маляриологического критерия при использовании различных элементов ландшафта позволили найти оптимальные решения по планировке населенных пунктов для сокращения риска возникновения малярии (Беклемишев, 1949). С 1932 г. ученый становится заведующим отделом энтомологии Института малярии и медицинской паразитологии.

Постепенно по мере развития своих научных интересов Владимир Николаевич включает в сферу изучения общей биологии динамические процессы индивидуальности. Ему удалось одним из первых выделить критерии индивидуальности. Особый научный подход Беклемишева, направленный на изучение индивидуальности, позволил сделать новые обобщения в биоценологии. Ученого интересовали частные закономерности существования отдельных видов в биоценозах и биосфере.

Биоценологию Владимир Николаевич рассматривал как новую ветвь биологии, объектом которой является *«целостное сообщество, живой покров Земли – Геомерида со всеми входящими в ее состав индивидуальностями»* (Беклемишев, 1970б, с. 53). Концепция Геомериды Беклемишева – это результат широкого естественнонаучного синтеза. Впервые опубликовав ее в 1922 г., он разрабатывал ее на протяжении всей жизни.

Концепция Геомериды идейно связана с учением В.И. Вернадского о биосфере. Как и Владимир Иванович Вернадский, Беклемишев прекрасно осознавал и подчеркивал роль живого вещества. *«Основной предмет биоценологии – совокупность живых существ или Геомерида. Живой покров заключен в тонком слое, окружающем земной шар и названном биосферой. Как и биосфера ее заключающая, Геомерида имеет громадное горизонтальное протяжение и ничтожное вертикальное...»* (там же, с.53).

Владимир Николаевич, также как и Владимир Иванович, придерживался мнения о том, что одним из основных свойств живого вещества является свойство целостности, для него живой покров Земли выступает как целостное сообщество, как система, миллионы лет пребывающая в динамически устойчивом равновесии.

Сам Беклемишев, разграничивая подходы к рассмотрению биосферы, считал, что В.И. Вернадский рассматривал биосферу преимущественно с точки зрения химической экологии живого покрова, на уровне геохимических характеристик, основываясь на общности химических элементов (*«геохимия биосферы»*). Подход же Беклемишева опирался в основе своей на морфологические особенности самих живых организмов, т.е. биосфера рассматривалась с глубоко биологической точки зрения.

По мнению Э.Н. Мирзояна, *«концепция Геомериды - это биологическая теория глобальной экологии»* (Мирзоян, 2007, с.8). Методы изучения Геомериды для Беклемишева брали начало с создания методов биоценологического исследования членистоногих, заключавшегося в намечании границ сообщества, затем описании положения сообщества с учетом особенностей рельефа, почвы,

растительности, различных экологических факторов (режим температуры, влажность, инсоляция), учитывались также сезонные и суточные изменения сообщества (причем они должны были продолжаться не менее года).

Как отметил А.Г. Назаров в рецензии к монографии Е.Б. Музруковой и Л.В. Чесновой, *«построенная Беклемишевым естественная система организмов и его типологическая концепция по существу являются не только морфологическими, но и структурно-функциональными, что отчетливо сознавал сам автор, предложивший различать структурную симморфологию и функциональную (процессуальную) симфизиологию живого покрова»* (Назаров, 2011, с.100).

Несмотря на все многообразие тем и проблем, которые разрабатывались ученым, в них просматривается одна сквозная идея, придававшая его творчеству единство. Она проявляется в стремлении исследователя привести объекты живой природы в целостную систему. Сочетание различных подходов - знание морфопроецессов и морфологии видов (биологический подход), умение рассматривать все в комплексе и учитывать воздействие многочисленных факторов (экологический подход), мыслить и видеть обширно (биоэкологический подход) - позволили Беклемишеву выработать собственную концепцию и свое уникальное видение природы. К раскрытию законов упорядоченности разнообразных структур живой материи на всех уровнях Беклемишев подошел *«как широко мыслящий морфолог»*, сумевший заглянуть в будущее развития биологической науки и практики (Музрукова, Чеснова, 2009). Таких подходов, к сожалению, недостает в современной концепции радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга. Представляется, что плодотворные идеи В.Н. Беклемишева станут наиболее востребованными при переходе от антропоцентрической к экоцентрической концепции радиационной безопасности, что рассматривается в главе 4.

2.5. Значение трудов по радиобиогеоценологии Н.В. Тимофеева-Ресовского в развитии методологии радиоэкологического мониторинга

Мировую известность выдающемуся русскому ученому-биологу Николаю Владимировичу Тимофееву-Ресовскому (1900-1981) принесли исследования в области генетики и эволюции. Но не менее он известен как ученый – последователь В.И. Вернадского и В.Н. Сукачева, основоположник радиационной биогеоценологии, в которой подчеркивается особая роль живого вещества в накоплении и миграции радионуклидов.

Идеи Тимофеева-Ресовского и созданной им школы, подтвержденные многочисленными экспериментами, полевыми опытами и накопленным обширным фактологическим материалом, оказали в научном и практическом отношении большое влияние на развитие методологии радиоэкологического мониторинга и радиоэкологии в целом. Изложенное в предыдущих разделах дает нам основание заключить, что работы школы Тимофеева-Ресовского объединяют и развивают сущностные подходы к исследованию радиоактивности, вытекающие из учения В.И. Вернадского о биосфере и биогеоценологии В.Н. Сукачева:

1. Биосферно-биогеохимический подход - изучение миграции радионуклидов невозможно без учета роли живого вещества.

2. Биогеоценологический подход - при отслеживании судьбы радиоизотопов необходимо учитывать взаимосвязи между биотическими и абиотическими компонентами биогеоценозов.

3. Экспериментально-биогеоценологический подход - только синтез биогеохимического и биогеоценологического подходов может дать достоверные результаты, позволяющие учитывать комплексность воздействия природных факторов и деятельности человека на судьбу радионуклидов.

Последний, третий подход в разработанной Тимофеевым-Ресовским и его последователями методологии представляет собой новое оригинальное направление исследований, получившего наименование *«радиационная биогеоценология»*.

Основы развития направлений, которые разрабатывались Тимофеевым-Ресовским на протяжении его жизни, были намечены в самом начале его научного пути. А начинался он под влиянием идей своих учителей – зоолога и генетика Н.К. Кольцова, пионера экспериментальной биологии в России, и генетика-эволюциониста С.С. Четверикова (Бабков, Саканян, 2002). Всего в период 1925-45 гг. Николаем Владимировичем было опубликовано более 80 публикаций по мутагенезу⁵, посвященных выяснению количественных закономерностей образования точковых мутаций у дрозофил под действием радиации (зависимость от дозы, от распределения ее во времени, от типа излучений и пр.). Тимофееву-Ресовскому удалось установить влияние дозы излучения на интенсивность искусственного мутационного процесса, обнаружить явление радиостимуляции малыми дозами и осуществить биофизический анализ мутационного процесса. Период интенсивных исследований мутагенеза, во время которого приобретен разносторонний опыт экспериментальных исследований и накоплен значительный массив данных, имел большое значение для последующих работ в области экспериментальной биогеоценологии.

В начале 1920-х гг. в период исследований в кольцовском институте ученого заинтересовала роль живых организмов в геохимической работе пресноводных водоемов. Уже тогда Тимофеев-Ресовский воспринял идею Вернадского о том, что организмы являются важнейшими концентраторами редких и рассеянных элементов. Безусловно на него оказала влияние работа В.И. Вернадского «О концентрации радия в биосфере живыми организмами», которую Николай Владимирович считал основой всех работ по изучению накопления и транспорта живыми организмами рассеянных элементов биосферы (Тимофеев-Ресовский, 2000). Являясь последователем учения В.И. Вернадского о биосфере, Тимофеев-Ресовский также рассматривал её как особую оболочку планеты, в

⁵ Полный список трудов Тимофеева-Ресовского приведен в монографии (Бабков, Саканян, 2002, С. 634-640).

которой определяющая роль в геохимических процессах принадлежит живому веществу.

О тонком понимании сформулированного В.И. Вернадским учения о биосфере свидетельствует живой интерес Тимофеева-Ресовского, проявленный в переписке с академиком. Так, в письме из Берлин-Буха, датированном 11.01.1930 г. (отрывок письма приведен в приложении 8), он пишет: *«Водные организмы «конденсируют» Ra из воды, в связи с чем концентрация Ra у них в 50 раз больше, чем в воде; не продолжают ли конденсировать Ra и растительноядные животные и не будет ли потому (и ввиду меньшего содержания воды в тканях) концентрация Ra у них еще больше, чем у водных организмов и растений? Имеются ли уже у Вас на этот счет данные и если да, то где они напечатаны? <...> Имеются ли уже хоть приблизительные количественные данные или соображения об общей ионизирующей деятельности в «веществе организмов»? <...> Было бы очень интересно попытаться как-либо связать имеющиеся у нас данные по исследованию изменчивости *Drosophila* с результатами Ваших исследований по «динамике веществ» - энергетике биосферы»* (Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 1627).

Говоря о судьбе радиоизотопов в различных биогеоценозах, Тимофеев-Ресовский первостепенную роль отводит живым организмам, обеспечивающим биологический путь миграции радионуклидов: *«Живые организмы являются, в связи с вышеупомянутым свойством накапливать рассеянные и микроэлементы, самым мощным фактором длительного перераспределения радиоизотопов по различным компонентам биогеоценозов. Извлекая и концентрируя их из природных сред и растворов (а частично, благодаря непосредственному контакту корневых систем растений, и из твердой фазы почв и грунтов), живые организмы концентрируют радиоизотопы в своей биомассе; благодаря росту и размножению живых организмов этот мощный процесс концентрации радиоизотопов биомассой из всех пронизанных жизнью косных участков биогеоценозов является постоянным»* (Тимофеев-Ресовский, 1962, с. 5).

Начиная в 1920-х гг. генетические исследования, Тимофеев-Ресовский проводил также опыты с использованием моделей природных сред: посевов на экспериментальных грядках облученных семян различных растений, облучения водных организмов, содержащихся в специальных аквариумах (проточных и непроточных). Эти работы заставили его обратиться к работам и идеям Вернадского, вследствие чего цикл работ был назван *«вернадскологией»* (Тимофеев-Ресовский, 2000). В Архиве РАН хранится рукопись Тимофеева-Ресовского, содержащая таблицы по накоплению радиоизотопов в водных растениях, датированная 20-ми годами (Архив РАН. Ф. 1750. Оп. 1).

Период жизни ученого, посвященный собственно радиоэкологическим исследованиям, начался в 30-х годах. Сам Николай Владимирович в автобиографической записке так охарактеризовал свои труды того времени: *«С 30-х и до начала 60-х годов работал по изучению накопления и выделения ряда элементов, преимущественно гидробионтами и наземными растительными организмами, применяя метод меченых атомов (радиоизотопов), центром внимания этих работ было изучение судьбы некоторых элементов в пределах биогеоценозов»* (Тимофеев-Ресовский, 1990, с. 68). Сложно представить, какой колоссальный объем исследований скрывается в одной, столь сжатой, фразе.

Радиобиологические исследования Тимофеева-Ресовского с самого начала не ограничивались исследованием биологических эффектов облучения отдельных организмов, а были направлены на комплексное изучение поведения радионуклидов в живых системах. Это были одни из первых работ по применению метода меченых атомов в биологии. В статьях, опубликованных в 1941—1944 гг., отчетливо прослеживается свойственный Н.В. Тимофееву-Ресовскому системный подход к изучению природных явлений и процессов: применение радиоактивных индикаторов рассматривается как методический прием, позволяющий решать поставленную еще В.И. Вернадским задачу по оценке роли живого вещества в основных геохимических процессах. В своих опытах ему удалось количественно показать, что разные виды обладают разной

радиочувствительностью, исследовать влияние радионуклидов на динамику биомассы и видовой структуры соответствующих биоценозов.

В Сунгуле (ныне – Снежинск), а затем в Свердловске и Миассово⁶ Тимофеев-Ресовский с коллегами расширили методику проведения радиобиологических исследований и начали вводить искусственные радиоизотопы в природные сообщества – огороженные, окопанные участки леса или луга (искусственно выделенные биогеоценозы) [90]. А так как это понятие было введено Сукачевым, работы стали называться *«вернадскологией с сукачевским уклоном»* (Тимофеев-Ресовский, 2000). Тимофеев-Ресовский подчеркивал: *«Долгое время никто, кроме нас, включая самих Вернадского и Сукачева, такими вещами не занимался»* (там же).

Отдавая первостепенную роль живым организмам, Тимофеев-Ресовский одним из первых выделяет эколого-биологическую сущность радиоэкологического мониторинга. Ему удалось на практике применить теоретические основы учения о биосфере и биогеохимии, решая прикладные задачи прогнозирования последствий радиоактивного загрязнения. Чтобы осознать, как ученому удалось технически организовать такие исследования, представляется целесообразным привести здесь его слова: *«Эксперименты <...> протекали в строго обоснованных и достаточно точных частных условиях. Бралась не биосфера Земли, конечно, а бралась некая лабораторная и полулабораторная, искусственно созданная система либо водоемов в виде бачков, проточных или непроточных, через которые пропускались слаборадиоактивные растворы или просто чистая вода, либо какие-то опытные грядки и опытные участки. Но увязывали мы все это теоретически и с геохимическими*

⁶ Уральский период жизни Николая Владимировича (с 1947 по 1964 г.). После освобождения войсками советской армии Тимофеев-Ресовский с семьей был вывезен из Германии в СССР и после пребывания в Карагандинском исправительно-трудовом лагере в 1947 г. назначен заведующим Биофизическим отделом (с одноименной лабораторией) «объекта 0211» МВД СССР в Сунгуле (ныне г. Снежинск, Челябинская обл.). В 1955 г. сунгульский отдел был переведен в Институт биологии Уральского филиала Академии Наук в Свердловске (ныне Екатеринбург) с базовой биостанцией на берегу оз. Б. Миассово в Ильменском заповеднике близ г. Миасса (Челябинская область).

представлениями Вернадского, и с его общим учением о биосфере, а затем и с учением Сукачева о биогеоценозах и биогеоценологии» (там же, с. 81).

Таким образом, как отмечено выше, ученому удалось объединить в единое целое биогеоценологический и биогеохимический подходы и создать новую область исследований – *радиационную биогеоценологию*. Несомненная его заслуга в том, что он сумел постепенно перейти от изучения воздействия радиоактивных излучений на клеточном уровне к осмыслению проблемы на глобальном, биогеоценологическом уровне. Необходимо подчеркнуть, что искусственно созданные Николаем Владимировичем и его сотрудниками указанные системы водоемов, а также опытные грядки и опытные участки представляли собой одни из первых форм радиоэкологического мониторинга – моделирование возможных процессов миграции радионуклидов в естественных биогеоценозах и биосфере в целом.

В контексте рассматриваемой проблемы одной из наиболее значимых работ Тимофеева-Ресовского является представленный им на соискание степени доктора биологических наук и опубликованный в 1962 г. в Свердловске доклад «Некоторые проблемы радиационной биогеоценологии», который послужил обобщением работ, проводимых Николаем Владимировичем и его коллегами в Сунгульской лаборатории. Работа представляет собой итог исследований по изучению распределения и миграции излучателей в биосфере и их влияния на биомассу и структуру соответствующих биоценозов. В докторском докладе Н.В. Тимофеевым-Ресовским было показано, что биомасса обладает сильной накопительной способностью по отношению ко многим элементам. Такая способность стала выражаться впервые введенным ученым термином «коэффициент накопления» - отношением концентрации элемента в биологическом объекте к его концентрации в среде обитания. В зависимости от величин коэффициентов накопления элементов в разных компонентах биогеоценозов может достигаться равновесное распределение элементов одного

из четырех основных типов: биотропное, педотропное, гидротропное и эквитропное.

В качестве основных Тимофеев-Ресовский выделяет в докладе следующие задачи радиационной биогеоценологии:

— количественное изучение влияния на биомассу и структуру биоценозов ионизирующих излучений, а также определение роли биоценоза в распределении вносимых элементов по компонентам биогеоценоза;

— количественное изучение роли разных видов живых организмов в концентрации и накоплении (а тем самым и в перераспределении) различных химических элементов (в основном рассеянных и находящихся в микроконцентрациях) из окружающей среды, тем самым определение относительной роли этих видов и разных групп организмов в протекающих в биогеоценозах геохимических процессах;

— изучение типов распределения по компонентам биогеоценозов радиоизотопов различных химических элементов в зависимости от физико-химических условий и состава биоценозов.

Поставленные Тимофеевым-Ресовским научные задачи радиационной биогеоценологии, как видно из их содержания, по сути полностью отвечают научно-прикладным направлениям методологии и методикам проведения радиоэкологического мониторинга.

Николай Владимирович постоянно возвращался к определению новой дисциплины. Наиболее важными практическими аспектами этой линии работ Тимофеев-Ресовский считал, с одной стороны, радиоэкологические работы по изучению влияния живых организмов на концентрацию и на распространение радиоактивных изотопов-излучателей в местах загрязнения; с другой стороны - это область общих интересов биоценологических и популяционно-генетических исследований сообществ живых организмов, подвергаемых воздействию излучений и излучателей. В статье «Радиационная биогеоценология», написанной с соавторстве с Ю.Д. Абатуровым и напечатанной в 1970 г., ученый предлагает

такое определение радиационной биогеоценологии: «Особенно удобным для количественной и точной работы в опытах второй группы⁷ является применение радиоизотопов для прослеживания судьбы различных химических элементов и применение ионизирующего излучения для устойчивости и равновесия биогеоценозов. Этот раздел экспериментальной биогеоценологии, использующий в своих исследованиях радиоизотопы и ионизирующее излучение, может быть выделен под названием радиационная биогеоценология» (Тимофеев-Ресовский, 1986, с. 107).

Позиция Тимофеева-Ресовского по отношению к концепции охраны природы от радиоактивных загрязнений, выработанная на основе проведенных экспериментально-биогеоценологических исследований, выразилась в труде «О радиоактивных загрязнениях биосферы и о мерах борьбы с этими загрязнениями», который вышел в 1962 г. В нем ученый подчеркивает, что проблемы воздействия промышленной деятельности человека на окружающую среду должны ставиться на основе созданного В.И. Вернадским учения о биосфере и биогеохимических процессах и разработанной В.Н. Сукачевым биогеоценологии. По мнению Тимофеева-Ресовского, горизонтальная и вертикальная миграция и перераспределение химических элементов и соединений в биогеоценозах протекают в основном в результате жизнедеятельности соответствующих сообществ живых организмов. Благодаря высоким коэффициентам накопления, как подтверждает ученый, живые организмы могут служить не только хорошими индикаторами радиоактивных загрязнений, но и использоваться для биологической дезактивации радиоактивно загрязненных почв и вод.

Говоря о том новом, что внес Н.В. Тимофеев-Ресовский в развитие методологии радиоэкологического мониторинга, необходимо остановиться на изученной нами переписке Николая Владимировича с В.Н. Сукачевым. Особый интерес для нас представляет письмо от 28.09.1960 г. из Миассово, в котором

⁷ Имеются ввиду экспериментальные исследования, проводимые для выяснения отдельных процессов внутри биогеоценозов

Николай Владимирович, прося помощи и содействия, рассказывает Владимиру Николаевичу про новые экспериментально-биогеоценологические планы: *«Мы хотим методом малых опытных площадок со внесением в них небольших количеств меченых атомов четырёх или пяти элементов <...> провести серию зональных экспериментов. Для этого мы хотим заложить площадки (около одного квадратного метра) с кобальтом, цинком, стронцием, цезием и церием во всех основных почвенно-климатических зонах, от тундры до юга Средней Азии»* (Архив РАН. Ф. 1557. Оп.2. Д. 530). Если бы этой идее удалось воплотиться в жизнь, то полученные при проведении таких опытов результаты послужили бы основой для создания комплексной государственной системы радиэкологического мониторинга, учитывающей особенности всех природно-климатических зон территории нашей страны. К сожалению, такие работы не были проведены.

* * *

Часто Тимофеева-Ресовского называют основоположником радиационной экологии. Однако по результатам проведенного исследования, правильнее будет выделить созданную Николаем Владимировичем экспериментальную радиационную биогеоценологию как относительно самостоятельную ветвь радиационной экологии. Новая постановка проблем, новые методы и методики, применяемые в радиационной биогеоценологии, действительно дали мощный толчок развитию современной радиэкологии, у истоков которой стояла целая плеяда российских и зарубежных ученых.

Решая практические задачи прогнозирования последствий радиоактивных загрязнений разного масштаба, разработки методов очистки территорий и акваторий от таких загрязнений, Николай Владимирович рассматривал проблемы с точки зрения биогеохимических и биоценологических уровней. Тимофееву-Ресовскому удалось взглянуть на суть радиэкологических исследований под новым углом, рассматривая их на качественно новом - биосферном уровне.

Глава 3

Формирование и развитие отдельных направлений радиозологии

3.1. Радиозология как наука

Интенсификация радиозологических исследований с середины 1940-х гг. связана с новым периодом в развитии ядерной физики. 15 января 1934 г. Фредерик Жолио и Ирен Кюри на заседании Парижской академии наук представили сообщение об открытии нового вида радиоактивности. Им удалось впервые искусственно вызвать радиоактивность, создав новые радиоактивные изотопы, не наблюдавшиеся до этого в природе. Это явление послужило началом новой эры – эры искусственной радиоактивности.

Первый пучок ускоренных протонов был получен в 1937 г. в Радиевом институте на первом в Европе циклотроне.

В 1939 г. Э.Ферми, Ф. Жолио-Кюри и Л.Ковальски было установлено, что при делении ядер урана выделяется несколько свободных нейтронов, которые, попадая в соседние ядра атомов урана, вызывают их деление, и реакция приобретает цепной характер. Это поспособствовало стремительному развитию использования ядерных реакций для создания ядерного оружия и развития атомной промышленности. В этом же году Я.Б. Зельдовичем, Ю.Б. Харитоном и А.И. Лейпунским обоснована возможность протекания в уране цепной ядерной реакции деления (Атомная отрасль России, 1995).

В 1948 г. на Комбинате № 817 в г. Челябинск-40 (г.Озерск Челябинской обл.) был выведен на проектную мощность первый в СССР промышленный ядерный реактор для наработки оружейного плутония, а уже в августе 1949 г. на Семипалатинском испытательном полигоне взорвана первая советская ядерная бомба.

С 1940-х гг. XX в. глобальные радиоактивные выпадения после интенсивных испытаний атомного оружия привели к значительному росту радиационного фона на планете. Тогда наступил особый этап развития радиоэкологии. Исследованием процесса рассеяния радиоактивных выпадений после ядерных испытаний начали заниматься ученые всего мира.

Первое развернутое определение радиоэкологии как науки было предложено одновременно и независимо друг от друга в 1957 г. советским и американским учеными - А.А. Передельским и Ю. Одумом (Odum, 1957). Согласно определению Передельского, радиоэкология – это *«наука о взаимоотношениях в природе радиоактивной среды и организмов и их сообществ, о миграциях и концентрациях радиоэлементов вследствие деятельности организмов, об экологических цепях радиоактивного питания и индикаторных видах, указывающих на присутствие значительных залегающих радиоактивных руд или радиоактивных загрязнений, о качественных и количественных изменениях в растительном покрове и животном населении под влиянием внешних и находящихся внутри организма изменений уровня радиоактивности»* (1958).

Профессором Г.Г. Поликарповым (1929-2012), основоположником морской радиоэкологии, по аналогии с радиохимией и радиационной химией было предложено различать в общей радиоэкологии:

(1) собственно радиоэкологию, занимающуюся изучением процессов воздействия живого вещества на радионуклиды, т.е. их накоплением, миграцией и трансформацией,

(2) радиационную экологию, исследующую действие ионизирующей радиации на живое вещество (Проблемы радиоэкологии...).

Таким образом, недостаточно знать концентрацию радиоактивных веществ в окружающей среде для оценки действия их излучений на организмы. Важно еще располагать сведениями о концентрирующей способности организмов в отношении различных элементов, радиоизотопы которых представляют интерес для радиоэкологии. Последнее входит в задачу биогеохимии. Здесь важное

значение приобретает симбиоз трех наук – радиобиологии, экологии и биогеохимии.

Большое значение для развития оформления радиоэкологии как науки имели работы Института биофизики АН СССР, руководимые И.Н. Верховской, А.М. Кузиным, А.А. Передельским.

3.2. Сельскохозяйственная радиоэкология и ее основатели

Параллельно с развитием радиационной биогеоценологии Тимофеева-Ресовского отдельная радиоэкологическая школа развивалась под руководством доктора химических наук, профессора Всеволода Маврикиевича Клечковского (1900-1972).

Предтечей появления нового направления радиоэкологии – сельскохозяйственной радиоэкологии – послужило создание по инициативе И.В. Курчатова Биофизической лаборатории Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (БФЛ) - первого радиоэкологического учреждения оборонной тематики, где проводились вегетационные опыты по изучению особенностей накопления радионуклидов техногенного происхождения растениями и воздействия ионизирующих излучений на сельскохозяйственные культуры. Создание лаборатории и научное руководство в 1947 г. было поручено В.М. Клечковскому.

Он одним из первых в нашей стране вскоре после открытия явления искусственной радиоактивности и возможности получения искусственно-радиоактивных изотопов обратил внимание на актуальность и большие потенциальные возможности применения метода меченых атомов в агрохимии. В 1946 г. Клечковский совместно с профессором Д.Д. Иваненко, заведующим кафедрой физики, предприняли первую попытку организовать работы с применением радиоактивных изотопов в Тимирязевской академии. По воспоминаниям Б.П. Плешкова (1960), Всеволод Маврикиевич совместно с учеными В.В. Рачинским и В.Б. Багаевым начал опыты с применением

радиоактивного изотопа фосфора для изучения поступления меченого фосфора в растения, его передвижения и распределения в растении. Результаты этих опытов были частично опубликованы еще в 1947 году. С этого времени исследования с радиоактивными изотопами, применением изотопного метода в агрохимии заняли главное место в работах Ключковского и его сотрудников. Так возникло новое направление в советской агрохимии.

Большое теоретическое и практическое значение этих исследований было обусловлено распространением в природе радиоактивных веществ из группы продуктов деления тяжелых ядер (стронция, иттрия, цезия, церия, рутения, циркония, ниобия и др.) после проведения испытаний ядерного оружия. Основным путем вовлечения продуктов деления в биологические цепочки является звено почва-растение. Это обусловило необходимость проведения исследований по выявлению закономерностей поведения веществ в почвах и растениях и выяснение условий, которые могут ослабить или, наоборот, усилить накопление продуктов деления в растениях, оказать влияние на распределение в растениях радиоактивных веществ и их содержание в урожае различных культур. Для того, чтобы понять значение различных продуктов деления при их вовлечении в биологические цепи, необходимо было организовать сравнительное изучение их поведения при взаимодействии с почвами и поступлении в растения.

В период с 1947-1956 гг. сотрудниками БФЛ (И.В. Гулякин, С.П. Целищев, Е.В. Юдинцева, А.В. Егоров, В.Б. Могилевкин, Л.Н. Соколова, Н.В. Каширкина и др.) были выполнены работы по оценке поведения естественных и искусственных радионуклидов в почве, их поступления в растения, а также действия ионизирующих излучений на сельскохозяйственные растения. Лаборатория стала играть роль важного научного центра в области применения радиоактивных изотопов в исследованиях по сельскому хозяйству. Наряду с проведением агрохимических исследований, сотрудниками лаборатории под руководством Ключковского уделялось большое внимание разработке и совершенствованию методов работы с радиоактивными изотопами, а также созданию более

совершенной аппаратуры для измерения радиоактивности. Здесь, в частности, созданы высокочувствительные торцовые счетчики для мягких излучений и для абсолютных измерений, активно использовавшиеся в радиобиологических опытах в 50-60-е годы и получившие широкую известность.

Результаты экспериментальных работ БФЛ с 1948 по 1956 гг. нашли отражение в опубликованной в 1956 г. работе коллектива авторов под редакцией В.М. Ключковского «О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступления в растения и накопления в урожае». Фактически, этот труд явился первым итогом выполненных в нашей стране экспериментальных исследований в области сельскохозяйственной радиоэкологии.

В конце 40-х – начале 50-х годов В.М. Ключковским было сформулировано основополагающее положение, которое можно назвать парадигмой современной сельскохозяйственной радиоэкологии: при широком использовании ядерной энергии в мирных целях, связанном с выведением в окружающую среду искусственных радионуклидов и интенсификацией круговорота естественных радионуклидов, основное значение имеет не прямое радиационное воздействие на сельскохозяйственные растения и животных, а накопление ими радионуклидов, поступающих с сельскохозяйственными продуктами в организм человека, что приводит к его дополнительному (сверхфоновому) облучению (Алексахин и др., 1992). Этой парадигмой были predeterminedены основные направления исследований в сельскохозяйственной радиоэкологии.

В настоящее время сельскохозяйственная радиоэкология представляет собой науку, изучающую закономерности миграции радионуклидов по биологическим цепочкам в агропромышленной сфере и действия ионизирующих излучений как одного из ведущих экологических факторов в современной биосфере на сельскохозяйственные растения и животных, а также агроценозы (там же). Первое определение введено В.М. Ключковским в 1958 г. (Материалы Всесоюзного совещания работников сельскохозяйственной науки, 1956).

Особое место в становлении сельскохозяйственной радиоэкологии и развитии радиоэкологического мониторинга заняли исследования на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа, образовавшегося при радиационной аварии на химическом комбинате ФГУП «ПО «Маяк» в 1957 г. Первоочередными после катастрофы стали мероприятия, направленные на ограничение поступления радионуклидов с пищевыми продуктами в организм человека. С этой целью в 1958 г. была создана Опытная научно-исследовательская станция, научным руководителем исследований в зоне аварии назначили В.М. Клечковского. На уникальном природном полигоне были начаты многолетние комплексные исследования круговорота большого количества искусственных радионуклидов (Алексахин, 1990). Для этих исследований был характерен комплексный характер, а большинство экспериментов выполнено на больших площадях в естественных условиях с охватом различных типов агроэкосистем.

Под руководством В.М. Клечковского и его многочисленных учеников и соратников (Р.М. Алексахин, Е.А. Федоров, Н.А. Корнеев, Г.Н. Романов и др.) в 1959-1972 гг. на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа были исследованы закономерности транспорта по цепи радиоактивные выпадения—почва—сельскохозяйственные растения—сельскохозяйственные животные—человек ведущих в радиологическом отношении искусственных нуклидов из числа продуктов деления, наведенных радионуклидов и тяжелых естественных и искусственных радионуклидов. На основании этих исследований были разработаны и внедрены в производство различные приемы по снижению содержания радионуклидов в агропромышленной продукции (Алексахин, 1997, 2001).

К числу последователей Клечковского относится и видный ученый в области общей сельскохозяйственной радиоэкологии Рудольф Михайлович Алексахин (г.р. 1936). Он был одним из первых молодых специалистов, прибывших сразу после окончания МГУ в 1959 г. в зону радиационной аварии на Южном Урале. Одновременно с исследованиями по лесной радиоэкологии

(которой посвящен следующий раздел), Р.М. Алексахин включился в выполнение обширной программы по сельскохозяйственной и общей радиоэкологии, которой руководил Клечковский, работая в 1959-1966 гг. в составе экспедиции Московского государственного университета и Лаборатории лесоведения АН СССР (ныне Институт лесоведения РАН).

На Южном Урале в области радиоэкологии почвенно-растительного покрова Р.М. Алексахиним были развиты представления о роли изотопных и неизотопных носителей радионуклидов при транспорте в системе почва-растение. В серии работ по оценке действия ионизирующих излучений на популяции живых организмов, обитающих на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа, Р.М. Алексахиним совместно с Л.В. Черезановой был вскрыт и описан феномен радиоадаптации растений, находящихся в среде с повышенным радиационным фоном, выражающейся в усилении радиорезистентности живых организмов к повторному (дополнительному) облучению. В 1963 г. вышла монография Р.М. Алексахина «Радиоактивное загрязнение почвы и растений», которая явилась обобщением накопленного массива экспериментальных данных о поведении радионуклидов в окружающей среде.

Исследования Р.М. Алексахина внесли важный вклад в развитие различных разделов сельскохозяйственной и общей радиоэкологии. Работая ученым секретарем, заместителем председателя и председателем секции радиоэкологии Научного совета «Радиобиология» АН СССР (председатель Совета – чл.-корр. АН СССР А.М. Кузин, его заместитель академик ВАСХНИЛ В.М. Клечковский) в 1963-1990 гг., Р.М. Алексахин курировал радиоэкологические исследования, проводимые в институтах АН СССР и ряде других ведомств. В частности, он координировал изучение миграции тяжелых естественных радионуклидов и действия повышенного (естественного и техногенного) радиационного фона на популяции растений и животных в среде их обитания в ряде областей Коми АССР.

Радиационная обстановка в этих районах, связанная с увеличенным содержанием в природной среде тяжелых естественных радионуклидов (продуктов распада ^{238}U и ^{232}Th), а также обусловленная техногенным обогащением почвенно-растительного покрова этими радионуклидами (за счет производившейся здесь в 30-е годы переработки урановых руд и добычи радия), позволила выполнить серию полевых многолетних наблюдений за переносом ^{238}U , ^{235}U , ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{232}Th и их дочерних продуктов распада в системе почва-растения-животные. Были оценены коэффициенты накопления практически всех тяжелых естественных радионуклидов большим набором диких и культурных растений, оценен метаболизм радионуклидов у диких животных, описана почвенная химия ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{238}U . Длительное обитание животных и растений в условиях повышенного радиационного фона сопровождается серией адаптационных преобразований у популяций живых организмов. Превышение естественного радиационного фона до 5-7 раз над нормальным уровнем не вызывает стойких генетически детерминированных изменений на популяционном и биогеоценотическом уровнях, что важно для оценки последствий антропогенного повышения природного радиационного фона в последние 50 лет в биосфере Земли. Итоги этих работ были обобщены в 1990 г. в вышедшей под редакцией Р.М. Алексахина монографии «Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере. Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы».

Р.М. Алексахин внёс значительный вклад в ликвидацию последствий Чернобыльской катастрофы. Под его редакцией в июле 1986 г. выходят первые рекомендации по ведению сельского хозяйства на загрязненных территориях. Р.М. Алексахин и его ближайшие коллеги (Б.С. Пристер, С.К. Фирсакова, Н.П. Архипов, С.В. Фесенко, Н.И. Санжарова и др.) приняли участие в выполнении широкой программы исследований по сельскохозяйственной радиоэкологии в зоне аварии. В период 1986-2006 гг. на загрязненных территориях в странах СНГ – России, Белоруссии и Украины был собран, обобщен и проанализирован обширный материал по закономерностям миграции в агросфере ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu и

ряда других искусственных радионуклидов и их накопления в сельскохозяйственной продукции. Разработаны и широко внедрены в агропромышленное производство на загрязненных площадях различные защитные мероприятия, обеспечивающие существенное снижение содержания радионуклидов в пищевых продуктах, что привело к значительному уменьшению доз облучения населения (Алексахин, 2006).

Одним из коллег Р.М. Алексахина, начинавшего свой путь в радиоэкологии в ОНИС и исследовавшего последствия двух радиационных катастроф – Кыштымской и Чернобыльской, является действительный член Украинской академии наук, академик отделения агроэкологии и природопользования Борис Самуилович Пристер (г.р. 1938). Именно он стал одним из основных организаторов научных исследований по радиоэкологии в Украине. Пристер внес весомый вклад в агрохимию техногенных радионуклидов, исследуя и количественно описывая их миграцию в биологической цепочке почва-растений-животные на территории ВУРС. Помимо исследований на ВУРСе, он был инициатором проведения уникальных экспериментов на ОНИС, например, с использованием молодых продуктов деления урана-238 (Пристер, 1969). Результаты проводимых работ в области сельскохозяйственной радиоэкологии на Украине нашли отражение в совместном труде Б.С. Пристера, Н.А. Лоцилова, О.Ф. Немец, В.А. Пояркова «Основы сельскохозяйственной радиологии» (1988).

Следует подчеркнуть, что в конце 50-х годов информация о миграции радионуклидов в природной среде и действии ионизирующих излучений на природные и искусственные биогеоценозы была крайне скудной. Постепенно в России стали появляться переводы книг американских радиоэкологов. Одной из них стала книга «Радиоактивность и пища человека» (“Radioactivity and Human Diet”) под редакцией американского сельскохозяйственного радиоэколога Р.С. Расселла, в которой были обобщены собранные к тому времени мировые данные по миграции радионуклидов в агросфере. Редактором перевода этой книги был

В.М. Клечковский. В последующем (в 1997 г.) даже состоялась беседа Р.М. Алексахина с Р.С. Расселлом в его доме вблизи Ротамстедской опытной станции. Под редакцией Р.М. Алексахина в 1985 г. в СССР была переведена монография У. Уикера и В. Шульца «Радиоэкологические методы» (“Radioecological Techniques”).

Труды школы советских ученых-радиоэкологов В.М. Клечковского в 70-80-х годах получили, несмотря на ограниченность опубликованной информации из-за соображений секретности, заслуженное признание за рубежом (прежде всего, в США, где аналогичные работы велись в ряде центров атомной промышленности – тоже в условиях секретности, а также в Западной Европе), например, благожелательные отзывы были даны в западной научной печати на две коллективные монографии советских радиоэкологов – «Современные проблемы радиобиологии», т.2, «Радиоэкология» (1971) и «Радиобиология и радиоэкология сельскохозяйственных животных» (1973).

Вклад исследований в области сельскохозяйственной радиоэкологии в развитие радиоэкологического мониторинга

Проводимые под руководством В.М. Клечковского исследования в области сельскохозяйственной радиоэкологии были направлены в первую очередь на изучение эколого-биологической составляющей агроценозов. В методологии исследований сельскохозяйственной радиоэкологии именно биотические компоненты играют первоочередную роль, так как являются объектами или продуктами сельскохозяйственной деятельности человека. Важность изучения реакции биотической составляющей на действие излучений здесь обусловлена тем, что ключевым звеном в цепях питания является человек. Выявление закономерностей пространственно-временной миграции радионуклидов в биологических цепочках и составление на этой основе прогноза будущих уровней радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных продукции и земель, оценка и прогноз дозовых нагрузок на сельскохозяйственные растения и животных

поспособствовали развитию оригинальной системы мониторинговых исследований. Эта система складывалась постепенно и начиналась с прямых наблюдений и измерений, опиралась на проведение сравнения результатов измерений и расчетов с системой специально выработанных критериев, включала лабораторные и натурные эксперименты. Постановка экспериментальных исследований выполнялась непосредственно в природных условиях с применением широкого набора источников ионизирующих излучений. В качестве облучаемых объектов использовались как отдельные популяции, так и более сложные сообщества организмов – биогеоценозы. В то время стал выработываться иерархический принцип построения систем мониторинга: первичная сеть (пункты наблюдений) – центр сбора и обработки информации – региональный центр – главный центр данных.

3.3. Лесная радиоэкология

Леса служат одним из важнейших природных комплексов биосферы. Академик В.И. Вернадский ведущую роль отдавал сообществу лесных растений, в которых сосредоточена основная масса живого вещества земной поверхности. Леса вырабатывают около 70% органической продукции континентов и около 50% всей продукции биосферы, и вместе с этим поставляют в земную атмосферу колоссальное количество кислорода в результате процесса фотосинтеза. Неудивительно, что одним из первых обособившихся направлений радиоэкологии стала лесная радиоэкология.

Зарождение радиационной экологии леса связано с антропогенным усилением радиационного воздействия на окружающую среду, обусловленным освоением человеком ядерной энергии. Первые отечественные работы в области лесной радиоэкологии были выполнены в конце 50-х – начале 60-х годов. Важную роль в организации этих исследований сыграли ученые Г.Ф. Хильми (1905-1976) и А.А. Молчанов (1902-1985). Развитие лесной радиоэкологии происходило на стыке ряда научных дисциплин – радиобиологии, лесоведения, лесоводства,

биогеоценологии, экологии, сельскохозяйственной радиоэкологии, ядерной физики, геохимии и др.

В 1957 г. советским ученым, доктором физико-математических наук профессором Хильми была опубликована монография «Теоретическая биогеофизика леса», послужившая основой для последующего развития работ по лесной радиоэкологии. Хильми и его учениками (Ф.А. Тихомировым, Р.Т. Карабанем) были впервые сформулированы, а впоследствии экспериментально изучены вопросы анализа радиационного поражения лесных сообществ, связанного как с первичными лучевыми реакциями (прямое действие облучения на живые организмы в лесу), так и ответными вторичными реакциями. Появление таких реакций обусловлено нарушением трофических взаимосвязей при первичном поражении наиболее радиочувствительных объектов в лесных биогеоценозах. Под руководством Хильми были разработаны комплексные программы работ по радиоэкологии леса и выполнены первые экспериментальные исследования.

С именем члена-корреспондента АН СССР А.А. Молчанова связано начало в нашей стране радиоэкологических лесных исследований, в которых основное внимание было уделено оценке биогеоценологических аспектов лучевых воздействий в экспериментах с внесением радионуклидов в леса, а также передвижения искусственных радионуклидов в лесных биогеоценозах. Такие экспериментальные работы проводились совместно с Р.М. Алексахиним, М.М. Алексахиной, Н.Н. Мишенковым, М.А. Нарышкиным, В.М. Плесцовым, В.П. Юлановым. Под руководством Молчанова в 1966 г. были начаты исследования распределения и миграции радиоактивных продуктов выпадений после ядерных испытаний в лесах различных природных зон СССР. В 1960-1977 гг. этими исследованиями было охвачено около 50 районов нашей страны в разных географических зонах (Алексахин, 1979).

В конце 50-х – начале 60-х годов экспериментальные исследования в области лесной радиоэкологии были начаты в Уральском филиале АН СССР на

биостанции Миассово под руководством Н.В. Тимофеева-Ресовского. Основное внимание в этих работах, о чем говорилось выше, уделялось изучению накопления радионуклидов в модельных экосистемах, в том числе лесных (эксперименты с внесением под полог молодых деревьев широкого набора искусственных радионуклидов из числа продуктов деления и наведенных нуклидов). В этих исследованиях были развиты идеи о первичных и вторичных эффектах при действии ионизирующих излучений на биогеоценотическом уровне (Архив РАН. Ф. 1557. Оп.2. Д. 530).

Первые исследования способствовали формированию двух основных научных задач лесной биогеоценологии – изучению закономерностей миграции радиоактивных веществ в разных природных средах и исследованию действия ионизирующих излучений на лесные биогеоценозы. Широкие исследования миграции радионуклидов глобального происхождения в лесных ландшафтах позволили вскрыть закономерности, описывающие влияние леса на передвижение радиоактивных веществ на местности в биогеохимическом аспекте (Тюрюканова, 1974).

Влияние на развитие исследований в области лесной радиоэкологии оказала первая крупная радиационная авария, произошедшая в Челябинской области на комбинате «Маяк» в 1957 г. Сформировавшийся Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) затронул по большей части сельскохозяйственные территории, а также лесные массивы.

К первым исследованиям лесной растительности территории ВУРС относятся работы Р.М. Алексахина. Первым университетским учителем Р.М. Алексахина был видный представитель школы почвоведов МГУ профессор Н.П. Ремезов. Под его руководством Р.М. Алексахиным были выполнены студенческие работы в области лесного почвоведения, касающиеся круговорота зольных элементов и азота в лесах Воронежского государственного заповедника. Они оказали влияние на дальнейшие научные успехи ученого в области изучения лесных биогеоценозов.

С 1961 по 1966 гг. Рудольф Михайлович работал в Лаборатории лесоведения АН СССР (директора академик АН СССР В.Н. Сукачев и чл.-корр. АН СССР А.А. Молчанов). В то время в Лаборатории лесоведения АН СССР работали видные ученые-лесоведы доктора наук С.В. Зонн, Н.В. Дылис, Ю.Л. Цельникер, А.И. Уткин и другие, которые привили Р.М. Алексахину на многие годы интерес к лесу как уникальной экосистеме.

Ещё одним направлением исследований Р.М. Алексахина в лесной радиоэкологии было изучение закономерностей распределения в лесах Европейской и Азиатской частей СССР радионуклидов глобального происхождения (после ядерных испытаний), в результате которых выявлена достаточная инерционность процессов круговорота искусственных радионуклидов в лесах относительно травяных экосистем, а также определены места локализации радионуклидов в лесных биогеоценозах и оценены скорости полуочищения отдельных компонентов леса после выпадений радионуклидов из воздуха. Эти данные были опубликованы в монографии Р.М. Алексахина и М.А. Нарышкина «Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах» (1977).

На Южном Урале под общим руководством чл.-корр. АН СССР А.А. Молчанова и доктора физико-математических наук профессора Г.Ф. Хильми Р.М. Алексахиним и его коллегами Ф.А. Тихомировым, Р.Т. Карабанем, Н.Н. Мишенковым, В.П. Юлановым и В.М. Плещовым была выполнена обширная программа исследований по лесной радиоэкологии (Молчанов и др., 1964; Карабань и др., 1977).

К основателям лесной радиоэкологии относится и профессор Ф.А. Тихомиров (1931-2003). С 1959 г. научная деятельность Тихомирова в течение 40 лет была связана с исследованиями на территории ВУРС в Опытной научно-исследовательской станции. Здесь Ф.А. Тихомиров под руководством своих учителей – Г.Ф. Хильми и А.А. Молчанова – выполнил уникальные комплексные радиоэкологические исследования воздействия ионизирующих излучений на лесные экосистемы и миграции радионуклидов в лесных биогеоценозах. Особое

внимание он уделял радиобиологии и радиоэкологии хвойных деревьев, радиочувствительность которых близка к радиочувствительности млекопитающих. Результаты именно этих исследований позволили ему сформулировать важнейшие положения по радиоэкологии экосистем. Им впервые в мире была рассчитана летальная доза для взрослых деревьев сосны. В 1974 г. Ф.А. Тихомиров защитил докторскую диссертацию «Радиоэкология лесного биогеоценоза».

Ф.А. Тихомиров разработал и экспериментально обосновал основополагающие концепции современной теоретической и прикладной радиоэкологии, базирующиеся на выводах о специфичности биогеохимических циклов техногенных радионуклидов в природных экосистемах по сравнению с химическими природными аналогами, о первичных и вторичных экологических нарушениях в экосистемах при воздействии ионизирующего излучения (Тихомиров, 1972, 1988). Ему удалось установить биогеохимические барьерные функции лесных экосистем и предложить проведение экологической экспертизы площадок при проектировании предприятий атомной энергетики, основанную на выявлении и приоритетном рассмотрении «критических» звеньев природных экосистем. Экспериментальным фундаментом этих концепций послужили результаты исследований, проводившихся Ф.А. Тихомировым в зонах радиоактивного загрязнения Уральской и Чернобыльской радиационных аварий. На основе этих исследований в мае 1986 г. им был дан подтвердившийся позднее прогноз радиоэкологических последствий загрязнений лесов в зоне Чернобыльской аварии и разработана всесоюзная комплексная программа исследований по лесной радиоэкологии.

Таким образом, на Южном Урале впервые в мире были проведены исследования особенностей поведения и круговорота широкого набора естественных и искусственных радионуклидов в разных типах лесных биогеоценозов и действия ионизирующей радиации на отдельные компоненты леса и лесные экосистемы как сложные природные образования. Результаты

исследований позволили прийти к пониманию очень высокой радиологической емкости лесных биогеоценозов по отношению к оседающим из воздуха радионуклидам (Алексахин, Нарышкин, 1977). Под радиологической емкостью лесов (вообще любого биогеоценоза) понимают их сорбционные свойства задерживать радионуклиды. Она определяется хорошими фильтрационными свойствами лесных биогеоценозов. Высокая радиологическая емкость наряду с замедленными темпами круговорота радионуклидов в лесных экосистемах (в частности, хвойных) определяют очень высокую уязвимость леса по сравнению с другими экосистемами. Лесные биогеоценозы – одни из наиболее чувствительных типов природных комплексов, радиационное поражение которых проявляется при меньших дозах облучения, чем лучевое поражение других типов природных экосистем.

Результаты крупномасштабных опытов конца 50-х и начала 60-х годов с облучением лесных биогеоценозов от мощных точечных источников выявили очень низкую радиорезистентность лесных сообществ. Итоги этих первых опытов послужили поводом для организации в 60-70 х годах серии крупномасштабных работ по всестороннему изучению радиационных эффектов в лесах. На этом этапе исследований лучевых эффектов на биогеоценозическом уровне в лесах радиоэкология успешно использовала накопленную к тому времени информацию о первичной радиочувствительности микроорганизмов, растений и животных, составлявших основные компоненты лесных биогеоценозов в различных природных зонах.

Таким образом, мониторинговые исследования лесных экосистем, проводимые впервые, можно охарактеризовать несколькими особенностями. Во-первых, исследования проводились на больших площадях в природных условиях, что позволило получить достоверные результаты о реальном поведении радионуклидов в лесных биогеоценозах. Во-вторых, внимание ученых было направлено на комплексное изучение лесных экосистем с учетом факторов взаимодействия всех компонентов биогеоценозов. В-третьих, в

радиоэкологическом мониторинге лесных комплексов стал использоваться метод моделирования миграции радионуклидов в лесных сообществах (Алексахин и др., 1976), который остается актуальным и в настоящее время (Спиридонов, 2010). Построение пространственно-временных моделей круговорота радиоактивных веществ в лесах позволяет давать характеристику распределения радионуклидов по компонентам лесных биогеоценозов в любой период времени после поступления радионуклидов в лесные экосистемы. В-четвертых, изучались свойства отдельных компонентов биогеоценозов и их влияние на свойства всего биогеоценоза.

Исследования радиоэкологического характера, связанные с сельскохозяйственным и лесным комплексами, собственная методология мониторинговых исследований лесной радиоэкологии послужили основой для дальнейшего расцвета общей радиоэкологии в целом. Основным объектом радиоэкологического мониторинга стали эколого-биологические аспекты, которые определяют особенности миграции радионуклидов в сельскохозяйственных и лесных биогеоценозах.

Одновременно с радиоэкологическими исследованиями на ВУРС в 1950-1980 гг. аналогичные экспериментальные исследования по изучению миграции радионуклидов в окружающей среде и действия ионизирующих излучений на природные и аграрные экосистемы в достаточно больших масштабах проводились на предприятиях атомной промышленности США и ряда стран Западной Европы. В области общей и сельскохозяйственной радиоэкологии наибольшую известность получили опыты в лабораториях военных заводов и институтов в США – в Хэнфорде, Ок-Ридже, Саванна-Ривере, Франции – Кадарашский научный центр, Великобритании – Харуэлл. Важные результаты в радиоэкологии были получены на полигонах по испытанию ядерного оружия (Семипалатинск, Северная Земля – СССР, штат Невада и Маршалловы острова – США, Франция, Великобритания, Маралинга в Австралии – Великобритания).

Примерно в одно время в 50-60 гг. XX в. начаты радиоэкологические исследования в ядерных центрах США и Западной Европы (Хэнфордский центр, Ок-Риджская национальная лаборатория, центр саванна-Ривер, Брукхевенская национальная лаборатория в США, Кадарашский ядерный центр во Франции). Прилегающие к этим ядерным центрам территории так же, как на Урале вблизи ПО Маяк, оказались загрязнены РАО. Кроме этого, в этих центрах проводили достаточно масштабные эксперименты с внесением радионуклидов в окружающую среду и были сооружены мощные установки – источники ионизирующих излучений для воздействия на природные экосистемы. Еще одними зонами радиоэкологических работ стали ядерные полигоны (Семипалатинск, СССР; штат Невада, США; Маршалловы острова в Тихом океане; Маралинга. Австралия) (Алексахин, Пристер, 2008).

3.4. Морская радиоэкология

Развитие атомной промышленности и энергетики способствовало становлению как радиоэкологии наземных биогеоценозов, так и водных экосистем. В первую очередь проблема загрязнения акваторий была обусловлена сбросом и захоронением радиоактивных отходов в морях и авариями на атомных судах.

Основоположником обособившегося к 60-м годам нового направления радиоэкологии - морской радиоэкологии стал будущий академик Национальной академии наук Украины, доктор биологических наук, профессор Геннадий Григорьевич Поликарпов. И здесь, как и в случае лесной радиоэкологии, на становление нового научного направления оказал влияние Н.В. Тимофеев-Ресовский.

Будучи аспирантом по специальности «радиобиология» на кафедре биофизики биологического факультета МГУ, Поликарпов имел лабораторное место, где у него стояли аквариумы с гидрами *Pelmatohydra oligactis* и отдельно – с дафниями в качестве корма для гидр. Эти аквариумы предопределили развитие

научной деятельности молодого ученого. Однажды, в 1955 г. Н.В. Тимофеев-Ресовский, будучи на кафедре и увидев аквариумы с элодеей и гидрами, поинтересовался темой исследовательской работы аспиранта и одобрительно воскликнул: *«Вот это я люблю – всякую природную живность!»* (Поликарпов, 2000). После этого последовало приглашение Поликарпова на стажировку на биостанцию Миассово в Челябинской области. Там он вошел в так называемую группу *«водников»*, которой заведовала Елена Александровна Тимофеева-Ресовская, и в задачи которой входило исследовать особенности накопления водными растениями и животными радионуклидов из водной среды в аквариальных условиях, в том числе в больших емкостях в лаборатории (Тимофеева-Ресовская, Поликарпов, 1958).

В 1956 году Г.Г. Поликарповым на Севастопольской биологической станции АН СССР⁸ была создана первая в СССР лаборатория морской радиобиологии (впоследствии расширенная и преобразованная в отдел радиационной и химической биологии Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского АН СССР, а ныне – научный отдел Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН»). Направленность работ при формировании лаборатории определилась непосредственным приобщением к школе Н.В. Тимофеева-Ресовского. Лаборатория, по словам самого Геннадия Григорьевича, *«стала ветвью могучего научного древа «радиационной биогеоценологии», сформированного Николаем Владимировичем»* (Поликарпов, 2000).

⁸ Севастопольская биологическая станция стала первой в России и третьей в Европе морской биологической станцией. Она была открыта в 1871 году по инициативе Н. Н. Миклухо-Маклая и А. О. Ковалевского по решению Новороссийского общества естествоиспытателей. Её создание было вызвано необходимостью упорядочить изучение флоры и фауны Чёрного моря, систематизировать наблюдения за периодическими изменениями физических факторов морской среды, создать и сохранить коллекции гидробионтов и предоставить возможности для научных занятий.

Предпосылками формирования выделенных Поликарповым направлений работ стали пионерные работы В.И. Вернадского. На примере изучения радия и двух видов ряски в Киевских прудах Владимир Иванович ввел в науку меру накопительной (в отношении радиоэлемента) способности гидробионтов, выраженной соотношением концентраций радиоэлемента в водном организме и окружающей его водной среде (Вернадский, Виноградов, 1931). Это соотношение впоследствии нашло широкое применение в радиационной гидробиологии, пресноводной и морской радиоэкологии, получив в работах Н.В. Тимофеева-Ресовского и его научной школы название коэффициента накопления радионуклидов, а также их изотопных и неизотопных носителей (Тимофеев-Ресовский, 1957, 2009; Тимофеева-Ресовская, Попова, Поликарпов, 1958; Трапезников А.В., Молчанова И.В., Караваяева Е.Н., Трапезникова В.Н., 2007; Поликарпов, 1964; Polikarpov, 1966). Несомненное значение в накоплении необходимых сведений сыграли работы А.П. Виноградова (1944, 1967, 2001).

Необходимость проведения эколого-радиобиологических работ водных биоценозов до Поликарпова была обоснована В.А. Водяницким, Л.А. Зенкевичем, Д.И. Щербаковым, Е.М. Крепсом (1959), П.А. Моисеевым, Г.А. Середой (1962), В.П. Шведовым (1962), С.И. Широковым. Но основная роль в становлении радиоэкологии морей и океанов принадлежит Г.Г. Поликарпову, который систематизировал и научно обобщил фактический материал, накопленный к середине 60-х годов, в монографии «Радиоэкология морских организмов» (1964). Она представляет собой первое комплексное изложение и обоснование понятий и проблем в области знаний о закономерностях влияния на морские организмы радиоактивной среды. В книгу вошла полная на тот момент сводка данных по коэффициентам накопления искусственно-радиоактивных изотопов восьми групп периодической системы химических элементов морскими растениями и животными, а также материалы по радиорезистентности гидробионтов.

Поликарпов выделял три основных направления исследований морской радиоэкологии (там же):

1. Определение содержания радиоактивных веществ в гидробионтах с применением методов химического и радиохимического разделения и концентрирования, а также методов радиометрического измерения и анализа. Помимо абсолютного количества в задачи направления входит изучение изотопного состава радиоактивных веществ в гидробионтах, что служит основанием для выяснения путей миграции радиоизотопов в море и расчета получаемых организмами доз ионизирующих излучений.

2. Экспериментальное нахождение величин коэффициентов накопления различных радиоактивных изотопов представителями морских организмов.

3. Изучение биологического действия инкорпорированных радионуклидов при различных уровнях радиоактивности в морской воде. Данные по радиочувствительности имеют исключительно большое значение для предвидения радиобиологического эффекта в морях и океанах при различных прогнозируемых или уже имеющих уровнях радиоактивного загрязнения морской воды.

Обозначенные направления свидетельствуют о том, что главным объектом радиоэкологических исследований служит живое вещество, а основное внимание в методологии работ уделяется эколого-биологическим аспектам.

За время существования сотрудниками лаборатории и затем уже отдела проведен большой объем исследований, выстроена система радиоэкологического мониторинга водных экосистем, о чем свидетельствуют труды Поликарпова (1986, 2011), Егорова (2001) и др. Такой мониторинг имеет свои принципиальные отличия от исследований наземных биогеоценозов, что обусловлено особенностями водных экосистем, в которых обмен химических веществ между живыми существами и окружающим раствором происходит иначе, чем на суше. Специфической особенностью водных экологических систем является наличие пелагического сообщества. Именно оно имеет основное значение для биотического круговорота вещества в водоеме. Важнейшим свойством водных биогеоценозов является высокая скорость биотического круговорота. Этому

способствуют как подвижность водной среды, хорошее перемешивание, условия, благоприятные для бактериального разложения, растворения и распространения продуктов минерализации, так и интенсивный обмен за счет малого размера продуцентов (фитопланктон) и консументов (зоопланктон). В морской среде продуценты и консументы находятся в разобленном состоянии, в большинстве водных биоценозов нет прямого контакта животных с растительностью, что формирует важнейшую роль группы редуцентов, которые, минерализуя эти останки, делают их доступными для автотрофных растений. Основными лимитирующими факторами развития живых организмов служат такие абиотические факторы водной среды, как световой режим, температура, соленость, плотность воды и т.д. Представители морской флоры и фауны имеют собственные адаптационные механизмы к условиям среды. Морским экосистемам присуща высокая производительность.

Перечисленные отличительные особенности водных экосистем потребовали формирования особых научных подходов к проведению радиоэкологических исследований, применения оригинальных методик и использования специальных математических моделей, отличных от применяемых при изучении наземных сообществ. Результаты первых мониторинговых работ Лаборатории морской радиобиологии показали, что биоиндикаторами цезия-137 в морской воде могут служить бурые и красные морские водоросли и мягкие ткани морских животных; стронция-90 – лучевики, *Carteria* sp., бурые водоросли, панцири, раковины и кости моллюсков; радиоизотопов редкоземельных элементов – пелагическая икра рыб, водоросли и многие животные; циркония-95, ниобия-95, иода-131 – водоросли; рутения-106 – водоросли и ракообразные (Поликарпов, 1964).

Отдельным направлением исследований стало изучение влияния ядерных катастроф на водные экосистемы (Радиоэкологический отклик Черного моря..., 2008; Поликарпов, Цыцугина, 1995, 1996). По данным радиоэкологического мониторинга, проводимого на станции, и с помощью математического моделирования были определены масштабы времени и уровни радиационного

воздействия, а также дозовые нагрузки на гидробионты от ионизирующего излучения техногенных радионуклидов в сравнении с природным радиоизотопом ^{210}Po – как отклик экосистемы Черного моря на чернобыльскую ядерную аварию. Также была разработана концептуальная модель действия ионизирующей радиации во всем диапазоне мощностей доз на различные уровни организации живой природы.

Особое значение в исследованиях лаборатории морской радиобиологии и Отделе радиационной и химической биологии сыграли идеи академика В.Н. Вернадского. Они нашли широкое применение при изучении биогеохимических циклов.

Исследования, выполненные на концептуальной базе представлений В.И. Вернадского о геохимической роли живого вещества в морской среде позволили разработать биогеохимические критерии для определения периода круговорота радиоактивных и химических загрязнений в морской среде, оценки радиоемкости донных осадков, расчета пределов интенсивности биотической трансформации физико-химических форм неорганических загрязнений в водной среде и определения предельных потоков седиментационного депонирования загрязняющих веществ в толще донных отложений.

За время своего существования лаборатория внесла неоценимый вклад в развитие мониторинговых исследований радиоактивного загрязнения морской среды. Ее работа позволила количественно реализовать концепцию академика В.И. Вернадского о единстве процессов воспроизводства живого вещества и условий его обитания в качестве теории экологической емкости морской среды в отношении загрязняющих акватории веществ. С использованием аналитических, экспериментальных радиоизотопных методов и радиотрассерных технологий были определены уровни загрязнения и потоки самоочищения ряда черноморских акваторий от радиоактивных (^{90}Sr , ^{137}Cs , трансурановые элементы) веществ. Также удалось разработать основы методологии решения проблем устойчивого развития причерноморских регионов с учетом биогеохимических критериев.

Проведенные в лаборатории научные работы позволяют заключить, что учение академика Вернадского о живом веществе в биосфере оказало определяющее влияние на решение проблем устойчивого развития морских акваторий при антропогенном воздействии загрязняющих веществ. Их развитие на концептуальной базе представлений В.И. Вернадского позволило разработать применимые для практических целей биогеохимические критерии нормирования потоков антропогенного загрязнения морской среды.

3.5. Радиоэкология почв и микроорганизмов

Одним из главных объектов биогеоценозов при проведении радиоэкологических исследований является почва. Она представляет важнейшее звено биогеохимических циклов радионуклидов в той сложной цепи биогеоценологических систем, в которые включаются компоненты радиоактивных выпадений на суше. Хотя в данном исследовании мы проводим обособление различных направлений радиоэкологии для достижения цели исследования – отслеживания и воссоздания траектории развития радиоэкологической мысли, это разделение весьма условно. Исследования поведения радионуклидов в почвах были начаты В.М. Ключевским в 1930-е гг. при проведении работ с мечеными атомами в агрохимии. Необходимо подчеркнуть, что исследования сельскохозяйственной радиоэкологии и лесной в первую очередь проводились в отношении загрязненных почв.

На долю почвенных животных приходится 90-95% зоомассы в наземных экосистемах (Гиляров, 1971). Неслучайно отдельным значимым направлением радиоэкологических исследований стала радиоэкология почвенных животных. Ее появлению предшествовал большой объем работ по фундаментальному исследованию животного мира почвы, проводимый признанным лидером почвенной зоологии, академиком М.С. Гиляровым (1912—1985) и возглавляемым им коллективом почвенных зоологов. В России был накоплен немалый опыт изучения фауны и экологии почвенных животных, по крайней мере с середины

XIX в., однако советская почвенная зоология была создана только в конце 30-х гг XX в. М.С. Гиляровым как синтез общей и прикладной зоологии, современного ему эволюционного учения, в также традиционного «русского» генетического почвоведения В.В. Докучаева.

В 1956 г. в Институте эволюционной морфологии и экологии животных им. А.Н. Северцова АН СССР в Москве Гиляровым была создана специализированная Лаборатория почвенной зоологии, которая до его кончины в 1985 г. являлась координирующим центром всех почвенно-зоологических исследований в стране.

Одним из последователей Гилярова стал советский и российский эколог, член-корреспондент РАН Д.А. Криволуцкий (1912-2004). Он оказал огромное значение на развитие радиоэкологии почв, первые работы по радиоэкологической тематике датируются 1969 г.

В 1971 году вышла совместная работа М.С. Гилярова и Д.А. Криволуцкого, посвященная радиоэкологическим исследованиям в почвенной зоологии (там же). В 1983 г. была издана книга Криволуцкого «Радиоэкология сообществ наземных животных», в которой проблема рассмотрена на примере почвенных животных Восточно-уральского радиоактивного следа.

В многолетних исследованиях сотрудников Института эволюционной морфологии и экологии животных имени А.Н. Северцова АН СССР (в н.вр. - Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН) проводился анализ возможностей использования почвенных животных в биологической индикации повышенного фона ионизирующих излучений и содержания искусственных и естественных радионуклидов в окружающей среде. В результате удалось установить, что долгоживущие почвенные беспозвоночные (дождевые черви, многоножки, панцирные клещи, некоторые личинки насекомых) могут служить удобными биоиндикаторами радиоактивного загрязнения (Викторов, 1991). Также отдельное внимание уделялось вопросам накопления почвенными животными радионуклидов и роли этих организмов в биогенной миграции радионуклидов по пищевым цепям в биогеоценозах, проблемам оценки дозовой

нагрузки на подвижных почвенных обитателей при обитании ими в условиях повышенного фона ионизирующих излучений.

Популяции и комплексы видов почвенных животных отличаются стабильностью даже при очень неблагоприятных изменениях в экосистеме. Этому способствуют особенности почвы как среды обитания: сама почва нередко сохраняется в антропогенном ландшафте без изменений ее структуры, морфологии, химизма и характера почвообразовательного процесса; вредные антропогенные воздействия влияют на обитателей почвы значительно слабее, чем на открыто живущих животных; поток энергии и круговорот элементов в почве зависят главным образом от поступления органического вещества и связанных с ним элементов, от корневых систем отмирающих и живых растений. Трофическая структура животного населения изменяется при антропогенном вмешательстве меньше, чем обитателей травостоя: в питании педобионтов заметную роль играют продукты разложения корней и микроорганизмы.

Почвенные животные и их комплексы служат благодарным объектом радиоэкологических исследований: велика их видовая насыщенность, разнообразны экологические связи, многие формы весьма чувствительны к действию радиации, в пищевых цепях они часто являются конечными звеньями и могут концентрировать многие радионуклидов, относительно велика зоомасса обитателей почвы. Однако существуют и определенные трудности в развитии исследований, обусловленные недостаточной изученностью животного мира почвы, трудоемкостью почвенно-зоологических исследований, сложностями видового определения и количественного учета отдельных групп почвенных обитателей.

Оценивая роль почвенных животных в биогенной миграции кальция и стронция-90 ученые Д.А. Криволуцкий и А.Д.Покаржевский (Радиоэкология почвенных животных, 1985) показали, что сравнительно небольшая роль животных в биогенной миграции радионуклидов через пищевые цепи в значительной степени компенсируется деятельностью землероев в почве.

Животные выносят почвенный материал или почвообразующую породу наружу, а вместе с ними и различные химические вещества. Наоборот, вещества, находящиеся на поверхности земли, в результате роющей деятельности, например, слепышей (*Spalax microphthalmus*) оказываются перемещенными в более глубокие слои. Такие проведена оценка роли дождевых червей в биогенной миграции. Серия экспериментов по захоронению искусственных радионуклидов дождевыми червями была проведена А.А. Передельским в 1959-1962 гг. Большой объем опытов проводился на территории ВУРС (Криволуцкий, Покаржевский, 1974).

Дмитрий Александрович выделял почвенную фауну как основополагающий объект радиоэкологического мониторинга и контроля качества окружающей среды (Криволуцкий, 1994). Он много работал над определением принципов выбора биоиндикаторов среди почвенных животных и методологией применения почвенной фауны в биомониторинге, изучая загрязненные радионуклидами педоценозы на Южном Урале и в Чернобыле.

Многочисленные исследования в области радиоэкологии почв проводились совместно Институтом биологии Коми филиала АН СССР (г. Сыктывкар) и Институтом эволюционной морфологии и экологии животных им. А.Н. Северцова АН СССР (г. Москва). Результаты многолетних совместных исследований по влиянию повышенных содержаний естественных и искусственных радионуклидов на динамику населения почвенных животных отражены в труде «Динамика населения животных на участках с повышенным содержанием радионуклидов в почве» (Криволуцкий и др., 1983).

Заключение к Главам 2 и 3

На основе приведенных во 2 и 3 главах результатов диссертационного исследования можно выделить **второй этап эволюции радиоэкологических знаний**, который начался в 1940-е гг. с момента открытия искусственной радиоактивности и старта проведения испытаний и ядерных взрывов, и продолжался до Чернобыльской катастрофы в 1986 г.

Рассматриваемый этап характеризуется прежде всего информационной закрытостью и режимом секретности, в котором проводилось большинство исследований, что было обусловлено периодом холодной войны между двумя ядерными державами – СССР и США. Это повлияло на полностью самостоятельное развитие отечественной радиоэкологии.

Первая крупная радиационная авария, произошедшая в Челябинской области на комбинате «Маяк» в 1957 г. (Кыштымская авария), привела к интенсификации развития радиоэкологии и мониторинговых исследований, в связи с чем во втором этапе представляется целесообразным выделить условные подэтапы:

1 подэтап (1940 – 1957), который характеризуется изучением влияния искусственной радиоактивности на биогеоценозы и живые организмы, появлением метода меченых атомов, формированием теоретических основ радиоэкологии, становлением отдельных направлений радиоэкологии;

2 подэтап (1957 – 1986), во время которого произошла интенсификация радиоэкологических исследований после Кыштымской аварии; радиоэкология начала оформляться как наука.

Основной особенностью первого подэтапа стало становление фундаментальной теоретической основы радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга, мощный импульс которому дали учение В.И. Вернадского о биосфере, биогеоценологическая концепция В.Н. Сукачева, радиационная биогеоценология Н.В. Тимофеева-Ресовского. Тогда же начинают оформляться

отдельные направления радиоэкологии (сельскохозяйственная, лесная, морская и др.).

Необходимость консолидации усилий в деле выработки единых нормативных требований радиационной защиты при использовании атомной энергии в середине XX в. привела к созданию ряда специализированных международных организаций – Международной комиссии по радиологической защите МКРЗ (1950 г., создана на базе реорганизованного Комитета по защите от рентгеновских лучей и радия (1928 г.)), Научного комитета ООН по действию атомной радиации НКДАР ООН (1955 г.), Международного агентства по атомной энергии МАГАТЭ (1957), Международного союза радиоэкологии МСР (1978 г.). Они сыграли определенную роль в развитии в том числе радиоэкологических исследований.

Основные ключевые фигуры и события II этапа отражены на рисунке 2.

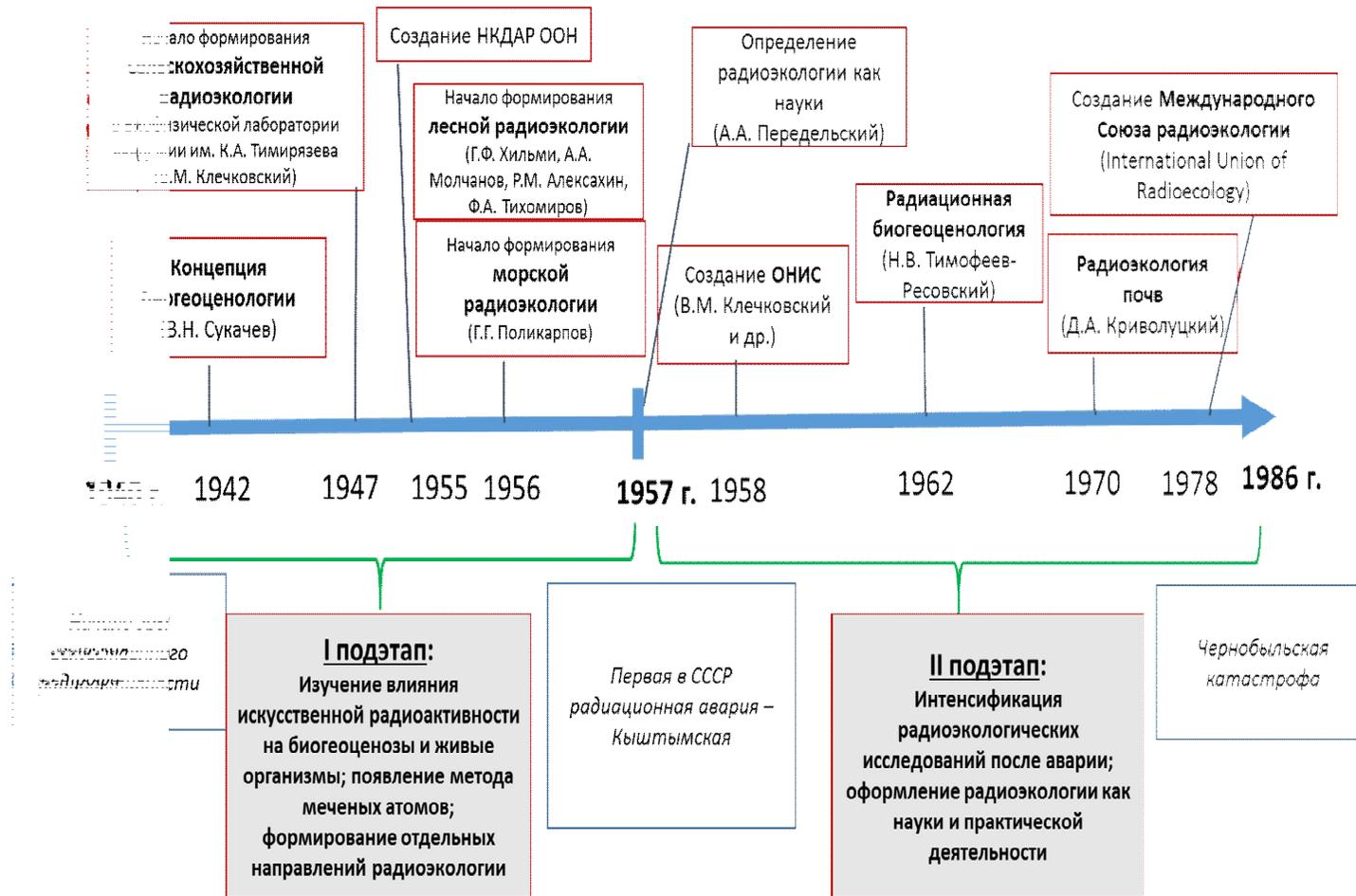


Рисунок 2.

Основные ключевые фигуры и события II этапа становления радиэкологии и радиэкологического мониторинга
(Составлено автором)

Глава 4

Эколого-биологические аспекты радиоэкологического мониторинга на современном этапе развития радиоэкологии (на примере атомной отрасли)

Мощный импульс развития радиоэкологических исследований, обусловленный последствиями Чернобыльской катастрофы, позволяет говорить о начале с 1986 г. нового, современного, этапа эволюции радиоэкологии в целом, который продолжается до сих пор. Определение его подэтапов и основных реперных точек будет входить в задачу историков науки в ближайшие десятилетия.

Радиоэкологический мониторинг является необходимым элементом обеспечения безопасности не только предприятий атомной энергетики и промышленности, он также проводится для объектов нефтегазового комплекса, химической и металлургической промышленности, сельскохозяйственного производства, ТЭЦ и других объектов топливно-энергетического комплекса (Романюк, 2002; Глухов и др., 2012). Активно развиваются и применяются новые подходы к проведению экологического мониторинга с точки зрения эколого-биологической составляющей и в областях, не связанных с контролем радиационной обстановки. Применяемые в них программы экологического мониторинга позволяют подчеркнуть значимость исследований биоты для сохранения экологической устойчивости природных комплексов в районе расположения производственных объектов, что подтверждают результаты проведенных исследований (Ашихмина, 2002; Экологический мониторинг опасных производственных объектов..., 2010). В нашем исследовании рассмотрены некоторые эколого-биологические аспекты радиоэкологического мониторинга на современном этапе развития атомной отрасли.

4.1. Организация радиэкологического мониторинга в атомной отрасли

После Чернобыльской катастрофы стало ясно, что назрела острая необходимость создания новейших систем мониторинга радиационной обстановки, которые позволили бы в режиме реального времени осуществлять непрерывный автоматизированный контроль радиационной и метеорологической обстановки в районе расположения объектов использования атомной энергии на промышленной площадке, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения.

ОАСКРО

Большое значение для контроля радиационной обстановки и оперативного реагирования на ее изменения в районе расположения ядерно и радиационно опасных объектов имеет ОАСКРО – отраслевая автоматизированная система контроля радиационной обстановки. Она входит в состав единой государственной автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки (ЕГАСМРО) и выполняет функции государственного контроля за радиационной обстановкой в районах размещения ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения РАО, принадлежащих организациям Госкорпорации «Росатом».

ЕГАСМРО создается с 1995 г. и в настоящее время представляет собой сложную информационно-измерительную систему, способную обеспечивать выявление всех гигиенически и экологически значимых случаев ухудшения радиационной обстановки, осуществлять оценку и прогнозирование ее изменений на территории Российской Федерации, вырабатывать рекомендации для обеспечения радиационной безопасности. Организационно ЕГАСМРО построена по функциональным подсистемам: контроля источников, мониторинга радиоактивного загрязнения и контроля радиационного воздействия на человека. Результаты мониторинга доступны в открытом доступе на сайте www.russianatom.ru.

Мониторинг состояния недр

Одним из наиболее комплексных и высокотехнологических видов мониторинга в атомной отрасли является объектовый мониторинг состояния недр (далее - ОМСН). Он представляет собой систему регулярных наблюдений за изменением индикаторных показателей состояния недр и поверхностной гидросферы под влиянием деятельности организаций Госкорпорации «Росатом», оценки и прогноза этих изменений во времени и пространстве и направленного управления ими. В качестве источников воздействия на недр также рассматриваются загрязненные экосистемы (в основном почвы и растительность) и поверхностные воды. Целью ОМСН является получение достоверной информации о воздействии ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО) и других техногенных источников атомной отрасли на состояние недр, необходимой для оценки радиационной безопасности при эксплуатации и выводе из эксплуатации этих объектов, математического моделирования миграции радионуклидов в подземном пространстве недр. ОМСН служит системой информационного обеспечения для принятия управляющих решений по реализации природоохранных мероприятий. Мониторинг состояния недр является составной частью мониторинга окружающей среды и не ограничивается только контрольной функцией.

Центр мониторинга состояния недр на предприятиях Госкорпорации «Росатом» (Центр МСНР) был создан в 2008 г. в рамках соглашения между Госкорпорацией «Росатом» и Федеральным агентством «Роснедра» в структуре ФГБУП «Гидроспецгеология». К настоящему времени исследованиями ОМСН охвачены все экологически значимые организации атомной отрасли.

ОМСН, проводимый предприятиями, должен обеспечивать решение следующих задач (Глинский и др., 2015):

- получение, обработку и анализ данных о состоянии недр на территории возможного влияния ЯРОО;

- оценку качества подземных и поверхностных вод и выявление в пределах СЗЗ или ЗН предприятия загрязняющих химических и радиоактивных элементов;

- своевременное выявление природных и техногенных процессов, влияющих на состояние недр, целостность конструкций и элементов ЯРОО и сопутствующих объектов;

- обоснование мероприятий по обеспечению экологической безопасности и охраны недр, по предотвращению или снижению негативного воздействия техногенных и природных процессов;

- информационное обеспечение запросов о состоянии подземных вод;

- оценку эффективности мероприятий, направленных на снижение воздействия ЯРОО на подземные воды;

- объективное информирование общественности об уровне экологической безопасности ЯРОО и состоянии недр в зоне воздействия ЯРОО.

Первичный анализ данных ОМСН позволяет сделать только предварительное заключение о наличии загрязнения почв, грунтов, подземных и поверхностных вод на участке ЯРОО. Получить количественную характеристику воздействия ЯРОО на грунты, подземные и поверхностные воды, а также обосновать в случае необходимости реабилитационные мероприятия можно только с помощью геофильтрационного и геомиграционного моделирования, выполняемого на основе данных ОМСН.

Основными задачами моделирования являются:

- решение обратных задач с целью воссоздания на модели условий функционирования ЯРОО за все время их эксплуатации (эпигнозные расчеты);

- прогнозные расчеты;

- обоснование радиационной безопасности;

- обоснование оптимизации наблюдательной сети ОМСН.

По завершению годового и многолетних циклов наблюдений составляются:

- прогнозы миграции радионуклидов и других загрязняющих веществ с поверхностными и подземными водами на основе математического

гидрогеологического моделирования при различных сценариях жизненного цикла объектов мониторинга;

- рекомендации предприятиям по организации или оптимизации систем ОМСН;

- аналитические отчеты с оценкой степени влияния объектов использования атомной энергии на состояние недр.

Данные, полученные в результате ведения предприятиями ОМСН и полевого обследования систем ОМСН, выполненного Центром, позволили охарактеризовать современное состояние недр на промышленных площадках предприятий и в их СЗЗ. При этом определялись гидродинамический и температурный режим подземных вод, их радиоактивность, химический состав. Оценка состояния осуществлялась путем сравнения с нормативными и референтными величинами, а также по характеру изменения исследуемых показателей за многолетний период.

Благодаря функционированию на протяжении восьми лет системы мониторинга состояния недр в организациях Госкорпорации «Росатом» накоплен массив достоверных фактических данных о ситуации с поступлением радионуклидов и химических загрязнителей в поверхностные водотоки и водоёмы, в наземные почвы и «аквапочвы» (илы), а затем в главную гидродинамическую систему – подземные воды.

Радиоэкологический мониторинг в отдельных организациях атомной отрасли

В экологически значимых организациях атомной отрасли созданы и эффективно реализуются многоуровневые системы радиоэкологического мониторинга. Помимо обязательного контроля качества атмосферного воздуха, почв, водных объектов, снега, проводится мониторинг биологических объектов биосфера. Рассмотрим ряд конкретных примеров действующих систем радиоэкологического мониторинга на отдельных предприятиях Госкорпорации «Росатом», акцентируя внимание на эколого-биологических аспектах.

Билибинская АЭС

В программы радиоэкологического мониторинга Билибинской АЭС включены исследования радиоактивности некоторых биокосных систем: иловых осадков, донных отложений, а также объектов трофических звеньев биоценозов (Отчет по экологической безопасности Билибинской АЭС за 2014 г.).

ГХК

На Горно-химическом комбинате (ФГУП ФЯО «ГХК», г. Железногорск Красноярского края) функционирует Радиоэкологический центр ГХК, имеющий в своём составе лабораторию радиоэкологического мониторинга. Лаборатория аккредитована на выполнение измерений активности техногенных радионуклидов, содержащихся в объектах:

- атмосферы (аэрозоли, газы, атмосферные выпадения и осадки);
- гидросферы (вода, донные отложения, рыба, водоросли и гидробионты);
- литосферы (почвы, снежный покров);
- продукции сельского хозяйства (растительного и животного происхождения);
- продукции лесозаготовительной и лесопильно-деревообрабатывающей промышленности (Отчет по экологической безопасности ФГУП ФЯО «ГХК» за 2014 г.).

В процессе проведения радиоэкологического мониторинга воздействие предприятия на окружающую среду оценивается системой следующих критериев:

- содержание радионуклидов в верхнем почвенном слое на промплощадке, в СЗЗ и ЗН (в 15 точках контроля);
- содержание радионуклидов в траве вокруг основного источника выбросов на промплощадке, в СЗЗ и ЗН (в 15 точках контроля);
- содержание радионуклидов в пищевых продуктах, производимых в 20-км зоне наблюдения (не менее 5 населенных пунктов);
- содержание радионуклидов в рыбе р.Енисей до 1000 км ниже выпуска сточных вод;

-содержание радионуклидов в донных и аллювиальных отложениях поймы Енисея до 1000 км ниже выпуска сточных вод;

-микробиологические показатели сточных вод предприятия (6 выпусков).

Кольская АЭС

Кольская АЭС проводит отбор проб почвы, растительности (травы) в 16-ти постоянных пунктах наблюдения, а также осуществляет сбор и контроль хвои, ягеля, грибов и ягод в СЗЗ, ЗН и в контрольном пункте (Отчет по экологической безопасности Кольской АЭС за 2014 г.). Отбор донных отложений проводится в 6-ти постоянных точках контроля акватории озера Имандра в пределах ЗН. Отбор проб водорослей осуществляется в зоне прямого воздействия сточных вод Кольской АЭС (губа Молочная Бабинской Имандры) и за ее пределами (губа Заячья Иокостровской Имандры). Осуществляется контроль рыбы, свободно обитающей в озере Имандра, а также садковой форели, выращиваемой в садках, расположенных в устье сбросного канала АЭС.

Довольно часто мониторинг биоты проводят специализированные сторонние организации, привлекаемые на договорной основе. Например, в ФГУП «Базальт» микробиологический контроль ливневых стоков и биотестирование ливневых стоков в 2014 году осуществлялся испытательной лабораторией ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» №156 ФМБА России и отделом биологических исследований Государственного научно-исследовательского института промышленной экологии - ФГУ «ГосНИИЭНП» (Отчет по экологической безопасности ФГУП «Базальт» за 2014 г.). Экологический мониторинг на Балаковской АЭС проводится по договорам с ФГУ «ГосНИИЭНП» по темам «Экологический мониторинг состояния окружающей среды: наземных экосистем», «Экологический мониторинг состояния окружающей среды: водных экосистем». В процессе работ выполняется комплексная оценка экологической ситуации в районе расположения Бала АЭС по химическому, биологическому, радиационному факторам (Отчет по экологической безопасности Балаковской АЭС за 2014 г.). Биолого-химический

мониторинг водоема-охладителя Ленинградской атомной станции – Копорской губы Финского залива Балтийского моря осуществляется Ленинградской АЭС с привлечением сторонних специализированных предприятий. Постоянно действующая система радиационного контроля объектов окружающей среды обеспечивает контроль соблюдения установленных нормативов допустимых выбросов и сбросов радионуклидов в окружающую среду, а также периодический мониторинг нуклидного состава и активности в объектах окружающей среды (Отчет по экологической безопасности Ленинградской АЭС за 2014 г.). Вообще, на примере Ленинградской АЭС накоплен большой опыт в организации радиоэкологического мониторинга⁹.

Системы мониторинга постоянно технически совершенствуются. Так, на Смоленской АЭС для прямой съемки гамма-фона на местности используется передвижная радиометрическая лаборатория (Отчет по экологической безопасности Смоленской АЭС за 2014 г.), на ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор» - передвижной экологический пост и радиометрическая лаборатория (Отчет по экологической безопасности ЭХП за 2014 г.).

Производственный экологический и радиационный мониторинг

В настоящее время в атомной отрасли основную роль играет производственный экологический и радиационный мониторинг. Экологический мониторинг (мониторинг окружающей среды), согласно определению Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», осуществляется в целях проведения комплексных наблюдений за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды. Этим же законом определяется понятие производственного контроля в области охраны окружающей среды (производственный экологический контроль). Он проводится в целях обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности

⁹ Более подробно см. Крышев, Рязанцев, 2000.

мероприятий по охране окружающей среды, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов, а также в целях соблюдения законодательных требований в области охраны окружающей среды.

Важным средством обеспечения безопасности при использовании атомной энергии является мониторинг радиационной обстановки, под которым понимается система регулярных наблюдений за содержанием радионуклидов в компонентах природной среды и за другими параметрами радиационной обстановки с целью своевременного выявления и прогноза нежелательных для человека и экосистем последствий. В соответствии с современными представлениями и международной практикой мониторинг радиационной обстановки должен быть ориентирован на обеспечение радиационной безопасности человека. Кроме этого, данные мониторинга радиационной обстановки должны позволять оценивать радиационно-экологическое воздействие на природные объекты для обеспечения радиационной защиты биосферы. Радиационный контроль на предприятиях атомной отрасли включает в себя радиационные измерения на промплощадке, а также в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения.

Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения

Важное значение радиоэкологический мониторинг приобретает при разработке и установлении санитарно-защитных зон и зон наблюдения вокруг радиационных объектов в соответствии с Федеральными законами «Об использовании атомной энергии» и «О радиационной безопасности населения». Особую барьерную, буферную защитную зону между предприятием и населением, проживающим вокруг источника опасности, представляет санитарно-защитная зона (СЗЗ). Это территория вокруг радиационного объекта, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации объекта может превысить установленный предел дозы облучения населения за границами СЗЗ. Территория за пределами СЗЗ, на которой проводится радиационный контроль, относится к зоне наблюдения (ЗН) (СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009»).

Формирование и последующее развитие концепции санитарно-защитных зон промышленных предприятий имеет более чем полувековую историю. Первое упоминание о СЗЗ и санитарной классификации объектов содержится в Инструкции для органов Государственной санитарной инспекции и санитарно-противоэпидемической службы по контролю за проведением мероприятий в области охраны атмосферного воздуха населенных мест от загрязнения промышленными выбросами и отходами, утвержденной Всесоюзной государственной санитарной инспекцией 30.12.1950 г. (Дудникова, 2014). В соответствии с п.6 указанной Инструкции проектные материалы должны были рассматриваться и оцениваться санитарными органами с учетом соответствия СЗЗ проектируемого предприятия санитарной классификации производств.

Гигиенические требования к порядку установления СЗЗ и ЗН для объектов использования атомной энергии, обоснованию их размеров в зависимости от категории потенциальной опасности радиационного объекта, регламентации условий эксплуатации этих зон и мерам по обеспечению безопасности населения и окружающей среды определяются Санитарными правилами СП 2.6.1.2216-07 «Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ» (Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 29.05.2007 № 30). В соответствии с требованиями СП 2.6.1.2523-09 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2009», СЗЗ устанавливается вокруг радиационных объектов I, II и III категорий. На внешней границе СЗЗ не должны превышать действующие санитарно-эпидемиологические нормативы по физическим и химическим факторам воздействия на население.

Проекты СЗЗ и ЗН выполняются на стадии проектирования объекта и содержат сведения об объемах, периодичности и приборно-методическом обеспечении радиационного контроля. В основе разработки и обоснования СЗЗ и ЗН лежат данные фонового мониторинга района расположения предприятия, проводимого на стадии инженерно-экологических изысканий для разработки

обоснования инвестиций (ОБИН) и проекта. Не менее важна роль мониторинга на стадии эксплуатации объекта - границы СЗЗ и ЗН могут быть уменьшены при достижении уровня техногенного воздействия на границе СЗЗ в рамках и ниже нормативных значений по материалам систематических (не менее чем годовых) лабораторных наблюдений; одних расчетных данных для этого недостаточно. Здесь мы находим подтверждение того, что базисом радиоэкологического мониторинга является его эколого-биологическая сущность. Он в первую очередь обращен к человеку, должен обеспечивать его защиту и охрану природных систем биосферы. Контроль радиационной обстановки в СЗЗ и ЗН в зависимости от реально действующих радиационных факторов включает:

- контроль мощности дозы гамма-излучения;
- контроль загрязнения воздушной среды радиоактивными газами и аэрозолями;
- контроль поверхностного загрязнения территории радиоактивными веществами;
- контроль содержания РВ в почве, донных отложениях и воде открытых водоемов, в грунтовых водах и биологических объектах.

Основные требования к проведению мониторинга определяются программой его проведения. Она содержит сведения по ведению радиационного мониторинга с целью получения исходных данных для оценки состояния окружающей среды в районе расположения радиационного объекта, а также прогноза изменений для выработки мероприятий, направленных на обеспечение *экологически безопасной эксплуатации объекта*. При составлении проекта программы учитывается специфика направления деятельности предприятия, географическое расположение и природно-климатические особенности территории расположения¹⁰.

¹⁰ Пример программы см. Бессонов и др., 2013.

Экологическая политика

Необходимость регламентации подходов к обеспечению экологической безопасности атомной отрасли нашла отражение в принятой в конце 1990-х гг. межведомственной программе (Минатом, Минздрав, РАН, Росгидромет, Россельхозакадемия и др.), в результате выполнения которой были разработаны и утверждены в 2003 г. Основы экологической политики Минатома.

Одним из ключевых факторов развития радиоэкологического мониторинга и контроля в атомной отрасли стали разработка и утверждение Экологической политики. Формирование основ Экологической политики Минатома России началось в конце 1990-х - начале 2000-х гг. В 2008 г. была утверждена Экологическая политика Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», разработанная на основе изучения и анализа опыта создания экологических политик крупнейших отечественных и мировых компаний, а также Минатома России. В этом документе отражена стратегическая цель Госкорпорации – обеспечить устойчивое развитие и стать одной из ведущих компаний мира по использованию атомной энергии для решения глобальных энергетических и экологических проблем. Достижение этой цели невозможно без экологической приемлемости и безопасности, что влечет за собой необходимость проведения эффективной экологической политики¹¹.

В 2009 году по результатам мониторинга воздействия на окружающую среду в российской атомной отрасли было выбрано 65 организаций, имеющих экологически значимые производства. Они приняли на себя обязательства соблюдать принципы Экологической политики Госкорпорации «Росатом» и разработали собственные экологические политики, открыто заявив, что будут ставить и выполнять экологические задачи, направленные на постоянное улучшение системы экологического менеджмента и на уменьшение негативного воздействия на окружающую среду.

¹¹ Подробнее об Экологической политике Госкорпорации «Росатом» см. Агапов и др., 2011.

Тогда же стали издаваться публичные ежегодные отчеты по экологической безопасности, в которых отражаются в том числе результаты мониторинга, проводимого в СЗЗ и ЗН. Отчеты доступны в открытом доступе на сайтах предприятий и на сайте Общественного совета Госкорпорации «Росатом».

Биомониторинг и биоиндикация как неотъемлемые части радиоэкологического мониторинга

Важным в мониторинге является обнаружение наиболее уязвимых для радиационного воздействия компонентов биogeоценозов, а также видов, которые могут быть использованы в целях биоиндикации радиоактивного загрязнения. Применение метода биоиндикации в настоящее время в организациях атомной отрасли не рассматривается как часть систем мониторинга и как системный показатель оценки состояния окружающей среды. Основными свойствами, определяющими возможность использования определенных видов организмов в мониторинге, являются мера стойкости биологических систем к действию ионизирующего излучения (радиоустойчивость) и чувствительность биологических объектов к действию ионизирующего излучения (радиочувствительность).

Если обратиться к проведенному в первых главах историко-научному анализу, становится понятным, что методы биомониторинга и биоиндикации изначально использовались для исследования явления радиоактивности после его открытия. Теоретической основой этих методов является учение о функциях биосферы В.И. Вернадского, особенно о накопительной функции живого вещества. Профессор А.В. Пель еще в начале XX в. наблюдал за ростом растительности Царского Села и его окрестностей и использовал этот параметр для сравнительного анализа и характеристики благополучия территории. Особое внимание различной накопительной способности радионуклидов разных видов растений в своих работах уделял Н.В. Тимофеев-Ресовский. Одним из наиболее известных концентраторов радия и урана являются представители рода *Lemna* – различные виды ряски природных (цитируемые выше исследования Е.С.

Бурксера, В.И. Вернадского и А.П. Виноградова) и искусственных, создаваемых для охлаждения АЭС водоемов.

Фактором интенсификации исследований реакции живых организмов на радиоактивные загрязнения и возможности использования их в качестве биоиндикаторов послужили Кыштымская и Чернобыльская радиационные катастрофы. Был проведен обширный ряд работ по мониторингу воздействия последствий аварии на биоту. Выявлены коэффициенты накопления радионуклидов шляпочными грибами (Кожевникова и др., 1993), эпифитными лишайниками, которые признаны индикаторами радиоактивного загрязнения, способными без видимых морфологических аномалий поглощать значительное количество радионуклидов (Бязров и др., 1993). Р.М. Алексахиним установлен важный факт сохранения накопительной функции грибов в отношении радионуклидов спустя 30 лет на территориях, подвергшихся загрязнению в результате Чернобыльской аварии.

Одним из основоположников применения биоиндикационных методов в радиоэкологии является Д.А. Криволуцкий. Начиная с 1960-х гг., ученый работал в области радиоэкологии в возглавляемой им лаборатории биоиндикации Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова. В сферу его научных интересов входило изучение экологических последствий радиоактивных загрязнений, их экологическое нормирование, биоиндикация качества природной среды. Система биоиндикации радиоэкологического состояния на примере Европейской территории России, Норильского промышленного района, Словакии и Китая на основе зональной радиотолерантности биоиндикаторов разработана Д.А. Маркеловым под руководством Д.А. Криволуцкого (Маркелов, 2003).

Неотъемлемой частью радиоэкологического мониторинга является выбор наиболее эффективных биоиндикаторов радиоактивного загрязнения и критических объектов контроля. В целях совершенствования системы радиационного мониторинга в зоне наблюдения Белоярской АЭС путем экспертной оценки были определены оптимальные виды-биоиндикаторы. Так,

наиболее эффективным фитоиндикатором в Белоярском водохранилище определена кладофора (*Cladophora*) (Пискунов, 1994), ихтиоиндикатором – обыкновенная плотва (*Rutilus rutilus*) в возрасте 3-4 года (Пискунов и др., 1982). Благодаря методу биоиндикации установлен факт несовершенства радиоактивного дренажа на БАЭС, в результате чего техногенные радионуклиды поступали в водоем-охладитель со сбросными (подогретыми) водами.

4.2. Выбор перспективных площадок размещения объектов использования атомной энергии

Предложения по организации производственного экологического контроля и радиационного мониторинга формируются еще на предпроектной стадии намечаемой деятельности – на стадии обоснования инвестиций (ОБИН) по итогам проведенных инженерных изысканий. Далее, на следующей, проектной стадии, по результатам вновь проводимого комплекса инженерных изысканий, разрабатывается проект программы мониторинга, которая подлежит рассмотрению комиссиями общественной и государственной экологических экспертиз. Таким образом результаты мониторинга, проводимого на предпроектной и проектной стадиях намечаемой деятельности в процессе инженерных гидрогеологических, гидрометеорологических и экологических изысканий, служат фундаментом, начальной базой данных для последующих работ. Именно они являются эталонными сведениями для проведения последующего сравнительного анализа, определения динамики результатов.

Определяющее значение для выбора перспективных площадок размещения новых объектов использования атомной энергии играют данные, получаемые при организации пунктов наблюдений, пробных площадок и контрольных участков.

Пункты наблюдений организуются для мониторинга наиболее существенных показателей качества воздуха, водных объектов, почв, растительности и др. в различных природных зонах и биогеоценозах. История организации пунктов наблюдения, как отмечено в главе 1, восходит к истокам

организации радиоэкологического мониторинга в России. В письме от 05 февраля 1938 г. к В.И. Вернадскому Е.С. Бурксер отмечал, что он проводил работы по наблюдению за изменением содержания озона и йода в атмосферном воздухе в трех пунктах наблюдения: у моря, в степи и сосновом лесу. Следовательно, уже в то время проведение наблюдений в различных пунктах проводилось с учетом экологических особенностей конкретных биогеоценозов различных местностей.

В настоящее время в местах нахождения пунктов наблюдения для получения конкретных результатов радиоэкологического мониторинга организуются гидропосты, наземные пробные площадки, системы регистрации загрязнения атмосферного воздуха.

Метод выделения пробных площадок для проведения мониторинговых исследований природных биогеоценозов и их радиоэкологической характеристики, как было показано выше (см. глава 2), активно использовали В.Н. Сукачев и Н.В. Тимофеев-Ресовский. Под пробной площадкой экологических исследований понимается часть изучаемой территории, характеризующаяся сходными условиями. Сам метод пробных площадок подразумевает исследование биогеоценозов для получения информации о численности, встречаемости, размещении, покрытии, высоте, массе фито- и зооценозов на нескольких (заложенных случайно или по определенной системе) площадках.

Заложение пробных площадок мониторинга раскрывает несколько важных для развития мониторинговых исследований функций. Во-первых, подготовительную функцию – пробные площадки закладываются на ранних стадиях создания объекта для оценки его возможного воздействия на окружающую среду. Во-вторых, сами площадки на более поздних стадиях становятся пунктами проведения мониторинга – растительных биоценозов, почв, акваторий и др.

Выбор *ключевых участков* для закладки пробных площадок для оценки воздействия ядерно- и радиационно опасных объектов ориентирован по розе

ветров, расположению населенных пунктов и общей структуре ландшафта данной территории. Для изучения биогеоценозов обязательно закладывают минимум две площадки – одну на территории, испытывающей сильное антропогенное воздействие (экспериментальную), другую – на участке биогеоценоза, которая практически не испытывает влияния вводимого в эксплуатацию или действующего объекта (контрольную). Сравнение полученных результатов с контрольными имеет большое значение для формирования базы данных мониторинга. Обычно пробные площадки в районе расположения предприятий атомной отрасли располагаются в зоне наблюдения.

В каждом регионе складывается своя специфическая биогеохимическая ситуация, которая и обуславливает поведение радионуклидов в биогеоценозах биосферы. Особенности миграции и накопления радионуклидов обуславливаются природно-климатическими особенностями территории, в общем виде – экологическими факторами. Это естественным образом должно определять отличия видов и программ радиоэкологического мониторинга и его результатов для различных предприятий атомной отрасли. Так, особенности миграции радионуклидов в тундровых зонах, в которых расположены Кольская АЭС (Мурманская область) или Билибинская АЭС (Чукотский край), обусловлены высокой гумидностью, медленным круговоротом, широким преобладанием в растительном покрове лишайников и мхов с максимальной накопительной способностью по отношению к радионуклидам и высокой радиоустойчивостью. В лесной же зоне миграция радионуклидов обусловлена повышенной гумидностью, способствующей вовлечению большого количества веществ в круговорот и длительному их удержанию в биомассе. В такой зоне расположены, например, Белоярская АЭС и Уральский электрохимический комбинат (УЭХК, Свердловская область). Таким образом, к проблеме радиоэкологического мониторинга необходимо подходить дифференцированно и учитывать весь комплекс природных факторов, характеризующих биогеохимическую обстановку каждого конкретного региона.

Для обоснования роли эколого-биологических аспектов радиоэкологического мониторинга для принятия обоснованного решения о размещении объектов обратимся к нескольким реальным примерам.

Живое вещество играет первостепенную роль в формировании экосистем водоемов и определении свойств воды. Силу живого вещества уникально выразил В.И. Вернадский в труде «Биосфера». Начало исследованиям по выявлению *«химически активных центров жизни»* в воде положено работами Н.В. и Е.А. Тимофеевыми-Ресовскими (Тимофеев-Ресовский и др., 1957; Тимофеева-Ресовская, Тимофеев-Ресовский, 1958; Тимофеева-Ресовская и др., 1960).

По отклику водных экосистем и их компонентов на внешние воздействия происходящие изменения можно условно разделить на первичные и вторичные. К первичным относятся изменения морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидрофизических параметров. К вторичным относятся изменения биоты и связанные с ними вторичные изменения гидрохимических и гидрофизических параметров. Таким образом, радиоэкологический мониторинг невозможен без наблюдения за такими показателями, как изменение биотопического разнообразия, биомассы и численности гидробионтов, истощение запасов ценных и редких видов гидробионтов; смена доминирующих видов; накопление органами и тканями гидробионтов различных загрязняющих и радиоактивных веществ.

Особое значение радиоэкологический мониторинг водных экосистем в атомной отрасли имеет для атомных станций. Первостепенную роль в проведении мониторинга приобретают наблюдения за изменениями экологических условий водоемов-охладителей и развитием паразитологических ценозов. Обратимся, например, к проектной документации строительства энергоблоков № 3, 4 Ростовской АЭС (Ростовская обл.). Проектным решением был предусмотрен сброс продувочных вод энергоблоков 3,4 в водоем-охладитель, предназначенный для охлаждения энергоблоков 1,2, что влияет на изменение химического состава и теплового режима охладителя. Приведенные в Проекте гидрогеологические

расчеты показывали, что в нем в процессе эксплуатации РоАЭС, примерно через 7 лет, произойдет неизбежный рост минерализации воды до 2 кг/м^3 и более, превышающий установленные нормативы. При работе 4-х энергоблоков будет меняться и термический режим в сторону потепления, особенно в весенне-летний вегетационный период, когда в экстремальные годы максимум летних температур может достигнуть $+37^{\circ}\text{C}$. В условиях роста минерализации и изменения термического и гидрохимического режимов водоема-охладителя будет происходить смена доминантов растительных группировок и трансформация биогеоценозов на побережье водоема и водных биоценозов.

Как показывают наблюдения на ряде крупных прудов и озер в южных регионах России (Краснодарский и Ставропольский края, Калмыкия, Ростовская и Волгоградская области) в подобных экологических условиях происходит изменение паразитофауны и возрастание её разнообразия, увеличивается общая численность и появляются новые теплолюбивые виды паразитов. Особенно благоприятная среда создается в условиях умеренного теплового воздействия. При увеличении теплового режима паразитофауна угнетается. Механизм формирования паразитологической обстановки в водоеме связан с удлинением сроков того периода, который благоприятен для развития личинок и увеличения численности беспозвоночных-хозяев, что отмечается для цикла развития трематод (*Digenea*). Обычно массовое развитие моллюска-обрастателя дрейссены (*Dreissena*) приводит и к массовой вспышке трематод, поскольку дрейссена является для гельминтов промежуточным хозяином.

Ввиду того, что рыбы в теплых водоемах питаются круглый год, и число генераций гельминтов здесь увеличивается, особенно возрастает численность цестод, в меньшей степени - моногеней, по известным трофическим цепям происходит повсеместное заражение рыб гельминтами, от них – человека. Источником пространственного разноса гельминтов служат птицы. В мелководных заливчиках Цимлянского водохранилища и на водоеме-охладителе скапливается довольно много рыбоядных и водоплавающих птиц, что может

приводить к природно-очаговым инфекциям и эпизоотиям. Это обстоятельство подтверждается авторами раздела «Опасность появления новых или чрезмерного развития эндемичных популяций, связанная с изменением условий местообитания» проектной документации РоАЭС.

Для улучшения экологических условий водоема-охладителя в проекте была разработана расчётная модель снижения минерализации воды и очищения водоема продувкой свежими порциями воды Цимлянского водохранилища. Пруд-охладитель, таким образом, является одним из ключевых звеньев в системе экологической безопасности РоАЭС. Он требует постоянного повышенного внимания и тщательного мониторинга за изменениями экологических условий. Необходима организация специальных наблюдений за состоянием паразитологической обстановки на побережье водоема, а также в воде, водной растительности и придонных илах пруда – охладителя (Экспертное заключение ..., 2007) . Это учтено в программе экологического мониторинга РоАЭС, которая включает анализ многолетних биотических характеристик водных экосистем (фитопланктона, зоопланктона, зообентоса, макрофитов) района Цимлянского водохранилища и пруда-охладителя Ростовской АЭС и оценку экологических условий формирования паразитологической обстановки в пруде - охладителе и на побережье водоема. Это подтвердилось подробным изучением проектных данных общественной экологической экспертизы (там же).

Согласно рекомендациям «Заключения экспертной комиссии Государственной экологической экспертизы по проекту строительства Ростовской АЭС» разработана и согласована с надзорными органами «Комплексная программа экологического мониторинга района и площадки Ростовской АЭС», в соответствии с которой проводятся мониторинговые наблюдения в пределах промплощадки Ростовской АЭС и в зоне наблюдения при эксплуатации блока № 1, блока № 2.

К выполнению работ по комплексной программе экологического мониторинга привлечены следующие проектные, научно-исследовательские организации (Отчет по экологической безопасности Ростовской АЭС за 2014 г.):

- по проведению наблюдений по «Регламенту гидрологических наблюдений» - АО НИАЭП;

- по проведению наблюдений по «Программе мониторинга подземных вод на промплощадке» - АО НИАЭП;

- по проведению контроля за состоянием почвенного покрова сельскохозяйственных полей в рамках экологического мониторинга – АО «Атомэнергопроект»;

- по проведению наблюдений по «Программе мониторинга здоровья населения» - ФМБА России;

- по проведению работ по контролю за содержанием трития, углерода-14, йода-131, цезия-137 – лаборатория внешней радиационной разведки ОРБ,

- по проведению наблюдений по «Программе экологического мониторинга наземных и водных экосистем» - АО «Атомэнергопроект».

Особенно остро вопрос о разработке систем радиоэкологического мониторинга стоит для объектов, имеющих приграничное расположение и деятельность которых потенциально может оказать трансграничное воздействие. Так, для строящейся Балтийской АЭС в качестве источника технического водоснабжения проектом предусмотрена река Неман – водоем высшей рыбохозяйственной категории, впадающий в Куршский залив Балтийского моря. Для такого объекта создание системы экологического мониторинга естественного водоема и проведение наблюдений до ввода в эксплуатацию АЭС имеют острую необходимость и служат единственным источником объективных данных для проведения оценки воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте. Программа радиоэкологического мониторинга реки Неман включает следующие направления (Лунева, 2014):

1. Уточнение природно-климатических характеристик (топографические, гидрогеологические, геологические, аэрометеорологические);
2. Определение уровня антропогенной нагрузки на водоем на водосборе (населенные пункты, объектов производства, с/х угодья, рекреационная нагрузка);
3. Выявление факторов, обусловленных глобальными явлениями (радиоактивные и токсические выпадения, парниковый эффект);
4. Гидробиологический мониторинг (фитопланктон, зоопланктон, зообентос, перифитон, фитоценозы);
5. Ихтиологический мониторинг (определение видового состава, миграции проходных и полупроходных видов, нерестовые миграции, репродуктивные характеристики; исследования пространственно-временной динамики ихтиоценоза);
6. Гидрохимические и бактериологические исследования (вода и донные отложения);
7. Сапробиологический анализ и определение эвтрофикации водоема.

Учитывая, что для АЭС основным фактором воздействия на водоемы является сброс подогретых вод, в программы мониторинга включаются прогнозы теплового влияния сбросных вод АЭС на водоем, например, методом гидродинамического моделирования.

Изучение фоновых данных р. Неман на ранних стадиях создания АЭС – проектной и стадии строительства – позволяет провести уточнение естественных характеристик и своевременно применить инженерно-технические решения и компенсирующие мероприятия, способные минимизировать негативное воздействие на водные биоресурсы, а также определить виды-индикаторы для наблюдения в последующий период эксплуатации.

4.3. Значение радиозэкологического мониторинга при обращении с радиоактивными отходами

Особое значение радиозэкологический мониторинг приобретает в настоящее время в связи с решением основных задач дальнейшего безопасного развития

атомной отрасли. К таким задачам преимущественно относятся задачи по обращению с радиоактивными отходами (РАО), осуществлению безопасного вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии, применению малоотходных технологий.

На государственном уровне в 2011 г. поставлена стратегическая задача по захоронению радиоактивных отходов для обеспечения экологической и радиационной безопасности человека и окружающей среды (Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ). Целью обеспечения безопасности при захоронении РАО является их надежная изоляция, обеспечивающая радиационную безопасность человека и окружающей среды на весь период потенциальной опасности РАО. Долговременная безопасность захоронения РАО в период после закрытия пунктов захоронения должна обеспечиваться применением системы барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду.

Эффективная реализация стратегии захоронения РАО предполагает развитие мониторинга пунктов захоронения РАО. Особую сложность здесь представляет прогнозирование потенциальной опасности захороненных отходов после закрытия пунктов захоронения и в многолетний постэксплуатационный период, в том числе при захоронении радиоактивных отходов в глубокие геологические формации (сооружения, размещаемые на глубине нескольких сотен метров, без намерения последующего их извлечения). Мониторинг систем захоронения радиоактивных отходов после закрытия ПЗРО подразумевает создание комплексной системы наблюдений и контроля за состоянием барьеров и компонентов природной среды, а также оценки и прогноза изменений в ближней зоне для подтверждения безопасности захоронения РАО.

В целом, создание и практическая реализация концепции радиоэкологического мониторинга представляет собой актуальную научную задачу, практическая перспектива развития которой обусловлена переходом на

новый уровень управления с приоритетом безопасности как в Госкорпорации «Росатом», так и на государственном уровне.

4.4. Переход к экоцентрической концепции радиационной защиты

Еще в 1985 году в контексте интенсивного развития атомной энергетики Р.М. Алексахин и Ф.А. Тихомиров выдвинули в качестве первоочередной задачи радиоэкологии разработку методологических основ радиационного мониторинга окружающей среды. Центральной проблемой радиационного мониторинга является создание концептуальных схем миграции радионуклидов по **биологическим** и абиотическим цепочкам: *«Изучение особенностей включения радионуклидов в биогеохимические циклы миграции представляет не только теоретический интерес, но имеет и исключительное прикладное значение, так как в подавляющем большинстве ситуаций с выведением радионуклидов в природную среду основную роль в формировании дозовых нагрузок на человека играет поступление радионуклидов в организм человека по пищевым цепочкам»* (Алексахин, Тихомиров, 1985, 292).

В последние годы наметился определенный перелом в оценке значимости и методике проведения радиоэкологических исследований. На государственном уровне в 2013 году начались изменения самой идеологии охраны окружающей среды: теперь место экологического и радиационного контроля, который по сути своей предполагает считывание данных наблюдений и сравнение результатов с нормативными показателями «превышает/не превышает», занимает мониторинг окружающей среды (Постановление Правительства Российской Федерации от 06 июня 2013 № 477; Постановление Правительства Российской Федерации от 09 августа 2013 № 681). Производственный экологический и радиационный контроль должны преследовать задачу не просто нормирования, фиксации факта нарушения и выполнения требований законодательства, а решать научные задачи по обеспечению экологической безопасности. Развитие мониторинга является актуальной задачей, особенно в области изучения живых систем. В это понятие

входит наблюдение, анализ, оценка ситуации, ее прогнозирование и моделирование.

Возможным ключевым моментом в эволюции радиоэкологических знаний, который позже может быть оценен историками науки как реперная точка в начале нового этапа развития радиоэкологии, является изменение подхода к радиационной защите. В течение многих лет основополагающим считался антропоцентрический принцип обеспечения радиационной безопасности «защищен человек – защищена биосфера» в соответствии с публикациями МКРЗ 26 и 60 (Recommendations of the International Commission...). В последние годы наметился переход от принятого сейчас антропоцентрического принципа к принципу экоцентрическому, который позволил бы обеспечить радиационную защиту не только на уровне отдельных представителей живых организмов, но и подойти к оценке радиационной защищенности экосистем биосферы в целом (некоторые исследователи говорят также о биоцентрическом принципе, объектами защиты при применении которого становятся живые организмы за исключением человека (Бударков, 2009; Алексахин и др., 2005)).

С конца 80-х гг. МКРЗ расширил сферу своих интересов, включив в круг рассматриваемых проблем не только радиационную защиту человека, но и биоты. В 1996 г. НКДАР ООН выпустил фундаментальный отчет по влиянию ионизирующих излучений на окружающую среду «Действие радиации на окружающую среду (“Effects of Radiation on the Environment”)». Научными консультантами-составителями этого отчета были Деннис Вудхед – известный радиоэколог из Великобритании и Р.М. Алексахин. Впервые в истории этой международной организации с момента создания в 1955 г. был выполнен детальный анализ мировой литературы по действию ионизирующих излучений на растения и животных, их популяции и экосистемы. Причем в отчете более 20% библиографических ссылок составил анализ результатов публикаций по Чернобыльской тематике (в первую очередь вышедших на русском языке). В 2005 г. в структуре МКРЗ был создан отдельный, пятый комитет, задачей которого

является рассмотрение проблем защиты окружающей среды от ионизирующих излучений.

Несмотря на то, что нормы МАГАТЭ и МКРЗ уже предполагают проведение отдельных оценок воздействия ионизирующих излучений на живые организмы (Публикация 91 МКРЗ), российский нормативный подход к обеспечению радиационной безопасности пока основывается на антропоцентрическом принципе (Крышев, Сазыкина, 2013). Это обусловлено отсутствием согласованных критериев, в том числе международных, позволяющих выработать единые подходы к радиационной защите популяций или ее отдельных особей и биосферы. Также существуют определенные сложности, влияющие на невозможность в данный момент начать применять экоцентрический подход в практике нормирования:

отсутствие для многих радионуклидов экспериментальной информации о количественных закономерностях их миграции в природной среде;

значительное видовое разнообразие биосферы и практическая невозможность оценить радиационное воздействие на каждый объект биоты;

отсутствие необходимых нормативных документов;

отсутствие методов биологического и недостаточность медико-биологического анализа.

В связи с этим созрела необходимость создания обширной научно-методической базы для оценки существующего и потенциального воздействия излучения на окружающую среду, выбора небольшого количества референтных видов. Референтный подход к радиационной защите биоты предполагает в качестве одного из главных методов оценку экологических рисков на основе данных радиоэкологического мониторинга. Уже появляются труды по оценке радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды (Оценка радиационно-экологического воздействия..., 2015).

Несмотря на большой круг научных задач, основанных на дальнейшем развитии радиоэкологического мониторинга, с изменением подхода к

радиационной защите связано безопасное будущее атомной энергетики во всем мире.

Заключение к Главе 4

Началом современного этапа развития радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга можно считать 1986 г. – год Чернобыльской катастрофы. По аналогии с Кыштымской радиационной катастрофой она привела к интенсификации работ по мониторингу и изучению воздействия радиации на живые организмы и биогеоценозы. С 1990-х гг. исследования в районе ЧАЭС приобретают международный характер.

Мониторинговые исследования на загрязненных и сопредельных территориях проводятся до сих пор. Они позволили сформировать картину длительного поведения радионуклидов в биогеоценозах. Но самое главное – авария на Чернобыльской АЭС показала значимость проведения радиоэкологических исследований для обеспечения безопасного развития атомной отрасли, поспособствовала созданию в начале 90-х гг. автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки. Затем постепенно стали появляться иные системы радиоэкологического мониторинга, в 2008 г. был создан Центр мониторинга состояния недр предприятий Госкорпорации «Росатом».

Одним из поворотных моментов развития современной радиоэкологии среди мирового научного сообщества стала авария на АЭС Фукусима-1, произошедшая 11 марта 2011 г. в результате сильнейшего в истории Японии землетрясения и последовавшего за ним цунами. Авария поставила новые научные задачи для радиоэкологов, основной объем проводимых исследований опирается на результаты сравнительного анализа работ, проводимых после Чернобыльской катастрофы (Mousseau, 2015; Konoplev and others, 2015).

Проведенный в 4 главе анализ существующих систем экологического и радиационного мониторинга на примере атомной отрасли показал, что в

настоящее время биологические объекты подлежат постоянному мониторингу на ядерно и радиационно опасных объектах лишь частично. В отрасли еще не хватает специалистов и соответствующего технического оборудования для проведения полного цикла эколого-биологических исследований и радиоэкологического мониторинга. В связи с этим в качестве одной из задач организации радиоэкологического мониторинга встает привлечение научных сил (ВУЗы, академические учреждения, специализированные научно-проектные организации) для установления степени радиационного воздействия на биоту и пределов ее устойчивости. Бесспорно, самым значимым на современном этапе развития радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга стал наметившийся перелом парадигмы радиационной защиты с антропоцентрической позиции к экоцентрической.

Основные ключевые события III – современного – этапа отражены на рисунке 3.

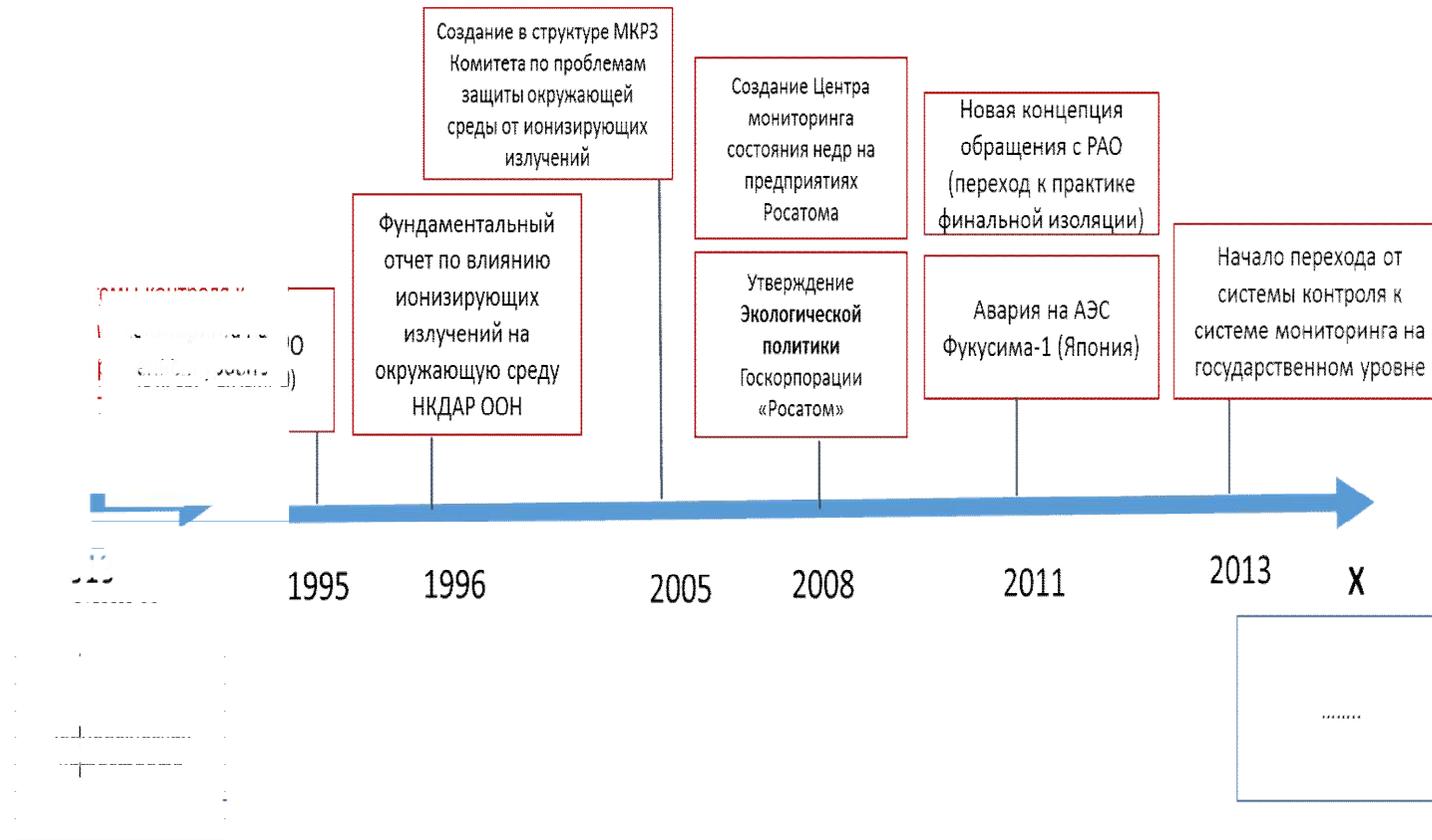


Рисунок 3.

Основные ключевые события современного этапа становления радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга
(Составлено автором)

Заключение

В результате проведенного диссертационного исследования удалось обратиться к истокам зарождения радиоэкологии, обозначить ключевые фигуры и события, повлиявшие на эволюцию радиоэкологических знаний, проследить процесс становления и развития отечественной радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга. Следует подчеркнуть, что радиоэкология не получила бы столь мощного развития без мониторинга – ее основного инструментария.

Безусловно, одной из самых серьезных сложностей при проведении историко-научного анализа стало определение границ и выделение отдельных этапов. Анализ показал, что определяющую роль сыграли радиационные катастрофы – Кыштымская и Чернобыльская. Именно они явились наиболее мощным импульсом к проведению новых исследований и рассматриваются в представленной работе в качестве реперных точек для разграничения этапов развития радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга.

В итоге в истории становления и развития радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга в России было выделено три основных историко-научных этапа:

Первый этап (1896 – 1940 гг.) – начальный – истоки становления; создание региональных центров изучения радиоактивности - радиологических лабораторий; формирование теоретических основ для развития радиоэкологии);

Второй этап (1940 – 1986 гг.): интенсификация развития радиоэкологических знаний после открытия явления искусственной радиоактивности; формирование направлений радиоэкологии; развитие методологической и технической базы исследований; роль Кыштымской аварии;

Третий этап (1986 – наст. вр.) – современный: развитие радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга после аварии на Чернобыльской АЭС;

появление современных комплексных систем мониторинга; изменение парадигмы обеспечения экологической безопасности.

Представленное в работе деление на три этапа достаточно условное, так как чаще всего события и ключевые фигуры одного этапа тесно переплетены с другим. С наибольшим количеством неопределённостей пришлось столкнуться при анализе ключевых событий III - современного - этапа.

В задачи исследования не входил анализ и оценка развития международных исследований по радиоэкологии и развитию радиоэкологического мониторинга, в связи с чем эти вопросы затронуты лишь частично.

Автором был исследован процесс получения и накопления фактических данных по воздействию радиации на биологические объекты и о радиоактивности биокосных систем биосферы (почв, природных вод и грязей, растительности, атмосферного воздуха), что позволило подчеркнуть значимость и обосновывать эколого-биологическую сущность радиоэкологического мониторинга.

Интенсивное развитие радиоэкологии стало возможным только благодаря созданию прочного научного фундамента. В представленной работе сделана попытка осветить значение учения В.И. Вернадского о биосфере и биогеоценологии В.Н. Сукачева в развитии радиоэкологических знаний. Также особое внимание уделено вкладу Н.В. Тимофеева-Ресовского, развивавшего понятие радиационной биогеоценологии не только в научном, но и в прикладном аспекте. Впервые автором исследования проводится взаимосвязь работ одного из основоположников экологии и экологических мониторинговых исследований В.Н. Беклемишева и эволюцией радиоэкологических знаний.

Школу отечественной радиоэкологии, как показало проведенное исследование, можно считать одной из сильнейших в мире. Несмотря на длительный период холодной войны и железного занавеса, достижения советских радиоэкологов получили признание и зарубежных коллег. Так, в своей речи в Ницце (Франция) в октябре 2005 г. на 2-й международной конференции «Радиоактивность в окружающей среде» при вручении ему Золотой медали имени

В.И. Вернадского видный американский радиоэколог У. Уикер сказал: *«Радуется, что за последние 40 лет или более радиоэкология в России и соседних странах развивалась очень активно благодаря таким известным ученым, как Рудольф Алексахин и Геннадий Поликарпов»* (Творческий путь Алексахина Рудольфа Михайловича, 2006, с. 18).

Историко-научное исследование истоков формирования радиоэкологического знания – задача трудоемкая и требующая глубокой детальной проработки. Она потребовала изучения больших массивов источников – прежде всего, архивных и фондовых материалов, практически исчезнувших из научного оборота старых изданий. Проводимое исследование дало возможность натолкнуться на неосуществившиеся в свое время или уже забытые научные идеи, которые могут в будущем дать начало новым научным исследованиям, определят их прикладное значение. Историко-научный анализ таким образом неразрывно связан с современными экологическими проблемами. Оценка развития радиоэкологии на современном этапе, включая настоящее время, позволила подчеркнуть роль эколого-биологической составляющей радиоэкологического мониторинга как основы для обеспечения экологической и радиационной безопасности вводимых, действующих и выводимых из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов, что особенно актуально с учетом изменения подходов к обеспечению радиационной защиты.

Выводы

В результате проведенного диссертационного исследования:

1. На основе анализа материалов литературных, фондовых и архивных источников исследован и воссоздан процесс получения и накопления фактических данных по воздействию радиации на биологические объекты/живые системы и о радиоактивности биокосных систем биосферы (почвы, природных вод и грязей, растительности, атмосферного воздуха) в России от первых исследований радиоактивности в конце XIX в до настоящего времени.

2. Определены основные теоретические предпосылки радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга, заложенные учением о биосфере и ноосфере В.И. Вернадского, биогеоценологией В.Н. Сукачева и радиационной биогеоценологией Н.В. Тимофеева-Ресовского. Показана роль В.Н. Беклемишева как одного из основоположников экологии и экологических мониторинговых исследований. Изучено значение обособившихся научно-практических направлений радиоэкологии в целостной картине радиоэкологических знаний. К ним относятся сельскохозяйственная радиоэкология (В.М. Клечковский, Р.М. Алексахин и др.), морская (Г.Г. Поликарпов и др.), лесная (Г.Ф. Хильми, А.А. Молчанов, Р.М. Алексахин и др.), радиоэкология почв (М.С. Гиляров, Д.А. Криволуцкий и др.).

3. Выделены три основных историко-научных этапа становления и развития радиоэкологических исследований природных сред и объектов в России, обосновывающих эколого-биологическую сущность радиоэкологического мониторинга.

4. Доказано первостепенное значение эколого-биологической составляющей радиоэкологического мониторинга на современном этапе в качестве важнейшего критерия обеспечения безопасности предприятий атомной отрасли. Даны предложения по развитию радиоэкологического мониторинга с учетом изменения парадигмы обеспечения радиационной безопасности и перехода от антропоцентрического подхода к экоцентрическому.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ**Источники**

1. Архив РАН. Ф. 1557 (Тимофеев-Ресовский Николай Владимирович). Оп.2. Д. 530.
2. Архив РАН. Ф. 1750 (Тимофеев-Ресовский Николай Владимирович). Оп. 1.
3. Архив РАН. Ф. 518. (Вернадский Владимир Иванович). Оп. 3. Д. 210, 211, 212, 334, 1211, 1214, 1593, 1627.
4. Архив РАН. Ф. 566. (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН). Оп. 1. Д. 7.
5. Из истории организации биогеохимических исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geokhi.ru/Lab21.aspx>.
6. Изучение распределения активности по биомассе и неживым компонентам водоемов. I. Отчет, 1951 (Н.В. Лучник, Е.А. Тимофеева-Ресовская, Г. Борн). Атлас-справочник по важнейшим результатам инкорпорации радиоизотопов. II. Отчет, 1953 (Н.В. Горбатюк, А. Кач).
7. Маркелов Д.А. Биоиндикация радиоэкологического состояния зональных биомов // Дисс... кандидата географических наук. – М., 2003.
8. О научной разработке биологических вопросов ... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ras.ru/FStorage/download.aspx?id=96e23523-63cc-439f-948b.
9. Орлова М. П. // Электронная энциклопедия Томского государственного университета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: wiki.tsu.ru.
10. Отчет по экологической безопасности Балаковской АЭС за 2014 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://www.rosenergoatom.ru/environment_safety/environment/environmental_statements/.

11. Отчет по экологической безопасности Билибинской АЭС за 2014 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rosenergoatom.ru/environment_safety/environment/environmental_statements/.

12. Отчет по экологической безопасности Кольской АЭС за 2014 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rosenergoatom.ru/environment_safety/environment/environmental_statements/.

13. Отчет по экологической безопасности Ленинградской АЭС за 2014 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rosenergoatom.ru/environment_safety/environment/environmental_statements/.

14. Отчет по экологической безопасности Ростовской АЭС за 2014 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rosenergoatom.ru/environment_safety/environment/environmental_statements/.

15. Отчет по экологической безопасности Смоленской АЭС за 2014 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rosenergoatom.ru/environment_safety/environment/environmental_statements/.

16. Отчет по экологической безопасности ФГУП «Базальт» за 2014 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rosatom.ru/resources/a8571e004a910c66b269b7a23271909f/eco_safety_report_2014_bazalt.pdf.

17. Отчет по экологической безопасности ФГУП ФЯО «ГХК» за 2014 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sibghk.ru/images/pdf/eco/ghk_ecorep_2014.pdf.

18. Отчет по экологической безопасности ЭХП за 2014 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ehp-atom.ru/public/upload/file/ekologicheskiy_otchet_2015_za_2014_g_2.pdf.

19. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. Р 52.18.820–2015 Рекомендации. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2015.

20. Пискунов Л. И. Разработка комплекса способов и методик радиационного мониторинга в зонах наблюдения атомных электростанций (радиационный мониторинг ноосферы) // Дисс... доктора технических наук. – Екатеринбург, 1994.

21. Поликарпов Г. Г. Штрихи воспоминаний о Николае Владимировиче Тимофееве-Ресовском // Вестник Московского университета, 2000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chem.msu.su/rus/journals/chemlife/2000/risov.html>.

22. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 29.05.2007 № 30 «Об утверждении Санитарных правил СП 2.6.1.2216-07 «Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ».

23. Постановление Правительства Российской Федерации от 06 июня 2013 № 477 «Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды».

24. Постановление Правительства Российской Федерации от 09 августа 2013 № 681 «О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)».

25. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009».

26. СП 2.6.1.2523-09 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2009».

27. Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».

28. Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

29. Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии».

30. Экспертное заключение материалов «Оценка воздействия на окружающую среду Ростовской АЭС, энергоблоки 3,4» на стадии Обоснования инвестиций в строительство (ОБИН). – Комитет по экологии Госдумы РФ, 2007. – 65 с.

31. ICRP – International Commission on Radiological Protection. Publication 91. A framework for assessing the impact of ionizing radiation on non-human species. Annals of the ICRP, 2002. / Перевод на русский: Публикация 91 МКРЗ. Основные принципы оценки воздействия ионизирующих излучений на живые организмы, за исключением человека. – М.: Изд. «Комтехпринт», 2004. – 76 с.

32. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2026>.

33. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%2060>.

Литература

34. 25 лет Радиевого института / Отв. ред. акад. В. Г. Хлопин. – М., Л.: Издательство Академии наук СССР, 1947. – 52 с.
35. Агапов А.М., Грачев В.А. и др. Экологическая политика Госкорпорации «Росатом». – М.: Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли, 2011. – 350 с.
36. Алексахин Р. М., Васильев А. В., Дикарев В. Г. и др. Сельскохозяйственная радиоэкология. – М.: Экология, 1992. – 400 с.
37. Алексахин Р. М., Гинзбург Л. Р., Медник И. Г., Прохоров В. М. Модель круговорота ^{90}Sr в лесном биогеоценозе // Экология. – 1976. – № 3. – С. 5 – 14.
38. Алексахин Р. М. История лесной радиоэкологии, ее достижения и некоторые нерешенные задачи // Проблемы лесной радиоэкологии. – М.: Московское отделение Гидрометеиздата, 1979. С. 6 – 26.
39. Алексахин Р. М., Казаков С. В., Линге И. И. Целесообразность и возможные последствия перехода на экологические критерии, 2005 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=93>.
40. Алексахин Р. М., Нарышкин М. А. Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах. – М. Наука, 1977. – 144 с.
41. Алексахин Р. М. Научная деятельность В. М. Ключковского и проблема радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова // Почвоведение. – 1990 – № 10. – С. 7 – 13.
42. Алексахин Р. М., Пристер Б. С. Колыбель отечественной радиоэкологии (к 50-летию Кыштымской радиационной аварии) // XXXVI Радиоэкологические чтения, посвященные действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. Обнинск, 28 ноября 2007 г. – М.: Россельхозакадемия, 2008. – С.10 – 47.

43. Алексахин Р. М. Проблемы радиозологии. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2006. – 879 с.
44. Алексахин Р. М., Тихомиров Ф. А. Радиозология: достижения, задачи и горизонты // Радиобиология. – 1985. – Т. 25. – вып. 3. – С. 291 – 299.
45. Алексахин Р. М. У истоков отечественной радиозологии (атомный Ротамстед и радиозологическая Мекка) // Вопросы радиационной безопасности. – 1997. – № 3. – С. 58 – 62.
46. Алексахин Р. М. У истоков отечественной радиозологии. К 100-летию со дня рождения В.М. Ключковского // Вестник РАН. – 2001. – Т. 71. – №1. – С.63 – 70.
47. Атомная отрасль России. – М.: ИздАт, 1998. – 336 с.
48. Ашихмина Т. Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. – Киров: Вятка, 2002. – 544 с.
49. Бабков В. В., Саканян Е. С. Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский. – М.: Памятники исторической мысли, 2002. – 672 с.
50. Бекетов А. В. Радий и его свойства // М.: Тип. и цинкогр. т/д. «Мысль», 1914. – 45 с.
51. Беклемишев В. Н. Основные понятия биоценологии в приложении к животным компонентам наземных сообществ // Биоценологические основы сравнительной паразитологии. – М.: «Наука», 1970б. – С. 53 – 89.
52. Беклемишев В. Н. Планировка населенных пунктов и проблема малярии. – М.: Изд-во академии медицинских наук СССР, 1949. – 72 с.
53. Беклемишев В. Н. Популяционная биология как одна из теоретических основ борьбы с комарами // Биоценологические основы сравнительной паразитологии. – М.: «Наука», 1970а. – С. 202 – 214.
54. Беклемишев В. Н. Экология малярийного комара. – М.: Наркомздрав СССР – Медгиз, 1944. – 300 с.

55. Бессонов В. Н., Мартынов В. В., Рязанов С. В., Чупис В. Н. Экологический мониторинг окружающей среды в районах расположения атомных станций: монография. – М.: Акси-М. – 2013. – 176 с.

56. Блюменталь И. Х. В. Н. Сукачев на биологическом факультете Ленинградского университета // Владимир Николаевич Сукачев. Очерки, воспоминания современников. – Л.: «Наука», 1986. – С. 20 – 24.

57. Боргман И. И. Радиоактивность некоторых русских целебных грязей // Журнал Русского физ.-хим. о-ва при Спб. ун-те. – 1906. – Т. XXXVII. – С. 63 – 76.

58. Бударков В. А. Референтный подход к оценке воздействия ионизирующих излучений на окружающую среду // XXXVII Радиоэкологические чтения, посвященные действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. Обнинск, 27 ноября 2008 г. – Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2009. – С. 55 – 82.

59. Будрик В. М. Материалы по изучению Тамбуканского озера. – Вып. I, II. – Пятигорск, Изд. бальнеологического института на КВМ, 1926. – 190 с.

60. Бурксер Е.С., Комар Н. В., Устиловская Р. И. Опыты определения рубидия в воде Черного и Азовского морей и одесских лиманов // Тр. БИОГЕЛ. – 1932. – Т. 2. – С. 65 – 84.

61. Бурксер Е. С. Радиоактивность одесской водопроводной воды // Отдельные оттиски из «Вестника Бальнеологии, Климатологии и Физиотерапии». – 1911. – № 2-3. – Харьков: Типография фирмы «Адольф Дарре», 1911. – 10 с.

62. Бязров Л. Г., Архиреева А. И., Тарасов О. В. О концентрации некоторых радионуклидов в слоевищах эпифитных лишайников // Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. – М.: «Наука», 1993. – С. 45 – 48.

63. Вернадский В. И., Виноградов А. П. О химическом элементарном составе рясок (*Letna*) как видовом признаке // Доклады АН СССР. – 1931. – № 11. – С. 148 – 152.

64. Вернадский В. И. Задача дня в области радия // Известия Императорской академии наук. 1910. Серия 6. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 61 – 72.

65. Вернадский В. И. О концентрации радия в биосфере живыми организмами // Докл. АН СССР – А, 1929. – №2, – С. 33-34.
66. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения – М.: Наука, 1987. – 339 с.
67. Викторов А. Г. Эколого-генетические стратегии дождевых червей: Биоиндикация и биомониторинг. – М.: Наука, 1991. – С. 229-231.
68. Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. Ордена Ленина ин-т геохимии и аналит. химии им. В. И. Вернадского. – М.: Наука, 1967. – 215 с.
69. Виноградов А. П. Геохимия рассеянных элементов морской воды // Успехи химии. 1944. – Т. 13. – Вып. 1. – С. 3-34.
70. Виноградов А. П. Химический элементарный состав организмов моря. – М.: Наука, 2001. – 619 с.
71. Гиляров М. С. Из воспоминаний о В. Н. Сукачеве // Владимир Николаевич Сукачев. Очерки, воспоминания современников. Л.: «Наука», 1986. – С.31 – 43.
72. Гиляров М.С., Криволуцкий Д. А. Радиоэкологические исследования в почвенной зоологии // Зоол. Журнал. – 1971. – Т. 50. – вып. 3. – с. 329 – 341.
73. Глинский М.Л., Ветров В.А., Абрамов А.А., Чертков Л.Г. Объектный мониторинг состояния недр на предприятиях атомной отрасли. – М.: Б.С.Г.-Пресс, 2015. – 264 с.
74. Глухов Г. Г., Зукау В. В., Нестерова Ю. В., Чикова И. В. Радиационный контроль в современных процессах нефтедобычи // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 2(3). – С. 16 – 21.
75. Горовиц Л. М. К учению о биологическом значении лучей радия // Диссертация на степень доктора медицины. – СПб.: Тип. «В. Демакова – Насл.», 1906. – 110 с.
76. Докучаев В. В. Место и роль современного почвоведения в науке и жизни / [Соч.] В. Докучаева. – Варшава: Губ. тип., 1898. –11 с.

77. Докучаев В. В. Учение о зонах природы. – М., Географгиз, 1948. – 64 с.
78. Дудникова А. Г. Санитарно-защитные зоны: история, проблемы и перспективы // Справочник эколога 2014. – № 4(16).
79. Дылис Н. В. Академик Владимир Николаевич Сукачев // Труды Института леса Академии наук СССР. – 1958. – Т. XXXVII. – С. 5-16.
80. Дылис Н. В. Основы биогеоценологии. – М.: Изд-во Московского университета, 1978.– 152 с.
81. Егоров В. Н. Нормирование потоков антропогенного загрязнения черноморских регионов по биогеохимическим критериям // Экология моря. – 2001. – Вып. 57. – С.75 – 84.
82. Зайцева Л. Л., Фигуровский Н. А. Исследование явлений радиоактивности в дореволюционной России. – М.: Издательство Академии Наук СССР, 1961. – 223 с.
83. Иванов А.Л. Творческий путь Алексахина Рудольфа Михайловича // Алексахин Р.М. Проблемы радиоэкологии. – М.: Россельсхозакадемия – ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2006. – С. 8-20.
84. Карабань, Р.Т., Пристер Б. С., Алексахин Р. М. и др. Последствие ионизирующих излучений на лесные биогеоценозы // Лесоведение. – 1977. – № 1. – С. 27 – 35.
85. Карстенс Э. Э. О результатах моей командировки за границу летом 1911 года // Доклад на заседании Русского Бальнеологического общества в Пятигорске 11 ноября 1911 г. // Записки Русского Бальнеологического общества в Пятигорске, 1910/11 – Т. XII. – № 2. – Пятигорск: Типо-литография А. П. Нагорова, 1911 г. – 33 с.
86. Карстенс Э. Э. Радиоактивность вод и горных пород Пятигорского района и вытекающие отсюда новые перспективы для Пятигорского курорта // Доклад на заседании Русского Бальнеологического общества в Пятигорске 17 июля 1913 г. // Записки Русского Бальнеологического общества в Пятигорске,

1910/11 г. – Т. XII. – № 2. – Пятигорск: Типо-литография А. П. Нагорова, 1913а. – 33 с.

87. Карстенс, Э. Э., Штанге И. И. Контрольные анализы Кавказских источников за 1913 год. – Пятигорск: Эл-Механ. Тип. К.К. Кибардина, 1913б. – 34 с.

88. Кауфман С. В. Лечение униполярно-заряженным воздухом по методу Дессауэра // Труды Воронежского института физических методов лечения. – 1937. – Т. I. – Вопросы физио-климатотерапии. / под ред. П. Г. Мезерницкого и С. В. Кауфмана. – С. 3 – 45.

89. Кожевникова Т. Л., Криволицкий Д. А., Мишенков Н. Н. и др. Накопление радионуклидов шляпочными грибами // Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. – М.: «Наука», 1993. – С. 40 – 45.

90. Крепс Е. М. Проблема радиоактивной загрязненности океанов и морских организмов. – Известия АН СССР. Сер.биол. – 1959. – №3.

91. Криволицкий Д. А., Покаржевский А. Д. Роль почвенных животных в биогенной миграции кальция и стронция-90 // Журн. общ. биологии. – 1974. – Т. 35. – вып. 2. – С. 263 – 269.

92. Криволицкий Д. А. Почвенная фауна в экологическом контроле. – М.: Наука, 1994. – 272 с.

93. Криволицкий Д. А., Таскаев А. И., Тестов Б. В. и др. Динамика населения животных на участках с повышенным содержанием радионуклидов в почве // Серия препринтов «Научные доклады» Коми филиала АН СССР. – Сыктывкар, 1983. – 41 с.

94. Крышев И. И., Рязанцев Е. П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. – М.: ИздАТ, 2000. – 384 с.

95. Крышев И. И., Сазыкина Т. Г. Радиационная безопасность окружающей среды: необходимость гармонизации российских и международных нормативно-методических документов с учетом требований федерального

законодательства и новых международных основных норм безопасности ОНБ-2011. – Радиация и риск. – 2013. – Том 22. – № 1. – С. 47 – 61.

96. Кузнецов В. М., Никитин В. С., Хвостова М. С. Радиоэкология и радиационная безопасность: История, подходы, современное состояние: Учеб. Пособие для студентов вузов. – М.: ООО «НИПКЦ Восход-А», 2011. – 1208 с.

97. Лондон Е. С. О физиологическом значении радия // Отдельный оттиск из книги К.Гофмана «Радий и его лучи». – СПб, Типография М.М. Стасюлевича, 1903. – 15 с.

98. Лунева Е. В. Экологический мониторинг естественных водоемов, используемых для технического водоснабжения АЭС, до ввода ее в эксплуатацию // Труды МНТК. – 2014. – С. 175 – 176.

99. Материалы Всесоюзного совещания работников сельскохозяйственной науки 15-23 июня 1956 г. / под ред. А.И. Минкевича. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1956. – С. 115 – 118.

100. Мезерницкий П. Г. Радий и его применение в терапевтической клинике. – СПб.: Изд-во «Практическая Медицина» (В.С. Эттингер), 1912. – 126 с.

101. Мезерницкий П. Г. Радиоэлементы (радий, торий-Х, мезоторий и актиний) и их применение в практической медицине // Приложение к «Врачебной газете». – № 18. – СПб.: Издательство «Практическая медицина» (В. С. Эттингер), 1914 г. – 32 с.

102. Мирзоян Э. Н. К истории глобальной экологии. Концепция Геомериды В. Н. Беклемишева. – М.: Экологический центра ИИЕТ РАН, 2007. – Вып.1. – 128 с.

103. Мирзоян Э. Н. Становление экологических концепций в СССР : Биогеоценология В. Н. Сукачева. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 224 с.

104. Молчанов А. А., Федоров Е. А., Алексахин Р. М. и др. Некоторые закономерности распределения радиоактивных продуктов деления, оседающих в

составе глобальных выпадений, в лесной растительности // Лесоведение. – 1968. – № 6. – С.18 – 23.

105. Морозов Г. Ф. Учение о лесе. – М., Л.: Изд-во и тип. Гослесбумиздата, 1949. – 456 с.

106. Мочалов И. И. Владимир Иванович Вернадский. 1863-1945 гг. – М.: Наука, 1982. – 488 с.

107. Музрукова Е. Б., Чеснова Л. В. Владимир Беклемишев – пророк XX века. – М.: Academia, 2009. – 304 с.

108. Надарейшвили К. Ш. Иван Рамазович Тархан-Моурави – 130 лет со дня рождения // Радиационные исследования. – Т. III. – Тбилиси: Мецниереба, 1978. – С. 5 – 27.

109. Назаров А. Г. Биосфера – оболочка нашей планеты // Земля и Вселенная. – 1974. – № 4. – С. 56 – 62.

110. Назаров А. Г. Неоткрытый Беклемишев. Размышления над книгой: Музрукова Е. Б., Чеснова Л. В. Пророк XX века: Страницы жизни и творчества В. Н. Беклемишева (М., 2009) // Историко-биологические исследования. – 2011. – Т. 3. – №1. – С. 97-101.

111. Наумов Г. Б., Рихванов Л.П. Роль В.И. Вернадского в становлении и развитии учений о радиоактивности и радиогеологии. К 150-летию со дня рождения великого естествоиспытателя // Материалы IV Международной конференции, Томск, 4 – 8 июня 2013 г. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2013. – С. 22-34

112. Оноприенко В. И. В. И. Вернадский. Школа и ученики. – Киев: Информ.-аналит. Агентство, 2014. – 331 с.

113. Основы лесной биогеоценологии / Под ред. В. Н. Сукачева, Н. В. Дылиса. – М.: Наука, 1964. – 574 с.

114. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. С. Пристер, Н. А. Лошилов, О. Ф. Немец, В. А. Поярков. – К.: Урожай, 1988. – 256 с.

115. Очередные задачи биогеоценологии и итоги работ биогеоценологических стационаров, 30 ноября-3 декабря 1971 // Труды Научного совета по проблеме «Комплексное биогеоценологическое изучение живой природы и научные основы ее рационального освоения и охраны» Академии наук СССР. – Л., 1971. – 138 с.

116. Пель А. В. Водоснабжение С.-Петербурга, с точки зрения химико-бактериологической // Отдельный оттиск из «Жунарала Медицинской химии и фармации». 1894. – № 1. – СПб.: Типогр. Императорской Акад. Наук. – 12 с.

117. Пель А. В. Новые научные данные по вопросу о санитарных преимуществах Царского Села. Радиоактивность воды и почвенного воздуха вообще // Рецензент. – 1903а. – № 21. – С. 326 – 327.

118. Пель А. В. О радиоактивности почв Царского Села // С.-Петербург. Фарм. о-во – 7/х. Фарм. Журнал. – 1903б. – № 43. – С. 1544 – 1545.

119. Пель А. В. Царское село – здравница города С.-Петербурга // Отдельный оттиск из журнала «Народное здравие». – 1902. – № 21. – СПб.: «С.-Петербургская Электротпечатня», 1902. – 8 с.

120. Передельский А. А. Вопросы радиоэкологии // Природа. – 1958. – № 8.

121. Передельский А. А. Основание и задачи радиоэкологии // Журнал общей биологии. – Т. 18. – №1. – 1957. – С. 17-30.

122. Переписка В. И. Вернадского и А. П. Виноградова. – М.: Наука, 1995. – 381 с.

123. Пискунов Л.И., Гончаров А. И., Гуцин В. М., Бронников Ю. В. Оценка содержания искусственных радионуклидов и дозы внутреннего бета-облучения плотвы и леща разного возраста // Вопросы ихтиологии – 1982. – Т. 22. – вып. 5. – С. 848 – 856.

124. Плешков Б. П. Жизнь и деятельность В. М. Ключковского // Всеволод Маврикиевич Ключковский. Ученые Тимирязевской Академии. – М.: Тип. ТСХА, 1960. – 48 с.

125. Побединский А. В. Роль академика В. Н. Сукачева в развитии науки о лесе // Лесное хозяйство. – 2000. – № 5. – С. 24 – 26.

126. Поликарпов Г. Г. Глубоководный полигон для изучения свойств живого вещества в экстремальных условиях // Радиационная Биология. Радиозэкология. – 2011. – Т. 51. – № 5. – С. 1 – 11.

127. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н., Гулин С. Б., Терещенко Н. Н. История морской радиозэкологии и её дочерних направлений в СБС АН СССР – ИнБЮМ НАН Украины (1956 – 2001) // Морской экологический журнал. – 2011. – Т. X. – № 2. – С. 86 – 109.

128. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Морская динамическая радиохемозэкология. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 176 с.

129. Поликарпов Г. Г. Радиозэкология морских организмов. – М.: Атомиздат, 1964. – 296 с.

130. Поликарпов Г. Г., Цыцугина В. Г. Изучение последствий аварии на Чернобыльской АЭС для гидробионтов (1986-1996) // Радиационная биология. Радиозэкология. – 1996. – Т. 36. – вып. 4. – С.460 – 468.

131. Поликарпов Г. Г., Цыцугина В. Г. Последствия Кыштымской и Чернобыльской аварии для гидробионтов // Радиационная биология. Радиозэкология. – 1995. – Т. 35. – вып. 4. – С.536 – 549.

132. Пристер Б. С. Поведение урана в биологической цепочке. – М.: Атомиздат, 1969. – 12 с.

133. Проблемы радиозэкологии и пограничных дисциплин / под ред. В. И. Мигунова, А. В. Трапезникова. – Вып. 14. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://www.ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/0342_2010_Vol_14.pdf

134. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы международной конференции, посвященной столетию со дня открытия явления радиоактивности и столетию Томского политехнического

университета, 22-24 мая 1996 г., Томск. / Отв. ред. Л. П. Рихванов. – Томск: Изд. ТПУ, 1996. – С.16 – 34.

135. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г. Г. Поликарпова и В. Н. Егорова. / ИнБЮМ. – Севастополь: ЭКОСИ–гидрофизика, 2008. – 667 с.

136. Радиоэкология почвенных животных / под общ. ред. Д. А. Криволицкого. – М.: Наука, 1985. – 216 с.

137. Рихванов Л. П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 1997. – 383 с.

138. Романюк С. С. Состояние обеспечения радиационной безопасности на нефтегазопромыслах // АНРИ. Научно-информационный журнал. – 2002. – Вып. 2(29). – С. 41 – 45.

139. Середа Г. А. Загрязненность морей и океанов искусственными радиоактивными веществами // Вопросы ядерной метеорологии. – М.: Госатомиздат, 1962.

140. Склодовская-Кюри М. Исследование радиоактивных веществ (радий, полоний, актиний, уран, торий и др.) (Сочинение, представленное Парижскому факультету наук для получения степени доктора физики). – М.: Т-во «Печатня С. П. Яковлева», 1904а. – 148 с.

141. Склодовская-Кюри М. Радий и радиоактивные вещества. Исследование радиоактивных веществ (Диссертация, представленная для получения степени доктора физики). – СПб.: Типография Н. Н. Фридберга, 1904б. – 120 с.

142. Содди Ф. Радий и его разгадка. – Одесса: Типография Акционерного Южно-Русского Общества Печатного Дела, 1910а. – 185 с.

143. Содди Ф. Радий. Общедоступные лекции о природе радия, читанные в университете в Глазго в 1908 году. – М.: Типо-литография Т-ва И. Н. Кушнерев и Ко, 1910б. – 168 с.

144. Соколов А. П. Ионизация и радиоактивность атмосферного воздуха. Речь, произнесенная в годовичном заседании Русск. бальнеологического общ. в Пятигорске 11 июня 1903 г. // Отдельный оттиск из «Записок Русского бальнеологического общества в Пятигорске». – Пятигорск: Типография А. М. Мануйлова, 1904а. – 90 с.

145. Соколов А. П. Наблюдение ионизации воздуха в Пятигорске и Кисловодске 27 мая – 9 июня 1903 г. // Журнал русского физико-химического общества. – Т. 36 (ч. физ.) – 1904б. – С. 143 – 178.

146. Соколов А. П. Радиоактивность некоторых русских минеральных вод, грязей и почв // СПб.: Тип. «В. Демакова – Насл.», 1905. – 54 с.

147. Спиридонов С. И. Математическое моделирование в решении проблем лесной радиоэкологии // XXXVIII Радиоэкологические чтения, посвященные действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. Обнинск, 15 декабря 2009 г. – Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2010. – С. 66-78.

148. Спицын В. И. Радиоактивность пород Феодосии и Судака // Отдельный оттиск из Ежегодника Одесского отдела Всероссийского Общества развития и усовершенствования русских лечебных местностей. – Том 1. – Одесса: Тип. Акц. Ю.-Р. Об-ва отдела Всероссийского Общества для развития и усовершенствования русских лечебных местностей, 1915. – 12 с.

149. Сукачев В. Н. Биogeоценология и фитоценология // Докл. Акад. наук. – 1945. – Т. 47. – № 6. – С. 447 – 449.

150. Сукачев В. Н. Растительные сообщества (введение в фитосоциологию). – М., Л.: «Книга». – 1928. – 232 с.

151. Сукачев В. Н. Основы теории биogeоценологии // Юбилейный сборник АН СССР, посвященный Великой Октябрьской социалистической революции. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – С. 283-304.

152. Тарханов И. Об физиологическом действии Рентгеновских лучей на центральную нервную систему (предварительное сообщение) // отдельный оттиск

из «Больничной Газеты Боткина». – СПб.: Типография М. М. Стасюлевича, 1896. – 14 с.

153. Тимофеева-Ресовская Е. А., Агафонов Б. М., Тимофеев-Ресовский Н. В. О почвенно-биологической дезактивации воды // Тр. АН СССР. Урал. фил. Ин-т биологии. – 1960. – вып. 13: Сб. работ лаборатории биофизики. – С. 35 – 48.

154. Тимофеева-Ресовская Е. А., Поликарпов Г. Г. О накоплении пресноводными организмами химических элементов из водных растворов. I. Концентрация радиоактивных изотопов фосфора, цинка, стронция, рутения, цезия и церия различными видами пресноводных моллюсков // Бюлл. МОИП, Отд. Биологии. – 1958. – Т. 63. – С. 65 – 78.

155. Тимофеева-Ресовская Е. А., Тимофеев-Ресовский Н. В. О накоплении пресноводными организмами химических элементов из водных растворов. II. О коэффициентах накопления различных изотопов прудовиком *Limnaea stagnalis* L. // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1958. – Т. 63. – вып. 5. – с. 123 – 131.

156. Тимофеев-Ресовский Н.В. Автобиографическая записка из статьи «Я прожил счастливую жизнь». К 90-летию со дня рождения Н. В. Тимофеева-Ресовского // Природа. – 1990. – № 9. – С. 68 – 104.

157. Тимофеев-Ресовский Н. В. Вернадский и «вернадскология» // В.И. Вернадский: pro et contra. – СПб.: РХГИ, 2000. – С. 74 – 83.

158. Тимофеев-Ресовский Н. В. Некоторые проблемы радиационной биогеоценологии // Доклад по опубликованным работам, представленный для защиты учен. степени доктора биол. наук / Акад. наук СССР. Уральский филиал. Ин-т биологии. – Свердловск : [б. и.], 1962. – 53 с.

159. Тимофеев-Ресовский Н. В. О радиоактивных загрязнениях биосферы и о мерах борьбы с этими загрязнениями // Труды Института биологии Уральского филиала АН СССР – 1962. – Вып. 22. – С. 7-16.

160. Тимофеев-Ресовский Н. В., Порядкова Н. А., Сокурова Е. Н., Тимофеева-Ресовская Е. А. Работы по экспериментальной биогеоценологии. 1.

Влияние излучателей на биомассу и структуру наземных и пресноводных биоценозов // Тр. АН СССР. Урал. фил. Ин-т биологии. – 1957. – Вып. 9: Сб. работ лаборатории биофизики. – С. 202 – 250.

161. Тимофеев-Ресовский Н.В. Радиационная биогеоценология / А. Н. Тюрюканов, В. М. Федоров // Биосферные раздумья. – М.: 1986. – С. 106-110.

162. Тихомиров Ф. А., Криволицкий Д. А. и др. Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз. – М.: Наука, 1988 – 240 с.

163. Тихомиров Ф. А. Действие ионизирующих излучений на экологические системы. – М.: Атомиздат, 1972. – 174 с.

164. Тюрюканова Э. Б. Радиогеохимия почв полесий Русской равнины. – М.: Наука, 1974. – 156 с.

165. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы /Р.М. Алексахин, Н.П. Архипов, Р.М. Бархударов и др. – М.: Наука, 1990. – 368 с.

166. Хильми Г. Ф. Теоретическая биогеофизика леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 206 с.

167. Шашуков Е. А., Синицына Г. С., Бутомо С. В. Основание радиевого института и начальные этапы его деятельности // Радиевый институт имени В. Г. Хлопина. К 75-летию со дня основания. – СПб., 1997. – С. 8-12.

168. Шведов В. П., Иванова Л. М., Максимова А. М., Степанов А. В. Содержание и распределение радиоактивных веществ в морской воде // Радиоактивные загрязнения внешней среды. – М.: Госатомиздат, 1962.

169. Экологический мониторинг опасных производственных объектов: опыт создания и перспективы развития (на примере систем экологического контроля и мониторинга объектов по уничтожению химического оружия). Монография / Под общей редакцией проф. В.Н. Чуписа. – М.: Научная книга, 2010. – 526 с.

170. Якимюк Е. Л. Одесская радиологическая лаборатория в системе организации науки в Украине (1917 – 1925 гг.). Структурные изменения и научная

деяльність // Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Історія і філософія науки і техніки». – 2012. – Вип. 20. – № 1/2. – С. 119 – 130.

171. Яковлев К. П. К истории первых работ по радиоактивности в Физическом ин-те МГУ (1900 – 1930) // История и методология естественных наук. – 1963. – Вып. 2 – 65 с.

172. Ярмоненко С. П. Отечественная радиобиология. История и люди. – М.: Радэкон, 1997. – 104 с.

173. Konoplev A., Golosov V., Nanba K. and others. Fate and transport of radiocesium in soil-water environment: comparative analysis of Chernobyl and Fukushima case // Meeting in Saint-Petersburg: Fourth Conference, Dedicated to N.W. Timofeeff-Resovsky and His Scientific School. – Dubna: JINR, 2015. - P. 160.

174. Lazarus P. Handbuch der Radium-Biologie und-Therapie: Einschliesslich der Anderen radioaktiven Elemente. / P. Lasarus. – Wiesbaden, 1913 – 532 p.

175. London E.S. Action des rayons du radium sur le sens de la vue, Arch. de l'Electr. Med, 1903, №№ 139, 140.

176. London E.S. Weitere Untersuch. Uber Radiumwirkung, Berl. Kl. W, 1905, № 42.

177. London E.S., Etudes sur la valeur physiologique et pathologique de radium. Arch. de l'Electr. Med. 1904, № 142.

178. Mousseau T.A. The impacts of the Chernobyl and Fukushima disasters on wildlife // Meeting in Saint-Petersburg: Fourth Conference, Dedicated to N.W. Timofeeff-Resovsky and His Scientific School. – Dubna: JINR, 2015. - P.125.

179. Odum E. P. Radiation Ecology. In Fundamentals of Ecology. – Philadelphia, Penna, W.B. Saunders Co, 1957. – P. 452.

Список иллюстративного материала

Список рисунков

Рисунок 1. Основные ключевые фигуры и события начального этапа становления радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга (с. 46).

Рисунок 2. Основные ключевые фигуры и события II этапа становления радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга (с.100).

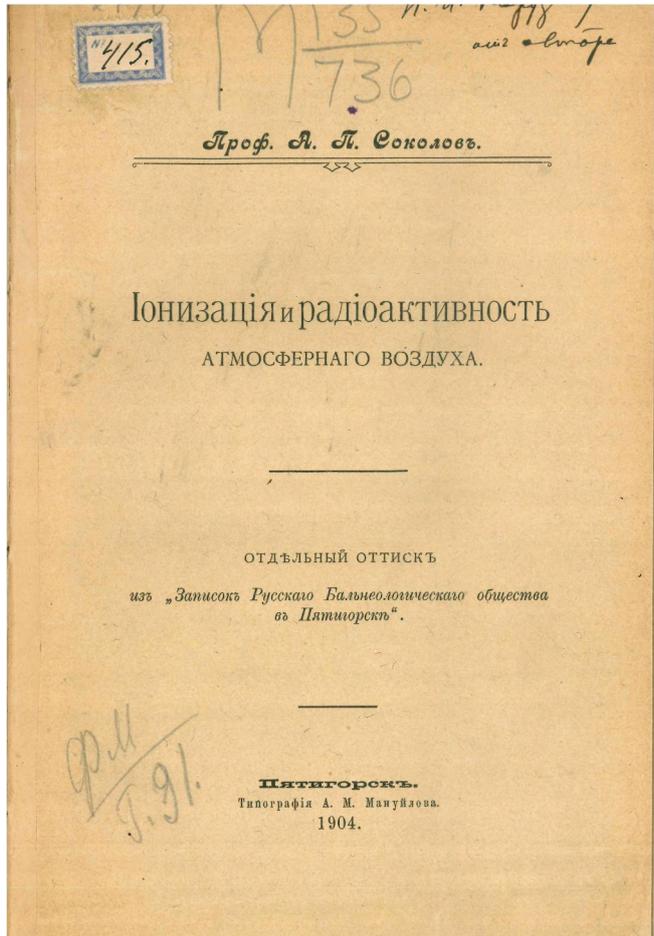
Рисунок 3. Основные ключевые события современного этапа становления радиоэкологии и радиоэкологического мониторинга (с. 129).

ПРИЛОЖЕНИЕ

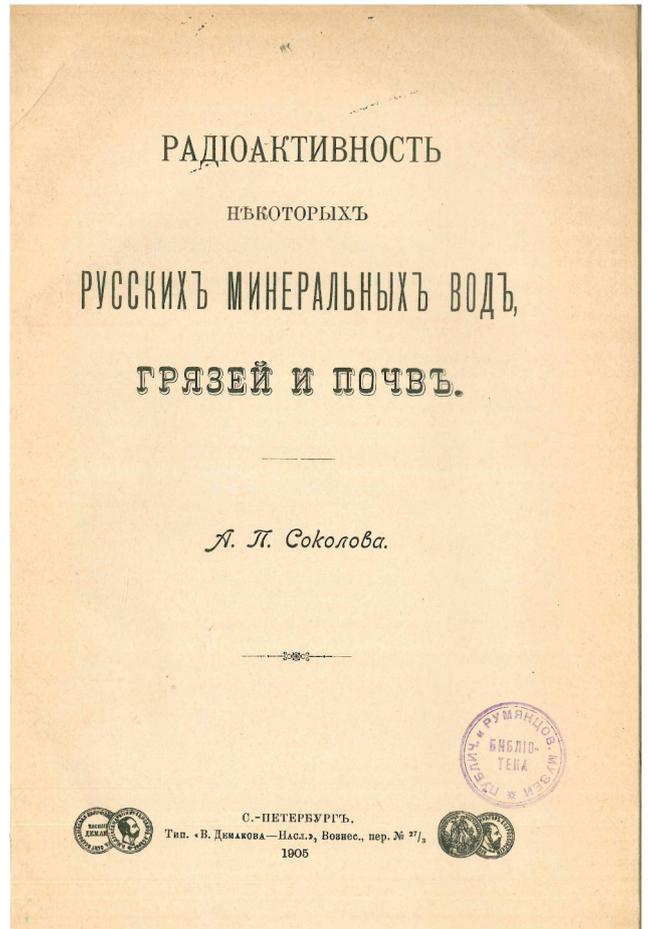
Приложение 1. Оглавление докторской диссертации Л.М. Горовиц

<h1>КЪ УЧЕНІЮ</h1> <h2>о біологическомъ значеніи лучей радія.</h2> <hr/> <h3>Оглавленіе.</h3> <hr/>	
Введеніе. Физическія свойства радія и распространеніе его въ природѣ	стр. 1
Глава I. Дѣйствіе на бактеріи, на нѣкоторыя заразныя начала, на продукты дѣятельности бактерій и ферменты, на растительныя и низшіе животныя организмы, на процессы эмбриональнаго развитія и на регенерацію	6
Глава II. Дѣйствіе на высшіе организмы	16
Глава III. Дѣйствіе на различныя нормальныя ткани и органы	30
Глава IV. Дѣйствіе на патологическія ткани	65
Глава V. Дѣйствіе на процессъ рубцеванія. Дѣйствіе въ зависимости отъ разстоянія. Способы усилить его дѣйствіе.	84
Заключеніе.	

Приложение 2. Титульные листы трудов А.П. Соколова



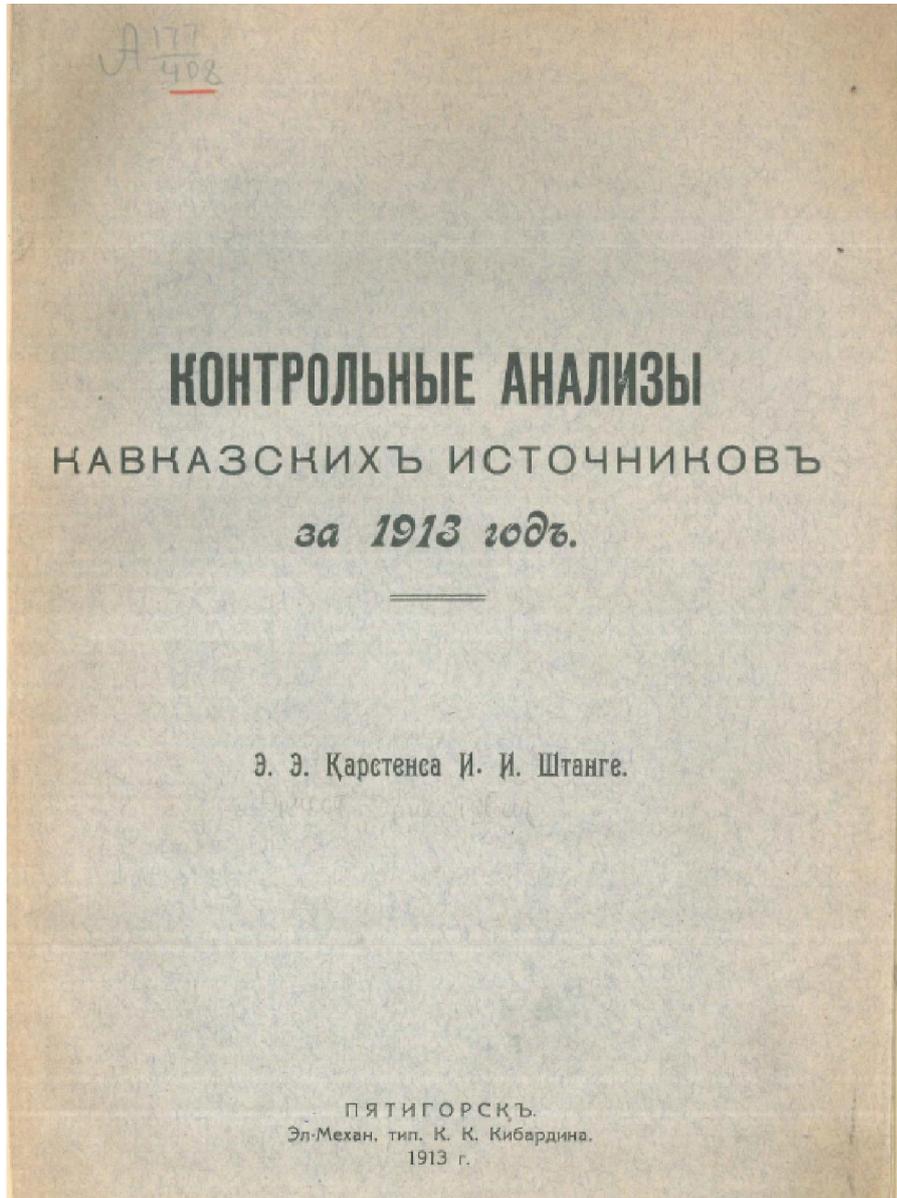
Титульный лист работы
А.П. Соколова, 1904 г.



Титульный лист работы
А.П. Соколова, 1905 г.

Приложение 3.

Титульный лист работы Э.Э. Карстенса и И.И. Штанге, 1913 г.



Приложение 4. Копия письма В.И. Вернадскому от 19.02.1927 г. Архив РАН (Фонд 518. Оп. 3. Д. 210)

3

Многоуважаемый
Владимир Иванович!

Получил Ваше письмо. Намекаясь на Вас
работа о Ви в расписаных кантатах
много в Виссenschaftschrift, Виссenschafts
попере, но ни журналы, ни статьи в вода
в не получил. По переписке тогда в Виссenschaft.
Наконец мне известно до сих пор на
в расписаных не определены. Поэтому эту
в продолжении и сейчас в не искаю
и не пишу, но наша установка не
в нарушается в одной статье о, Биссenschaft,
с мидеяжизни и делами по работе сейчас
Очень плохо.

Ураи на, одержательно поощри-
ли мои пути: важно каждая работа
Сбер материал. Вожетно буду исследовать
предлагаемые Вам статьи видных
оформить.

www.isaran.ru | АРАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 210.

Вот же только это обнаружено
количество ураи приписано
и трудился - может быть
XX после удачных работ.

Работа с мидеяжизни
мидеяжизни описана в
статье 50, в воде 50.

Получил Вашу статью, о,
Заметки". Мне, как
указано в ряде описаний
всех компаний фидеяжизни. Для
много фидеяжизни описано в
Милитант об их работе
и мидеяжизни описано в
Милитант Виссenschaft. Работа
с мидеяжизни описано в
Дале фидеяжизни описано в
к мидеяжизни описано в
работы описано в фидеяжизни описано в
Всего хоро
19/2/27

www.isaran.ru | АРАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 210.

Приложение 5.

Копия письма В.И. Вернадскому. Архив РАН (Ф.518. Оп. 3. Д. 210)

Глубокоуважаемый
 Владимир Иванович!

Сообщаю результаты из пробы -
 $2,55 \cdot 10^{-11} \%$ Pb в пробном весе 50 г.
 Нам исслед. цинк-ред аргентинский, но
 по сути в редких случаях наблюдается
 только радиация. Поэтому у нас только
 фирма Кандаури, т.к. Бронштейн уехал
 из Москвы по Нов. Землю промис. радиа-
 ции. Мы не знаем. Сейчас содержание $5 \cdot 10^{-11} \%$.
 Закажем в Москве исследование в
 лаборатории Кандаури - Додасов. Только
 мажорант из доклада по 2-му радиаро. Кондр.
 в Олесе Федук. А в том случае приращение
 в $10^{-11} \%$ с большим написанием окисления к проводимости
 в радиации. Когда выйдут статьи о Pb
 в радиации.

Проще С. Тухарев

Приложение 6.

Отрывок из письма В.И. Вернадскому от 05.02.1938.

Архив РАН (Фонд 518. Оп. 3. Д. 211)

Я сейчас начал работу по
сравнению рутинных методов
определения в воздухе озона
и воды, т.к. с мая я
думаю вернувшись сюда
наблюдать в 3 пунктах:
у моря, в степи и
сосновом лесу Киевской обл.

Приложение 7

Первые радиоэкологические исследования в России (сводная таблица)

Исследователь/год опубликования работы	Объекты исследования	Предмет исследования
И.Р. Тарханов 1896	Лягушки (<i>Rana temporaria</i>), различные популяции – «с воли, деревенские» и лабораторные), мухи, яйца миног	Реакции различных систем организмов на рентгеновское облучение, генетические отклонения, развитие яиц
Е.С. Лондон 1903	Кожа человека Зрительный аппарат человека Белые мыши Морские свинки Кролики Лягушки Бактерии Тараканы Гусеницы и личинки, головастики Листья и семена растений	Влияние лучей радия на зрение и нервную систему, органы кроветворения, эмбриональное развитие; умерщвление болезнетворных бактерий; рост и развитие гусениц и личинок, головастиков, влияние на растения
С.В. Гольдберг 1904	<i>Bacillus prodigiosus</i> , стафилококки (лат. <i>Staphylococcus</i>), стрептококки (лат. <i>Streptococcus</i>), тифозная палочка (Сальмонелла энтерика или сальмонелла кишечная, лат. <i>Salmonella enterica</i>), возбудители сибирской язвы (лат. <i>Bacillus anthracis</i>), дифтерийные палочки (лат. <i>Corynebacterium diphtheriae</i>), туберкулезные палочки (лат. <i>Mycobacterium</i>	Исследование бактерицидного действия лучей и эманации радия; изучение зависимости воздействия от расстояния (сделал заключение о действии лучей радия обратно пропорционально расстоянию); влияние облучения на прорастание бобов.

	<i>tuberculosis</i>) сперматозоиды морской свинки бобы кожа	
Л.М. Горовиц 1906	Бактерии Кролики	Исследование влияния радия на ткани и органы живых организмов (на примере изучения кроликов), выявление групп чувствительности тканей и органов; изучение бактерицидных свойств радиоактивных минеральных вод
А.П. Соколов 1903, 1905	Атмосферный воздух Природные воды Лечебные грязи	Исследование радиоактивности природных сред (вод, грязей, воздуха, почв) и их взаимосвязь, горных пород, минералов
А.В. Пель 1903	Атмосферный воздух Природные воды Почвы Холерные и тифозные микробы Растительность	Исследование радиоактивности природных сред (вод, воздуха, почв) и их взаимосвязь. Влияние радиоактивности воды на бактерии. Воздействие воздуха и почв на рост растений
И.И. Боргман 1905	Грязи Ткани живых организмов	Радиоактивность грязей, их бактерицидные и бактериостатические свойства
Л.Б. Бертенсон 1914	<i>bac. prodigiosus,</i> <i>typhi,</i> <i>cholerae,</i> <i>mallei,</i> <i>staphylococcus aureus,</i> <i>pyocyaneus,</i> <i>streptococcus,</i> <i>bac. tuberculos.</i> Минеральные воды Грязи	Исследование бактерицидного действия лучей и эманации радия; Исследование радиоактивности природных сред
П.Г. Мезерницкий 1910, 1912	Минеральные воды Атмосферный воздух Бактерии	Изучение радиоактивности минеральных вод
П.П. Орлов 1904-1920	Атмосферный воздух Природные воды, в т.ч. минеральные	Исследование радиоактивности природных сред

	Почвы	
Д.В. Алексеев 1905	Ростки гороха и бобов Руды Минералы Минеральные и горячие источники	Воздействие лучей радия на животных и растения; исследование радиоактивности природных сред
В.С. Титов 1913	Атмосферный воздух Минеральные источники Организм человека	Исследование радиоактивности вод и газов терм, их влияние на организмы мужчин и женщин
И.А. Багашев 1910	Минеральные источники	Исследование радиоактивности минеральных источников, их влияние на заболеваемость населения казачьих поселков
Э.Э. Карстенс 1908	Минеральные воды	Исследование радиоактивности минеральных вод
В.И. Спицын 1915	Горные породы Грязи Почвы Минеральные воды	Исследование радиоактивности природных сред; зависимость радиоактивных свойств от глубины почв и грязей
Е.С. Бурксер 1911-1930	Атмосферный воздух Минеральные воды Грязи Почвы Горные породы Илы, иловые грязи Морские водоросли Бактерии Водоросли Ряска Семена гороха, пшеницы, льна, горчицы	Исследование радиоактивности природных сред и их взаимосвязь; действие радиоактивных веществ на живые организмы; определение содержания радия и иных радиоактивных элементов в живых организмах

Приложение 8. Отрывок письма Н.В. Тимофеева-Ресовского В.И. Вернадскому.
Архив РАН (Ф. 518. Оп. 3. Д. 1627)

Genetische Abt. des Kaiser Wilhelm-
Instituts für Hirnforschung
Berlin-Buch.
N. Timofeff-Resowsky.

Тимофеев-Ресовский Владимир Иванович!

Беру на себя смелость побеспокоить Вас рядом вопро-
сов, возникших у меня в связи с Вашими работами.
В частности за последние время много внимания уделяется
вопросу о вызывании новых наследственных мутаций
(индуцир., реовариаций) при помощи рентгеновских лучей
и радия. Соств. эмбрион дозы вызывают довольно много
реовариаций; при этом общий характер и направление
реовариационного процесса остаются теми же, что и при
"нормальных" условиях, только повышается ~~его~~ интенсивность
протек. в 100-150 раз (некоторые виды могут и посылать Вам
отлич. "Sammlreferat'a", в кот. дано сводное сообщ. состоящее
этих работ). Естественно возникает предположение: не является-
ли "нормальная, природная радиация" причиной "нормаль-
ной мутабельности", т.е. не вызываются ли все вообще
реовариации (индуцир.) индуцирующим радиацией?

Примитивные расчеты показывают однако, что количества
"природной радиации" далеко недостаточно для того, чтобы вызвать
вот "нормальный" процент реовариаций? (большинство работ
в этом направлении и все расчеты производится с мутацией
Drosophila melanogaster).

В этой связи меня весьма заинтересовала Ваша работа
о концентрировании радия живыми организмами (Фоскит
Акад. Наук, 1929, №2). Очевидно, что "внутренняя радиация"
как она ни мала, должна играть какую-то роль и в
процессе появления реовариаций.

www.isaran.ru | АРАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 1627.

Поэтому поводу у меня возникли
1. Какие организмы "концентри-
руют" концентраты Ra у них в
не продоухают-ли концентрирова-
вотные и будет-ли поэтому (и в
в тканях) концентраты Ra у не
них организмов и растений? И
этот счет данные и если да,
2. Возможно-ли определить в
Кислота то минимальные кон-
центрации анализа? Должен-ли мы
идти к напр. сухих? Т.к. в
том, ~~ка~~ кот. возможно какие-
нибудь и вообще является или
и у других "экспериментальных"
мне кажется, интересно изучить
каким. Если такой анализ и
если он представит-бы какой
или кон-мб у Ваших со-
свнем начал-бы кончить
3. Умерется-ли уже хоть и
данные или соотношения об-
тешной в "веществе органи-
змиче" меня похвалит,
обеспокоит Вас своим, в
вопросами! Но мне кажется
и рад от мог-бы, может-бы
вопросе о причинах кон-
центрации.

www.isaran.ru | АРАН. Ф. 518. Оп. 3. Д. 1627.

