

Joint Institute for Nuclear Research

MODERN PROBLEMS  
OF RADIOBIOLOGY, RADIOECOLOGY  
AND EVOLUTION

*Proceedings of the International Conference  
dedicated to the Centenary of the Birth  
of N. W. Fimofeeff-Ressovsky*

*Dubna, 6–9 September 2000*

Объединенный институт ядерных исследований



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
РАДИОБИОЛОГИИ, РАДИОЭКОЛОГИИ  
И ЭВОЛЮЦИИ

*Труды Международной конференции,  
посвященной 100-летию со дня рождения  
Н. В. Тимофеева-Ресовского*

*Дубна, 6–9 сентября 2000 г.*

УДК 577.391(042+091)  
ББК 28.071.2я434+28.081.28я434  
С56

Под общей редакцией **В. И. Корогодина**  
Составители: **В. Л. Корогодина, Н. И. Дубровина**

Использованы документы и фотографии из личных архивов  
**В. И. Иванова, В. И. Корогодина, Ц. М. Авакяна,**  
**П. Д. Усманова, М. А. Реформатской.**

Обложка **Ю. А. Туманова**

Edited by **V. I. Korogodin**  
Composed by **V. L. Korogodina, N. I. Dubrovina**

Documents and pictures are from the personal archives of  
**V. I. Ivanov, V. I. Korogodin, Ts. M. Avakian,**  
**P. D. Usmanov and M. A. Reformatskaya.**

Title page design by **Yu. A. Tumanov**

**Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и эволюции:** Тр.  
С56 Междунар. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Н. В. Тимофеева-Ресовского / Под общ. ред. В. И. Корогодина; Сост.: В. Л. Корогодина, Н. И. Дубровина. — Дубна: ОИЯИ, 2001. — 493 с.; 23 с. фото.

ISBN 5-85165-673-5

Сборник включает статьи и доклады, представленные на международной конференции «Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и эволюции», посвященной 100-летию юбилею русского ученого Н. В. Тимофеева-Ресовского (Дубна, 6–9 сентября 2000 г.). Помимо оригинальных научных статей по генетике, радиобиологии, радиоэкологии, самоорганизации материи и эволюции, в книгу вошли воспоминания коллег, учеников, друзей Н. В. Тимофеева-Ресовского, а также документы, публикуемые впервые.

Книга содержит портреты Н. В. Тимофеева-Ресовского и фотографии, сделанные на конференции.

Издание представляет интерес для широкого круга читателей.

УДК 577.391(042+091)  
ББК 28.071.2я434+28.081.28я434

ISBN 5-85165-673-5

© Объединенный институт ядерных исследований, 2001

**Н.В. ТИМОФЕЕВ-РЕСОВСКИЙ**  
**И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УРАЛЕ**

Н.В. Куликов, *И.В. Молчанова, Е.Н. Каравая*

Институт экологии растений и животных УрО РАН,  
Екатеринбург, Россия

История становления и развития радиоэкологии в нашей стране неотделима от общей истории естествознания. Особую роль в формировании радиоэкологии сыграли труды В.И. Вернадского. Разработанное им учение о живом веществе и биосфере Земли имело колоссальное мировоззренческое значение [4]. Идея об организованности биосферы получила блестящее развитие в трудах В.Н. Сукачева о биогеоценозах [19], а оценка результатов геохимической деятельности живых организмов легла в основу учения о биогеохимии и геохимии ландшафтов [18, 5, 17]. В основе этих научных концепций лежит генетическое почвоведение, созданное трудами В.В. Докучаева.

Заслуга в синтезе концепций и подведении итогов периоду развития докучаевской школы принадлежит Н.В. Тимофееву-Ресовскому. Он первый подчеркнул единую позицию этих естествоиспытателей в понимании природы и задач общего естествознания.

Широкомасштабные работы по созданию ядерного оружия, развернувшиеся в мире в середине 50-х годов, обусловили поступление в биосферу огромного количества искусственных делящихся материалов. Мировому научному сообществу стало ясно, что фактически сформировался новый, глобально действующий фактор — искусственные радионуклиды и порождаемые ими ионизирующие излучения. Осознание важности проблемы взаимодействия живых организмов друг с другом и со средой обитания в условиях радиоактивного загрязнения и повышенного фона привело к созданию новой научной дисциплины — радиационной биогеоценологии, или, как ее впоследствии стали называть, радиоэкологии. Название этой дисциплины, постановка основных целей и задач появились практически одновременно и независимо друг от друга в работах русских и американских исследователей [20, 16, 31]. Радиационная биогеоценология, или радиоэкология, замыкала широкий круг исследований, изучающих как поведение самих радионуклидов, так и действие

радиации на биологические объекты. Этим проблемам были посвящены исследования, начатые Н.В. Тимофеевым-Ресовским в 1947 году в Лаборатории «Б» (предприятие п/я 0215) и продолженные с 1955 года в Институте биологии УФАИ СССР. С этого времени Институт биологии (в настоящее время Институт экологии растений и животных УрО РАН) стал одним из признанных центров, где Н.В. Тимофеевым-Ресовским была создана научная школа и где по сей день проводятся радиоэкологические исследования. Пропагандируя идеи В.В. Докучаева, В.И. Вернадского, В.Н. Сукачева, Б.Б. Полюнова, а также учитывая опыт вековых наблюдений за губительными воздействиями на окружающую среду промышленных отходов, Н.В. Тимофеев-Ресовский в те годы поставил весьма серьезную проблему быстрого и полного изучения всех вопросов, связанных с возможностью воздействия на биосферу интенсивно развивающейся атомной промышленности. При этом он подчеркивал, что «любая, достаточно широкая проблема о воздействии человека и его промышленной деятельности на окружающую природу должна в настоящее время ставиться на основе созданного В.И. Вернадским общего учения о биосфере и биогеоценотических идей В.Н. Сукачева» [21].

На первом этапе этих исследований под руководством Н.В. Тимофеева-Ресовского, работавшего азартно, оптимистично, всеохватно, были проведены многочисленные экспериментальные работы, в которых радионуклиды рассматривались как меченые атомы для изучения судьбы химических элементов в биогеоценозах, а ионизирующая радиация — в качестве удобного и легко дозируемого фактора воздействия на организмы и их сообщества. Основной базой для проведения работ служила биофизическая станция «Миассово», расположенная на территории Ильменского заповедника в Челябинской области. В 50–60-е годы на этой биостанции трудились многие специалисты, чьи имена и дела сегодня внесены в сокровищницу отечественной и мировой науки.

В те годы многочисленные работы по изучению поведения радионуклидов преимущественно проводились на упрощенных системах раствор–почва, вода–грунт, вода–гидробионты. В основу этих исследований был положен принцип аналитического редукционизма, состоящий в сознательном расчленении сложных природных систем на ряд более простых. Рассмотрение таких простых систем начиналось с выделения и изучения в них причинно-следственных связей. В простой системе их число невелико, в ней они легче проявляются и более доступны для изучения. Результаты таких исследований позволили провести классификацию

радионуклидов по типу их поведения в первичных экологических звеньях и выявить основные факторы и механизмы, управляющие миграционной способностью радионуклидов. Так была выделена группа многоформных элементов, для которых главным фактором миграции является рН среды; группа элементов, характеризующихся обменным и необменным, специфическим типом поведения [23].

В работах этого периода существенное место отводилось изучению роли живых организмов в накоплении радионуклидов. Для количественного сравнения накопительной способности организмов широко использовалось понятие коэффициента накопления — величины, равной отношению концентраций данного радионуклида в организме и окружающей среде при установлении равновесия. Было показано, что пределы накопления радионуклидов чрезвычайно широки как для разных видов, так и для разных элементов [22]. Виды, характеризующиеся наиболее высокими коэффициентами накопления, были названы специфическими накопителями, а для их вычленения был предложен объективный формальный критерий — отклонение коэффициента накопления более чем на 4 сигмы от среднего значения, установленного для соответствующего вариационного ряда. В плане поиска и выделения таких специфических накопителей особенно подчеркивалась роль организмов — пионеров образования коры выветривания и формирования первичных почв — бактерий, грибов, водорослей, лишайников. В последующем такие организмы, специфические накопители того или иного радионуклида, стали использовать в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения окружающей среды. На фундаменте и идеологии этих исследований позднее сформировалось оригинальное научное направление — лишено- и бриоиндикация окружающей среды, призванное проводить мониторинговые исследования.

Огромный, казалось бы разрозненный, материал, полученный в 50–60-е годы в лаборатории Н.В. Тимофеева-Ресовского, был им проанализирован концептуально, что позволило создать общую платформу радиоэкологии и очертить круг ее задач, которые и сегодня остаются актуальными. Их можно свести к изучению закономерностей миграции, распределения и биологического действия радиоактивных веществ в различных биогеоценозах (экосистемах), созданию научных основ прогнозирования последствий радиоактивного загрязнения биосферы, экологического нормирования этих загрязнений в компонентах природной среды и ослабления их вредных воздействий. Идеи «личностей-мыслителей», фактический материал и методы, рождающиеся в результате радиоэкологических исследований,

способствуют глубокому познанию структурной организации биосферы и протекающих в ней процессов.

Осенью 1957 года в результате аварии, названной впоследствии Кыштымской, на ПО «Маяк» в окружающую среду было выброшено около 2 млн Ки (74 ПБк) радиоактивных веществ. Политическая ситуация в нашей стране складывалась так, что Н.В. Тимофеев-Ресовский не был привлечен к работам по ликвидации последствий аварии. Для этой цели в 1958 году была организована опытная научно-исследовательская станция (ОНИС) химкомбината «Маяк». Организацию станции поручили В.М. Клечковскому, который стал бессменным координатором проводившихся там работ. Позднее, в 1974 году, за эти работы группе исследователей во главе с В.М. Клечковским была присуждена Государственная премия. Николай Владимирович, хотя и отстраненный от этих дел, продолжал проводить открытые работы по этой проблематике. Зная о локальных и предвидя возможность глобальных масштабов загрязнения окружающей среды, «готовя фундамент для будущих дел», он в общей проблеме воздействия атомной промышленности на биосферу выделил три наиболее важных вопроса: 1) изучение судьбы радионуклидов, попадающих в различные биогеоценозы, а именно путей и «размерностей» их миграции из центров загрязнений; 2) изучение действия ионизирующих излучений и, что особенно важно, 3) разработку различных мероприятий по борьбе с вредными радиоактивными загрязнениями. При этом он ясно показал, что «вся проблема защиты биосферы и все вопросы по разработке частных мероприятий по охране природы являются проблемой биогеоэкологической. Для ее решения необходимо внедрять, особенно в промышленно-технические круги, современные представления о биосфере нашей планеты и о биогеохимических процессах» [21].

И как бы в развитие этого тезиса Николая Владимировича, спустя 40 лет после Кыштымской аварии, общество, пережив Чернобыльскую катастрофу, памятью и делами вернулось к событиям минувших дней.

В результате усилий большого коллектива ученых, специалистов, представителей администраций трех областей региона была подготовлена «Государственная программа РФ по радиационной реабилитации Уральского региона». В рамках этой программы крупномасштабные радиоэкологические исследования были проведены в Каменском районе Свердловской области, попавшем в 1957 году в зону восточно-уральского следа. В эти исследования были включены сотрудники Института экологии растений и животных, в том числе и отдела

континентальной радиоэкологии. Результаты выполненных работ обобщены в коллективной монографии и ряде журнальных публикаций [27, 3, 13]. В этих работах были оценены современные уровни содержания радионуклидов в почвенно-растительном покрове, отнесенном к центральной оси следа и за ее пределами. Анализ полученных результатов показал, что определенный вклад в загрязнение здесь, наряду с радионуклидами Кыштымской аварии, вносят и радионуклиды другого генезиса.

Грандиозный биогеохимический круговорот веществ, в который включаются и поступающие в биосферу радионуклиды, обусловлен как взаимодействиями живых организмов между собой и с косными компонентами среды, так и взаимодействиями между собой живых сообществ, более или менее самостоятельных объектов природной среды. Такими объектами, согласно концепции Н.В. Тимофеева-Ресовского об уровнях организации жизни, являются биогеоценозы — элементарные единицы современной биосферы [24]. Выделив биогеоценотический уровень организации жизни, Николай Владимирович стал инициатором пионерских работ по изучению особенностей распределения широкого спектра радионуклидов по компонентам природных биогеоценозов. Уже в тех его работах была оценена роль лесной подстилки, корневых систем растений, химических свойств самих радионуклидов в их судьбе в биогеоценозе.

Впоследствии в исследовании природных систем, как бы дополняя широко используемый на ранних этапах исследований редуционно-аналитический принцип, находит широкое применение системный подход. Системный анализ исходит из того факта, что рассматриваемые объекты, обладая известной независимостью, в совокупности определенным образом связаны между собой. Эта связь может осуществляться, например, через геохимический сток веществ. С этой точки зрения Н.В. Тимофеев-Ресовский рассматривал миграцию веществ в цепях биогеоценозов как серию сопряженных процессов рассеивания и концентрирования их в организмах, почвах, водах, грунтах, атмосфере [23]. В дальнейшем на этой основе были разработаны принципы и методы радиоэкологических ландшафтно-геохимических исследований [25]. Они заключаются в выделении определенных участков ландшафта, локализующихся на сопряженных по стоку элементах рельефа, и выявлении путей и темпов миграции в них химических элементов и радионуклидов. С использованием системного ландшафтно-геохимического подхода были получены первые сведения об уровнях загрязнения почвенно-растительного покрова в период массовых испытаний



ядерного оружия [25, 15, 1]. Были выявлены зоны рассеяния и вторичной аккумуляции радионуклидов в природной среде, оценено влияние локальных экологических условий на скорость миграции и поступление радионуклидов через пищевые цепочки в организм человека [26, 11].

Накопление информации, свидетельствующей о специфических особенностях поведения радионуклидов в той или иной среде обитания живых организмов, обусловило процесс дифференциации радиоэкологии и формирования в ней целого ряда самостоятельных научных направлений: сельскохозяйственной, лесной и морской радиоэкологии. Каждое из этих направлений решает свои задачи и имеет свои особенности.

На основе фундамента, заложенного Н.В. Тимофеевым-Ресовским, с использованием обширного экспериментального материала в 70-х годах была сформулирована концепция континентальной радиоэкологии как радиоэкологии наземных экосистем и внутренних водоемов [8, 2, 9, 29].

В комплексе работ по континентальной радиоэкологии существенное место отводится радиоэкологическим исследованиям почвенно-растительного покрова биосферы, поскольку именно он является первым экраном на пути поступления радиоактивных веществ из атмосферы на земную поверхность. Через него, как через глобальную биокосную мембрану, идет радионуклидный обмен между атмосферой и гидросферой. При этом почвы, в которых совершаются процессы вторичного синтеза и деструкции огромного количества веществ биогенной природы, а также различного рода биогеохимические и биоэнергетические превращения, становятся основным депо радионуклидов в наземной природной среде.

Развитие атомной промышленности и энергетики, осложненное рядом аварийных ситуаций и катастроф, сопровождалось вовлечением в радиоэкологические исследования обширных пространств с различными ландшафтно-климатическими условиями.

В 1978 году коллектив сотрудников, возглавляемый учеником и последователем Тимофеева-Ресовского Н.В. Куликовым, переехал из «Миассово» и разместился на биофизической станции в непосредственной близости от Белоярской АЭС. С этого времени начались углубленные радиоэкологические исследования 30-километровой зоны этой станции; результаты исследований регулярно публикуются в печати [12, 10, 14, 28, 6, 7, 30].

Авария на Чернобыльской АЭС по своим масштабам превзошла все известные ядерные инциденты и вызвала характерный пик уровня радиоактивности повсеместно. Глобальный характер Чернобыльской аварии обусловил беспрецедентную для нашей страны открытость радиэкологических исследований, доступность полученных результатов, масштабность международного научного сотрудничества и, что самое главное, высветил проблему, на которой был сконцентрирован творческий потенциал Николая Владимировича, — проблему «биосфера и человечество». Формулировка и исследование этой проблемы поставили Н.В. Тимофеева-Ресовского в ряд великих представителей русской национальной естественно-исторической мысли. Чернобыль — это трагедия социально-техническая. Если в науке главное — думать, а потом работать, то в технике сделали крен на работу, и Чернобыль — это горькая реальность таких действий.

Н.В. Тимофеев-Ресовский создавал радиационную биогеоценологию как науку о судьбе радионуклидов в биосфере, а теперь, когда их судьба неразрывно связана с судьбой людей, задачи этой науки органично вплетаются в сформулированную им глобальную проблему «биосфера и человечество». Приоритетность этой проблемы (биосферный императив поведения человечества) — главное научное завещание, оставленное нам замечательным ученым.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексахин Р. М., Нарышкин М.А. Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1977. 141 с.
2. Алексахин Р.М. Ядерная энергия и биосфера. М.: Энергоиздат, 1982. 215 с.
3. Ааркрод А., Дальгаард Х., Нильсен С.П., Позолотина В.Н., Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Юшков П.И., Трапезников А.В. Изучение вклада наиболее крупных ядерных инцидентов в радиоактивное загрязнение уральского региона // Экология. 1998. № 1. С. 36-42.
4. Вернадский В.И. Биосфера. Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1926. 146 с.
5. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
6. Караваева Е.Н., Куликов Н.В., Молчанова И.В. Радиэкологические исследования природных экосистем в зоне жидких сбросов Белоярской АЭС на Урале

- //Экология регионов атомных станций. М.: ГНИПКИИ-НИОЭАС, 1994. С. 105-143.
7. Караваева Е.Н., Молчанова И.В. Накопление радионуклидов лекарственными растениями в зоне влияния Белоярской АЭС // Экология. 1998. № 5. С. 404-406.
  8. Куликов Н.В., Молчанова И.В. Континентальная радиоэкология (почвенные и пресноводные экосистемы). М.: Наука, 1975. 183 с.
  9. Куликов Н.В., Чеботина М.Я. Радиоэкология пресноводных биосистем. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 126 с.
  10. Куликов Н.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Радиоэкология почвенно-растительного покрова. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 169 с.
  11. Моисеев А.А., Рамзаев П.В. Цезий-137 в биосфере. М., 1975. 182 с.
  12. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Куликов Н.В. Некоторые итоги радиоэкологического изучения природных экосистем в зоне Белоярской АЭС // Экология. 1985. № 5. С. 30-34.
  13. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Позолотина В.Н., Ааргрог А., Дальгаардт Г., Нильсен С.П. Радионуклиды в почвах Восточно-Уральского радиоактивного следа // Дефектоскопия, 1998, N 4, с. 87-92.
  14. Нифонтова М.Г., Куликов Н.В. Цезий-137 в растениях окрестностей Белоярской атомной электростанции им. И.В. Курчатова на Урале // Экология. 1984. № 5. С. 81-83.
  15. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. М.: Атомиздат, 1974. 215 с.
  16. Передельский А.А. Основания и задачи радиоэкологии // Журн. общ. биологии. 1957. 18. № 1. С. 17-30.
  17. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Географгиз, 1961. 496 с.
  18. Польшов Б.Б. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956.
  19. Сукачев В.Н. Соотношение понятий “биогеоценоз”, “экосистема” и “фация” // Почвоведение. 1960. № 6. С. 1-10.
  20. Тимофеев-Ресовский Н.В. Применение излучений и излучателей в экспериментальной радиоэкологии // Ботан. журн. 1957. Т.42. Вып. 2. С. 161-194.
  21. Тимофеев-Ресовский Н.В. Некоторые проблемы радиационной биогеоценологии //Труды Ин-та биологии УФ АН СССР. Свердловск, 1962.
  22. Тимофеева-Ресовская Е.А. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов. Свердловск: УФ АН СССР, 1963. 77 с.

23. Тимофеев-Ресовский Н.В., Титлянова А.А., Махонина Г.И., Молчанова И.В., Тимофеева Н.А., Чеботина М.Я. Поведение радиоактивных изотопов в системе почва-раствор //Радиоактивность почв и методы ее определения. М.: Наука, 1966. С. 46-80.
24. Тимофеев-Ресовский Н.В., Тюрюканов А.Н. Об элементарных биохорологических подразделениях биосферы // Бюл. МОИП, отд. биологии. 1966. Вып. 1. С. 123-132.
25. Тюрюканова Э.Б. О методике исследования поведения радиоактивного стронция в почвах различных геохимических ландшафтов. М.: Атомиздат, 1968. 45 с.
26. Тюрюканова Э.Б. Радиогеохимия почв полесий Русской равнины. М.: Наука, 1974. 154 с.
27. Фирсова В.П., Молчанова И.В., Мещеряков П.В., Павлова Т.С., Караваева Е.Н., Прокопович Е.В., Тошев В.В. Почвенно-экологические условия накопления и перераспределения радионуклидов в зоне ВУРСа. Екатеринбург, 1996. 140 с.
28. Чеботина М.Я., Реч Т.А., Куликов Н.В. Тритий в воде и снежном покрове в зоне Белоярской атомной электростанции // Экология. 1984. № 3. С. 74-76.
29. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. Радиозэкологические исследования Белоярского водохранилища. Свердловск: УрО АН СССР, 1992. 80 с.
30. Юшков П.И. Накопление и распределение  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  у березы в зоне воздействия жидких сбросов Белоярской АЭС // Экология. 2000. № 2. С. 106-112.
31. Odum E.P. Radiation ecology //Fundamentals of Ecology. Philadelphia: Penna, W.B. Saunders Co, 1957. P. 45.