

## Н. В. ТИМОФЕЕВ-РЕСОВСКИЙ И БИОГЕОЦЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ИДЕИ В РАЗРАБОТКЕ ПРОБЛЕМ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ РАДИОЭКОЛОГИИ

Н. В. КУЛИКОВ, Н. В. МОЛЧАНОВА, Е. Н. КАРАБАЕВА

Институт экологии растений и животных УрО АН СССР, г. Свердловск

Նախադրվում են ԽՍՀՄ ԳԱ Սերովի բաժանմունքի բույսերի և կենդանիների էկո-  
լոգիայի ինստիտուտում կատարված ազդեցիկության և ճեմագրությունների  
զարգացման հիմնական աղյուսները: Նշվում է ն. Ս. Տիմոֆեև-Քեսովսկու ներ-  
դրումը ազդեցիկության բնագեոցենոլոգիայի և մայրցամաքային ազդեցիկության  
խնդրի մշակման մեջ:

Main results of development of radioecological studies in the Institute of  
Plants and Animals Ecology of Ural Branch of the AS of the USSR have  
been stated. The contribution of N. V. Timofeyev—Resovski to the elabo-  
ration of problems of radiation biogeocenology and continental radioeco-  
logy is underlined.

Одним из признанных центров, где в 50-е годы под руководством  
Н. В. Тимофеева-Ресовского проводились первые в нашей стране радио-  
экологические исследования, является Институт экологии растений и  
животных УрО АН СССР. Пропагандируя идеи В. В. Докучаева, В. И.  
Вернадского, В. Н. Сукачева, а также учитывая опыт пековых наблю-  
дений за губительными действиями на окружающую среду отходов про-  
мышленных производств, Н. В. Тимофеев-Ресовский в эти годы ставит  
несьма серьезную проблему быстрого и полного изучения всех вопро-  
сов, связанных с возможностью воздействия бурно развивающейся  
этомной промышленности на биосферу. При этом он подчеркивает,  
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 биogeоценологических идей В. Н. Сука-  
чева [11].

В этой связи проблема взаимодействия живых организмов друг с  
другом и со средой обитания в условиях радиоактивного загрязнения в  
общих чертах сводится к изучению поведения радиоактивных веществ  
в различных компонентах биосферы и оценке действия понизирующих  
излучений на живые организмы. Такие исследования проводились в  
рамках сформулированной Н. В. Тимофеевым-Ресовским экстеримен-  
тальной биogeоценологии, которую впоследствии он предложил назвать  
радиационной биogeоценологией. Радиоактивные изотопы рассма-  
тривались при этом в основном в качестве «меченых атомов» для изучения

судьбы химических элементов в биогеоценозах, а ионизирующие излучения — в качестве легко дозируемого фактора воздействия на организмы и их сообщества [12]. Основной экспериментальной базой служила биофизическая станция «Миассово», расположенная на территории Ильменского государственного заповедника им. В. И. Ленина в Челябинской области. Тогда на этой станции были проведены первые радиоэкологические исследования Г. Г. Поликарповым, создавшим затем школу морских радиоэкологов в Институте биологии южных морей АН УССР; А. А. Передельским, сформировавшим радиоэкологическую группу в Институте эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР. Здесь начинали свои первые работы сотрудники Коми научного центра УрО АН СССР, где сформировался известный радиоэкологический центр по изучению природных биогеоценозов, загрязненных естественными радионуклидами. В «Миассово» трудились научные сотрудники ЗИН АН СССР и других научных учреждений Ленинграда. Таким образом, работы, проводившиеся на Урале, стимулировали возникновение радиоэкологических центров в других регионах страны.

На первом этапе этих исследований И. В. Тимофеевым-Ресовским с сотрудниками были проведены многочисленные экспериментальные работы по изучению поведения ряда химических элементов в простых системах почва—раствор, почва—растение, 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, они в ней резко проявляются и более доступны для изучения, что и позволило выявить основные факторы и механизмы, управляющие миграционной способностью радионуклидов. В результате были получены первые представления о скоростях и полноте поглощения разных радионуклидов в почвах и водных грунтах, прочности их фиксации в этих объектах, степени подвижности в первичных экологических звеньях и влияния некоторых физико-химических и экологических факторов на эту подвижность.

Существенное место отводилось изучению роли живых организмов в накоплении радионуклидов и их перераспределении по основным компонентам биогеоценозов. Для количественного сравнения накопительной способности организмов широко использовалось понятие коэффициента накопления—величины, равной отношению концентрации данного радионуклида в организме и его концентрации в среде при установлении равновесия. Было показано, что пределы накопления радионуклидов чрезвычайно широки как для разных видов организмов, так и для разных радионуклидов [13]. Практически по каждому изученному нуклиду двух десятков химических элементов были выделены виды живых организмов с особенно высокими и особенно низкими коэффициентами накопления. Виды, характеризующиеся наиболее высокими коэффициентами накопления, были названы специфическими накопителями, а для их вычленения был предложен объективный формаль-

ный критерий — отклонение коэффициента более чем на 4σ от среднего арифметического значения, установленного для соответствующего вариационного ряда. В плане поиска и выделения таких специфических накопителей особенно подчеркивалась роль организмов — пионеров образования коры цветствования и формирования почвенного покрова — бактерий, низших грибов, водорослей, лишайников. В последующем такие организмы — специфические накопители того или иного радионуклида — стали использоваться в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения окружающей среды. К числу наиболее удобных видов-индикаторов загрязнения почвенно-растительного покрова были отнесены представители мхов, лишайников, мхов сосны и других мховых пород, слой хорошо разложившейся лесной подстилки. Преимущество такой биоиндикации состоит в том, что она, основываясь на высокой концентрирующей способности живых организмов, позволяет в ряде случаев исключить трудоемкие работы по отбору, подготовке и анализу больших объемов воды, почв и других компонентов наземных и водных экосистем с низким содержанием в них радионуклидов. С учетом высокой накопительной способности водных растения и грунтов была также обоснована возможность использования слабопотоковых подтоков-отстойников для доочистки малорадиоактивных сбросных вод промышленных предприятий. Кроме того, в те годы были проведены многочисленные эксперименты по изучению сравнительной радиочувствительности более чем ста видов и сортов растений. На большом фактическом материале подтверждено стимулирующее действие относительно малых доз ионизирующей радиации на рост и развитие растений и дана первая попытка теоретического объяснения механизма этого явления. В специальных опытах с искусственными сообществами наземных растений, почвенных микроорганизмов и пресноводным перифитоном было показано, что при относительно малых дозах лучевого воздействия имеет место некоторая общая стимуляция этих сообществ без заметной их перестройки, а при высоких дозах облучения происходят глубокие нарушения видового состава сообществ и их структуры. Основные результаты исследований за этот период были опубликованы в серии первых выпусков трудов Института [9, 10].

Широкомасштабные испытания ядерного оружия в 60—70-х годах обусловили переход к собственно радиоэкологическим исследованиям, связанным с изучением процессов миграции и биологического действия нуклидов в реально существующих природных экосистемах суши и внутренних водоемах. Такие работы проводились в основном с долгоживущими радионуклидами, поступающими на земную поверхность в составе глобальных радиоактивных выпадений, а сами радионуклиды стали рассматриваться в качестве самостоятельного объекта исследований. В этих работах, помимо развития и расширения наметившихся представлений, были получены данные, характеризующие поведение радионуклидов в водоемах различной глубины, определены уровни содержания долгоживущих радионуклидов в основных компонентах пресноводных водоемов: воде, донных отложениях, рыбах, водной растительности. Установлена зависимость накопления радио-

нуклидов и организме разных видов рыб от их возраста, пола и сезона года. Количественно оценен переход радионуклидов из организма рыб в потомство с икрой, отмечена роль отмирающей водной растительности в накоплении радионуклидов [2, 3, 6].

В наземных экосистемах проведены работы по изучению миграции и распределения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в почвенно-растительном покрове различных элементов тундрового и горно-лесного ландшафта на Северном и Южном Урале. В подобного рода исследованиях широко применялся системный подход, базирующийся на идее классиков современного естествознания о взаимосвязи между живыми и косными компонентами природной среды, а также между участками природной среды или, как их назвал Н. В. Тимофеев-Ресовский, элементарными биохорологическими единицами современной биосферы. При проведении радиоэкологических исследований с помощью системного метода выделяли определенные участки ландшафта, локализующиеся на сопряженных по стоку элементах рельефа. Изучение таких участков позволяет выявить зоны рассеяния и вторичной аккумуляции химических элементов (радионуклидов) в природной среде. Существенным компонентом природной среды является почвенно-растительный покров. Именно он служит первым экраном на пути поступления радиоактивных веществ из атмосферы на земную поверхность. 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. Эта гонкая, наиболее насыщенная жизнью оболочка биосферы является вместе с тем и наиболее чувствительной к повреждающим лучевым воздействиям в случае радиоактивного загрязнения. Все эти обстоятельства послужили причиной тому, что в рамках сформулированной в это время концепции континентальной радиоэкологии как радиоэкологии наземных биогеоценозов и внутренних водоемов значительное место отводилось радиоэкологическим исследованиям почвенно-растительного покрова [4].

Вместе с этим были продолжены радиобиологические исследования, в которых изучалась сравнительная радиочувствительность основных лесобразующих пород Урала на ранних этапах развития и впервые было показано, что относительно малые дозы радиации (в диапазоне доз, стимулирующих рост и развитие растений при предпосевном облучении семян) оказывают радиозащитное действие при последующем их облучении в сублетальных дозах [1].

В целом огромный эмпирический материал и опыт радиоэкологии позволил дать общую сравнительную картину миграции, распределения и биологического действия радионуклидов в объектах природной среды. Наряду с этим, на основании данных всех предшествовавших исследований был сформулирован фундаментальный вывод о том, что природную среду нельзя рассматривать в качестве пассивного разбавителя радиоактивных загрязнений. В силу своих структурно-функциональных особенностей и физико-химических свойств природные экосистемы способны перераспределять радиоактивные вещества по со-

ставляющим их компонентам, в результате чего концентрация радионуклидов и соответственно дозовые нагрузки облучения в отдельных звеньях этих систем могут достигать высоких значений. Как правило, вследствие концентрирующей функции живых организмов такими звеньями являются места максимального скопления органических остатков — верхние горизонты почв, донные отложения водоемов, места детрита и сапротелеобразования [5]. Эти особенности экосистем необходимо учитывать при нормировании и прогнозировании содержания радионуклидов в компонентах суши и водоемов.

На современном этапе континентальной радиоэкологии разрабатываются проблемы, связанные с задачами развития ядерных технологий и атомной энергетики. На этом этапе в радиоэкологические исследования все шире вовлекаются введенные нейтронами радионуклиды, а также естественные и трансураниевые нуклиды, сопутствующие ядерному топливному циклу. Кроме того, быстрый рост атомной энергетики влечет за собой значительное увеличение радиоактивных отходов, определенная часть которых, даже при нормальной работе предприятий ядерного топливного цикла, может проникать в окружающую природную среду. В настоящее время можно выделить следующие области атомной промышленности и технологии, развитие которых требует «вернадскологического» подхода: 1) добыча и переработка ядерного горючего; 2) атомная энергетика и реакторостроение; 3) ядерные взрывы; 4) захоронение радиоактивных отходов и рекреационные работы в санитарно-защитных зонах АЭС; 5) ядерные инциденты военного характера; 6) использование минеральных удобрений, технологических отходов и шахтных вод предприятий горнодобывающей промышленности в сельском хозяйстве.

Для решения ряда общих проблем радиоэкологии и в связи с задачей развития атомной энергетики в районе Белоярской АЭС была построена в 1980 г. и пущена в эксплуатацию Биофизическая станция Института экологии растений и животных УрО АН СССР. На базе этой станции проводятся систематические радиоэкологические исследования наземных, водных и околоводных экосистем в зоне Белоярской АЭС, идейную и теоретическую основу которых заложил Н. В. Тимофеев-Ресовский.

За истекшие годы было установлено, что с точки зрения возможных экологических и гигиенических последствий среди поступающих во внешнюю среду радионуклидов в районе Белоярской АЭС наибольший интерес представляют  $^3\text{H}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Эти радионуклиды в основном в виде слаборадиоактивных вод сбрасываются в определенные участки природных экосистем и частично в Белоярское водохранилище, используемое в качестве водоема-охладителя. Следует отметить, что 20-летняя эксплуатация АЭС не привела к превышению допустимых уровней содержания радионуклидов в основных компонентах Белоярского водохранилища. Однако повышение температуры в зоне сброса подогретой воды привело к возрастанию накопления отдельных радионуклидов водными растениями, донными отложениями и грунтами примерно на порядок величины, а в рыбах — в 2—3 раза по сравнению с други-

ми участками водоема. Сброс дебалансных вод в природную болотно-речную экосистему привел к формированию зон концентрации  $^{137}\text{Cs}$ , в которых содержание этого нуклида превышает контрольные участки в десятки раз по воде и на два порядка величины по донным отложениям [5, 8]. В течение последнего десятилетия продолжен цикл работ по изучению сравнительной радиочувствительности лесобразующих пород Урала. При этом основное внимание уделяется модифицирующему действию на радиочувствительность сопутствующих факторов среды — влажности, длительности хранения, температуры, условий произрастания, предварительного облучения семян ионизирующей радиацией [7].

Изложенный материал показывает, что радиоэкологические исследования, у истоков которых стоял Н. В. Тимофеев-Ресовский, способствуют как более глубокому познанию структурно-функциональной организации экологических систем, так и решению проблем по созданию рациональных взаимоотношений между развивающейся промышленностью и биологическими продуктивными силами Земли. Эти проблемы в основе своей являются биогеоэкологическими и стратегия их решения должна строиться на основе современных представлений о биосфере и биологических процессах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Действие ионизирующих излучений на гидробионты и наземные растения УНЦ АН СССР, вып. 74, 98, Свердловск, 1970.
2. Куликов Н. В., Куликова В. Г. Экология, 5, 45—50, 1977.
3. Куликов Н. В., Куликова В. Г., Бергголова Э. И. Экология, 1, 48—52, 1972.
4. Куликов Н. В., Молчанова И. В. Континентальная радиоэкология, 184, М., 1975.
5. Куликов Н. В., Чеботкина М. Я. Радиоэкология пресноводных биосистем, 127, Свердловск, 1988.
6. Любимова С. А. Автореф. канд. дисс., 16, Свердловск, 1971.
7. Модификация лучевых поражений семян растений, 62, Свердловск, 1983.
8. Молчанова И. В., Караашева Е. Н., Куликов Н. В. Экология, 5, 30—34, 1985.
9. Сб. работ лаборатории биофизики (Тр. Ин-та биологии УФАИ СССР), 9, 220, Свердловск, 1957.
10. Сб. работ лаборатории биофизики (Тр. Ин-та биологии УФАИ СССР), 13, 86, Свердловск, 1960.
11. Тимофеев-Ресовский Н. В. Радиоактивные загрязнения биосферы и меры борьбы с ними. (Тр. Ин-та биологии УФАИ СССР), 22, 7—16, Свердловск, 1962.
12. Тимофеев-Ресовский Н. В. Некоторые проблемы радиационной биогеоэкологии (Докл. для защиты ученой степени доктора биол. наук), 51, Свердловск, 1962.
13. Тимофеева-Ресовская Е. А. Распределение радионуклидов по основным компонентам пресноводных водоемов, 78, Свердловск, 1963.

Поступило 26.VI 1989 г.