

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ЭКОЛОГИЯ

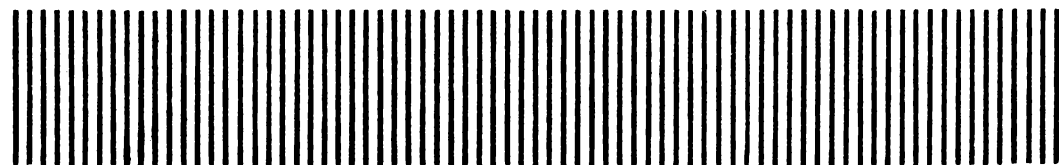
4

ИЮЛЬ – АВГУСТ

1986



Издательство «Наука»



РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УРАЛЕ*Н. В. Куликов*

Излагаются основные итоги 30-летних радиоэкологических исследований на Урале — в Институте экологии растений и животных Уральского научного центра АН СССР. Подчеркивается вклад этих исследований в разработку проблем континентальной радиоэкологии.

Одним из признанных центров, где начинались в пятидесятые годы первые радиоэкологические исследования в нашей стране, был Институт биологии Уральского филиала АН СССР (ныне Институт экологии растений и животных УНЦ АН СССР). В те годы такие работы проводились в рамках сформулированной Н. В. Тимофеевым-Ресовским экспериментальной биогеоценологии, которую впоследствии он предпочитал называть радиационной биогеоценологией. При этом радиоактивные изотопы рассматривались в качестве «меченых атомов» для изучения судьбы химических элементов в биогеоценозах, а ионизирующие излучения — в качестве удобного и легко дозируемого фактора воздействия на организмы и их сообщества (Тимофеев-Ресовский, 1962).

Основной экспериментальной базой для исследований служила биофизическая станция «Миассово», расположенная на территории Ильменского государственного заповедника имени В. И. Ленина в Челябинской области. На этой станции в конце пятидесятых годов были проведены первые радиоэкологические исследования Г. Г. Поликарповым, создавшим затем школу морских радиоэкологов в Институте биологии южных морей АН УССР в Севастополе, А. А. Передельским, сформировавшим радиоэкологическую группу в Институте эволюционной морфологии и экологии животных имени А. Н. Северцева АН СССР в Москве. Здесь же начали свои первые работы сотрудники Коми филиала АН СССР, где впоследствии сформировался известный радиоэкологический центр по изучению природных биогеоценозов, загрязненных естественными радионуклидами. В «Миассово» трудилась группа сотрудников ЗИН АН СССР из Ленинграда во главе с А. Б. Гецовой и сотрудники ряда других научных учреждений. Таким образом, работы, начавшиеся в пятидесятые годы на Урале под руководством Н. В. Тимофеева-Ресовского, стимулировали возникновение радиоэкологических центров в других регионах страны.

В развитии радиоэкологических исследований на Урале можно выделить три основных этапа, отражающих в определенной мере историю радиоэкологии.

Первый этап, который продолжался с 1955 по 1965 гг., ознаменовался развитием экспериментальной, или радиационной, биогеоценологии. В течение этого десятилетия были выполнены и опубликованы многочисленные экспериментальные работы по изучению поведения радионуклидов ряда химических элементов в системах почва — раствор, почва — растение, вода — грунт и вода — гидробионты. Исследования проводились на упрощенных моделях либо в условиях лаборатории (в пробирках, вегетационных сосудах, мелких аквариумах), либо в условиях мелкоделительных и специальных аквариальных опытов на открытых площадках. В результате получены первые представления о скоростях и полноте поглощения разных радионуклидов в почвах и водных грунтах, прочности их фиксации в этих объектах и степени их подвижности в первичных экологических звеньях почва — растение и вода — гидробионты. Для многих представителей пресноводной флоры и фауны в лабораторных условиях определены значения коэффициентов накопления

радионуклидов около двух десятков химических элементов, показывающих, во сколько раз концентрации этих нуклидов в организмах превышают их концентрации в водной среде. Учитывая высокую накопительную способность водных растений и грунтов, была обоснована возможность использования слабопроточных водоемов-отстойников для очистки малорадиоактивных сбросных вод.

Кроме того, проведены многочисленные эксперименты по изучению сравнительной радиочувствительности более ста видов и сортов преимущественно культурных растений. На большом фактическом материале подтверждено стимулирующее действие относительно малых доз ионизирующей радиации на рост и развитие растений и дана первая теоретическая интерпретация механизмов этого явления. В специальных опытах с искусственными сообществами наземных растений, почвенными микроорганизмами и пресноводным перифитоном было показано, что при относительно малых дозах лучевого воздействия отмечается некоторая общая стимуляция этих сообществ без заметной их перестройки, а при высоких дозах облучения происходят весьма глубокие нарушения видового состава сообществ и их структуры. Основные результаты исследований за этот период опубликованы в серии первых выпусков трудов Института биологии УФАН СССР и других изданиях (Сборники работ Лаборатории биофизики: I, 1957; II, 1960; III, 1960; IV, 1962; Проблемы радиационной биогеоэкологии, 1965; Поведение радионуклидов в модельных системах наземных и пресноводных биогеоценозов, 1968; Тимофеев-Ресовский, 1956; Преображенская, 1971; Тимофеева-Ресовская, 1963).

Второй этап развития радиозоологических исследований продолжался примерно с 1965 по 1975 гг. Для него характерен переход к собственно радиозоологическим исследованиям, связанным с изучением процессов миграции и биологического действия радионуклидов не только в условиях модельных систем и мелкочастичных опытов, но и в реально существующих природных экосистемах суши и внутренних водоемов. В те годы работы проводились преимущественно с долгоживущими осколочными радионуклидами ^{90}Sr и ^{137}Cs , поступающими на земную поверхность с глобальными радиоактивными выпадениями. Сами радионуклиды и ионизирующие излучения стали рассматриваться в качестве непосредственных объектов исследования вместе с компонентами соответствующих экосистем.

В результате исследований удалось показать, что если коэффициенты накопления ^{90}Sr у водных растений в лабораторных условиях по своим значениям приближаются к таковым в природном водоеме, то коэффициенты накопления ^{137}Cs в лабораторных экспериментах значительно ниже, чем в природных условиях. Это объясняется краткосрочностью лабораторных опытов и невозможностью воспроизвести в них условия, складывающиеся в природном водоеме (Куликов и др., 1968).

При изучении сезонной динамики распределения нуклидов в компонентах мелководного водоема установлено, что в процессе промерзания воды в зимнее время содержание некоторых макроэлементов и радионуклидов в толще льда за счет вымораживания в десятки раз уменьшается, а в подледной воде и донных отложениях — возрастает (Боченин и др., 1980). Этот природный механизм в настоящее время находит практическое применение в специальных прудах-отстойниках для очистки воды от радиоактивных примесей и для опреснения высокоминерализованных шахтных вод.

Большая серия работ была проведена по определению содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в пресноводных рыбах. Установлена зависимость накопления радионуклидов в организме рыб от трофности водоемов, вида рыб, их возраста, пола и сезона года. Количественно оценен переход радио-

нуклидов из организма рыб в потомство с икрой во время нереста. В экспериментальных условиях изучено накопление ряда искусственных радионуклидов развивающейся икрой и личинками рыб в зависимости от температуры воды, а также определены уровни радиоактивного загрязнения водной среды и соответственно лучевых нагрузок, оказывающие повреждающее действие на эмбриогенез рыб (Действие ионизирующих излучений на гидробионты и наземные растения, 1970; Куликов и др., 1972; Куликов, Куликова, 1977). Определено содержание радионуклидов в донных отложениях и грунтах отдельных водоемов, дана оценка роли отмирающей водной растительности в накоплении радионуклидов, изучено поведение ряда естественных радиоактивных элементов в системах вода — пресноводные растения и вода — грунт (Искра и др., 1970; Любимова, 1971; Проблемы радиоэкологии водных организмов, 1971).

В наземных экосистемах изучены миграция и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвенно-растительном покрове различных элементов тундрового ландшафта на Северном и горно-лесного ландшафта — на Южном Урале. Экспериментально исследована роль водно-растворимых веществ растительного опада и режима почвенного увлажнения в процессах миграции радионуклидов в системах почва — раствор и почва — растение, завершён цикл экспериментальных работ по сравнительному изучению поведения в этих системах экологически значимых искусственных радионуклидов — ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{90}Y и ^{144}Ce (Молчанова, Куликов, 1972; Молчанова и др., 1971; Караваева, Молчанова, 1976; Караваева, 1973; Чеботина, 1967; Чеботина, Молчанова, 1975; Чеботина, Куликов, 1973; Радиоэкологические исследования почв и растений, 1975; Радиоактивные изотопы в почвенно-растительном покрове, 1979).

В эти годы начинались исследования сравнительной радиочувствительности основных лесобразующих пород Урала на ранних этапах развития и впервые показано, что относительно малые дозы радиации (в диапазоне доз, стимулирующих рост и развитие растений при предпосевном облучении семян) оказывают радиозащитное действие к последующему их облучению в сублетальных дозах (Действие ионизирующих излучений на гидробионты и наземные растения, 1970; Куликов и др., 1971; Альшиц, Позолотин, 1974). Тогда же была впервые сформулирована концепция континентальной радиоэкологии как радиоэкологии биогеносфер суши и внутренних водоемов (Куликов, Молчанова, 1975).

Наконец, третий этап развития радиоэкологических исследований, начиная с 1975 г. и по настоящее время, знаменуется переходом к разработке проблем радиоэкологии в связи с задачами развития атомной энергетики (Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций, 1978; Радиоактивные изотопы в почвенных и пресноводных системах, 1981; Поведение радионуклидов в водоемах и почвах, 1983).

По данным исследований предшествующих лет было сформулировано очень важное эмпирическое обобщение, которое сводится к тому, что природную среду нельзя рассматривать в качестве пассивного разбавителя поступающих в нее радионуклидов. В силу своих структурно-функциональных особенностей и физико-химических свойств природные экосистемы способны вовлекать радиоактивные вещества в биогеохимические циклы миграции, в результате чего концентрации радионуклидов и соответственно дозовые нагрузки облучения в отдельных звеньях экосистем могут достигать высоких значений. Эти особенности следует учитывать при нормировании и прогнозировании содержания радионуклидов в различных компонентах экосистем суши и водоемов (Куликов, 1978).

В этот период в качестве экспериментальной базы для проведения радиоэкологических исследований была построена и пущена в эксплуатацию Биофизическая станция Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР около Белоярской АЭС имени И. В. Курчатова. С 1980 г. здесь начаты систематические радиоэкологические исследования наземных, водных и околоводных экосистем в зоне Белоярской АЭС.

За истекшие годы установлено, что с точки зрения возможных экологических и гигиенических последствий из числа поступающих во внешнюю среду радионуклидов в районе Белоярской АЭС наибольший интерес представляют тритий, ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs . Эти радионуклиды преимущественно в виде слаборадиоактивных дебалансных вод АЭС сбрасываются в Ольховскую болотно-речную экосистему за 5 км от АЭС и частично в Белоярское водохранилище, используемое в качестве водоема-охладителя, куда поступает избыточное тепло АЭС в виде подогретой воды (Бескrestнов и др., 1978; Молчанова и др., 1982; Чеботина и др., 1984).

Повышение температуры в зоне сброса подогретой воды приводит 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 другими участками водоема. Вместе с тем показано, что содержание ^{137}Cs в выращиваемой в зоне подогретой воды садковой рыбе в несколько раз меньше, чем в свободноживущих рыбах водохранилища. Это объясняется тем, что рыба в садках питается «радиоактивно чистым» искусственным кормом и находится в воде водоема в течение лишь одного года, тогда как свободноживущая рыба постоянно питается обогащенным радионуклидами естественным кормом и живет в водоеме от ее зарождения до отлова в течение нескольких лет.

Результаты этих исследований стимулировали создание на Белоярском водохранилище специального рыбного хозяйства по выращиванию рыб на подогретой воде. В 1983—1985 гг. для продажи населению сдавали свыше 100 т живой рыбы ежегодно, а в ближайшие годы планируется довести его производительность до 300 т в год и выращивать свой посадочный материал. Следует отметить, что 20-летняя эксплуатация Белоярской АЭС не привела к превышению допустимых уровней содержания радионуклидов в основных компонентах Белоярского водохранилища (Трапезников и др., 1983; Куликов и др., 1984; Трапезникова и др., 1984).

Исследования также показали, что сброс дебалансных вод АЭС в Ольховскую болотно-речную экосистему практически не увеличил содержания в ней ^{90}Sr . Концентрации радионуклида в компонентах экосистемы лишь незначительно превышают фоновые, обусловленные глобальными радиоактивными выпадениями из атмосферы. Наряду с этим отмечены достаточно высокие концентрации ^{137}Cs , превышающие контрольные участки в десятки раз по воде и на два порядка величин по донным отложениям. Повышенные концентрации в водной фазе отмечаются и для трития, однако они не превышают допустимых по НРБ-76 (Молчанова и др., 1982).

Прибрежные болотистые образования служат своеобразным природным экраном на пути миграции радионуклидов к береговой зоне и к окружающему Ольховское болото почвенно-растительному покрову. На расстоянии свыше 300—500 м от берега содержание ^{137}Cs в почвах и растениях не превышает фоновую уровень. Это подтверждают и специальные исследования содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в основных видах травянистых многолетников, съедобных грибов, а также мхов и лишайников в окрестностях Белоярской АЭС (Нифонтова, Куликов, 1981, 1984). Сле-

довательно, в настоящее время санитарно-защитную зону Белоярской АЭС можно использовать в народном хозяйстве практически без санитарно-гигиенических ограничений. Подтверждением тому служат и оценки годовых доз облучения в окрестности Белоярской АЭС с использованием термолюминесцентных дозиметров (Готлиб и др., 1982).

В течение последнего десятилетия продолжен цикл экспериментальных работ по изучению сравнительной радиочувствительности лесобразующих пород Урала. При этом основное внимание уделяется модифицирующему действию на радиочувствительность факторов среды — влажность, длительность хранения, температура, условия произрастания, предварительное облучение семян ионизирующей радиацией (Тарчевская, 1975; Позолотина, 1980; Радиоустойчивость семян и ее изменчивость, 1980; Модификация лучевого поражения семян растений, 1983). Установлено, что радиозащитное действие относительно малых доз гамма-излучения к последующему лучевому воздействию в сублетальных дозах связано с интенсификацией (стимуляцией) работы репаративных систем растительных клеток, которые в норме восстанавливают спонтанно возникающие цитогенетические повреждения (Альшиц и др., 1981).

В 1985 г. на базе Белоярской АЭС имени И. В. Курчатова и Биофизической станции Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР состоялось Всесоюзное совещание «Радиоэкологические исследования в зоне АЭС», на котором подведены итоги и намечены перспективы развития исследований в районах размещения предприятий ядерного топливного цикла. Совещание, в частности, одобрило опыт и основные результаты экологических исследований в районе Белоярской АЭС, рассматривая их как положительный пример комплексного изучения влияния АЭС на примыкающие к таким предприятиям экосистемы.

Изложенный выше материал показывает, что радиоэкологические исследования способствуют как более глубокому познанию структурно-функциональной организации экологических систем, так и решению практически важных задач по созданию рациональных взаимоотношений между предприятиями полного ядерного топливного цикла и примыкающей к ним природной средой.

Институт экологии растений и животных
УНЦ АН СССР

Поступила в редакцию
23 декабря 1985 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Альшиц Л. К., Позолотин А. А. К вопросу о влиянии предварительного гамма-облучения на последующую радиочувствительность семян гороха. — Радиобиология, 1974, 14, вып. 1, с. 154—157.
- Альшиц Л. К., Куликов Н. В., Шевченко В. А., Юшков П. И. Изменение радиочувствительности семян гороха под влиянием малых доз радиации. — Радиобиология, 1981, 21, вып. 3, с. 459—461.
- Бескrestнов Н. В., Фатькин А. Г., Колтик И. И. Опыт организации дозиметрического контроля за водоемом-охладителем Белоярской АЭС. — В кн.: Проблемы радиэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций. Свердловск, 1978, с. 61—64.
- Боченин В. Ф., Чеботина М. Я., Куликов Н. В. Распределение ^{90}Sr и Са между водой и донными отложениями водоема в зависимости от сезона года. — Экология, 1980, № 5, с. 96—98.
- Готлиб В. И., Зырянов А. П., Колтик И. И., Фатькин А. Г. Радиационная обстановка в окружающей среде около Белоярской АЭС имени И. В. Курчатова. — В кн.: Радиационная безопасность и защита АЭС. М.: Энергониздат, 1982, № 7, с. 182—185.
- Действие ионизирующих излучений на гидробионты и наземные растения: Труды Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. Свердловск, 1970, вып. 74, 98 с.
- Искра А. А., Куликов Н. В., Бахуров В. Г. Роль пресноводной растительности в процессах миграции и распределения естественных радиоактивных элементов в водоеме. — Экология, 1970, № 2, с. 83—89.
- Каравая Е. Н. Экспериментальное изучение влияния влажности почвы на поведение радиоизотопов стронция, цезия и церия в модельных системах поч-

- ва — раствор и почва — растение: Автореф. канд. дис. Свердловск: Ин-т экологии растений и животных УНЦ АН СССР, 1973.
- Караваева Е. Н., Молчанова И. В. Зависимость вертикальной миграции стронция-90 в почве от режима почвенного увлажнения. — Экология, 1976, № 3, с. 105—107.
- Куликов Н. В. Биоиндикация радиоактивного загрязнения внутренних водоемов. — В кн.: Биологические методы оценки природной среды. М.: Наука, 1978, с. 152—158.
- Куликов Н. В., Альшиц Л. К., Позолотин А. А., Тарчевская С. В. Изменение радиочувствительности растений в результате предварительного лучевого воздействия. — Радиобиология, 1971, 11, вып. 4, с. 630—632.
- Куликов Н. В., Куликова В. Г. О накоплении ^{90}Sr и ^{137}Cs некоторыми представителями пресноводных рыб в природных условиях. — Экология, 1977, № 5, с. 45—50.
- Куликов Н. В., Куликова В. Г., Береговая Э. И. Переход стронция-90 из организма рыб в потомство. — Экология, 1972, № 4, с. 48—52.
- Куликов Н. В., Любимова С. А., Флейшман Д. Г. О накоплении цезия-137 пресноводными растениями в экспериментальных условиях и природных водоемах. — ДАН СССР, 1968, 178, № 6, с. 1407—1409.
- Куликов Н. В., Молчанова И. В. Континентальная радиоэкология (почвенные и пресноводные экосистемы). М.: Наука, 1975, 184 с.
- Куликов Н. В., Реч Т. А., Чеботина М. Я. Третий в воде болотно-речной экосистемы. — Экология, 1984, № 4, с. 85—87.
- Любимова С. А. Некоторые закономерности миграции стронция-90 и цезия-137 в пресноводных озерах. Автореф. канд. дис. Свердловск, Ин-т экологии растений и животных УФАН СССР, 1971.
- Модификация лучевых поражений семян растений: Научн. доклады Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 1983, 62 с.
- Молчанова И. В., Караваева Е. Н., Чеботина М. Я., Куликов Н. В. Распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs по компонентам болотно-речной экосистемы. — Экология, 1982, № 2, с. 45—49.
- Молчанова И. В., Куликов Н. В. Радиоактивные изотопы в системе почва — растение. М.: Атомиздат, 1972, 82 с.
- Молчанова И. В., Мионов Б. А., Куликов Н. В. Распределение стронция-90 в почвенно-геохимических ландшафтах Северного и Южного Урала. — Радиобиология, Информ. бюл., № 13, М.: 1971, с. 26—30.
- Нифонтова М. Г., Куликов Н. В. О накоплении ^{90}Sr и ^{137}Cs некоторыми представителями низших растений в окрестностях Белоярской атомной электростанции. — Экология, 1981, № 6, с. 94—97.
- Нифонтова М. Г., Куликов Н. В. ^{137}Cs в растениях окрестностей Белоярской атомной электростанции им. И. В. Курчатова. — Экология, 1984, № 5, с. 81—83.
- Поведение радиоизотопов в модельных системах наземных и пресноводных биогеоценозов: Труды Ин-та экологии растений и животных УФАН СССР, Свердловск, 1968, вып. 61, 84 с.
- Поведение радиоизотопов в водоемах и почвах: Научн. доклады Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 1983, 70 с.
- Позолотина В. Н. Экологические аспекты радиочувствительности березы бородавчатой и березы пушистой на ранних этапах развития. Автореф. канд. дис. Свердловск: Ин-т экологии растений и животных УНЦ АН СССР, 1980.
- Преображенская Е. И. Радиочувствительность семян растений. М.: Атомиздат, 1971, 232 с.
- Проблемы радиационной биогеоценологии: Труды Ин-та биологии УФАН СССР, Свердловск, 1965, вып. 45, 136 с.
- Проблемы радиоэкологии водных организмов: Труды Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 1971, вып. 78, 242 с.
- Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций: Труды Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 1978, вып. 110, 120 с.
- Радиоактивные изотопы в почвенно-растительном покрове: Научн. доклады Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 38 с.
- Радиоактивные изотопы в почвенных и пресноводных системах: Научн. доклады Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 1981, 77 с.
- Радиостойчивость семян и ее изменчивость: Научн. доклады Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 1980, 60 с.
- Радиоэкологические исследования почв и растений: Труды Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 1975, вып. 95, 110 с.
- Сборник работ Лаборатории биофизики: Труды Ин-та биологии УФАН СССР, Свердловск, 1957, вып. 9 с. 202; 1960, вып. 12, с. 28; 1960, вып. 13, с. 5—48; 1962, вып. 22, с. 7—67.
- Тарчевская С. В. Радиочувствительность сосны обыкновенной на ранних стадиях развития. Автореф. канд. дис. Свердловск: Ин-т экологии растений и животных УНЦ АН СССР, 1975.

- Тимофеев-Ресовский Н. В. Биофизическая интерпретация явлений радиостимуляции растений. — Биофизика, 1956, 1, с. 616—620.
- Тимофеев-Ресовский Н. В. Некоторые проблемы радиационной биогеоэкологии. Свердловск, 1962, 54 с.
- Тимофеева-Ресовская Е. А. Распределение радионуклидов по основным компонентам пресноводных водоемов. — Труды Ин-та биологии УФАИ СССР, Свердловск, 1963, вып. 30, 78 с.
- Трапезников А. В., Чеботина М. Я., Трапезникова В. Н., Куликов Н. В. Влияние подогретой воды на накопление ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , Ca и K пресноводными растениями. — Экология, 1983, № 4, с. 68—70.
- Трапезникова В. Н., Трапезников А. В., Куликов Н. В. Накопление ^{137}Cs в промысловых рыбах водоема-охладителя Белоярской АЭС. — Экология, 1984, № 6, с. 36—40.
- Чеботина М. Я. Влияние водных экстрактов из растительного материала на подвижность радионуклидов в почве: Автореф. канд. дис. Свердловск. Ин-т экологии растений и животных УФАИ СССР, 1967.
- Чеботина М. Я., Куликов Н. В. Влияние воднорастворимых продуктов разложения травянистых растений на поглощение радионуклидов в почве. — Экология, 1973, № 1, с. 102—103.
- Чеботина М. Я., Молчанова И. В. О роли опада древесных растений в вертикальной миграции стронция-90 в почве. — Экология, 1975, № 2, с. 78—80.
- 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.
-