

АКАДЕМИЯ НАУК СССР · УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
В ЗОНЕ АЭС

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

СВЕРДЛОВСК 1988

УДК 577.41/ : 577.391

Радиоэкологические исследования в зоне АЭС: Сб. науч. трудов. Свердловск: УрО АН СССР, 1988.

Рассматриваются поступление, миграция, накопление и содержание радионуклидов в компонентах природных экосистем, примыкающих к АЭС. Приводятся данные о влиянии подогретой воды и радиоактивных сбросов на водоемы-охладители. Обсуждаются вопросы нормирования технологических сбросов в окружающую природную среду по экологическим и гигиеническим критериям. Ряд работ посвящен радиационному мониторингу в окрестностях АЭС и полевой дозиметрии ионизирующих излучений.

Сборник рассчитан на специалистов в области радиоэкологии, гидробиологии, радиационной гигиены, охраны окружающей среды.

Ответственные редакторы
доктор биологических наук **Н. В. Куликов**,
кандидат биологических наук **М. Я. Чеботина**

Рецензент доктор биологических наук **И. А. Рыбин**

ВВЕДЕНИЕ

Сборник включает материалы докладов на Всесоюзном совещании «Радиоэкологические исследования в зоне АЭС», которое состоялось в июле 1985 г. на базе Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова и Биофизической станции Института экологии растений и животных УрО АН СССР. Актуальность обсуждавшихся на совещании вопросов определяется быстрым развитием атомной энергетики и необходимостью оценки возможных экологических воздействий предприятий ядерного топливного цикла, включая АЭС, на примыкающую к ним природную среду. Время проведения совещания совпало с 30-летием с начала развития радиоэкологических исследований на Урале и 85-летием со дня рождения основателя этого направления работ профессора Николая Владимировича Тимофеева-Ресовского. Поэтому первая статья в сборнике посвящена подведению основных итогов 30-летнего развития радиоэкологии в Институте экологии растений и животных УрО АН СССР и освещению роли Н. В. Тимофеева-Ресовского в формировании научного фундамента зарождавшейся в пятидесятые годы этой отрасли науки.

Практическая ценность сборника в том, что он содержит статьи, в которых приводятся основные закономерности поведения долгоживущих техногенных радионуклидов в компонентах природной среды; рассматривается методология и пути совершенствования радиационного мониторинга в районах АЭС; излагаются количественные подходы к оценке радиационной емкости, допустимых сбросов радиоактивных веществ и гидрхимической характеристики водоемов-охладителей АЭС; а также представлены данные, характеризующие поведение трития в донных отложениях болотно-речной экосистемы; дана оценка радиационной обстановки в районе Белоярской АЭС по результатам исследований с применением термолюминесцентных дозиметров.

Часть докладов, заслушанных на Совещании, не вошла в сборник из-за ограниченности объема издания. Материалы, посвященные изучению поведения естественных и трансурановых радионуклидов в компонентах окружающей среды, издаются в виде препринта.

Н. В. КУЛИКОВ

**НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ РАЗВИТИЯ
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УРАЛЕ**

Одним из признанных центров, где начинались в пятидесятые годы текущего столетия первые радиоэкологические исследования в нашей стране, является Институт биологии Уральского филиала АН СССР (ныне Институт экологии растений и животных УрО АН СССР). Эти работы в те годы проводились в рамках сформулированной Н. В. Тимофеевым-Ресовским экспериментальной биогеоценологии, которую впоследствии он предложил 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 [42].

Основной экспериментальной базой для исследований 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. Северцева АН СССР; здесь начинали 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 научных работников ЗИН АН СССР из Ленинграда во главе с А. Б. Гецовой и сотрудники ряда других научных учреждений. Таким образом, работы, проводившиеся в пятидесятые годы на Урале под руководством Н. В. Тимофеева-Ресовского, стимулировали возникновение радиоэкологических центров в других регионах страны.

Рассматривая развитие радиоэкологических исследований на Урале, можно выделить три основных этапа, отражающих в некоторой степени историю радиоэкологии нашей страны.

Первый этап (с 1955 по 1965 г.) был ознаменован 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. Эти исследования проводились на упрощенных моделях либо в условиях лаборатории (в пробирках, вегетационных сосудах, мелких аквариумах), либо в условиях мелкоделяночных и специальных аквариальных опытов на открытых площадках. В результате были получены первые представления о скоростях и полноте поглощения разных радионуклидов в почвах и водных грунтах, прочности их фиксации в этих объектах и степени подвижности в первичных экологических звеньях почва — растение и вода — гидробионты. Для многих представителей пресноводной флоры и фауны в лабораторных условиях были 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. С учетом высокой накопительной способности водных растений и грунтов была обоснована возможность использования слабопроточных водоемов-отстойников для доочистки 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 сделана первая попытка теоретической интерпретации 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 глубокие нарушения видового состава сообществ и их структуры. Основные результаты исследований за этот период были опубликованы в серии первых выпусков трудов института и других изданиях [24, 27, 28, 36—39, 41, 43].

Второй этап (с 1965 по 1975 г.) знаменуется переходом к собственно радиоэкологическим исследованиям, связанным с изучением процессов миграции и биологического действия радионуклидов не только в условиях модельных систем и мелкоделяночных опытов, но и в реально существующих природных экосистемах суши и внутренних водоемов. Такие работы в те годы проводились преимущественно с долгоживущими осколочными радионуклидами ^{90}Sr и ^{137}Cs , поступающими на

земную поверхность с глобальными радиоактивными выпадениями после ядерных испытаний. Сами радионуклиды и ионизирующие излучения стали рассматривать в качестве непосредственных объектов исследования вместе с компонентами соответствующих экосистем.

В результате этих 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 ^{60}Co и ^{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 [14, 15].

При изучении сезонной динамики распределения нуклидов в компонентах мелководного водоема было показано, что в процессе промерзания воды в зимнее время содержание некоторых макроэлементов и радионуклидов в толще льда за счет вымораживания уменьшается в десятки раз, а в подледной воде и донных отложениях возрастает [4]. 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.

В те же годы была проведена большая серия работ 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 радионуклидов 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 [6, 12, 13]. 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 [7, 17, 29].

В наземных экосистемах проведены работы по изучению миграции и распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвенно-растительном покрове различных элементов тундрового ландшафта на Северном Урале и горно-лесного — на Южном. Экспериментально изучена роль воднорастворимых веществ растительного опада и режима почвенного увлажнения в процессах миграции радионуклидов в системах почва — раствор и почва — растение, завершен цикл экспериментальных работ по сравнитель-

ному изучению в этих системах экологически значимых искусственных радионуклидов ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{90}Y и ^{144}Ce [8, 9, 20, 21, 31, 34, 46—48]. В эти годы были начаты исследования сравнительной радиочувствительности основных лесообразующих 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 к последующему их облучению в сублетальных дозах [1, 6, 11]. В этот же период была сформулирована концепция континентальной радиоэкологии, как радиоэкологии биогеоценозов суши и внутренних водоемов [15].

Наконец, третий этап (с 1975 г. по настоящее время) посвящен разработке проблем радиоэкологии в связи с задачами развития атомной энергетики [25, 30, 32].

По данным всех предшествующих исследований 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 компонентах экосистем суши и водоемов [10].

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 им. И. В. Курчатова (БАЭС), где с 1980 г. начаты систематические радиоэкологические исследования наземных, водных и околоводных экосистем в зоне атомной электростанции.

За истекшие годы установлено, что с точки зрения возможных экологических и гигиенических последствий из поступающих во внешнюю среду радионуклидов в районе АЭС наибольший интерес представляют тритий, ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs . Эти радионуклиды преимущественно в виде слаборадиоактивных дебалансных вод сбрасываются в Ольховскую болотно-речную экосистему за 5 км от АЭС и частично в Белоярское водохранилище, используемое в качестве водоема-охладителя [3, 19, 49].

Повышение температуры в зоне сброса подогретой воды приводит к возрастанию накопления отдельных радионуклидов водными растениями, донными отложениями и грунтами примерно на порядок величин, 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 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. это хозяйство сдавало для продажи населению свыше 100 т живой рыбы ежегодно, а в ближайшие годы планирует довести его производительность до 300 т в год и выращивать там свой посадочный материал. Следует отметить, что 20-летняя эксплуатация АЭС не привела к превышению допустимых уровней содержания радионуклидов в основных компонентах Белоярского водохранилища [16, 44, 45]. Исследования также показали, что сброс дебалансных вод АЭС в Ольховскую болотно-речную экосистему практически не увеличил содержания в ней ^{90}Sr . Концентрации этого 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 эти уровни не превышают допустимых концентраций согласно НРБ-76 [19].

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 фонового уровня. 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 [22, 23]. Следовательно, 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 окрестностях АЭС с использованием термомюминисцентных дозиметров [5].

В течение последнего десятилетия продолжен цикл экспериментальных работ по изучению сравнительной радиочувствительности лесообразующих пород Урала. При этом основное внимание уделяется модифицирующему действию на радиочувствительность сопутствующих факторов среды — влажности, длительности хранения, температуры, условий прорастания,

предварительного облучения семян ионизирующей радиацией [18, 26, 33, 40]. 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 [2].

В 1985 г. на базе БАЭС им. 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 этих исследований в районах размещения предприятий ядерного топливного цикла. Совещание, в частности, одобрило опыт и основные результаты экологических исследований в районе БАЭС, рассматривая эти работы как положительный пример комплексного изучения влияния АЭС на примыкающие к ним экосистемы [35].

Изложенный 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альшиц Л. К., Позолотин А. А. К вопросу о влиянии предварительного гамма-облучения на последующую радиочувствительность семян гороха.— Радиобиология, 1974, т. 14, вып. 1, с. 154—157.
2. Альшиц Л. К., Куликов Н. В., Шевченко В. А., Юшков П. И. Изменение радиочувствительности семян гороха под влиянием малых доз радиации.— Радиобиология, 1981, т. 21, вып. 3, с. 459—461.
3. Бескрестнов Н. В., Фаткин А. Г., Колтик И. И. Опыт организации дозиметрического контроля за водоемом-охладителем Белоярской АЭС. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978, с. 61—64.
4. 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.
5. Готлиб В. И., Зырянов А. П., Колтик И. И., Фаткин А. Г. Радиационная обстановка в окружающей среде около Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова.— В кн.: Радиационная безопасность и защита АЭС. М., 1982, вып. 7, с. 182—185.
6. Действие ионизирующих излучений на гидробионты и наземные растения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1970, вып. 74. 98 с.
7. 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.
8. Караваева Е. Н. Экспериментальное изучение влияния влажности почвы на поведение радиоизотопов стронция, цезия и церия в модельных системах почва — раствор и почва — растение: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск: Ин-т экологии растений и животных УНЦ АН СССР, 1973.

9. Караваева Е. Н., Молчанова И. В. Зависимость вертикальной миграции стронция-90 в почве от режима почвенного увлажнения.— Экология, 1976, № 3, с. 105—107.

10. Куликов Н. В. Биондикация радиоактивного загрязнения внутренних водоемов.— В кн.: Биологические методы оценки природной среды. М., 1978, с. 152—158.

11. Куликов Н. В., Альшиц Л. К., Позолотин А. А., Тарчевская С. В. Изменение радиочувствительности растений в результате предварительного лучевого воздействия.— Радиобиология, 1971, т. 11, вып. 4, с. 630—632.

12. 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.

13. Куликов Н. В., Куликова В. Г., Береговая Э. И. Переход стронция-90 из организма рыб в потомство.— Экология, 1972, № 4, с. 48—52.

14. Куликов Н. В., Любимова С. А., Флейшман Д. Г. О накоплении цезия-137 пресноводными растениями в экспериментальных условиях и природных водоемах.— ДАН СССР, 1968, т. 178, № 6, с. 1407—1409.

15. Куликов Н. В., Молчанова И. В. Континентальная радиоэкология (почвенные и пресноводные экосистемы). М.: Наука, 1975. 184 с.

16. Куликов Н. В., Реч Т. А., Чеботина М. Я. Тритий в воде болотно-речной экосистемы.— Экология, 1984, № 4, с. 85—87.

17. Любимова С. А. Некоторые закономерности миграции стронция-90 и цезия-137 в пресноводных озерах: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Свердловск: Ин-т экологии растений и животных УФАИ СССР, 1971.

18. Модификация лучевых поражений семян растений. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. 62 с.

19. 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.

20. Молчанова И. В., Куликов Н. В. Радиоактивные изотопы в системе почва — растение. М.: Атомиздат, 1972. 82 с.

21. Молчанова И. В., Мионов Б. А., Куликов Н. В. Распределение стронция-90 в почвенно-геохимических ландшафтах Северного и Южного Урала.— Радиобиология, 1971, вып. 13, с. 26—30.

22. 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.

23. Нифонтова М. Г., Куликов Н. В. ^{137}Cs в растениях окрестностей Белоярской атомной электростанции им. И. В. Курчатова.— Экология, 1984, № 5, с. 81—83.

24. Поведение радиоизотопов в модельных системах наземных и пресноводных биогеоценозов. Свердловск: УФАИ СССР, 1968. 84 с.

25. Поведение радиоизотопов в водоемах и почвах. Свердловск: УНЦ СССР, 1983. 70 с.

26. Позолотина В. Н. Экологические аспекты радиочувствительности березы бородавчатой и березы пушистой на ранних этапах развития: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Свердловск: Ин-т экологии растений и животных УНЦ АН СССР, 1980.

27. Преображенская Е. И. Радиочувствительность семян растений. М.: Атомиздат, 1971. 232 с.

28. Проблемы радиационной биогеоценологии. Свердловск: УНЦ СССР, 1965. 136 с.

29. Проблемы радиоэкологии водных организмов.. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1971. 242 с.

30. Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. 120 с.

31. Радиоактивные изотопы в почвенно-растительном покрове. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979. 38 с.

32. Радиоактивные изотопы в почвенных и пресноводных системах. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. 77 с.
33. Радиоустойчивость семян и ее изменчивость. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. 60 с.
34. Радиоэкологические исследования почв и растений. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. 110 с.
35. Решение Всесоюзного совещания «Радиоэкологические исследования в зоне АЭС». Свердловск, 1985. 6 с.
36. Сборник работ Лаборатории биофизики. Свердловск, 1957. 220 с. (Тр. Ин-та биологии УФАН СССР, вып. 9).
37. Там же, 1960, вып. 12, с. 28.
38. Там же, 1960, вып. 13, с. 5.
39. Там же, 1962, вып. 22, с. 7.
40. Гарчевская С. В. Радиочувствительность сосны обыкновенной на ранних стадиях развития: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск: Ин-т экологии растений и животных, УНЦ АН СССР, 1975.
41. Тимофеев-Ресовский Н. В. Биофизическая интерпретация явлений радиостимуляции растений.—Биофизика, 1956, т. 1, с. 616—620.
42. Тимофеев-Ресовский Н. В. Некоторые проблемы радиационной биогеоценологии: Докл. для защиты ученой степени доктора биол. наук. Свердловск: Ин-т биологии, УФАН СССР, 1962.
43. Тимофеева-Ресовская Е. А. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов. Свердловск: УФАН СССР, 1963. 78 с.
44. 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.
45. Трапезников А. В., Чеботина М. Я., Трапезникова В. Н., Куликов Н. В. Влияние подогретой воды на накопление ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , Са и К пресноводными растениями.—Экология, 1983, № 4, с. 68—70.
46. Чеботина М. Я. Влияние водных экстрактов из растительного материала на подвижность радиоизотопов в почве: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск: Ин-т экологии растений и животных, УФАН СССР. 1967.
47. Чеботина М. Я., Куликов Н. В. Влияние воднорастворимых продуктов разложения травянистых растений на поглощение радиоизотопов в почве.—Экология, 1973, № 1, с. 102—103.
48. Чеботина М. Я., Молчанова И. В. О роли опада древесных растений в вертикальной миграции стронция-90 в почве.—Экология, 1975, № 2, с. 78—80.
49. 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.