УДК 574 : 574.58 : 577.346
© 2006

РАДИОЭКОЛОГИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК НАУЧНАЯ ДИСЦИПЛИНА

В.Н. Трапезникова, А.В. Трапезников
Россия, г. Екатеринбург, Институт экологии растений и животных УрО РАН

Рассмотрены теоретические основы радиоэкологии, заложенные учением В.И. Вернадского о биосфере, а также место радиоэкологии пресноводных экосистем в ряду других научных дисциплин. Подчеркнута важность барьерной роли водных биогеоценозов по отношению к миграции радиоактивных веществ. Рассмотрена транспортная функция пресноводных экосистем – вынос радионуклидов из проточных водохранилищ и перенос их речными системами. Большое внимание уделено экологическим факторам, влияющим на аккумулирование радиоактивных веществ компонентами пресноводных биогеоценозов. Дана оценка специфичности радиоэкологической ситуации в Уральском регионе.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ФУНДАМЕНТ РАДИОЭКОЛОГИИ

Теоретический фундамент радиоэкологии был заложен учением В.И. Вернадского о биосфере, работами в области биогеохимии. В этих исследованиях показано, что живые организмы являются мощным геохимическим фактором, определяющим процессы миграции, накопления и распределения химических элементов в компонентах биосферы (Вернадский, 1922 а, 1926 а,б, 1929, 1938, 1940 а,б; Виноградов, 1932, 1935, 1937, 1944; Бруновский, Кунашева, 1935). Жизнедеятельность организмов в значительной степени определяет круговорот вещества в гидросфере и почвах. При этом, как правило, организмы выступают в качестве концентраторов тех или иных химических элементов, в связи с чем уровни содержания элементов в организме могут на несколько порядков величин превышать таковые во внешней среде (Вернадский, 1922 б; Зенкевич, 1947, 1951). Накопление химических элементов организмами изучается также биогеоценологией – научной дисциплиной, созданной В.Н. Сукачевым. Основной задачей этой области знания является исследование баланса вещества и энергии в элементарных ячейках биосферы – биогеоценозах, а также изучение биогеоценотических связей между отдельными биогеоценозами (Сукачев, 1945, 1947, 1960, 1965, 1966, 1967). В этом плане классическими являются работы по экспериментальной радиационной биогеоценологии (Тимофеев-Ресовский, 1957; Тимофеев-Ресовский, Тюрюканов, 1967), где радиоактивные изотопы рассматриваются в качестве "меченых атомов" для изучения судьбы химических элементов в биогеоценозах, а ионизирующее излучение – в качестве удобного и легко дозируемого фактора воздействия на организмы и их сообщества.

2. МЕСТО РАДИОЭКОЛОГИИ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В РЯДУ ДРУГИХ НАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН

В настоящее время выделяют две главные отрасли радиоэкологии – морскую и континентальную. Последняя изучает радиоэкологические процессы в биогеоценозах суши и внутренних водоемов. Отличительной чертой континентальных биоценозов по сравнению с морскими и океаническими является их боль-

нее разнообразие, а среда обитания организмов на континенте подвержена значительно более резким изменениям (Куликов, Молчанова, 1975). Некоторые исследователи склонны выделять радиоэкологию наземных биосистем и радиоэкологию гидробиоценозов, последняя включает в себя морские и пресноводные экосистемы. Пресноводную радиоэкологию можно рассматривать в качестве самостоятельной области радиоэкологии, поскольку пресные водоемы существенно отличаются как от морских, так и от наземных биогеоценозов. Специфика пресноводных экосистем проявляется в том, что в результате снижения фактора разбавления концентрация радионуклидов в пресных водоемах, при радиоактивном загрязнении земной поверхности, возрастает гораздо быстрее, чем в морях и океанах, а слабая минерализация воды способствует более высокому накоплению радионуклидов пресноводными гидробионтами и увеличению тем самым доз облучения этих организмов ионизирующей радиацией. Имеются специальные сводки и обобщения как в области морской (Поликарпов, 1964; Шведов, Патин, 1968; Громов, Спицын, 1975; Перцов, 1978; Gerlach, 1981; Громов и др., 1985; Катков, 1985; Поликарпов, Егоров, 1986), Израэль, Цыбань, 1989; Kershaw, Woodhead, 1991; Матишов, 1993; Яблоков и др., 1993; Foyn, Semenov, 1993; Radioactive contamination, 1994; Johannessen e.a., 1996; Матишов, Матишов, 2001; "Техногенные радионуклиды в морях…", 2005), так и пресноводной радиоэкологии (Тимофеева-Ресовская, 1963; Куликов, Молчанова, 1975; Марей, 1976; Флейшман, 1982; "Биологические последствия …", 1983; Куликов, Чеботина, 1988; Чеботина, Трапезников и др., 1992; Foulquier, Baudin-Jaulent, 1992; Trapeznikov, 1996; "Медико-биологические…", 2000; "Радіонукліди …", 2001; Мокров, 2002, 2003; Чеботина, Гусева, Трапезников, 2002), но в настоящее время пока не создана единая теория радиоэкологии пресноводных экосистем. Частично восполнить этот пробел призвана данная работа, целью которой является определение основных задач, решаемых пресноводной радиоэкологией, систематизация и анализ экологических факторов, влияющих на аккумулирование радионуклидов компонентами водных биогеоценозов, разработка методологических подходов к исследованию миграции, накопления и распределения радиоактивных веществ в основных компонентах гидробиоценозов, а также оценка специфичности радиоэкологической ситуации, сложившейся в Уральском регионе.

3. БАРЬЕРНАЯ РОЛЬ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО ОТНОШЕНИЮ К МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Важнейшей задачей пресноводной радиоэкологии является исследование барьерной роли водных экосистем по отношению к миграции радиоактивных веществ. Особенно важна количественная оценка барьерной роли крупных открытых водных систем – рек, закрытых – озер и полузакрытых – искусственных проточных водохранилищ. Все перечисленные типы водных биогеоценозов широко представлены в Уральском регионе.

В работе (Трапезников, 2001) показано, что расчет запасов радионуклидов в компонентах водных экосистем, играющих роль депо радиоактивных веществ, служит количественной оценкой барьерной функции этих биогеоценозов по отношению к переносу нуклидов за пределы данной экосистемы.

3.1. Распределение радионуклидов по основным компонентам пресноводных экосистем

Большую роль в радиоэкологических исследованиях играет изучение распределения радионуклидов по основным компонентам пресноводных экосистем. Сначала подобные работы проводили в лабораторных условиях (Агафонов, 1958; Агафонов и др., 1960; Агре, Корогодин, 1960; Агре, 1962; Богатырев, 1962; Агре и др., 1964). Согласно этим работам исследуемые радионуклиды разделены на четыре основные группы по типу их распределения между водой, грунтом и биомассой: гидротропы, биотропы, педотропы и эквитропы (Тимофеева-Ресовская и др., 1962; Тимофеева-Ресовская, 1963). В дальнейшем исследования проводились в основном в натурных условиях (Мешалкина, 1971; Трапезников, 1990; Чеботина, Трапезников и др., 1992; Трапезникова, 1994; Трапезников и др., 2000 а,

2003, 2005; Трапезников, 2001; Трапезникова и др., 2005). Главным выводом из последних работ является то, что основным депо радионуклидов в пресноводных биогеоценозах являются донные отложения водоема, которые поглощают 80 % и более нуклидов, затем следует водная компонента (в пределах от долей процента до 20 %) и, наконец, гидробионты (так, высшие водные растения могут аккумулировать в общей сложности доли процента от суммарной активности в водоеме).

3.2. Радиационная емкость пресноводных экосистем

Способность экосистем накапливать и прочно удерживать поступающие в них радионуклиды является их фундаментальным свойством – радиоемкостью (Кутлахмедов и др., 1997). Впервые определение радиоемкости было предложено в работе (Агре, Корогодин, 1960). Наибольший вклад в разработку теории радиоемкости пресноводных экосистем внес Ю.А. Кутлахмедов с соавторами (Кутлахмедов и др., 1994; 1997; "Медико-биологические последствия…", 1998). Для измерения радиоемкости экосистемы предложено использовать параметр-фактор радиоемкости. Этот параметр характеризует долю того количества радионуклидов, которое прочно сорбируется и (или) фиксируется в биотических и абиотических компонентах экосистемы ("Медико-биологические последствия…", 1998). Фактор радиоемкости такой экосистемы оценивается по следующей формуле (Кутлахмедов и др., 1994):

$$F = \frac{kh}{kh + H},$$

где k – коэффициент накопления радионуклидов донными отложениями, которые определяют радиоемкость данной экосистемы;

h – толщина основного сорбирующего слоя донных отложений;

H – средняя глубина водоема.

Не возражая в принципе против данного выше определения радиоемкости, хотелось бы его конкретизировать. Так, предельной радиоемкостью водной экосистемы по конкретному радионуклиду будет величина активности этого нуклида, при которой достигается динамическое равновесие процессов сорбции и десорбции данного радионуклида в донных отложениях водоема.

4. ПРЕВРАЩЕНИЕ ПРЕСНОВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ В ИСТОЧНИК РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

4.1. Транспортная функция водных экосистем – вынос радионуклидов из проточных водохранилищ и перенос их речными экосистемами

Любая природная водная экосистема не может быть абсолютно изолирована от внешнего мира и, следовательно, в нее происходит не только поступление радионуклидов, но осуществляется и их вынос. Наиболее ярко процесс выноса радиоактивных веществ наблюдается в открытых водных системах – реках. Радионуклиды, поступающие в речные системы или со сточными водами предприятий ядерного цикла, либо с площади водосбора переносятся на многие десятки и сотни километров. Ярким примером крупномасштабного регионального загрязнения радиоактивными веществами служит сброс в р. Течу в 1949–1951 гг. порядка 100 ПБк (2,75 млн. Ки) радиоактивных отходов Производственным объединением "Маяк" на Южном Урале ("Генезис и концепция…", 1993). Часть радионуклидов транзитом прошла через р. Течу и поступила в р. Исеть, входящую, как и первая река, в Обь-Иртышскую речную систему. Другая значительная часть нуклидов была депонирована в донных отложениях рек и в пойменных почвах. Этой теме посвящено значительное число публикаций (Березина и др., 1993; Трапезников и др., 1993, 1994, 1997, 1999 а,б; 2000; Trapeznikov e.a., 1993a,b; 1994 a,b; 1995 a,b; 1998; Aarkrog e.a., 1994, 1997, 2000, 2003; Akleyev, Lyubchansky, 1994; Degteva e.a., 1994; Fetisov e.a., 1994; Кравцова и др., 1994; Молчанова и др., 1994; Bradley, Jenquin, 1995; Christensen e.a., 1995; 1997; Jourd'Heuil, Bernard, 1995; Romanov, 1995; Иваницкая и др., 1996; Мокров 1996 а,б,в; 1998 а,б, 2000; 2002, 2003; Aarkrog, 1996; Kryshev, 1996; Romanov, Drozhko, 1996; Trapeznikov, 1996; Мартюшов

и др., 1997; "Sources…", 1997; Chesnokov e.a., 1998, 2000; Kryshev e.a. 1998 a,b; Novitsky e.a., 1999; Алексахин и др., 2000, 2001; Говорун и др., 1998, 1999, 2000; Израэль и др., 2000; "Медико-биологические и экологические последствия…", 2000; Новицкий и др., 2000; Уткин и др., 2000; "Последствия …", 2002; Молчанова и др., 2003).

Из большого количества выше приведенных работ, остановимся на нескольких. Так, цикл публикаций Ю.Г. Мокрова (Мокров, 1996 а,б,в; 1998 а,б; 2000; 2002; 2003) посвящен ретроспективному восстановлению стока радионуклидов с водами р. Течи, обусловленного сбросами жидких радиоактивных отходов радиохимического производства ПО "Маяк" в 1949–1956 гг. Автором выполнена оценка стока ^{90}Sr в среднем и нижнем течении реки за каждый год в период с 1949 по 1995 гг., а также дана интегральная оценка количества ^{90}Sr, прошедшего в эти годы с водным потоком через створы в среднем и нижнем течении реки. На основе созданной автором гидродинамической модели реки Течи выявлены основные закономерности переноса взвешенных наносов различного гранулометрического состава в зависимости от водного стока и с учетом процессов седиментации и эрозии. С использованием сорбционной модели реконструирован радионуклидный состав воды, взвесей и донных отложений на верхнем участке реки, от точки сброса жидких радиоактивных отходов до выхода в открытую гидрографическую систему. На основе анализа составляющих "жидкого" и "твердого" радиоактивного стока показано, что основное крупномасштабное загрязнение речной системы р. Течи на всем протяжении сформировалось в период с июня по октябрь 1951 г. и было обусловлено переносом загрязненных радионуклидами взвешенных веществ.

Другая работа (Мартюшов и др., 1997) посвящена радиоэкологическим аспектам поведения долгоживущих радионуклидов в пойменных ландшафтах верхнего течения р. Течи. Авторами показано, что основным источником поступления радионуклидов в речную систему является верхний участок поймы (так называемые Асановские болота), представляющий собой заболоченную пойму площадью 40 км^2 с запасом активности около 330 ТБк (9 кКи) по ^{137}Cs, 220 ТБк (6 кКи) по ^{90}Sr и 0,4 ТБк (11 Ки) по Σ Pu. Выявлена тенденция к снижению уровней загрязнения почвенного покрова поймы вниз по течению реки и от ее русла в поперечном направлении. Следует подчеркнуть, что принципиально к таким же выводам пришли авторы работ (Трапезников и др., 1999, 2000; Aarkrog, Trapeznikov e.a., 2000) с той лишь разницей, что в последних работах вышеупомянутая тенденция выявлена и доказана с помощью математических моделей, а в статье (Мартюшов и др., 1997) тенденция обосновывается эмпирическими данными. В работах (Chesnokov e.a., 1998; Говорун и др., 2000; Израэль и др., 2000) оцениваются суммарные запасы ^{90}Sr и ^{137}Cs в пойменных участках р. Течи (в ее среднем и нижнем течении). Аналогичные вопросы рассматриваются в работе (Трапезников и др., 1999). Так, наши данные по оценке запасов ^{137}Cs отличаются в среднем в 1,3–3,1 раза от результатов, полученных в цитируемых выше статьях. Это достаточно хорошая сходимость, если учесть, что исследования проводили на пойменных участках длиной 100 км и более. В нашем случае, в отличие от вышеупомянутых работ, интегральные расчеты проводили на основе математического моделирования, а достаточно хорошая сходимость результатов говорит в пользу корректности нашей модели. Следует подчеркнуть, что в большинстве работ по радиоэкологии рек Течи и Исети нами используется метод математического моделирования, что позволяет делать обобщения, которые затруднены при работе только с эмпирическим материалом. Так, впервые (Трапезников и др., 1993; Trapeznikov e.a., 1993 a) были рассчитаны интегральные запасы ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{239,240}Pu в воде, а также ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{239,240}Pu – в донных отложениях р. Течи. В этих же работах показано, что концентрации ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{239,240}Pu в воде р. Течи экспоненциально уменьшаются с расстоянием от места сброса радионуклидов, а степенная функция позволяет наилучшим образом описать зависимость содержания ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{239,240}Pu в донных отложениях реки от места сброса радиоактивных веществ.

В работах (Трапезников и др., 1999, 2000; Aarkrog, Trapeznikov e.a., 2000) с помощью математических моделей описано пространствен-

ное распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в донных отложениях речной системы Теча-Исеть, включая пойменные ландшафты. Показано, что содержание радионуклидов уменьшается с расстоянием от ПО "Маяк" и может быть описано с помощью степенной функции. Вертикальное распределение нуклидов в донных отложениях пойменных водоемов и в пойменных почвах характеризуется экспоненциальной зависимостью. Распределение радионуклидов по ширине поймы также описывается экспоненциальным уравнением, уменьшаясь по мере увеличения расстояния от русла реки.

4.2. Вторичное загрязнение речных систем радионуклидами через пойменные участки в период паводков

Немалую роль в переносе радионуклидов играет вторичное загрязнение речных систем через пойменные участки в периоды весенних паводков и затяжных дождей летом и осенью. Классическим примером такого явления служит вторичное загрязнение реки Течи от Асановских болот, в которых в настоящее время депонировано около 330 ТБк ^{137}Cs, 220 ТБк ^{90}Sr и 0,4 ТБк ΣPu (Мартюшов и др., 1997) в результате сбросов с ПО "Маяк" в 1949–1951 гг.

4.3. Поступление радионуклидов из пресноводной экосистемы в пищевые цепочки представителей других экосистем

Не очень значительная часть радиоактивности, содержащейся в пресноводной экосистеме, может поступать в пищевые цепочки представителей других экосистем. Так, личинки комаров концентрируют радионуклиды из воды и донных отложений; в свою очередь, взрослые комары, которые уже относятся к представителям наземных экосистем, поедаются стрекозами, а последними питаются птицы. (Передельский, 1957; Фостер, Дэвис, 1958; Передельский, Богатырев, 1959). В работе (Марей, 1976) показано, что личинки насекомых за время пребывания в воде аккумулируют в тканях такие количества радиоактивных веществ, которые в сотни и тысячи раз превышают их содержание в водной среде. Но, попадая за пределы водоема, взрослые особи насекомых уносят с собой сравнительно небольшую часть радионуклидов. Так, концентрация нуклидов в организме взрослых особей комаров на стадии имаго гораздо ниже по сравнению с личиночной стадией.

Существенную роль играет перенос радионуклидов из водоемов в организм водоплавающих птиц (прежде всего – используемых человеком в пищу). Главную роль в таком процессе играют утки. Так, в работе (Хансон, Корнберг, 1958) проведены исследования на водоемах, подверженных сбросу жидких радиоактивных отходов. В тканях обитавших здесь диких уток в течение четырех месяцев в году, 60 % радиоактивности в костях обусловлено ^{90}Sr, а 90 % содержащихся в мышцах радионуклидов – ^{137}Cs. Коэффициенты накопления ^{90}Sr в костях уток составляли 1500, ^{137}Cs – в мышцах этих и ряда других водоплавающих – 900 единиц.

По данным, приведенным в исследовании (Марей, 1976), при обитании домашних уток в прудах, вода которых содержала ^{90}Sr и ^{210}Po, уровни аккумулирования ^{90}Sr в костной, а ^{210}Po – в мышечной ткани домашних уток были соответственно в 10 и 20 раз выше, чем у обитавших здесь же домашних гусей. Различие в накоплении радионуклидов связано, видимо, с видом употребляемого корма. Так, гуси, в основном, питаются прибрежной травой, а утки – бентосными организмами из пруда, добывая его из загрязненного нуклидами ила. Так как основное количество радионуклидов, попавших с кормом, удаляется с экскрементами, налицо вторичное загрязнение радиоактивными веществами земной поверхности (и, прежде всего, территории птицеводческих ферм).

Другим примером служат проходные рыбы, которые в период нереста мигрируют из морских экосистем в пресноводные, в том числе – в реки и озера. Радиоэкологические аспекты подобной миграции детально исследованы в работах (Флейшман, 1971 а,б).

5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА АККУМУЛИРОВАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ КОМПОНЕНТАМИ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

На аккумулирование радионуклидов компонентами любой водной экосистемы значи-

тельное влияние оказывают факторы внешней среды. Наиболее значимыми из них являются: макро- и микроконцентрации химических элементов в водной среде, содержание в воде изотопных и неизотопных носителей, физико-химическое состояние радионуклидов в воде и pH среды, температура воды, освещенность, трофность водоемов, сезонное влияние на накопление радионуклидов гидробионтами и ряд других экологических факторов. Разработке этих вопросов большое внимание уделено в работах (Куликов, Молчанова, 1975; Куликов, Чеботина, 1988).

5.1. Макро- и микроконцентрации химических элементов в водной среде

Известно, что в области микроконцентраций (от 10^{-12} моль/л до 10^{-5} моль/л), при прочих равных условиях, концентрация химических элементов в гидробионтах прямо пропорциональна их концентрации в воде и, поэтому, коэффициенты накопления остаются постоянными. В то же время в области макроконцентраций (от 10^{-5} моль/л и выше) отмечается обратная зависимость коэффициентов накопления от концентрации химических элементов в водной среде (Williams, Swanson, 1958; Тимофеева-Ресовская и др., 1959; Титлянова, Иванов, 1961; Поликарпов, 1964; Гилева, 1965; Тимофеева, Агре, 1965).

5.2. [illegible] изотопных и неизотопных носителей

Важным является исследование накопления радионуклидов гидробионтами в зависимости от концентрации в воде соответствующих макроэлементов или, иначе говоря, неизотопных носителей. Установлено, что коэффициенты накопления ^{90}Sr находятся в обратной зависимости от содержания в воде его химических аналогов – кальция и магния, а коэффициенты накопления ^{137}Cs находятся в такой же зависимости от содержания в водной среде калия (Марей и др., 1958; Williams, 1960; Pickering, Lucas, 1961; Иванов и др., 1965; Тимофеева, 1965; Тимофеева, Куликов, 1968; Пискунов и др., 1971; Марчюленене, Нянишкене, 1973).

5.3. Физико-химическое состояние радионуклидов в воде и pH водной среды

Накопление радионуклидов гидробионтами определяется также физико-химическим состоянием нуклидов в водной среде и концентраций в ней водородных ионов. Значения pH в водах рек, озер и водохранилищ характеризуются суточными и сезонными колебаниями, а различные типы природных вод по этому показателю весьма изменчивы (Перельман, 1977).

Вопрос о влиянии щелочно-кислотных условий среды на накопление радионуклидов гидробионтами исследован мало (Агре, Телитченко, 1963; Гилева, 1965; Patten, Jverson, 1966; Чеботина, Любимова, 1981). Так, при изучении поглощения иттрия-91 нитчатой водорослью (*Cladophora fracta Kutz*) установлено двукратное снижение коэффициента накопления радионуклида в области значений pH водного раствора, при которых иттрий переходит в коллоидную форму (Гилева, 1965). В работе (Чеботина, Любимова, 1981) исследовано накопление ^{59}Fe, ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs двумя видами пресноводных растений в зависимости от pH среды. Показано, что при значениях pH>4 ^{59}Fe постоянно переходит в форму коллоидных соединений, поэтому, поглощение его растениями снижается. Накопление ^{60}Co растениями уменьшается при pH=8–9 и более, что, вероятно, связано с образованием гидролизных [illegible] Поглощение ^{90}Sr макрофитами возрастает с увеличением pH водной среды. Это объясняется тем, что ^{90}Sr вместе с кальцием включается в процесс карбонатообразования, зависящий от pH. И, наконец, установлено, что накопление ^{137}Cs растениями не зависит от щелочно-кислотных условий водной среды, так как при всех значениях pH микроколичества цезия находятся в растворе в форме катионов, не образуя коллоидов (Старик, 1960). Показано, что радионуклиды ряда химических элементов, находящихся в растворе в форме хелатных (внутрикомплексных) соединений, накапливаются гидробионтами в меньшем количестве, чем те же нуклиды, внесенные в среду в ионной форме (Тимофеева-Ресовская, 1963).

В работе (Куликов, Чеботина, 1988) исследовано накопление ^{59}Fe, ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs

водными грунтами в зависимости от pH среды. Показано, что при изменении pH водной среды от кислой до нейтральной поглощение ^{59}Fe грунтами снижается. Это свидетельствует о переходе железа с повышением pH в миграционно-способную коллоидную форму (Чеботина, Любимова, 1981). Поглощение ^{60}Co торфянистым грунтом в интервале pH от 5 до 7 не зависит от щелочно-кислотных условий среды. При этих условиях кобальт должен находиться в растворе в ионной форме. Сорбция кобальта карбонатным грунтом при подкислении среды уменьшается. Накопление ^{90}Sr богатыми органическим веществом грунтами с повышением pH возрастает, что, по-видимому, связано с увеличением их емкости поглощения при подщелачивании среды (Рыдалевская, Тищенко, 1944; Возбуцкая, 1964). Так, в исследованном диапазоне pH=5–10 коэффициенты накопления в сапропеле увеличивались в 5 раз, в торфянистом и карбонатном грунтах – на один и два порядка величин, соответственно. Исключение составляет обедненный органикой песчаный грунт, емкость поглощения которого не зависит в широких пределах от pH среды. Коэффициенты накопления ^{137}Cs мало зависят от щелочно-кислотных условий водной среды. При pH=5–8 они практически не изменяются. Некоторое увеличение накопления радионуклида сапропелем, торфянистым и карбонатным грунтами при сильно щелочных условиях (pH=9–10), видимо, связано с увеличением их сорбционной емкости в результате диспергирования грунтов под влиянием повышенных концентраций ионов натрия (Нейве, 1961).

В специальных опытах в условиях модельного водоема показано, что pH среды влияет на распределение радионуклидов между водой, грунтом и биомассой (Тимофеева-Ресовская и др., 1962). Установлено, что содержание ^{90}Sr в воде при кислых значениях pH увеличивается за счет снижения концентрации радионуклида в грунте и биомассе. На распределение ^{137}Cs между компонентами водоема реакция среды не оказывает заметного влияния. Относительное содержание ^{113}Ce в воде возрастает при смещении значения pH в сторону подщелачивания за счет снижения накопления радионуклида в грунте и макрофитах.

5.4. Температура водной среды

Температура водной среды является одним из важнейших экологических факторов. Она определяет видовой состав гидробионтов, их пространственное распределение и миграцию в водных экосистемах. От температуры воды зависит скорость протекания физиологических и биохимических процессов в организмах гидробионтов. В природных условиях температура воды подвержена значительным колебаниям. Так, в водоемах умеренных широт она изменяется в течение года в среднем от 0 °С до 25 °С (Березина, 1953).

В зонах поступления радиоактивных веществ в водоемы-охладители атомных электростанций действие радиационного фактора проявляется на фоне подогрева воды. Повышение температуры воды может способствовать увеличению накопления радионуклидов гидробионтами и возрастанию тем самым лучевых нагрузок на них (Куликов, 1978). Проведен ряд исследований по выяснению роли температурного фактора на накопление радионуклидов компонентами пресноводного биогеоценоза – макрофитами, водными животными (и, прежде всего, ихтиофауной), а также донными отложениями.

Влияние температуры водной среды на аккумулирование радионуклидов водными растениями описано в работах (Harvey, 1970; Марцюленене и др., 1981, 1982; Трапезников и др., 1983; Любимова и др., 1989; Чеботина, Трапезников и др., 1992). Так, в последних двух исследованиях проводили опыты по изучению накопления ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs макрофитами Белоярского водохранилища в зависимости от температуры водной среды. Их результаты с шестью видами пресноводных растений показали, что влияние температурного фактора в наибольшей степени проявилось по отношению к ^{60}Co. При повышении температуры водной среды от 12 °С до 28 °С коэффициенты накопления этого радионуклида возросли: для роголистника темно-зеленого – в 5, элодеи – в 4, ряски малой – в 3, кладофоры и рдестов – в 2 раза. В меньшей степени температурный фактор повлиял на поглощение ^{137}Cs: коэффициенты накопления данного нуклида в указанном интервале температур увеличились для роголистника – в 3,

элодеи и ряски – в 2, а для остальных видов растений – в 1,5 раза. Поглощение ^{90}Sr практически не зависит от температурного фактора.

Воздействие температуры на накопление радионуклидов водными животными описано в работах (Корнберг, Дэвис, 1971; Harvey, 1971; Dean, 1974; Harrison a.o., 1976; Steger, Goodnight, 1976). Особое внимание, ввиду практической значимости объекта, придается изучению влияния температурного фактора на накопление нуклидов ихтиофауной (Foster, Soldat, 1966; Wilhm, 1970; Гусев и др., 1971; Ляпин и др., 1971; Нечаев и др., 1971; Куликов, Молчанова, 1975; Фулкье, Гроби, 1976; Баландин, Репина, 1977; Буянов и др., 1977; Грачев, 1977; Катков, Гусев, 1977; Катков и др., 1978; Куликов и др., 1978, 1983; Трапезникова и др., 1984; Трапезников, 1990, 2001; Чеботина, Трапезников и др., 1992; Трапезникова, 1994). Так в работе (Куликов, Молчанова, 1975) в экспериментах с развивающейся икрой щуки и окуня показано, что при температуре воды 10 °С и 20 °С коэффициенты накопления ^{90}Sr не изменяются, хотя развитие эмбрионов (до стадии выклева личинок) при температуре 20 °С проходило в два раза быстрее. Вместе с тем, коэффициенты накопления ^{90}Y к концу инкубационного периода при 20 °С были у щуки в два раза, а у окуня – почти в три раза выше, чем при температуре воды 10 °С. Накопление радионуклидов личинками рыб при разных температурах в течение первых 4–5 дней после выклева из икры было примерно одинаковым, но в дальнейшем при более высокой температуре воды оно резко возросло. В работах (Трапезников, 1990; Чеботина, Трапезников и др., 1992) установлено, что в лабораторных опытах при повышении температуры воды на 10 °С коэффициенты накопления ^{60}Co у мальков карася на 16-е сутки опыта возрастали в 2 раза, а ^{137}Cs – в 1,5 раза.

Накопление радионуклидов донными отложениями в зависимости от температуры воды исследовано рядом авторов (Сафронова и др., 1978; Марчюленене и др., 1982; Чеботина и др., 1986 а, 1992; Трапезников, 1990). Так, в работе (Сафронова и др., 1978) показано, что при повышении температуры водной среды увеличивается скорость диффузии радиостронция в грунте. В работах (Чеботина и др., 1986 а; 1992; Трапезников, 1990) в серии лабораторных опытов изучали поглощение ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{91}Y и ^{137}Cs донными грунтами в зависимости от температуры водной среды. Наиболее сильно температурный фактор влияет на поглощение грунтами ^{60}Co. Повышение температуры водной среды с 10 °С до 38 °С привело к увеличению накопления этого нуклида донными грунтами в 5–10 раз. Аккумулирование ^{91}Y донными отложениями незначительно возрастает в диапазоне температур от 4 °С до 27 °С, а ^{90}Sr и ^{137}Cs – практически не зависит от температуры.

5.5. Световой фактор

Световой фактор играет огромную роль в жизни пресноводных растений. Он является основным источником энергии для синтеза органических соединений. Поглощение ионов и их перенос через систему мембран в клетку напрямую связан с процессами фотосинтеза, а значит, и с освещенностью (Иост, 1975). Проблема влияния света на накопление радионуклидов пресноводными растениями изучена в настоящее время недостаточно. Так, установлено, что коэффициенты накопления ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs у ряда водных растений с увеличением освещенности возрастают. В частности, элодея накапливает ^{90}Sr на свету в 2 раза больше, чем в темноте. Коэффициенты накопления ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs у харовой водоросли *Chara tomentosa* на свету в 2–5 раз выше, чем в темноте, а ^{59}Fe, ^{91}Y, ^{144}Ce накапливаются водорослью практически одинаково при всех режимах освещения (Боченин и др., 1978).

Аналогичные результаты по накоплению ^{137}Cs в условиях различной освещенности получены в опытах с лишайниками. Поглощение радионуклида тремя видами лишайников за счет их водорослевого компонента заметно возрастало с увеличением освещенности. Однако в опытах со ^{90}Sr такого эффекта не обнаружено (Нифонтова, 1979, 2003).

Анализ экспериментальных данных, проведенный в работе (Куликов, Чеботина, 1988) показывает, что различия в накоплении радионуклидов в зависимости от режима освещения могут быть связаны с разными механизмами их поглощения водными растениями (Агре, Телитченко, 1963; Поликарпов, 1964; Буянов,

1974). В том случае, когда радионуклиды фиксируются в основном на клеточной оболочке, а ионный обмен между внешней средой и внутриклеточными компонентами не играет большой роли в процессах аккумулирования, – накопление нуклидов водными растениями, как правило, не зависит от режима освещения. К числу таких радионуклидов относятся в основном гидролизующиеся элементы (^{59}Fe, ^{91}Y, ^{144}Ce). Если же наряду с этим процессом имеет место перенос соответствующих ионов внутрь клеток (активный и пассивный транспорт), то поглощение элементов (^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs) зависит от режима освещения. Увеличение освещенности в этом случае интенсифицирует активный перенос ионов, потребляющий энергию окислительного фосфорилирования (Чибирайте и др., 1973; Иост, 1975).

5.6. Сезонная динамика накопления радионуклидов гидробионтами

Чрезвычайно интересным представляется явление сезонной динамики накопления радионуклидов пресноводными растениями. В ряде работ показано, что значения коэффициентов накопления нуклидов у представителей водной флоры могут изменяться в зависимости от сезона года в несколько раз (Офель, 1968; Кулебакина, Поликарпов, 1970; Лейнерте, Вадзис, 1972; Боченин, Чеботина, 1975; Мурзина и др., 1976; Боченин и др., 1978 а; Трапезников, 1983, 1990, 2001; Mahon, Matheewes, 1983; Марчюленене-Дунаускене-Дуж, 1984; Куликов, Трапезников, 1985; Чеботина и др., 1986 б; 1992). Так, отмечено, что в летние месяцы происходит возрастание накопления ^{90}Sr водной растительностью (Мурзина и др., 1976; Боченин и др., 1978 а). Аналогичные результаты получены и для ^{60}Co (Трапезников, 1983; 1990, 2001). Авторы объясняют это увеличением биологической активности растений в летний период. Возможно, эти процессы связаны с подогревом воды, поскольку летом ее температура в пресноводных экосистемах достигает максимальных значений. Данных по сезонным измерениям в накоплении радионуклидов представителями водной фауны гораздо меньше (Брагин, 1973).

5.7. Трофность водоема как экологический фактор

Пресноводные экосистемы в отличие от морских отличаются бóльшим разнообразием. В зависимости от сочетания физико-химических и биологических показателей пресные водоемы делятся на 4 основных типа: олиготрофные, мезотрофные, эвтрофные и дистрофные (Корнберг, Дэвис, 1971). В работе (Любимова, 1971) показано, что значения коэффициентов накопления как ^{90}Sr, так и, особенно, ^{137}Cs у растений из озера с меньшим содержанием в воде кальция и калия заметно выше, чем у представителей водной флоры из озера с большей концентрацией в воде данных макроэлементов. В работе (Куликов, Чеботина, 1988) подробно анализируется накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs пресноводными растениями в двух южноуральских озерах разной трофности. Первое озеро (Большое Миассово) относится к олиго-мезотрофному типу, второе (Большой Таткуль) – к мезодистрофному типу. Показано, что значения коэффициентов накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs у растений из озера Б.Таткуль заметно выше, чем у макрофитов из оз. Б.Миассово. Причиной является более высокое содержание кальция, калия, магния и натрия в воде последнего водоема. Эти результаты подтверждаются работами, выполненными на других озерах (Лейнерте, Вадзис, 1972; Буянов, 1975; "Стронций и кальций…",1979).

5.8. Накопление радионуклидов макрофитами в зависимости от экологической группы растений

Представляет интерес оценить накопление радионуклидов в зависимости от экологической группы, к которой принадлежит данный вид растений. В работе (Куликов, Молчанова, 1975) отмечена зависимость накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs от экологических особенностей растений. Наиболее высокими коэффициентами накопления обладает группа плавающих на поверхности воды растений, а наиболее низкими – прибрежноводные растения. В работах (Трапезников, 1990, 2001) показано, что собственно водные растения накапливают ^{60}Co в гораздо большей степени, чем прибрежно-водные.

Отмечено (Трапезникова, 1994), что наиболее высокие коэффициенты накопления ^{137}Cs рассчитаны для погруженных в воду макрофитов. В целом, последние накапливают радионуклид больше, чем плавающие на поверхности и прибрежноводные растения. Видимо, это связано с тем, что погруженные растения поглощают радионуклиды всей поверхностью, а плавающие и прибрежноводные – только ее частью, так как значительная доля поверхности этих макрофитов находится в воздушной среде.

6. БИОИНДИКАЦИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Ряд видов пресноводных растений и животных обладает способностью накапливать определенные радионуклиды с особенно высокими значениями коэффициентов накопления, отражающих величину отношения концентраций нуклида в организме и в воде. Такие организмы используются в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения водоемов (Лебедева, 1957; Тимофеева-Ресовская и др., 1961; Тимофеева-Ресовская, 1963; Поликарпов, 1964; Hasanen a.o., 1966; Телитченко, 1969; Kirchmann, Lambinon, 1973; Kirchmann a.o., 1974; Куликов, Молчанова, 1975; Куликов, 1978б; Smedile a.o.,1980; Куликов, Чеботина, 1988; Трапезникова и др., 1993; Трапезников, 2001).

7. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНЫХ ОТНОШЕНИЙ РАДИОНУКЛИДОВ КАК МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

В настоящее время водные экосистемы как на земном шаре, в целом, так и на Урале, в частности, подвержены одновременному воздействию разных источников радиоактивного загрязнения (глобальные выпадения, штатные и аварийные сбросы радиоактивных веществ с предприятий ядерного топливного цикла, мирные ядерные взрывы и т.д.). Поэтому, одним из важнейших вопросов радиоэкологии является проблема идентификации источников радиоактивного загрязнения природных экосистем.

Решить эту сложную задачу возможно только с помощью метода изотопных отношений. Такие характеристики, как отношения $^{90}Sr/^{137}Cs$, $^{239,240}Pu/^{137}Cs$, $^{239,240}Pu/^{90}Sr$, $^{240}Pu/^{239}Pu$ и ряд других являются константными как для глобальных выпадений радиоактивных веществ при испытании ядерного оружия, так и при работе конкретных предприятий ядерного топливного цикла. Сравнительный анализ этих соотношений и позволяет провести идентификацию источников радиоактивного загрязнения водных экосистем. В этом направлении проведен ряд исследований (Panteleev e.a., 1975; Aarkrog e.a., 1997 a,b; 2000; 2003; "Sources…", 1997; Ааркрог и др., 1998; Трапезников и др., 1999, 2000; Трапезников, 2001).

8. СПЕЦИФИЧНОСТЬ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Следует подчеркнуть, что все рассмотренные выше аспекты радиоэкологии пресноводных экосистем универсальны и в полной мере относятся к водным экосистемам Уральского региона.

Но есть радиоэкологические проблемы, которые специфичны для Урала и делают этот регион совершенно особенным на земном шаре. В 1949 г. на севере Челябинской области (55° 44′ с.ш., 60° 54′ в.д.) был осуществлен пуск первого в СССР комплекса по наработке плутония и переработке делящихся материалов, на базе которого впоследствии было создано производственное объединение "Маяк". Из-за несовершенства технологии, недостаточности знаний о поведении радиоактивных веществ в окружающей среде, отсутствия эффективного решения проблемы обращения с радиоактивными отходами, ПО "Маяк" явилось источником радиоактивного загрязнения территории и радиационного воздействия на население. В результате его пятидесятипятилетней деятельности в Уральском регионе сложилась чрезвычайная радиоэкологическая ситуация, которая сформировалась, в основном, в результате трех радиационных инцидентов, имевших место в 1949–1952, 1957 и 1967 гг.

Выше описана ситуация, связанная с прямым сбросом радиоактивных отходов

ПО "Маяк" в открытую гидрографическую сеть – р. Течу в 1949–1952 гг. Второй крупномасштабный радиационный инцидент на этом предприятии был связан с тем, что конструкционные недостатки первых емкостей для хранения жидких высокоактивных отходов привели к радиационному перегреву одной из них. 29 сентября 1957 г. произошел взрыв содержащихся в емкости нитратноацетатных солей. Взрывом в окружающую среду было выброшено около 740 ПБк (20 млн. Ки) радиоактивных веществ, из которых 74 ПБк (2 млн. Ки) были рассеяны ветром в северо-восточном направлении, обусловив радиоактивное загрязнение северной части Челябинской, южной части Свердловской и небольшой территории Тюменской областей. Названная Восточно-Уральским радиоактивным следом (ВУРС), эта территория в границах минимально детектируемых уровней радиоактивного загрязнения – 0,1 Ки (3,7 ГБк) ^{90}Sr на км^2 – имела площадь около 20 тыс. км^2, а в границах плотности загрязнения 2 Ки (74 ГБк) ^{90}Sr на км^2, принятой за допустимый уровень безопасного проживания населения, – 1000 км^2. На всей загрязненной территории проживало в момент взрыва около 300 тыс. человек ("Генезис и концепция…", 1993).

Радиоэкологическим исследованиям пресноводных экосистем, находящихся на территории ВУРСа посвящен ряд работ (Никипелов и др., 1989, 1990; "Итоги…", 1990; "Комплексная экологическая оценка…", 1993; Муктян, 1993; Романов и др., 1993; Трапезников и др., 1993, 1996, 1997, 2000, 2003; Trapeznikov e.a., 1993; Большаков и др., 1994; Ветров и др., 1994; Мамаева, Милицина, 1994; Фирсова и др., 1994; Нискунов и др., 1995; Jourd'Heuil, Bernard, 1995; "Восточно-Уральский радиоактивный след", 1996; Kryshev, 1996; Trapeznikov, 1996; Kryshev e.a., 1997, 1998; Трапезников, 2001).

После прекращения сбросов в реку Течу среднеактивные отходы сбрасывались в небольшое (45 га) мелководное и заболоченное озеро Карачай. Третий крупный радиоактивный инцидент на Урале связан с тем, что весной 1967 г. вследствие крайне засушливых условий, береговая полоса этого водоема обнажилась и сильными порывистыми ветрами в течение двух недель было разнесено на прилегающую территорию около 222 ТБк (6000 Ки) радиоактивных веществ. Загрязненная территория в границах плотности 0,1 Ки (3,7 ГБк) ^{90}Sr на км^2 составила 1800 км^2. Это загрязнение территории, при существенно меньших уровнях по сравнению с аварийным выбросом 1957 г., наложилось преимущественно на часть территории Восточно-Уральского радиоактивного следа. Дополнительному облучению подверглось 40 тыс. человек ("Генезис и концепция…", 1993; Уткин и др., 2000).

Радиационные проблемы Уральского региона, связанные с деятельностью ПО "Маяк" не сводятся к вопросам радиоэкологической реабилитации регионов, в прошлом подвергшихся радиоактивному загрязнению. ПО "Маяк" и сегодня продолжает оставаться источником радиоактивного загрязнения прилегающих территорий, сохраняется потенциальная угроза новых крупномасштабных радиационных катастроф. В ходе деятельности предприятия наработано и депонировано на промплощадке беспрецедентное количество жидких и твердых радиоактивных отходов, суммарная активность которых превышает 37 ЭБк (1 млрд. Ки), что во много раз превышает выбросы радиоактивных материалов в результате Чернобыльской аварии.

Огромную потенциальную опасность представляет сосредоточение средне- и низкоактивных жидких отходов в открытых водоемах. В озере Карачай, являющимся приемником среднеактивных отходов, находится около 4,4 ЭБк (120 млн. Ки) радиоактивных материалов, преимущественно – ^{90}Sr и ^{137}Cs. В каскаде промышленных водоемов, созданных в пойменной части верховьев р. Течи после прекращения сбросов в нее отходов радиохимического производства, накоплено 350 млн. м^3 загрязненной воды, являющейся по сути низкоактивными отходами с суммарной активностью около 7,4 ПБк (0,2 млн. Ки).

Наличие поверхностных водоемов-хранилищ жидких отходов приводит к проникновению радиоактивных веществ в грунтовые и подземные воды. Под озером Карачай сформировалась линза загрязненных подземных вод объемом около 4 млн. м^3 и площадью до 10 км^2. Скорость пространственного перемещения радиоактивно-загрязненных подземных вод достигает 80 м/год ("Заключение комиссии

по оценке…", 1991). Существует возможность проникновения этих вод в другие водоносные структуры и выхода в поверхностные водоемы.

Создание бессточной системы промышленных водоемов в верхней части долины р. Течи нарушило природный водный сток, в результате чего за 10 лет уровень воды в оконечном водоеме возрос на 2,87 м, правда, с тенденцией к стабилизации в последние годы. Дамба оконечного водоема, как последняя физическая преграда между хранящейся массой загрязненной воды и ниже расположенной рекой Течей, а также борта и дно водоема не в состоянии предотвратить фильтрацию в реку радиоактивно-загрязненной воды. По приближенным оценкам фильтрационные потери достигают 10 млн. м^3 в год ("Генезис и концепция…",1993).

Северная часть Уральского региона находится в зоне влияния Новоземельского полигона ядерных испытаний. На территории Урала произведено 38 подземных технологических ядерных взрывов, из них пять с выбросом на поверхность, испытания ядерного оружия, сосредоточено производство и хранение ядерных боеприпасов, проводится переработка ядерного горючего, ведется добыча и первичная переработка урана и тория. Кроме того, регион испытывает загрязнение от природных радиоактивных источников.

В настоящее время в Уральском регионе функционирует 8 ядерных реакторов, 6 мощных центров по переработке радиоактивных материалов, 6 центров по захоронению ядерных отходов (Уткин и др., 2000).

Данные проблемы усугубляются острым дефицитом водных ресурсов, что можно проиллюстрировать на примере Челябинской области. Так, на одного жителя этой области приходится 2,8 тыс. м^3 годового стока, что является наименьшей величиной в Российской Федерации. Подземные воды чрезвычайно слабо защищены от поверхностного загрязнения. Доля ресурсов подземных вод составляет всего лишь 27,7 % от потребности ("Заключение…", 1991).

Из всего вышеизложенного следует, что поведение основных техногенных радионуклидов – ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{239,240}Pu в пресноводных водоемах изучено далеко не достаточно. Проблема эта представляет несомненный интерес и требует всестороннего исследования с применением единого методологического подхода, прежде всего, потому, что суммарное количество радиоактивных материалов на земном шаре, включенных в круговорот вещества, постоянно возрастает. В связи с этим проблема миграции и распределения данных радионуклидов в пресноводных экосистемах приобретает все большую актуальность.

Важнейшей задачей радиоэкологии является исследование барьерной роли пресноводных экосистем. Особенно важна количественная оценка барьерной роли крупных открытых водных систем – рек, закрытых – озер и полузакрытых – искусственных проточных водохранилищ. Все перечисленные типы водных биогеоценозов широко представлены в Уральском регионе.

В настоящей работе показано, что расчет запасов радионуклидов в водных экосистемах является количественной оценкой барьерной функции этих биогеоценозов по отношению к переносу радиоактивных веществ за пределы данной экосистемы.

Искусственные радионуклиды, попавшие в природную среду, являются уникальным маркером, позволяющим количественно оценить процессы переноса и рассеяния вещества в пресноводных экосистемах, в частности, темпы образования донных отложений.

Применение математического моделирования позволяет решать такие актуальные задачи, как прогноз содержания техногенных радионуклидов в воде и донных отложениях озер, расположенных на территории ВУРСа, на ближайшие 100 лет, а также оценить запасы радионуклидов на глубину до 100 см в пойменных почвах и донных отложениях водоемов, расположенных в пойме вдоль рек Течи и Исети.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 04–05–64172), программы Президиума РАН № 12 "Научные основы сохранения биоразнообразия России", целевой Программы поддержки междисциплинарных проектов, выполняемых в содружестве с учеными СО РАН и ДВО РАН в 2006–2007 гг., а также проекта МНТЦ № 2841.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларкрог А., Позолотина В.Н. Молчанова И.В. и др. Изучение вклада наиболее крупных ядерных инцидентов в радиоактивное загрязнение Уральского региона // Экология. – 1998. – № 1. – С. 36–42.

2. Агафонов В.М. Лабораторные опыты по биологической дезактивации воды в сериях водоемов-бачков // Бюл. МОИП /Ураьск. отд. – 1958. – Вып. 1. – С. 97–102.

3. Агафонов В.М. Долгих Т.И., Савченко М.И., Тимофеев-Ресовский Н.В. Распределение рассеянных элементов по компонентам водоемов. IV. Опыты по распределению стронция, рутения, цезия, церия и неразделенного раствора осколков урана в сериях бочков // Сб. работ. лаб. биофизики. II. Проблемы биофизики / Тр. Ин-т биологии УФ АН СССР. – Вып. 12. – Свердловск, 1960. – С. 238–277.

4. Агре А.Л., Корогодин В.И. О распределении радиоактивных загрязнений в непроточном водоеме // Мед. радиология. – 1960. – Т. 5. – № 1. – С. 67–73.

5. Агре А.Л. Некоторые данные по миграции радиоцезия и радиостронция из слабопроточных водоемов // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1962. – Т. 67, вып. 2. – С. 45–52.

6. Агре А.Л, Телитченко М.М. О накоплении радиостронция гидрофитами и детритом //Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1963. – Т. 68, вып. 1. – С. 133–137.

7. Агре А.Л., Молчанова И.В., Тимофеев-Ресовский Н.В. Самоочищение воды в слабопроточных водоемах от цезия-137 при разных скоростях протока и объемах воды и концентрации в ней цезия // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1964. – Т. 69, вып. 3. – С. 20–24.

8. Алексахин Р.М, Романов Г.Н., Тихомиров Ф.А., Крышев И.И. Радиологические ситуации, связанные с крупномасштабным загрязнением окружающей среды (р. Теча, аварии на Южном Урале и на Чернобыльской АЭС): сельскохозяйственные и экологические аспекты // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: Тр. Международной конференции. – СПб.: Гидрометеоиздат. – 2000. – С. 48–58.

9. Алексахин Р.М, Булдаков Л.А., Губанов В.А., и др. Радиационные аварии. – М.: ИздАт. 2001. – 752 с.

10. Баландин О.А., Репина Е.Г. О значении температурного фактора в накоплении радиоактивных нуклидов рыбой // Гигиена и санитария. – 1977. – № 1. – С. 114–115.

11. Березина Н.А. Гидробиология. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 359 с.

12. Березина И.Г., Чечеткин В.А., Хотулева М.В. и др. Радиоактивное загрязнение биологических объектов и природных сред в районе пос. Муслюмово (Челябинская обл.) // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1993. – Т. 33, вып. 2(5). – С. 748–759.

13. Биологические последствия радиоактивного загрязнения водоемов / Под ред. П.В. Рамзаева. – М.: Энергоиздат, 1983. – 112 с.

14. Богатырев И.О. Распределение ^{60}Co и некоторых радиоизотопов – продуктов деления по компонентам экспериментальных водоемов // Изв. АН СССР. Сер. биол. – 1962. – № 1. – С.122–126.

15. Большаков В.Н., Трапезников А.В., Юшков Н.И., Трапезникова В.Н., Чеботина М.Я. Радиоэкологические исследования озер на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа в Свердловской области // Экосистемный подход к управлению водными ресурсами в бассейне рек. – Екатеринбург. – 1994. – С. 15–17.

16. Боченин В.Ф., Чеботина М.Я. Сезонная динамика накопления ^{60}Co элодеей (Elodea canadensis Rich // Экология. – 1975. – № 5. – С. 80–82.

17. Боченин В.Ф., Чеботина М.Я., Куликов Н.В. Сезонная динамика распределения ^{90}Sr и Ca между водорослью *Chara Tomentoza L.G.* и водной средой // Экология. – 1978 а. – № 1. – С. 50–54.

18. Боченин В.Ф., Чеботина М.Я., Фелинская В.Ю. Влияние света на поглощение радиоизотопов пресноводными растениями // Накопление радиоизотопов пресноводными растениями. – Свердловск, 1978 б. – С. 3–7.

19. Брагин Б.Н. Возрастные и сезонные особенности накопления стронция-90 сазаном //Экология гидробионтов Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1973. – С. 5–6.

20. Бруновский Б.И., Кунашева К.Г. Некоторый данные относительно содержания радия в растениях и в водах / Тр. Биогеохим. лабор. АН СССР. – 1935. – Т. 3. – С. 31–43.

21. Буянов Н.И. Адсорбция кобальта-60 и це-

зия-137 на поверхности бурых водорослей / В кн.: Формы элементов и радионуклидов в морской воде. – М., 1974. – С. 147–153.
22. Буянов Н.И., Антоненко Т.М. Концентрация цезия-137 в гидробионтах, воде и грунтах водоемов с различным минеральным составом воды //Вопросы ихтиологии. – 1975. – 15, № 1(90). – С. 176–179.
23. Буянов Н.И., Лаптев М.И., Прудников Л.В. Изучение влияние температуры на накопление ^{137}Cs налимом // Радиоэкология животных: Материалы I Всесоюзн. конф. по радиоэкологии животных, Москва, 24–27 янв. 1977 г. – М., 1977. – С. 34–35.
24. Вернадский В.И. Химические элементы и механизм земной коры // Природа. – 1922. – № 3–5. – С. 31–40.
25. Вернадский В.И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры. – Пг.: Время, 1922. – 48 с.
26. Вернадский В.И. Биосфера. – Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1926. – 146 с.
27. Вернадский В.И. О размножении организмов и его значении в механизме биосферы // Изв. АН СССР. Сер. 6. – 1926. – Т. 20. – № 9. – С. 697–726; № 12. – С. 1053–1060.
28. Вернадский В.И. О концентрации радия живыми организмами // Докл. АН СССР. Сер. А. – 1929. – № 2. – С. 33–34.
29. Вернадский В.И. О некоторых основных проблемах биохимии // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1938. – № 1. – С. 19–34.
30. Вернадский В.И. Биогеохимические очерки. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – 250 с.
31. Вернадский В.И. О количественном учете химического атомного состава биосферы. – М.: Типолит. им.Фрунзе, 1940. – 32 с.
32. Ветров В.А., Леина С.Е., Шушарина Н.М., Тищенко О.П. Оценка и прогноз радиоэкологической обстановки в Уральском регионе // Радиация, экология, здоровье. Средний Урал. / Часть 1. Изучение эколого-радиационной обстановки региона. – Екатеринбург, 1994. – С. 134–144.
33. Виноградов А.П. Геохимия живого вещества. – Л.: Изд-во АН СССР, 1932. – 67 с.
34. Виноградов А.П. Химический элементный состав организмов и периодическая система Д.И. Менделеева // Тр. Биогеохим. лабор. АН СССР. – 1935. – Т. 3. – С. 5–30.
35. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря. Ч. II // Тр. Биогеохим лабор. АН СССР. – 1937. – Т. 4. – С. 5–225.
36. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря. Ч. III // Тр. Биогеохим. лабор. АН СССР. – 1944. – Т. 6. – С. 5 –273.
37. Возбуцкая А.Е. Химия почвы. – М.: Высшая школа, 1964. – 472 с.
38. Восточно-Уральский радиоактивный след (Свердловская область) / Под ред. В.Н.Чуканова. – Екатеринбург, 1996. – 168 с.
39. Генезис и концепция Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона / Чуканов В.Н., Волобуев П.В., Дрожко Е.Г. и др. – Екатеринбург, 1993. – 66 с.
40. Гилева Э.А. О накоплении некоторых химических элементов пресноводными водорослями //Проблемы радиационной биогеоценологии / Тр. Ин-т биологии УФ АН СССР. – Вып. 45. – Свердловск, 1965. – С. 5–31.
41. Говорун А.П., Чесноков А.В., Щербак С.Б. Распределение запаса ^{137}Cs в пойме р. Теча в районе с. Муслюмово // Атомная энергия. – 1998. – Т. 84, вып. 6. – С. 545–550.
42. Говорун А.П., Чесноков А.В., Щербак С.Б. Особенности распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr в пойме р. Теча в районе пос. Бродокалмака // Атомная энергия. – 1999. – Т. 86, вып. 1. – С. 63–68.
43. Говорун А.П., Уруцкоев Л.И., Щербак С.Б. и др. Применение полевой радиометрии для картографирования загрязнения цезием-137 поймы р. Течи // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: Тр. Международной конференции. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2000. – С. 438–443.
44. Грачев М.И. Влияние температуры среды на накопление, распределение и выведение ^{60}Co у рыб // Радиоэкология животных: Материалы I Всесоюзн. конф. по радиоэкологии животных, Москва, 24–27 янв. 1977 г. – М., 1977. – С. 37–38.
45. Громов В.В., Спицын В.И. Искусственные радионуклиды в морской воде. – М.: Атомиздат. – 1975. – 224 с.
46. Громов В.В., Москвин А.И., Сапожников Ю.А. Техногенная радиоактивность Мирового океана. – М.: Энергоиздат, 1985. – 271 с.
47. Гусев Д.И., Ляпин Е.Н., Катков А.Е. и др. Экспериментальные материалы к характерис-

тике скорости очищения рыбы от некоторых радионуклидов в условиях различной температуры и солености воды // Вопросы морской радиоэкологии / Тр. Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Вып. 44. – Калининград, 1971. – С. 66–71.

48. Заключение комиссии по оценке экологической ситуации в районе производственного объединения "Маяк", организованной по решению Президиума Академии наук № 1140 501 // Радиобиология. – 1991. – Т. 31, вып. 3. – С. 436–452.

49. Заключение комиссии под председательством вице-президента АН СССР О.М. Нефедова, организованной распоряжением Президента СССР № РП-1283 от 3 сентября 1991 г., по экологической и радиоэкологической обстановке в Челябинской области. – Москва. – 1991. – 157 с.

50. Зенкевич Л.А. Фауна и биологическая продуктивность моря. – М.: Сов.наука, 1947. – Т. 2. – 588 с.

51. Зенкевич Л.А. Фауна и биологическая продуктивность моря. – М.: Сов.наука, 1951. – Т. 1. – 507 с.

52. Иваницкая М.В., Исаева Л.Н., Ячменев В.А. и др. Распределение уровней загрязнения ^{137}Cs поймы реки Теча в поселке Бродокалмак // Проблемы экологии Южного Урала. – 1996. – № 1. – С. 7–18.

53. Иванов В.И., Тимофеева-Ресовская Е.А., Тимофеев-Ресовский Н.В. О накоплении цезия пресноводными растениями // Проблемы радиационной биогеоценологии. / Тр. Ин-т биологии УФ АН СССР. – Вып. 45. – Свердловск, 1965. – С. 33–40.

54. Израэль Ю.А., Артемов Е.М., Василенко В.М. и др. Радиоактивное загрязнение Уральского региона производственным объединением "Маяк" // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: Тр. Международной конференции. – СПб.: Гидрометеоиздат. – 2000. – С. 411–424.

55. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 527 с.

56. Иост Х. Физиология клетки. – М: Мир, 1975. – 863 с.

57. Итоги изучения и опыт ликвидации последствий аварийного загрязнения территории продуктами деления урана / Под ред. А.И. Бурназяна. – М: Энергоатомиздат, 1990. – 144 с.

58. Катков А.Е., Гусев Д.И. Качественные и количественные признаки влияния донных отложений на миграционную активность радионуклидов в водоеме // Радиоэкология животных: Материалы I Всесоюз.конф. по радиоэкологии животных, Москва, 24–27 янв.,1977 г. – М., 1977. – С. 42–44.

59. Катков А.Е. Гусев Д.И., Дзекунов А.В. и др. Влияние температуры воды на накопление радионуклидов рыбой // Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций / Тр. Ин-т экологии растений и животных УНЦ АН СССР. – Вып. 110. – Свердловск, 1978. – С. 70–75.

60. Катков А.Е. Введение в региональную радиоэкологию моря. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 160 с.

61. Комплексная экологическая оценка озер Тыгиш, Червяное, Большой Сунгуль, расположенных на территории ВУРС в Свердловской области: Отчет о НИР / ИЭРиЖ УрО РАН; Науч. рук. А.В. Трапезников. – Екатеринбург, 1993. – 162 с.

62. Корнберг Х., Дэвис Дж. Пищевые цепи в пресных водах // Радиоактивность и пища человека. – М., 1971. – С. 272–297.

63. Кравцова Э.М., Барковский А.Н., Воробьев Б.Ф., Мишин А.С. Особенности радиационной обстановки в п. Муслюмово Челябинской области // Радиация, экология, здоровье. Средний Урал. Часть 1. Изучение эколого-радиационной обстановки региона. – Екатеринбург, 1994. – С. 123–128.

64. Кулебакина Л.Г., Поликарпов Г.Г. Коэффициенты накопления стронция-90 в цистозире в различные сезоны и годы // Морская радиоэкология. – Киев, 1970. – С. 174–181.

65. Куликов Н.В., Молчанова И.В. Континентальная радиоэкология. – М.: Наука, 1975. – 184 с.

66. Куликов Н.В. Актуальные вопросы экологии водоемов-охладителей атомных электростанций //Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций / Тр. Ин-т экологии растений и животных УНЦ АН СССР. – Вып. 110. – Свердловск, 1978 а. – С. 3–7.

67. Куликов Н.В. Биоиндикация радиоактивного загрязнения внутренних водоемов // Биологические методы оценки природной среды. – М., 1978. – С. 152–158.

68. Куликов Н.В., Трапезникова В.Н., Трапезников А.В. Содержание ^{137}Cs в садковой и свободноживущей рыбе Белоярского водохранилища // Поведение радиоизотопов в водоемах и почвах. – Свердловск, 1983. – С. 27–30.
69. Куликов Н.В., Трапезников А.В. Сезонная динамика накопления ^{60}Co пресноводными растениями в природных условиях // Радиационная безопасность и защита АЭС. 1985. Вып. 9. – С. 177–178.
70. Куликов Н.В., Чеботина М.Я. Радиоэкология пресноводных биосистем. – Свердловск, 1988. – 129 с.
71. Кутлахмедов Ю.А., Корогодин В.И., Поникарпов Г.Г. Проблемы радиоемкости боль-
72. Кутлахмедов Ю.А., Поникарпов Г.Г., Корогодин В.И., Кутлахмедова-Вишнякова В.Ю. Методология и методы исследования радионуклидов и других техногенных загрязнителей в наземных и водных экосистемах. Киев: Медэкол. Укр. РНИФ. Медицина-Экология, 1997. – 44 с.
73. Лебедева Г.Д. Планктон как индикатор загрязнения пресных водоемов радиоактивными веществами // Мед.радиология. – 1957. – Т. 2. № 6. С. 65–69.
74. Лейнерте М.Н., Ватсис Д.Р. Накопление стронция-90 в водных растениях // Радиоэкология водных организмов. – Рига. 1972. – Ч. 1. – С. 60–
75. Любимова С.А. Некоторые закономерности миграции стронция-90 и цезия-137 в пресноводных озерах: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Свердловск, 1971. – 22 с.
76. Любимова С.А., Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Влияние теплых вод на высшую водную растительность Белоярского водохранилища // Экология. – 1989. – № 1. – С. 73–75.
77. Лянин Е.Н., Гусев Д.И., Катков А.Е. и др. Зависимость накопления радионуклидов тканями рыб от температурно-солевых условий среды // Ворп. морской радиоэкологии / Тр. Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Вып. 44. – Калининград, 1971. – С. 53–59.
78. Мамаева Л.К., Милицина О.А. Оценка загрязненности р.Каменка радионуклидом // Радиация. экология. здоровье. Средний Урал. Часть 1. Изучение эколого-радиационной обстановки региона. – Екатеринбург: – 1994. – С. 106–112.
79. Марей А.Н. Санитарная охрана водоемов от загрязнений радиоактивными веществами. – М.: Атомиздат, 1976. – 224 с.
80. Марей А.Н., Сауров М.М., Лебедева Г.Д. К вопросу о передаче радиоактивного стронция по пищевой цепи из открытого водоема в организм человека // Мед.радиология. – 1958. – Т. 3. – № 1. – С. 69–76.
81. Мартюшов В.В., Спирин Д.А., Базылев В.В. и др. Радиоэкологические аспекты поведения долгоживущих радионуклидов в пойменных ландшафтах верхнего течения реки Течи // Экология. 1997. № 5. С. 361–368
82. Мартюшова Е.Ю., Цячинене Б.Б. Накопление и выведение стронция-90 и цезия-137 харовыми водорослями в условиях различной концентрации кальция и калия в водной среде // Харовые водоросли и их использование в исследовании биологических процессов клетки. – Вильнюс, 1973. – С. 170–178.
83. Марчюленене Д.П., Мотеюнене Э.Б., Нянишкене В.Б., Гудавичене П.А. Влияние температуры воды на уровни накопления ^{210}Pb в водных растениях и токсическое действие стабильного Pb на их организмы в модельных опытах // Теплоэнергетика и окружающая среда. – Вильнюс: Мокслас, 1981. – Т. 2. – С. 136–144.
84. Марчюленене Д.П., Душкаускене-Дуж Р.Ф., Монтеюнене Э.В. и др. Влияние термического режима водоема на гидрофитоценозы // Экология. – 1982. – № 2. – С. 49–55.
85. Марчюленене Д.П., Душаускене-Дуж Р.Ф. Зависимость уровня накопления радионуклидов в водных растениях от экологических факторов // Гидробиол. журн. – 1984. – № 6. – С. 67–73.
86. Матишов Д.Г. Радионуклиды в донных осадках биоте шельфа и побережий Баренцова моря. Результаты радиоэкологических наблюдений, проведенных ММБИ в 1991–1992 гг. / Препринт. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. – 1993. – 34 с.
87. Матишов Д.Г., Матишов Г.Г. Радиационная экологическая океанология. – Апатиты, Изд-во Кольского НЦ РАН. – 2001. – 419 с.
88. Медико-биологические последствия Чернобыльской аварии. Часть 1. Долгосрочные

радиоэкологические проблемы Чернобыльской аварии и контмеры / Под общ.ред. Ю.А. Кутлахмедова, В.П. Зотова. – Киев: МЕДЭКОЛ, 1998. – 172 с.
89. Медико-биологические и экологические последствия радиоактивного загрязнения реки Теча / Под ред. А.В. Аклеева, М.Ф. Киселева. – М.: Изд-во ФУ "Медбиоэкстрем" при Минздраве РФ, 2000. – 532 с.
90. Мешалкина Н.Г. О некоторых закономерностях поведения стронция-90 в экспериментальных непроточных водоемах // Вопр. Радиоэкологии водных организмов / Тр. Ин-т экологии раст. и животных УНЦ АН СССР. – 1971. – Вып. 78. – С. 95–98.
91. Мокров Ю.Г. Прогноз переноса стронция-90 с водами р.Течи. Часть I // Вопросы радиационной безопасности. – 1996 а. – № 1. – С. 20–27.
92. Мокров Ю.Г. Прогноз переноса стронция-90 с водами р.Течи. Часть II // Вопросы радиационной безопасности. – 1996 б. – № 2. – С. 28–34.
93. Мокров Ю.Г. Полуэмпирическая модель переноса стронция-90 с водами р.Теча // Вопросы радиационной безопасности. – 1996 в. – № 3. – С. 19–27.
94. Мокров Ю.Г. Ретроспективное восстановление уровня радиоактивного загрязнения реки Теча, обусловленного сбросами жидких отходов радиохимического производства ПО "Маяк" в 1949–1956 гг. Часть I // Вопросы радиационной безопасности. – 1998 а. – № 3. – С. 10–22.
95. Мокров Ю.Г. Ретроспективное восстановление уровня радиоактивного загрязнения реки Теча, обусловленного сбросами жидких отходов радиохимического производства ПО "Маяк" в 1949–1956 гг. Часть II // Вопросы радиационной безопасности. – 1998 б. – № 4. – С. 15–26.
96. Мокров Ю.Г. Ретроспективное восстановление стока радионуклидов с водами реки Теча, обусловленного сбросами жидких отходов радиохимического производства ПО "Маяк" в 1949–1956 гг. // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях / Тр. Международной конференции. – СПб.: Гидрометеоиздат. – 2000. – С. 432–437.
97. Мокров Ю.Г. Реконструкция и прогноз радиоактивного загрязнения реки Теча. Часть I. – Озерск: Редакционно-издательский центр ВРБ, 2002. – 172 с.
98. Мокров Ю.Г. Реконструкция и прогноз радиоактивного загрязнения реки Теча. Часть II. – Озерск, Редакционно-издательский центр ВРБ, 2003. – 143 с.
99. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Позолотина В.Н. и др. Закономерности поведения радионуклидов в пойменных ландшафтах реки Течи на Урале // Экология. – 1994. – № 3. – С. 43–49.
100. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н. и др. Барьерно-регулирующая роль пойменных почв в миграции радионуклидов (на примере речной системы Теча-Исеть) // Экология. – 2003. – № 4. – С. 267–273.
101. Мунтян С.П. Изучение популяций рыб в условиях радиоактивного загрязнения среды аварии // Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. – М.: Наука. – 1993. – С. 187–191.
102. Мурзина Т.А., Лубянов И.П., Чаплина А.М. Накопление ^{90}Sr пресноводными растениями в водоемах степной зоны Украины // Гидробиол. журн. – 1976. – № 6. – С. 76–80.
103. Нечаев Л.Н., Ляпин Е.Н., Гусев Д.И., Катков А.Е. Распределение отдельных осколочных и коррозионных радионуклидов по тканям рыб // Ворп. Морской радиоэкологии / Тр. Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Вып. 45. – Калининград, 1971. – С. 29–34.
104. Никипелов Б.В., Романов Г.Н., Булдаков Л.А. Радиационная авария на Южном Урале в 1957 г. // Атомная энергия. – 1989. – Т. 67, вып. 2. – С. 74–80.
105. Никипелов Б.В. Микерин Е.И., Романов Г.Н. и др. Радиационная авария на Южном Урале в 1957 году и ликвидация ее последствий // Proc.of an International Symposium on Recovery Operations in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency. IAEA, Vienna. – 1990. – P. 373–403.
106. Нифонтова М.Г. Влияние светового и темнового режимов на накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs лишайниками из водных растворов // Радиоактивные изотопы в почвенно-растительном покрове. – Свердловск, 1979. – С. 34–37.
107. Нифонтова М.Г. Лихено- и бриоиндикация радиоактивного загрязнения среды: Автореф. дис…докт.биол.наук. – Пермь, 2003. – 50 с.
108. Новицкий М.А., Вакуловский С.М., Никитин А.И., Треб Л.А. Модельные оценки уровней концентраций радионуклидов в водной системе Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь при

различных сценариях потенциально возможных радиационных сценариях потенциально возможных радиационных инцидентов в ПО "Маяк" // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях" / Тр. Междунар. конференции. – СПб.: Гидрометеоиздат. – 2000. – С. 444–452.
109. Офель И.Л. Судьба ^{90}Sr в пресноводном сообществе // Вопросы радиоэкологии. – М., 1968. – С. 222–230.
110. Пейве Я.В. Биохимия почв. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 29 с.
111. Передельский А.А. Основные задачи радиоэкологии // Журн. Общей. биологии. – 1957.- Т. 18. – № 1. – С. 17–30.
112. Передельский А.А., Богатырев И.О. Загрязнение радиоактивностью сухопутных пространств несекомыми, вылетающими из загрязненных водоемов // Изв. АН СССР. Серия биологическая. – 1959. – № 2. – С. 186–192.
113. Перельман А.И. Бионосные системы
114. Перцов Л.А. Биологические последствия радиоактивного загрязнения моря. – М., Атомиздат, 1978. – 160 с.
115. Пискунов Л.И., Куликов Н.В., Трейгер С.И., Любимова С.А. О некоторых закономерностях накопления стронция-90 в пресноводных растениях // Проблемы радиоэкологии водных организмов / Тр. Ин-т экологии растений и животных УНЦ АН СССР. – Вып. 78. – Свердловск, 1971. – С. 58–66.
116. Пискунов Л.И., Гущин В.М., Попова А.В. Миграция ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях оз. Тыгиш на Восточно-Уральском радиоактивном следе // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22. – № 2. – С. 197–204.
117. Поликарпов Г.Г. Радиоэкология морских организмов.- М.: Атомиздат, 1964.- 295 с.
118. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н. Морская динамическая радиохемоэкология. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 176 с.
119. Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона / Под ред. С.К. Шойгу. – М., 2002. – 288 с.
120. Радіонукліди у водних екосистемах України. – Київ: Чорнобильінтерінформю, 2001. – 318 с.
121. Романов Г.Н., Спирин Д.А., Алексахин Р.М. Процессы миграции ^{90}Sr в окружающей среде при Кыштымской аварии / Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. – М., Наука, 1993. – С. 70–78.
122. Рыдалевская М.Д., Тищенко В.В. О катионном обмене гуминовых кислот // Почвоведение. – 1944. – № 10. – С. 491–499.
123. Сафронова Н.Г. Питкянен Г.Б., Погодин Р.И. О механизмах миграции ^{90}Sr в донных отложениях водоемов // Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций / Тр. Ин-т экологии растений и животных УНЦ АН СССР. – Вып. 110. – Свердловск, 1978. – С. 95–98.
124. Старик И.Е. Основы радиохимии. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 459 с.
125. Стронций и кальций в природных пресноводных экосистемах / Под ред. Г.П. Андрушайтиса. – Рига: Зинатне, 1979. – 196 с.
126. Сукачев В.Н. Биогеоценология и фитоценология // Докл. АН СССР. – 1945. – Т. 47. – № 6. – С. 447–449
127. Сукачев В.Н. Основы теории биогеоценологии // Юбилейный сборник, посвященный 30-летию Октябрьской социалистической революции. – М., 1947. – Т. 2. – С. 238–305.
128. Сукачев В.Н. Соотношение понятий биогеоценоз, экосистема и фация // Почвоведение. – 1960. – № 6. – С. 1–10.
129. Сукачев В.Н.Основные современные проблемы биоценологии // Журн.общей.биологии. – 1965. – Т. 26. – № 3. – С. 249–259.
130. Сукачев В.Н. Основные понятия о биогеоценозах и общее направление их изучения // Программа и методика биогеоценологических исследований. – М., 1966. – С. 7–19.
131. Сукачев В.Н. Биогеоценология и ее современные задачи // Журн.общей.биологии. – 1967. – Т.28. – № 5. – С. 501–509.
132. Телитченко М.М. Моллюски как концентраторы и биоиндикаторы радиоактивных загрязнений // Вопросы малакологии Сибири: Материалы межвузов. науч.-метод. конф. по изучению пресноводных моллюсков в Сибири, Томск, 26–28 июня 1969 г. – Томск, 1969. – С. 9–11.
133. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в Арктические и дальневосточные моря (Белая книга-200). – М.: ИздАт, 2005. – 624 с.

134. Тимофеев-Ресовский Н.В. Применение излучений и излучателей в экспериментальной биогеоценологии // Бот. журн. – 1957. – Т. 42. – № 2. – С. 161–194.
135. Тимофеев-Ресовский Н.В., Тюрюканов А.Н. Биогеоценология и почвоведение // Биол. МОИП. Отд. биол. – 1967. – Т. 72, вып. 2. – С. 106–117.
136. Тимофеева Н.А. Накопление радиостронция пресноводными растениями при разных концентрациях кальция в воде // Проблемы радиационной биоценологии / Тр. Ин-т биологии УФ АН СССР. – Вып. 45. – Свердловск, 1965. – С. 41–46.
137. Тимофеева Н.А., Агре А.Л. Коэффициенты накопления стронция-90 пресноводными растениями из растворов разной удельной активности // Радиобиология. – 1965. – Т. 5, вып. 3. – С. 457–458.
138. Тимофеева Н.А., Куликов Н.В. Роль пресноводных растений в накоплении стронция-90 и в распределении его по компонентам водоема // Поведение радиоизотопов в модельных системах наземных и пресноводных биогеоценозов / Тр. Ин-т биологии УФ АН СССР. – Вып. 61. – Свердловск, 1968. – С. 65–71.
139. Тимофеева-Ресовская Е.А. Тимофеева Н.А., Тимофеев-Ресовский Н.В. О накоплении пресноводными организмами химических элементов из водных растворов. III. О коэффициентах накопления различных изотопов тремя видами водных растений // Бюл. МОИП Отд. биол. – 1959. – Т. 64, вып. 5. – С. 117–131.
140. Тимофеева-Ресовская Е.А., Тимофеев-Ресовский Н.В., Гилева О.А. О специфических накопителях отдельных радиоизотопов среди пресноводных организмов // Докл. АН СССР. – 1961. – Т. 140. – № 6. – С. 1437–1440.
141. Тимофеева-Ресовская Е.А., Агафонов Б.М., Тимофеев-Ресовский Н.В. О судьбе радиоизотопов в водоемах: Сб. работ лаборатории биофизики. IV / Тр. Ин-т биологии УФ АН СССР. – Вып. 22. – Свердловск, 1962. – С. 49–67.
142. Тимофеева-Ресовская Е.А. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов / Тр. Ин-т биологии Уф АН СССР. – Вып. 30. – Свердловск, 1963. – 78 с.
143. Титлянова А.А., Иванов В.И. Поглощение цезия тремя видами пресноводных растений из растворов различной концентрации // Док. АН СССР. – 1961. – Т. 136. – № 3. – С. 721–722.
144. Трапезников А.В. Исследование сезонной динамики накопления кобальта-60 элодеей и роголистником темнозеленым в природных условиях // Поведение радиоизотопов в водоемах и почвах. – Свердловск, 1983. – С. 35–40.
145. Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Куликов Н.В., Трапезникова В.Н. Влияние подогрева воды на накопление ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs, Са и К пресноводными растениями // Экология. – 1983. – № 4. – С. 68–70.
146. Трапезников А.В. Накопление, распределение и миграция ^{60}Co в компонентах пресноводной экосистемы // Автореф. дис... канд. биол. наук. – Свердловск, 1990. – 24 с.
147. Трапезников А.В., Волобуев П.В., Ковальчук А.И. и др. Радиоэкологическое исследование озер на территории ВУРСа в Свердловской области // Реализация Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона. – Екатеринбург, 1993. – С. 9–10.
148. Трапезников А.В., Позолотина В.Н., Чеботина М.Я. и др. Радиоактивное загрязнение реки Течи на Урале // Экология. – 1993. – № 5. – С. 72–77.
149. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. и др. Радиоэкологические исследования пресноводных экосистем на Урале, подверженных воздействию предприятий ядерного цикла / Радиоэкология: успехи и перспективы. Материалы научного семинара. – Севастополь, 1994. – С. 31–32.
150. Трапезников А.В., Юшков П.И., Трапезникова В.Н., Чеботина М.Я. Радиоэкологическое состояние озера Тыгиш на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа // Проблемы экологии и охраны окружающей среды. – Екатеринбург, 1996. – С. 179–180.
151. Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Юшков П.И. и др. Влияние стоков реки Течи на радиоактивное состояние реки Исеть // Экология. – 1997. – № 6. – С. 474–477.
152. Трапезников А.В., Юшков П.И., Трапезникова В.Н., Чеботина М.Я. Особенности распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs по основным компонентам некоторых водоемов на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа / Тезисы докладов третьего съезда по радиационным исследованиям: Радиобиология, радио-

экология, радиационная безопасность. – Т. 2. – Пущино, 1997. – 336 с.
153. Трапезников А.В., Позолотина В.Н., Аарькрог А. Континентальные источники радиоактивного загрязнения Арктического региона России // Освоение Севера: традиции и современность. – Томск, 1999. – С. 39–41.
154. Трапезников А.В., Позолотина В.Н., Юшков П.И. и др. Исследование радиоэкологической ситуации в реках Теча и Исеть, загрязненных сбросами ПО "Маяк" // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин / Под ред. Трапезникова А.В., Вовка С.М., Заречный. 1999. – Вып. 2. – С. 24–30.
155. Трапезников А.В., Позолотина В.Н., Молчанова И.В. и др. Радиоэкологическая характеристика речной системы Теча-Исеть // Экология. – 2000. – № 4. – С. 248–256.
156. Трапезников А.В., Юшков П.И., Николкин В.Н. и др. Распределение радионуклидов по основным компонентам озер на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа в пределах Свердловской области // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Вып. 3 / Под ред. Трапезникова А.В. и Вовка С.М. – Заречный, 2000. – С. 54–64.
157. Трапезников А.В. Радиоэкология пресноводных экосистем (на примере Уральского региона) // Автореф. дис... докт. биол. наук. – Екатеринбург, 2001. – 48 с.
158. Трапезников А.В., Юшков П.И., Николкин В.Н. и др. Радионуклиды в экосистеме озера Тыгиш на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа // Экология. – 2003. – № 3. – С. 184–193.
159. Трапезников А.В., Мигунов В.И., Трапезникова В.Н. и др. Радиоэкологические исследования рек Обь и Иртыш в границах Ханты-Мансийского округа // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Вып. 6 / Под ред. В.Н. Мигунова и А.В. Трапезникова. – Екатеринбург, 2005. – С. 24–42.
160. Трапезникова В.Н. Накопление, распределение и миграция ^{137}Cs в компонентах Белоярского водохранилища // Автореф. дис... канд. биол. наук. – Екатеринбург, 1994. – 17 с.
161. 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.
162. Трапезникова В.Н., Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Куликов Н.В. ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs в макрофитах водоема-охладителя Белоярской АЭС // Экология. – 1993. – № 4. – С. 86–88.
163. Трапезникова В.Н., Николкин В.Н., Юшков П.И., Трапезников А.В. Радиоэкология р. Туры и ее пойменных водоемов // Вестник Челябинского госуд. педагогического университета. Серия 4. Естественные науки. – 2005. – № 6. – С. 72–99.
164. Уткин В.И., Чеботина М.Я, Евстигнеев А.В. и др. Радиоактивные беды Урала. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2000. – 94 с.
165. Фирсова В.П., Молчанова И.В., Тощев В.В. и др. Комплексная характеристика радиологического и химического загрязнения почвы, сельскохозяйственной продукции и водных источников на территории пострадавших районов Свердловской области // Радиация, экология, здоровье. Средний Урал. Часть 1. Изучение эколого-радиационной обстановки региона. – Екатеринбург, 1994. – С. 153–159.
166. Флейшман Д.Г. Накопление искусственных радионуклидов пресноводными рыбами // Современные проблемы радиобиологии. – М., 1971. – Т. 2.: Радиоэкология. – С. 395–421.
167. Флейшман Д.Г. О путях поступления радиоизотопов в организм рыб // Проблемы радиоэкологии водных организмов / Тр. Ин-т экологии растений и животных УНЦ АН СССР. Вып. 78. – Свердловск, 1971. – С. 123–127.
168. Флейшман Д.Г. Щелочные элементы и их радиоактивные изотопы в водных экосистемах. – Л.: Наука, 1982. – 160 с.
169. Фостер, Дэвис. Накопление радиоактивных веществ водными организмами / Материалы международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 8–20 августа 1955 г. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – Т. 13. – С. 339–443.
170. Фулкье Л., Гроби А. Исследование особенностей загрязнения угрей (*Anguilla anguilla L.*) цинком-65 // Экология. – 1976. – № 6. – С. 12–26.
171. Хансон В., Конберг Х. Радиоактивность в организме животных, обитающих вблизи атомной энергетической установки / Материалы международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1955. – Т. 13. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – С. 464–468.

172. Чеботина М.Я., Любимова С.А. Зависимость сорбции радионуклидов пресноводными растениями от pH среды // Гидробиол.журн. – 1981. – Т. 17, вып. 5. – С. 101–105.
173. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Влияние подогрева воды на накопление радионуклидов группами Белоярского водохранилища // Экология. – 1986а. – № 2. – С. 75–77.
174. Чеботина М.Я. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Гусева В.П. Накопление радиоактивных и стабильных нуклидов элодеей в зависимости от сезона года // Экология. – 1986б. – № 6. – С. 72–74.
175. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова Н.В., Куликов Н.В. Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища. – Свердловск, 1992. – 80 с.
176. Чеботина М.Я., Гусева В.П., Трапезников А.В. Планктон и его роль в миграции радионуклидов в водоеме-охладителе АЭС. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2002. – 173 с.
177. Чибирайте Н.А., Мачюленене Д.П., Поликарпов Г.Г. Поглощение радионуклидов клетками харовых водорослей // Харовые водоросли и их использование в исследовании биологических процессов клетки. – Вильнюс, 1973. – С. 179–186.
178. Шведов В.П., Патин С.А. Радиоактивность океанов и морей. – М.: Атомиздат, 1968. – 212 с.
179. Яблоков А.В., Карасев В.К., Румянцев В.М. и др. Факты и проблемы, связанные с захоронением радиоактивных отходов в морях, омывающих территорию Российской Федерации // Материалы доклада Правительственной комиссии по вопросам, связанным с захоронением в море радиоактивных отходов. – М.: Администрация Президента РФ, 1993. – 108 с.
180. Aarkrog A., Tsaturov Y., Polikarpov G.G Sources to environmental radioactive contamination in the former USSR // Radiation protection, V. 71. European Comission. Directorate – General Environment, Civil Protection and Nuclear Safety. – 1994. – 62 p.
181. Aarkrog A. Up-to-date studies of radionuclides transfer in the river system Techa-Iset-Tobol- Irtish –Ob to Kara sea by joint international group / Radioecology and the Restoration of Radioactive – Contaminated Sites. – Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, 1996. – P. 187–201.
182. Aarkrog A., Nielsen S.P., Trapeznikov A. et. all. Evidence of ^{99}Tc in Ural River Sediments // J. of Environmental Radioactivity. – 1997. – V. 37. – № 2. – P. 201–213.
183. Aarkrog A., Chen Q., Clausen I. et. all. Environmental Radioactivity in the North Atlantic Region Including the Faroe Islands and Greenland 1992 and 1993. – Roskilde, Denmark, 1997. – 132 p.
184. Aarkrog A., Trapeznikov A., Molchanova I. et. all. Environmental modelling of radioactive contamination of floodplains and sorlakes along the Techa and Iset rivers // J. Of Environmental Radioativity. – 2000. – V. 49. – P. 243–257.
185. Aarkrog A., Trapeznikov A., Molchanova I. et. all. Environmental radioactivity in the South Urals 1990–1997. An international study supported by INTAS, EC and national funding // Радиационная биология. Радиоэклогия. – 2003. – Т. 43. – № 4. – С. 424–427.
186. Akleyev A.V., Lyubchansky E.R. Environmental and medical effects of nuclear weapon production in the Southern Urals // The Science of the Total Environment. – 1994. – № 142. – P. 1–8.
187. Bradley D.J., Jenquin U.P. Radioactive Inventories and Sources for Contamination of the Kara Sea by Riverine Transport // Pacific Northwest Laboratory Richland. – Washington 99352. – 1995. – 150 p.
188. Chesnokov A.V., Govorun A.P., Linnik V.G., Shcherbak S.B. Cs-137 contamination of Techa flood plain near village Muslumovo // Proc.of Symposium on Radiation Measurements and Applications. 12–14 May 1998. Michigan, USA, 1998. – P. 72–75.
189. Chesnokov A.V., Govorun A.P., Linnik V.G., Shcherbak S.B. ^{137}Cs contamination of the Techa river flood plain near village village of Muslumovo // J.Environ. Radioactivity. – 2000. – V. 50. – № 3. – P. 336–344.
190. Christensen G.C., Malyshev S., Romanov G. et. all. Radioactive contamination in the environment of the nuclear enterprise " Mayak " PA. Results from the joint Russian-Norwegian field work in 1994 // Proceedings of the Second International conference on Environmental Radioactivity in the Arctic. – Oslo, Norway, 1995. – P. 29–35.
191. Christensen G.C., Romanov G.N., Strand P. et. all. Radioactive contamination in the environment of the nuclear enterprise "Mayak " PA. Results from

the joint Russian-Norwegian field work in 1994 // The Science of the Total Environment. – 1997. – № 202. – P. 237–248.
192. Dean I.M. The accumulation of Zn-65 and other radionuclides by tubificid worms // Hydrobiologia. – 1974. – V. 45. – № 1. – P. 33–38.
193. Degteva M.O., Kozheurov V.P., Vorobiova M.I. General approach to dose reconstruction in the population exposed as a result of the release of radioactive wastes into the Techa rever // The Science of the Total Environment. – 1994. – № 142. – P. 49–61.
194. Fetisov V.I., Romanov G.N., Drozhko E.G. Practice and problems of environment restoration at the lokation of the industrial association " Mayak" // Remediation and Restoration of Radioactive – contaminated Sites in Europe: Proc. Intern. Sympos. – Mol, Belgium, 1994. – V. 2. – p. 507–521.
195. Foster R.F., Soldat I.K. Evalution of the exposure resulting from the disposal radioactive wastes into Columbia River // Disposal of radioactive wasters into seas, oceans and surface waters: Proc. Symp., Vienna, 16–20 May 1966. – Vienna, 1966. – P. 683–696.
196. Foulquier L., Baudin-Jaulent Y. Impact Radioecologigue de'l Accident de Tchernobyl sur les Ecosystemes Aquatiques. Ser. "Radiation protection, V. 58. – Cadarache, 1992. – 392 p.
197. Foyn L., Semenov A. Survey of artificial radionuclides in the Kara Sea. Final results from the Norwegian-Russian 1992 expedition to the Barents and Kara Seas: Draft version. – 1993. – 68 p.
198. Gerlach S. Marine pollution. Diagnostics and the Therapy. – New York, 1981. – 380 p.
199. Harrison F.U., Wong K.M., Heft R.E. Role of solubles and particulates in radionuclide accumulation in the oyster Crassostrea gigas in the discharge canal of a nuclear power plant // Radioecol., and Energy Resour.: Proc. 4th Nat. Symp. Radioecol., Corvallis, OR, 12–14 May 1975. – Stroudsburg, PA, 1976. – P. 9–20.
200. Harvey R.S. Temperature effects on the sorption of radionuclides by freshwater algae // Health Phys. – 1970. – V. 19. – № 2. – P. 293–297.
201. Harvey R.S. Temperature effects on the sorption of ^{137}Cs, ^{85}Sr and ^{65}Zn by freshwater shrimp // Radionuclides in ecosystems: Proc. 3th Nat. Symp. Radioecol., Oak Ridge, TN, 10–12 May 1971. – Springfields, 1971. –V 1. – № 1. – P. 599–602.
202. Hasanen E., Miettinen I. Gamma-emitting radionuclides in Subarctic vegetation during 1962-64 // Nature. –1966. – V. 212. – № 5060. – P. 379-382.
203. Iohannessen O.M., Pettersson L.N., Bobylev L.P. et. all. Observations and modelling of transport and dilution of radioactive waste and dissolved pollutants in the Kara Sea. NERSC Technical Report № 109. – 1996. – 65 p.
204. Jourd'Heuil L., Bernard I. Mesure par spectromenrie γ de la radioactivite des sediments preleves dans la river Tetcha et dans deux lacs de l'Oural lors de la mission IPSN en 1992 // Institut de protection et surete nucleaire. Document SERE 95/20. – 1995. – 1955 p.
205. Kershaw P.I., Woodhead D.S. (Ed) Radionuclides in the study of marine processes. – London ; New York : Elsevier Applied Science, 1991. – 391 p.
206. Kirchmann R., Lambinon J. Bioindicateurs vegetaux de la contamination d un cours d eau par des effluent d une centrale nucleaire a eau pressurisee. Evaluation des rejets de la centrale de la SENA (Chooz, Ardennes francaises) an moyen des vegetaux aquatiques et ripicoles de la Meuse //Bull. Soc. roy. bot. Belg. – 1973. – V. 106. – № 2. – P. 187–201.
207. Kirchmann R., Lambinon J., Bonnijnsvan G., Colard J. Utilization de bioindicateurs a des fins de surveillance des sites nucleaires // Environ. Surveillance Around Nucl. Installat.: Proc. Symp., Warsaw, 5–9 Nov. 1973. – Vienna, 1974. – V. 2. – P. 105–118.
208. Kryshev I.I. Radioactive Contamination of Aquatic Ecosystema in the Areas of Nuclear Power Plants and Other Nuclear Facilities in Russia // Radiochimica Acta. – 1996. – V. 74. – P. 199–202.
209. Kryshev I.I., Romanov G.N., Isaeva L.N., Kholina Ya.B. Radioecological State of Lakes in the Southern Urals Impacted by Radioactivity Release of the 1957 Radiation Accident // J. Environ. Radioactivity. – 1997. – V. 34. – № 3. – P. 223–235.
210. Kryshev I.I., Romanov G.N., Chumichev V.B. et. all. Radioecological consequences of radioactive discharges into the Techa river on the Southorn Urals // J. Environ. Radioactivity. – 1998. – V. 38. – № 2. – P. 195–209.
211. Kryshev I.I., Romanov G.N., Sazykina T.G. et. all. Environmental contamination and assessment of doses from radiation releases in the Southern

Urals // Health Physics. – 1998 b. – V. 74. – № 6. – P. 687–697.
212. Mahon D.C., Matheewes R.W. Seasonal variation in the accumulation of radionuclides of the uranium series by yelloy pond-lilly (Nuphar lutea) // Bull. Environ. Contam. and Toxicol. – 1983. – V. 30. – № 5. – P. 575–581.
213. Novitsky M.A., Vakulovsky S.M., Nikitin A.I., Tereb L.A. Evaluation of the Kara Sea radioactive contamination as a consequence of potential accidents at the Mayak PA // The 4th International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic Edinburgh, Scotland, 1999. – P. 36–38.
214. Panteleyev G. Livingston H.D., Sayles F.L., Medkova O.N. Deposition of Plutonium Isotopes and Cs-137 in Sediments of the Ob Delta from the Beginning of the Nuclear Age // Euvinonmental Radioactivity in the Arctic, Osteras. – 1995. – P. 57–64.
215. Patten B.C., Iverson R.L. Photosynthesis and uptake of strontium-85 in freahwater plankton // Nature. – 1966. – V. 211. – № 5044. – P. 96–97.
216. Pickering D.C., Lucas L.M. Uptake of radiostrontium by an algae and the influence of calcium ion in the water // Nature. – 1961. – V. 193. – № 4820. – P. 1046–1047.
217. Radioactive contamination at dumping sites for nuclear waste in the Kara Sea // Materials ofjoint Russian-Norwegian Expert for Investigation of Radioactive Contamination in the Northern Areas, 1994. – 122 p.
218. Romanov G.N. Environmental impact of "Mayak" PA activity / Proceedings of the Second International conference on Environmental Radioactivity in the Arctic. – Oslo, Norway, 1995. – P. 36–37.
219. Romanov G.N., Drozhko E.G. Ecological consequences of the activities at the "Mayak" plant // Radioecology and the Restoration of Radioactive – Contaminated Sites. – Dordrecht; Boston; London; Kluwer Academic Publishers, 1996. – P. 45–55.
220. Smedile E., Querizza G., Guzzi L., Bonforte G. Nuclear power station discharge: radioecological methodologies // Health Phys. – 1980. – V. 38. – № 1. – P. 105–106.
221. Sources contributing to radioactive contamination of the Techa River and areas surrounding the "Mayak" production association, Urals, Russia // Joint Norwegian-Russian Expert Group for Investigation of Radioactive Contamination in the Northern Areas. Osteras, 1997. – 134 p.
222. Steger W., Goodnight C. The influence of environmental factors on the accumulation and retention of cesium-137 by the worm Limnodrilus Hoffmeisteri (Oligochaeta) // Radioecol. And Energy Resour.: Proc. 4th Nat. Symp. Radioecol., Corvallis, OR, 12–14 May 1975. – Stroudsburg, PA, 1976. – P. 242–249.
223. Trapeznikov A., Aarkrog A., Pozolotina V. et. all. Radioactive contamination of the Ob river system from the nuclear enterprise "Mayak" in the Urals // Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic. – Osteras, 1993. – P. 135–150.
224. Trapeznikov A., Pozolotina V., Chebotina M. et. all. Radioactive contamination of the Techa river, The Urals // Health Physics. –1993. – V. 65. – № 5. – P. 481–488.
225. Trapeznikov A.V., Yushkov P.I., Volobuev P.V. et. all. Radioecological research of lakes on the territory of the radioactive trace in the Middle Urals // International Symposium on Remediation and Restoration of Radioactive – contaminated Sites in Europe / Book of Abstracts. – Antwerp., Belgium, 1993. –71 p.
226. Trapeznikov A., Aarkrog A., Iekidin A. et. all. Radioecological investigation of the Techa river (the Urals) and of the soil and vegetation cover in its flood plain // Remediation and Restoration of Radioactive contaminated sites in Europe: Proc. Intern. Sympos. – Mol., Belgium, 1994. – V. 1. – P. 485–503.
227. Trapeznikov A., Aarkrog A., Pozolotina V. et. all. Radioactive pollution of the Ob river system from Urals nuclear enterprise "Mayak" //J. Environ. Radioactivity. – 1994. – № 25. – P. 85–98.
228. Trapeznikov A., PozolotinaV., Aarkrog A. et. all. Radionuclides in the pollution of the Arctic // Proceedings of the Second International conference on Environmental Radioactivity in the Arctic. – Oslo, Norway, 1995. – P. 68–71.
229. Trapeznikov A., PozolotinaV., Trapeznikova V., Yushkov P. Distribution of artificial radionuclides in the sediment of some Ural rivers Ob basin // Proceedings of the Second International conference on Environmental Radioactivity in the Arctic. – Oslo, Norway, 1995. – P. 65–67.
230. Trapeznikov A. Metod for evaluating radionuclide inventories in water reservoirs applied to the Beloyarskoe artificial lake / Radioecology

and the Restoration of Radioactive – Contaminated Sites. – Dordrecht; Boston; London; Kluwer Academic Publishers. – 1996 a. – P. 179–186.
231. Trapeznikov A. Radioecological study of fresh water ecosystems influenced by the operation of nuclear cycle facilities in the Urals // Proceedings of Intern. Congress on Radiation Protection. – Vienna, Austria, 1996 b. – V. 3. – P. 197–199.
232. Trapeznikov A., Aarkrog A., Molchanova I. et. all. Radioecological charakteristics of the Techa–Iset–Tobol River : Including Floodplain Ecosystems (The Urals) // Radiation Exposures by Nuclear Facilities. Evidence of the Impact on Health. – Bremen, 1998. – P. 387–391.
233. Wilhm J.L. Transfer of radioisotopes between detrit and benthic macroinvertebrates in laboratory microecosystems // Health Physics. – 1970. – V. 18. – № 3. – P. 277–284.
234. Williams L.G. Uptake of cesium-137 by cells and detritus of Euglena and Chlorella // Limnology and Oceanography. – 1960. – V. 5. – № 3. – 301 p.
235. Williams L.G., Swanson H.D. Concentration of cesium-137 by algae // Science. – 1958. – V. 127. – № 3291. – P. 187–188.

Поступила в редакцию 17 января 2006