



ВЕСТНИК

Института биологии Коми НЦ УрО РАН

ЗАПОВЕДАНО СОХРАНИТЬ

**Коренные еловые леса
подзоны северной тайги**

2007
№ 2(112)

ЗАПОВЕДАНО СОХРАНИТЬ

Коренные еловые леса подзоны северной тайги



На территории Республики Коми в северной подзоне тайги площадь еловых лесов составляет 5.14 млн. га, из них 82 % занимают старовозрастные насаждения, не испытывавшие заметного хозяйственного и антропогенного воздействия, изменяющиеся на протяжении многих поколений лесообразующих пород только вследствие естественных процессов. Эти леса рассматривают как главный источник развития лесозаготовок, резерват естественного генофонда лесообразующих видов древесных растений и эталон биосистем, существующих в состоянии динамического равновесия. Еловые леса в северной тайге сформированы елью сибирской (*Picea obovata*) (Правдин, 1975). Она холодоустойчива, способна расти на переувлажненных почвах и переносить длительное затенение, особенно в молодом возрасте. Мощная поверхностная корневая система хотя и снижает ее ветроустойчивость, но позволяет успешно функционировать при избыточном увлажнении почвы. Ель снабжена мощно развитым ассимиляционным аппаратом — ее листовой индекс составляет в северной тайге 4-5 га/га. Урожайные годы у ели в северной тайге наступают через 7-8 лет (Артемов, 1981). Наиболее распространены ельники долгомошной (фото 1) группы типов (45.5 %). На леса зеленомошной группы (фото 2) приходится 34.6, сфагновой — 16.2 (фото 4), травяной — 3.5 (фото 3), лишайниковой — 0.2 %. Все типы ельников представлены серией растительных ассоциаций. Произрастают они на супесчаных и суглинистых почвах, подстилаемых тяжелыми суглинками и глиной. Характерно формирование под северотажными ельниками глееподзолистых почв (Забоева, 1975).

Древесный ярус ельников, как правило, смешанный по составу. Наряду с елью в составе присутствуют береза, сосна, пихта, лиственница, кедр. Древостои невысокой продуктивности: IV-V (Vб) класса бонитета, полнотой 0.5-0.7. Запасы древесины в зависимости от типа леса изменяются от 70 до 250 м³/га, среднегодовой прирост древесины — от 0.4 до 2.7 м³/га. В фитоценозах коренных ельников подзоны северной тайги накапливается от 104 до 140 тонн/га органической массы или от 44 до 65 тонн/га углерода. Годичная продукция фитомассы в них составляет 3.9-7.3 тонн/га. Количество энергии, аккумулированной органической массой фитоценозов ельников, колеблется в пределах $(1.7 \div 2.8) \cdot 10^{12}$ Дж/га. Подлесок из ивы, рябины, можжевельника, жимолости, редкий или отсутствует.

В коренных ельниках встречаются деревья ели возрастом от 3 до 350 лет. Древостои абсолютно и относительно разновозрастные, представлены 10-13 классами возраста. Возобновление древесных растений под пологом древоствоев удовлетворительное. Количество подроста в зависимости от условий произрастания изменяется от 1.4 до 8.8 тыс. экз./га. Преобладает здоровая ель мелкой и средней категории круп

Окончание на обороте



PARUS

ВЕСТНИК

**Института биологии
Коми НЦ УрО РАН**

Издается
с 1996 г.

№ 2 (112)

2007 - ГОД 45-ЛЕТИЯ ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ

В н о м е р е

ОБЗОР

- 2 Фосфолипидная компонента мембран эритроцитов в норме и патологии. **О. Шевченко**
- 8 Подходы к решению проблемы дезактивации почв, закрепления радионуклидов в них и изменения биологической доступности. **И. Шуктомова**

СТАТЬИ

- 11 Оценка динамики запаса радия на радиоактивно загрязненном участке с дерново-луговой почвой. **Л. Носкова, И. Шуктомова**
- 16 Итоги изучения последствий для природных популяций растений и животных функционирования предприятия по добыче радия в пос. Водный (краткая справка). **Т. Евсеева, Т. Майстренко, Е. Белых**
- 18 Роль мышевидных грызунов в процессах аккумуляции и биогенной миграции естественных радионуклидов в таежных биогеоценозах. **А. Кудяшева**
- 25 Динамика численности полевки-экономки в биогеоценозах с повышенным уровнем естественной радиоактивности. **А. Кудяшева, О. Шевченко, Н. Загорская**
- 31 Изменчивость демографических характеристик популяций полевков-экономок из радиоактивно-загрязненных территорий. **Л. Башлыкова, О. Ермакова, В. Зайнуллин**
- 33 Состояние периферических эндокринных желез белых беспородных мышей после действия экдистероидов серпухи венценосной. **О. Раскоша, О. Ермакова, А. Селезнева, О. Стрекаловская**

УЧЕНЫЙ СОВЕТ

- 36 К 90-летию Всеволода Ивановича Маслова.
- 39 Исследования В.И. Маслова по вопросам миграции радия, урана и тория в системе почва-растение. **Л. Носкова**
- 42 Путь, по которому стоит идти. **О. Ермакова**

УЧЕНЫЙ СОВЕТ

- 47 Пятая международная конференция по эффектам малых доз радиации на здоровье человека и окружающую среду. **А. Москалев**

Главный редактор: к.б.н. А.И. Таскаев

Зам. главного редактора: д.б.н. С.В. Дегтева

Ответственный секретарь: И.В. Рапота

Редакционная коллегия: д.б.н. М.М. Долгин, к.б.н. Т.И. Евсеева, к.б.н. В.В. Елсаков, д.б.н. С.В. Загирова, к.б.н. К.С. Зайнуллина, к.х.н. Б.М. Кондратенко, к.б.н. Е.Г. Кузнецова, к.б.н. С.П. Маслова, к.б.н. С.Н. Плюсин, к.б.н. Е.А. Порошин, к.э.н. Е.Ю. Сундуков, к.б.н. И.Ф. Чадин, к.б.н. Т.П. Шубина



ФОСФОЛИПИДНАЯ КОМПОНЕНТА МЕМБРАН ЭРИТРОЦИТОВ В НОРМЕ И ПАТОЛОГИИ

к.б.н. **О. Шевченко**

н.с. лаборатории радиозоологии животных

E-mail: shevchenko@ib.komisc.ru, тел. (8212) 43 04 78

Научные интересы: *радиозоология, биохимия липидов, мышевидные грызуны*

В последние годы в связи с активным изучением молекулярных механизмов развития патологических состояний на уровне мембранных образований клеток и их ультраструктур значительно усилился интерес к особенностям биологического функционирования фосфолипидов (ФЛ). В биомембранах липидный компонент, организованный в функционально-активную матрицу, интегрирует внешние влияния и участвует в запуске программ клеточного управления [8]. Плазматическая мембрана обладает уникальными рецепторно-сигнальными функциями регуляции важнейших клеточных процессов, поражение которых может привести к гибели клетки. От состояния липидной фазы мембран зависит активность мембраносвязанных ферментов, чувствительность клетки к гормональной и нервной регуляции [5, 13, 63]. Фосфолипиды поддерживают работу важнейших клеточных механизмов, таких как ионный обмен, внутренняя респирация, биологическое окисление, влияют на фиксацию энзимов в митохондриях и окислительное фосфорилирование [48]. Механизм возникновения и развития многих патологических состояний связан с нарушением структуры и свойств биологических мембран.

Повышенный интерес исследователей к изучению мембран эритроцитов обусловлен участием этих клеток в процессах, связанных с поддержанием гомеостаза на уровне целого организма. Эритроциты вовлекаются в патологический процесс не только при гематологических заболеваниях, но и претерпевают серьезные изменения структуры и функции при болезнях разного генеза [39]. Закономерности изменений структуры и функции мембраны эритроцитов с определенной долей коррекции, обусловленной видовой специфичностью клеток, могут быть экстраполированы на иные мембранные системы [39]. Мембранам эритроцитов присущи общие принципы молекулярной организации плазматических мембран, что позволяет рассматривать эритроцит как универсальную модель для изучения изменений цитоплазматических мембран и метаболизма клеток организма [49]. Видимая простота организации эритроцита дает возможность изучать функциональные свойства плазматической мембраны без помех, накладываемых внутриклеточными мембранными образованиями и органеллами [44].

Ключевая роль в регуляции всех процессов, происходящих в мембранах, принадлежит их текучести. Этот комплексный показатель отражает как структуру, так и диффузионные аспекты липидной составляющей мембран и легко реагирует на метаболические изменения и внешние воздействия [13, 19]. Изменение фазового состояния мембраны оказывает существенное влияние на процессы мембранного транспорта, на системы трансмембранной передачи информации [21]. Физико-химическими свойствами мембран клеток обуславливаются физиологические реакции форменных элементов крови. Почти 50 % объема крови приходится на эритроциты, поэтому ее реологические свойства в значительной степени определяются структурно-функциональным состоянием эритроцитов. Деформируемость эритроцитов – одно из жизненно важных свойств клеток изменять свою конфигурацию в ответ на воздействие внешних сил на клеточную мембрану. Просвет капилляра меньше диаметра эритроцита, и, чтобы продвинуться через капилляр, эритроциты резко меняют форму, вытягиваясь в трубочку. Эритроциты, ставшие жесткими (ригидными), проходят через капилляры хуже или не проходят вообще, что имеет соответствующие последствия в питании того или иного органа [58]. Повышение микровязкости мембран клеток крови не только ухудшает их вязко-эластические свойства, затрудняет микроциркуляцию, но и снижает активность мембраносвязанных ферментов, тормозит связывание рецепторов с вторичными мессенджерами и лигандами. Предполагается, что именно повышение ригидности липидного бислоя является одной из причин значительного снижения активности многих ферментов при опухолевом росте [16].

Микровязкость мембран является интегральным показателем, зависящим от нескольких компонентов: ненасыщенности липидов, содержания холестерина в мембране, фосфолипидного состава и количества белка, внедренного в мембрану. Молекулярной основой для генезиса физико-химических преобразований в биомембранах является модификация липидного компонента. Однако способ поддержания липидного состава внутриклеточных мембран, а также механизмы, с помощью которых организм адаптируется к изменяющимся условиям окружающей среды путем изменения своего липидного состава, пока неизвестны [13]. До сих пор неиз-

вестно и то, почему различные мембраны содержат десятки фосфолипидов, и какую роль в их функции выполняет каждый из них [13, 23].

Распределение фосфолипидов в мембране эритроцитов асимметрично [13]. Нейтральные по заряду холинсодержащие фосфолипиды, фосфатидилхолин (ФХ) и сфингомиелин (СМ) находятся преимущественно в наружном монослое, тогда как фосфолипиды с первичной аминогруппой, фосфатидилэтаноламин (ФЭ) и фосфатидилсерин (ФС) или не содержащий азота вообще фосфатидилинозит (ФИ) – в основном во внутреннем слое [23]. Интересно, что те липиды, которые локализируются на внутренней стороне мембраны, имеют и относительно большую скорость трансмембранной миграции. Те же липиды, которые находятся на наружной стороне, мигрируют значительно медленнее либо вообще не совершают флип-флоп перескоков [13]. Предполагается, что в сохранении бислоевой организации биологических мембран первичная функциональная роль принадлежит ФХ и СМ [54].

Основным структурным компонентом мембран эритроцитов, как и большинства других животных мембран, является фосфатидилхолин. Он обладает высокой обменивающей активностью, имеет большое значение в нарушении проницаемости мембран, влияет на метаболизм холестерина [23, 34, 56]. По сравнению с другими ФЛ, в частности с ФЭ, ФХ значительно более устойчив к окислению. Полагают, что ФХ играет особую регуляторную роль в процессах перекисного окисления липидов (ПОЛ) в норме и при развитии патологических состояний [41]. Другой важнейшей структурной составляющей мембран служит фосфатидилэтаноламин, который имеет значение для структурно-функциональной целостности мембран и является эффектором ряда ферментов, [5, 34, 46]. Известно, что уменьшение содержания в мембранах ФХ и ФЭ является одной из причин понижения активности некоторых мембраносвязанных ферментов, для которых, по-видимому, эти фосфолипиды являются специфическими активаторами [16].

Большое значение в изменении структурно-функциональных свойств мембран имеет содержание сфингомиелина (СМ), в молекуле которого присутствуют в основном остатки насыщенных жирных кислот и который, наряду с холестерином, способствует увеличению микровязкости липидной фазы мембран, ее ригидности [16]. Это действительно было подтверждено измерением жидкостности липидного бислоя мембраны с помощью флуоресцентных зондов. Благодаря высокой афинности сфингомиелина к холестерину метаболизм этих двух соединений в клетках имеет интегрированный характер [52]. На наружной поверхности плазматической мембраны и сфинголипиды, и холестерин сконцентрированы в островках с относительно более упорядоченной структурой (рафтах) и сопряжены с рядом белков, участвующих в трансдукции клеточного сигнала. Метаболиты СМ – церамид и сфингозин, образующиеся под влиянием нейтральной сфингоми-

елиназы, играют важную роль в регуляции роста, дифференцировки, деления и апоптоза различного вида клеток, а также действуют в качестве внеклеточных сигналов активации [1, 9]. Многочисленные экспериментальные данные доказали, что сфинголипиды играют роль вторичных мессенджеров во многих важнейших клеточных процессах и являются медиаторами некоторых внеклеточных стимулов [52]. Активность ключевого фермента сфингомиелинового цикла – сфингомиелиназы зависит от интенсивности протекания процессов ПОЛ и содержания антиоксидантов в клетке [18].

Кардиолипин (КЛ) в мембранах эритроцитов содержится в следовых количествах [13]. В отличие от других ФЛ это соединение является димером, состоящим из двух молекул фосфатидной кислоты (ФК), связанных посредством глицерина. КЛ имеет две полярные головки и отличается наиболее сильным отрицательным зарядом. Хорошо известно, что содержание КЛ в мембране становится критическим фактором для функционирования митохондрий в различных стрессовых состояниях. Полагают [9], что специфическая роль кардиолипина состоит в организации упорядоченных мембранных структур митохондрий в ответ на различные изменения в метаболических условиях. Кроме того, наряду с другими липидами, КЛ входит в состав хромосом в связанном с ДНК виде и играет важную роль в репликации и транскрипции [51]. Поскольку в зрелых эритроцитах млекопитающих имеется только плазматическая мембрана, возможно, что обнаруживаемые исследователями следовые количества КЛ обязаны своим происхождением предшественникам эритроцитов – ретикулоцитам, у которых уже отсутствует ядро, но функционируют субклеточные структуры, в частности, митохондрии. Фосфатидная кислота принимает участие в создании поверхностного заряда мембраны, связывает одновалентные ионы, является ионофором.

На наружной поверхности плазматической мембраны эритроцитов в незначительном количестве присутствуют лизофосфолипиды (ЛФЛ), которые являются обязательными компонентами многих мембранных образований и выполняют важную роль в функционировании мембран. В частности, лизоформы ФЛ и их производные являются эффекторами протеинкиназы С: в низких концентрациях они активируют, а в высоких – ингибируют фермент [38]. По химической структуре лизофосфолипиды (в частности, лизофосфатидилхолин – ЛФХ) являются фосфолипидами, содержащими не два, а лишь один остаток жирной кислоты, т.е. это моноацильные производные соответствующих фосфатидов, образующиеся под действием фосфолипазы A_2 . Активация фосфолипазы A_2 сопровождается не только увеличением количества ЛФХ, но и ростом внутриклеточного пула арахидоновой кислоты, которая является основным предшественником эйкозаноидов. К накоплению ЛФХ может привести не только усиление активности фосфолипаз и лецитин-холестерин-ацилтрансфераз (переносящих остаток жир-

ной кислоты с ФХ на холестерин), но и ингибирование лизофосфолипазы, участвующей в превращении ЛФХ в глицерофосфорилхолин и жирные кислоты. Наконец, ЛФХ может накапливаться в результате ингибирования активности ацилтрансферазы, фермента, участвующего в реакцировании ЛФХ до ФХ [14]. Доказано токсическое действие ЛФЛ на эритроциты и другие клетки и ткани [14, 36]. Наличие в структуре ЛФЛ первичной спиртовой группы способствует тому, что эти соединения способны растворяться не только в спиртах и хлороформе, но и в воде. Можно полагать, что цитолитический эффект ЛФХ, сопровождающийся увеличением проницаемости мембран для органических молекул и ионов, обусловлен сочетанием действия их как поверхностно-активных веществ и ионофоров, вызывающих структурные перестройки липидного компонента и белков в мембранах [14]. Эритроциты, обработанные ЛФХ или имеющие его в составе мембран, обладают пониженной осмотической устойчивостью вследствие превращения их в сферические клетки. Изменение поверхности эритроцитов при действии ЛФХ сопровождается увеличением скорости их агглютинации, что некоторые авторы связывают со структурными перестройками белков поверхности мембраны эритроцитов и изменением их заряда. Избыточное количество продуктов гидролиза фосфолипидов – свободных жирных кислот и ЛФЛ – мощный фактор модификации свойств липидного бислоя и интегральных мембранных белков [46]. В последние годы были получены данные о роли ЛФЛ в возникновении и формировании ряда патологических состояний, таких как гипоксия, заболевания сердечно-сосудистой системы, болезни желудочно-кишечного тракта, процессы старения и гибели клеток. Полагают [2], что одной из функций асимметричного распределения липидов в мембране эритроцитов является защита красных кровяных клеток от действия фосфолипазы A_2 , концентрация которой возрастает в крови при активации тромбоцитов. Известно, что ФЛ, расположенные на внешней поверхности мембраны эритроцита, либо не гидролизуются фосфолипазой A_2 (СМ), либо при гидролизе дают неактивный в отношении гемоглобина ЛФХ (ФХ). Гидролиз кислот ФЛ (расположенных на внутренней поверхности мембраны) привел бы к образованию лизофосфолипидов, взаимодействующих с гемоглобином с образованием гемихрома, что в конечном итоге вызвало бы гибель эритроцита [2].

Фосфатидилсерин (ФС), содержащий в своем составе аминокислоту, необходим для нормальной работы натриевого канала и Na^+ , K^+ -АТРазы. Присутствия ФС требует нормальное функционирование большинства из 11 изоформ протеинкиназы С [38]. Количество этой фракции мало, однако она метаболически активна. Показано, что ФС играет исключительно важную роль в процессе апоптоза. Избирательное окисление ФС и его последующее перемещение в наружную часть мембраны способствует распознаванию и уничтожению подобных

клеток макрофагами [62]. Апоптоз, который является одним из способов обновления форменных элементов крови, может реализовываться посредством нарушения проницаемости мембран и изменения их физико-химических свойств [11]. Показано, что образование апоптозных везикул эритроцитами голубя (под действием перекиси водорода) сопровождается не только увеличением продуктов ПОЛ, но и изменениями количественного и качественного соотношения липидов. Параллельно во всех фракциях ФЛ происходит увеличение доли насыщенных жирных кислот и снижение доли ненасыщенных, что свидетельствует об уменьшении жидкостных свойств мембраны. По мнению авторов, изменение количественного и качественного соотношения липидов и продуктов ПОЛ может являться одним из механизмов запуска и предотвращения процессов апоптоза.

На долю фосфатидилинозита (ФИ) приходится лишь 2-8 % от всех ФЛ, содержащихся в клеточных мембранах эукариотов. Однако он играет важную роль в регуляторных реакциях – продукты его распада, выступая в роли вторичных мессенджеров, участвуют во многих клеточных процессах [13, 36, 61]. Накопление в мембранах ФИ повышает возможность контроля над транспортом и передачей информации внутрь клетки в виде нервных и гуморальных сигналов [15].

Изменение структуры мембран эритроцитов влечет изменение их формы. Так, незначительное увеличение содержания в мембранах холестерина (ХС) и ФХ способствует приобретению эритроцитами мишеневидной формы. Дальнейшее увеличение молярного соотношения ХС/ФЛ в мембранах приводит к образованию акантоцитов (эритроцитов с неровным контуром мембраны), в результате чего возрастает микровязкость мембран, ухудшаются реологические свойства. Пониженной способностью к деформации обладают и эритроциты чашевидной формы – стоматоциты [21]. Одной из причин изменения формы эритроцитов может являться также уменьшение площади внешнего монослоя мембраны относительно внутреннего вследствие значимого снижения содержания в мембранах ФХ и СМ [10]. В целом, уменьшение количества дискоцитов (эритроцитов нормальной формы) является типичной реакцией, которая развивается при различных патологических состояниях [40].

Механизм возникновения и развития многих патологических состояний связан с нарушением соотношения фосфолипидных компонентов мембран эритроцитов и, как следствие, с увеличением доли дегенеративно измененных форм эритроцитов. Изменения реологических свойств крови, объединяемые под общим понятием синдрома повышенной вязкости крови, являются важным звеном в патогенезе сердечно-сосудистых расстройств, сахарного диабета, опухолевого роста и др. [10]. Неспецифические признаки вовлечения эритроцитарной мембраны в сложный комплекс изменений в организме, сопутствующих развитию опухолевого процес-

са, были обнаружены при обследовании больных со злокачественными опухолями различной локализации. В большинстве случаев изменения в эритроцитах были более выражены, чем в лимфоцитах [19]. Обращали на себя внимание выраженные нарушения липидного спектра (повышение уровня холестерина и ЛФХ, снижение количества общих липидов, уменьшение уровня ненасыщенных компонентов и относительного содержания арахидоновой кислоты в ФХ и ФА) мембраны эритроцитов, увеличение вязкости ее липидного бислоя, дезорганизация поверхностной архитектоники эритроцитов [39]. Однотипные признаки нарушения состава липидов мембраны эритроцитов были выявлены у пациентов с острой пневмонией и сахарным диабетом первого типа [26, 27]. У крыс с моделями ишемии головного мозга, инфаркта миокарда и артериальной гипертензии патологическая модификация формы эритроцитов сопровождалась снижением общего количества ФЛ в эритроцитарных мембранах, а также избыточным накоплением лизофосфолипидов и снижением доли ФХ [12]. Повышенную концентрацию ЛФХ регистрировали в эритроцитах детей с синдромом увеличенной вилочковой железы [29]. Хроническое поступление в организм животных и человека этанола, обладающего флюидизирующим действием по отношению к биомембранам, приводит к увеличению содержания холестерина и уменьшению количества ненасыщенных жирных кислот в липидах мембран эритроцитов и других клеток, что позволяет повысить толерантность мембран к действию этанола [21]. У больных хроническим алкоголизмом наблюдается увеличение соотношения холестерин/фосфолипиды в мембранах эритроцитов, даже если у пациентов был нормальный объем эритроцитов и минимальные изменения функциональных тестов печени [21]. Признаки дезорганизации фосфолипидного спектра мембраны эритроцитов (увеличение содержания холестерина, ЛФХ, СМ, ФС при одновременном снижении уровня ФХ и ФА) обнаруживали и при экспериментальных метгемоглобинемиях [32, 33]. Параллельно доказательства возрастания микровязкости липидного матрикса мембраны были получены путем измерения коэффициента эксимеризации пирена. Показано, что изменения структуры мемб-

раны сопровождалась отчетливым угнетением активности Na^+ , K^+ -АТФазы. Даже однократное введение химических токсикантов (бензапирена и полихлорбифенилов) мышам приводило к модификации липидной фазы мембраны эритроцита [55]. Присутствие химических токсикантов (черного щелока) в питьевой воде в малых дозах способствовало также нарушению существующей в норме взаимосвязи между способностью липидов к окислению и структурным состоянием мембраны эритроцитов [59]. Неспецифические изменения структурных и функциональных свойств мембраны эритроцитов были выявлены при хроническом бронхите, язвенной болезни желудка, шизофрении, невротических расстройствах и др. [39].

Однонаправленные изменения мембраны эритроцитов при патологиях разного генеза правильнее рассматривать с позиции биологической целесообразности эволюционно закрепленной универсальности реагирования плазматических мембран на разнообразные патологические воздействия. Существование типовой реакции предполагает меньшую степень варьирования биологического ответа на действие патогенных факторов [39]. Полагают, что воздействие на клетки тканей и органов разных повреждающих факторов вызывает запуск универсального ответа вследствие действия сходных молекулярных механизмов, к числу которых относятся, прежде всего, интенсификация ПОЛ, активация эндогенных фосфолипаз и протеаз, снижение активности системы антиоксидантной защиты клетки. Однако независимо от причины интенсификации ПОЛ изменение скорости окисления взаимосвязано с уменьшением количества биоантиоксидантов и изменениями в составе ФЛ мембран [5] за счет как более быстрой деградации окисленных липидов, так и ускорения реакций переноса липидов переносимыми их белками. При этом роль ФЛ в процессах окисления многофункциональна, поскольку, с одной стороны, они сами являются субстратами окисления, с другой стороны – ФЛ способны тормозить окислительные процессы, выступая в качестве антиоксидантов и их синергистов [22, 45]. Активация ПОЛ затрагивает важнейшие физико-химические свойства мембран – проницаемость, вязкость, фазовое состояние [5, 6, 60]. Очевидно, что развитие

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

Галине Яковлевне Елькиной с присуждением ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по специальности 06.01.04. – агрохимия. Защита диссертационной работы «Эколого-агрохимические особенности минерального питания и продуктивность сельскохозяйственных культур на подзолистых почвах европейского Северо-Востока» состоялась в конце 2006 г. в Перми (диссертационный совет ДМ 220.054.02 при Пермской государственной сельскохозяйственной академии имени акад. Д.Н. Прянишникова).

Поздравляем от всей души и желаем новых творческих успехов!



различных патологических процессов и состояний сопровождается молекулярными изменениями плазматических мембран клеток, являющихся как непосредственной мишенью патогенных факторов, так и вовлеченных в патологический процесс в связи с инициацией универсальных механизмов повреждения клетки. При этом наиболее уязвимыми являются мембраны эритроцитов, а также клеток эндотелия артерий и капилляров, поскольку в их составе много легкоокисляемых фосфолипидов и одновременно они контактируют с относительно высокими концентрациями кислорода.

Процессы ПОЛ играют ведущую роль в развитии радиационного поражения [4, 7, 28, 47, 53], причем интенсивность этих процессов возрастает в обратной зависимости от дозы облучения и ее мощности, что показано в многочисленных экспериментах *in vitro* и *in vivo* [3, 4, 43, 57, 65]. Существуют экспериментальные данные, свидетельствующие о модификации липидов мембран эритроцитов вследствие воздействия ионизирующего облучения [37, 40]. Так, резкое снижение ФХ с одновременным повышением доли ЛФХ, СМ и ФИ наблюдали в мембранах эритроцитов крыс после однократного облучения в дозе 3.0 Гр [20]. Полученные авторами данные свидетельствуют о том, что реорганизация липидной фазы мембран под действием облучения непосредственно влечет за собой повышение проницаемости липидного бислоя для катионов, одной из причин которой могут быть сдвиги во фракционном составе мембранных ФЛ. Изменение вязкости фосфолипидного бислоя, состава ФЛ и антиокислительной активности липидов мембран эритроцитов крови мышей обнаруживали и в эксперименте при действии на животных хронического низкоинтенсивного гамма-облучения в малых дозах [43, 50, 59]. Интересно, что именно в эритроцитах крови, имеющих самый низкий уровень антиокислительной активности липидов, длительное низкоинтенсивное облучение приводит к наиболее значительным изменениям в составе ФЛ по сравнению с другими изученными тканями (печенью, головным мозгом, селезенкой). Нарушения эритропоэза, изменение заряда поверхности эритроцитов периферической крови наблюдали даже в отдаленные сроки после облучения крыс и собак в дозах 0.001-0.010 Гр [17]. Аномальные формы эритроцитов, возникшие, по всей видимости, в результате физико-химических нарушений клеточных мембран, обнаруживали у полевок-экономок, отловленных на участках с повышенным уровнем естественной радиоактивности [30] и в аварийной зоне Чернобыльской АЭС [31]. Хотя зрелые эритроциты считаются радиорезистентными клетками, при воздействии радиации в низких дозах они могут изменяться в результате повреждения их предшественников в системе гемопоэза [17]. Вместе с тем молекулярные механизмы структурных изменений мембран эритроцитов при действии малых доз ионизирующей радиации изучены недостаточно [42], что обуславливает актуальность дальнейших исследований в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алесенко А.В. Функциональная роль сфингозина в индукции пролиферации и гибели клеток // Биохимия, 1998. Т. 63, вып. 1. С. 75-82.
2. Андreyк Г.М., Кисель М.А. Превращение гемоглобина в гемихром под действием лизофосфолипидов // Биохимия, 1999. Т. 64, вып. 8. С. 1034-1042.
3. Барабой В.А. Чернобыль: десять лет спустя. Медицинские последствия радиационных катастроф // Под ред. Д.М. Гродзинского. Киев, 1996. 187с.
4. Биоантиоксиданты в лучевом поражении и злокачественном росте / Е.Б. Бурлакова, А.В. Алесенко, Е.М. Молочкина и др. М.: Наука, 1975. 214 с.
5. Бурлакова Е.Б. Молекулярные механизмы действия антиоксидантов при лечении сердечно-сосудистых заболеваний // Кардиология, 1980. № 8. С. 48-52.
6. Владимиров Ю.А. Роль нарушений свойств липидного слоя мембран в развитии патологических процессов // Патол. физиол. и эксперим. терапия, 1989. № 4. С. 7-19.
7. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с.
8. Влияние изучения He-Ne лазера на липиды тромбоцитов / В.А. Трофимов, Р.Е. Киселева, А.П. Власов и др. // Бюл. эксперим. биол. мед., 1999. Т. 127, № 1. С. 43-45.
9. Влияние сфингозина на Ca²⁺-ответы клеток линии HL-60 / Е.И. Осташкин, Ю.Б. Беспалова, И.М. Молотковская и др. // ДАН, 2000. Т. 371, № 3. С. 406-409.
10. Влияние экстракта манжетки обыкновенной на структурно-функциональное состояние мембран эритроцитов на модели артериальной гипертензии / М.Б. Плотников, О.И. Алиев, В.Ю. Андреева и др. // Бюл. эксперим. биол. мед., 2006. Т. 141, № 6. С. 656-659.
11. Выброс клеточного ядра из эритроцитов голубя и состояние мембранных липидов при воздействии пероксидом водорода / А.А. Девяткин, В.В. Ревин, М.А. Юданов и др. // Бюл. эксперим. биол. мед., 2006. Т. 141, № 2. С. 225-228.
12. Гемореологическая и церебропротекторная активность экстрактов эдистероидсодержащих растений и разработка на их основе новых препаратов / М.Б. Плотников, О.И. Алиев, А.С. Васильев и др. // Химия и технология растительных веществ: Матер. конф. Сыктывкар, 2006. С. 269.
13. Геннис Р. Биомембраны: молекулярная структура и функции. М.: Мир, 1997. 624 с.
14. Грибанов Г.А. Особенности структуры и биологическая роль лизофосфолипидов // Вопр. мед. химии, 1991. Т. 37, № 4. С. 2-16.
15. Данилова Р.И. Физиологические особенности липидного обмена у жителей европейского севера СССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1986. 16 с.
16. Дятловицкая Э.В. Сфинголипиды и злокачественный рост // Биохимия, 1995. Т. 60. С. 843-850.
17. Жербин Е.А., Чухлович А.Б. Радиационная гематология. М.: Медицина, 1989. 175 с.
18. Изменение активности сфингомиелиназы. Содержания фактора некроза опухоли-альфа и интенсивности перекисидного окисления липидов в

- динамике развития холестатического повреждения печени / *Л.Б. Дудник, А.Н. Цюпко, Л.Н. Шингарова* и др. // Изв. РАН, 2005. Сер. Биологическая. № 6. С. 650-658.
19. Изменение микровязкости мембран лимфоцитов и эритроцитов крови у онкологических больных / *И.А. Горошинская, Л.Ю. Голотина, Е.И. Горло* и др. // Вопр. мед. химии, 1999. Т. 45, № 1. С. 53-57.
20. Изменения структурно-функциональных свойств мембран эритроцитов под влиянием ионизирующей радиации / *С.А. Баджиян, П.А. Казарян, С.Э. Акаев* и др. // Радиационная биол. Радиоэкол., 1995. Т. 35, вып. 3. С. 364-369.
21. Изменения физико-химических свойств биологических мембран при развитии толерантности к этанолу / *С.А. Сторожок, Л.Ф. Панченко, Ю.Д. Филиппович* и др. // Вопр. мед. химии, 2001. Т. 47, № 2. С. 198-208.
22. Ингибирующее действие смесей фенольных антиоксидантов и фосфатидилхолина / *Е.Б. Бурлакова, Л.И. Мазалецкая, Н.И. Шелудченко* и др. // Изв. РАН, 1995. Сер. Химическая. № 6. С. 1053-1059.
23. *Климов А.Н., Никульчева Н.Г.* Липиды, липопротеиды и атеросклероз. СПб., 1995. 298 с.
24. Клинический патоморфоз эритроцита: Атлас / *В.В. Новицкий, Н.В. Рязанцева, Е.А. Степовая* и др. Томск, 2003. 208 с.
25. *Коломийцева И.К.* Радиационная биохимия мембранных липидов. М.: Наука, 1989. 181 с.
26. *Колосова М.В.* Структурно-метаболический статус эритроцитов и механизмы нарушения периферического звена эритрона у детей с острой пневмонией и в период реконвалесценции: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Томск, 1991. 16 с.
27. *Колосова М.В., Новицкий В.В., Степовая Е.А.* Состав липидов мембран эритроцитов и их биофизические характеристики у детей с инсулинзависимым сахарным диабетом в процессе терапии // Клиническая лаб. диагностика, 2001. № 1. С. 10-12.
28. *Кудряшов Ю.Б.* О биофизических механизмах лучевой патологии // Механизмы лучевой патологии. М.: МГУ, 1984. С. 5-15.
29. Липидный и фосфолипидный спектр сыворотки крови и мембран клеток у детей с синдромом увеличенной вилочковой железы / *П.Д. Ваганов, В.Я. Арион, А.В. Полищук* и др. // Мед. науч. учебно-метод. журн., 2004. № 21. С. 3-19.
30. *Маслова К.И.* Радиочувствительность таежных грызунов и возможность их приспособления к действию ионизирующей радиации как радиологическому фактору среды. Сыктывкар, 1978. 23 с. – (Сер. Науч. докл. / Коми фил. АН СССР; Вып. 40).
31. *Материй Л.Д., Ермакова О.В.* Гистоморфологические критерии оценки радиоактивного загрязнения среды. Сыктывкар, 1993. 24 с. – (Сер. Науч. докл. / Коми НЦ УрО РАН; Вып. 312).
32. Механизмы повреждения эритроцитов при токсическом действии метгемоглобинообразователей / *О.Н. Филиппова, И.А. Шперлинг, О.А. Рогов* и др. // Бюл. сиб. мед., 2006. № 1. С. 32-37.
33. Механизмы развития гемолитической анемии при экспериментальных метгемоглобинемиях / *В.В. Новицкий, Н.В. Рязанцева, И.А. Шперлинг* и др. // Бюл. эксперим. биол. мед., 2006. Т. 142, № 11. С. 509-513.
34. *Мецлер Д.* Биохимия. М.: Мир, 1980. Т. 2. 591 с.
35. *Милейковская Е., Жанг М., Доухан В.* Роль кардиолипина в энергозапасующих мембранах // Биохимия, 2005. Т. 70, вып. 2. С. 191-196.
36. Миоинозит и фосфоинозитиды / *В.И. Швец, А.И. Степанов, В.Н. Крылова* и др. М.: Наука, 1987. 248 с.
37. *Михайлов В.Ф., Тараканова М.П.* Повреждение мембран эритроцитов при действии ионизирующей радиации // Бюл. эксперим. биол. мед., 1980. Т. 90, № 9. С. 257-284.
38. Модификация активности протеинкиназы С лигандами в сверхмалых концентрациях / *Н.П. Пальмина, Е.Л. Мальцева, Е.И. Пынзарь* и др. // Российский хим. журнал, 1999. Т. 43. № 5. С. 55-63.
39. Молекулярные нарушения мембраны эритроцитов при патологии разного генеза являются типовой реакцией организма: контуры проблемы / *В.В. Новицкий, Н.В. Рязанцева, Е.А. Степовая* и др. // Бюл. сиб. мед., 2006. № 2. С. 62-69.
40. *Новицкий В.В., Рязанцева Н.В., Степовая Е.А.* Физиология и патофизиология эритроцита. Томск, 2004. 202 с.
41. Особенности влияния дипальмитоилфосфатидилхолина и его структурных фрагментов на перекисное окисление липидов биологических мембран / *Е.Б. Бурлакова, С.А. Аристархова, Л.В. Федорова* и др. // Биол. науки, 1991. № 9 (333). С. 21-27.
42. Поверхностные изменения мембран эритроцитов в поле действия ионизирующей радиации в малых дозах / *В.В. Журнов, А.С. Казимиров, С.В. Хижняк* и др. // Тезисы докладов V съезда по радиационным исследованиям. М., 2006. Т. 1. С. 147.
43. *Полякова Н.В., Шишкина Л.Н.* Воздействие γ -радиации разной мощности на процессы перекисного окисления липидов в тканях мышей // Радиационная биол. Радиоэкол., 1995. Т. 35, вып. 2. С. 181-188.
44. *Постнов Ю.В., Орлов С.Н.* Первичная гипертензия как патология клеточных мембран М.: Медицина, 1987. 192 с.
45. Регуляторная роль взаимосвязи изменений в концентрации антиоксидантов в составе липидов клеточных мембран / *С.А. Аристархова, Е.Б. Бурлакова, В.О. Гвахария* и др. // ДАН СССР, 1976. Т. 228, № 1. С. 215-218.
46. Репарация липидного бислоя мембран при окислительном стрессе: реакелирование фосфатидилэтаноламина в мембранах синапсом, фоторецепторов и эритроцитов / *В.А. Тюрин, А. Ардуни, Ю.Ю. Тюрин* и др. // Журн. эволюц. биохим. физиол., 1996. Т. 32, № 3. С. 248-255.
47. *Серкиз Я.И.* Особенности биологических эффектов радиации низких интенсивностей // Тезисы докладов I Всесоюзного радиобиологического съезда. Москва-Пушино, 1989. Т. 4. С. 853-854.
48. *Степанов Е.А., Краснопольский Ю.М., Швец В.И.* Физиологически активные липиды. М.: Наука, 1991. 136 с.
49. Структура и функция эритроцитов в норме и патологии / Под ред. *М.И. Лосевой* // Новосибирск, 1988. 102 с. – (Науч. тр. Новосибирского мединститута; Т. 131).
50. Структурные и биохимические показатели элементов крови мышей после γ -облучения в малых дозах разной интенсивности / *М.А. Смотряев*

ва, К.Е. Круглякова, Л.Н. Шишкина и др. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1996. Т. 36, вып. 1. С. 21-29.

51. Стручков В.А., Стражевская Н.Б. Структурные и функциональные аспекты ядерных липидов нормальных и опухолевых клеток // Биохимия, 2000. Т. 65, вып. 5. С. 620-643.

52. Сфинголипиды и клеточная сигнализация: участие в апоптозе и атерогенезе / О.М. Ипатова, Т.И. Торховская, Т.С. Захарова и др. // Биохимия, 2006. Т. 71, вып. 7. С. 882-893.

53. Тарусов Б.Н. Основы биологического действия радиоактивных излучений М.: Медгиз, 1954. 140 с.

54. Текучесть мембраны в биологии: концепция мембранной структуры / Под ред. Р. Элоя. Киев: Наукова думка, 1989. 313 с.

55. Урнышева В.В. Роль параметров системы регуляции перекисного окисления липидов в формировании биологических последствий воздействия неблагоприятных экологических факторов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 24 с.

56. Финагин Л.К. Обмен холестерина и его регуляция. Киев, 1980. 166 с.

57. Чаяло П.П., Береза В.Я., Чоботько Г.М. Свободнорадикальные процессы и антиоксидантные системы крови в отдаленные сроки после острой лучевой болезни // Мед. радиология, 1991. Т. 36, № 5. С. 20-21.

58. Черницкий Е.А., Воробей Е.В. Структура и функции эритроцитарных мембран. Минск: Наука и техника, 1981. С. 23-56.

59. Шишкина Л.Н. Особенности функционирования физико-химической системы регуляции перекисного окисления липидов в биологических объектах разной степени сложности в норме и при действии повреждающих факторов: Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М., 2003. 45 с.

60. Bioactive phospholipid oxidation products / W.K. Marathe, K.A. Harrison, R.C. Murphy et al. // Free Radical Biol. Med., 2000. Vol. 28, № 28. P. 1762-1770.

61. Nishizura Y. Turnover of inositol phospholipids and signal transduction // Science, 1986. Vol. 233. P. 305-312.

62. Oxidative signaling pathway for externalization of plasma membrane phosphatidylserine during apoptosis / V.E. Kagan, J.P. Fabisiak, A.A. Shvedova et al. // FEBS Letters, 2000. Vol. 477. P. 1-7.

63. Regulation of allosteric membrane-bound enzymes through changes in membrane lipid composition / R.N. Farias, R.D. Morer, F. Sineriz et al. // Biochem. Biophys. Acta, 1975. Vol. 415, № 2. P. 235-251.

64. Subbanagounder G., Watson A.D., Berliner J.A. Bioactive products of phospholipid oxidation: isolation, identification, measurement and activities // Free Radical Biol. Med., 2000. Vol. 28, № 12. P. 1751-1761.

65. Wolter U., Konings A.W.T. Membrane involment in radiation-induced death // Intrn. Radiat. Biol., 1984. Vol. 45. № 6. P. 657-658. ❖



ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ ПОЧВ, ЗАКРЕПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В НИХ И ИЗМЕНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОСТУПНОСТИ

к.б.н. И. Шуктомова

с.н.с. лаборатории миграции радионуклидов и радиохимии
E-mail: shuktomova@ib.komisc.ru, тел. (8212) 43 63 01

Научные интересы: радиозэкология, радиохимия

Решение задачи минимизации дозовых воздействий на человека требует проведения в загрязненных районах мероприятий, позволяющих эффективно уменьшать содержание радионуклидов, в первую очередь, в продукции сельского хозяйства. Для достижения этой цели существуют два традиционных подхода [25]. Первый из них заключается в снижении валового содержания радионуклидов в почве путем ее очистки, второй – в уменьшении подвижности и биологической доступности радионуклидов посредством рационального применения средств химизации, подбора способов обработки почвы, видов и сортов растений с минимальным выносом радионуклидов.

Для очистки почв и грунтов от радионуклидов часто применяется эккавация загрязненного слоя с последующей его экстракционной обработкой [22, 24, 32, 40], разрабатываются

технологии с использованием процессов флотации, центрифугирования, разделения на воздушном циклоне и высокоградиентной магнитной системе [9], бактериального выщелачивания [20], электрокинетических методов [10, 19, 24], геотехнологических способов [13], выделения радиоэлементов в составе мелкодисперсных фракций различной плотности [21, 26]. Однако, как правило, очистка почв от радионуклидов является крайне трудоемкой и весьма дорогой. При этом зачастую в результате ее проведения теряется почвенное плодородие, уровень которого, в свою очередь, является одним из основных факторов, определяющих накопление радиоактивных элементов в сельхозкультурах [5].

Более рациональными считаются меры, направленные на снижение подвижности и биологического поглощения радионуклидов при одновременном повышении урожайности,

улучшении качества продукции и увеличении плодородия почв [2, 23]. Уменьшение концентрации радиоактивных элементов в растениях, достигаемое путем применения удобрений, обусловлено активацией конкурирующего действия неизотопных носителей, снижением кислотности почвы, изменением соотношения между отдельными фракциями гумусовых кислот [28, 29]. Подавляющая часть исследований, проведенных в этом направлении, выполнена в условиях загрязнения искусственными радионуклидами [1, 2, 8, 15, 18, 28, 29, 35]. По оценкам Р.М. Алексахина [1], внесение минеральных удобрений способно обеспечить снижение концентрации радиоцезия в продукции растениеводства до трех-пяти раз. Значительные возможности предоставляют специальные виды механической обработки почвы (глубокая вспашка с оборотом пласта, чизелевание и др.) [2, 15].

Так, глубокая вспашка с одновременным внесением фосфора, калия и извести позволяет снизить до пяти раз переход радионуклидов стронция и цезия в растения [1]. Поскольку межвидовые и межсортовые колебания в концентрации цезия у разных сельскохозяйственных культур варьируют от 1.5 до 60 раз [2], то для указанных целей крайне эффективен подбор сортов и видов растений, характеризующихся минимальной аккумуляцией радионуклидов.

Наряду с упомянутыми выше мероприятиями, разрабатываются и применяются средства, ведущие к снижению биологической доступности радионуклидов за счет их селективной иммобилизации в почве. В частности, существуют данные, свидетельствующие об изменении подвижности радионуклидов в системе «почва–растение» при обработке грунтов антидефляционными композициями [25, 37, 41]. Л. Дж. Апплби с соавторами [25] указывает на возможность временной фиксации цезия и стронция путем внесения в почву производных полиакрила и карбоксиметилцеллюлозы. Выявлено, что подвижность радионуклидов снижается при обработке почв водными растворами полиэлектролитов и битума [37].

Хорошо известно, что почвы и сами способны иммобилизовывать радионуклиды за счет присутствия им сорбционной емкости. Целенаправленно изменяя поглощательную способность почв, можно достичь эффективного уменьшения доли подвижных форм и биодоступности радионуклидов в ней. Отчасти именно на этом эффекте основано действие известкования, в результате которого подщелачивается почвенный раствор и появляются дополнительные возможности для образования коллоидных гидроксидов, обладающих прекрасными поглощательными свойствами. По данным J.S. Arey с соавторами [39], иммобилизующая способность гидроксиапатита в сильнозагрязненных ураном почвах основана на включении высоколабильных фракций радионуклида в фазу алюможелезистых фосфатов. Биосорбенты на основе мицелия *Penicillium chrysogenum* способны снижать количество урана в водных средах до допустимых пределов за счет связывания радионуклида в сложные комплексы микробными метаболитами и за счет физико-химического взаимодействия с составными частями клетки [12].

Как показывает анализ данных литературы, одним из наиболее эффективных способов изменения подвижности и биологической доступности радионуклидов является внесение в почву дополнительных количеств сорбентов, способных, с одной стороны, прочно удерживать или фиксировать радионуклиды, а с другой – улучшать структуру почвы, ее плодородие. Сведения относительно эффективности этого приема немногочисленны и преимущественно касаются сред, загрязненных искусственными радионуклидами. Существенное снижение подвижности и биологической доступности радионуклидов при внесении в почву материалов, обладающих поглощательными свойствами, обнаружено в нескольких исследованиях [4, 11, 30, 31, 38, 43]. В натуральных экспериментах А.Е. Османлиоглу [42] установлено, что использование смеси «бентонит–почва» в весовом соотношении 95 и 5 % позволяет в 10 раз снизить миграцию урана в загрязненной почве. Наряду с этим, существует мнение о неоднозначном действии сорбентов [27]. П.Ф. Бондарь [7], основываясь на теоретических расчетах, отрицает их роль как высокоэффективного средства закрепления радионуклидов в почве. В целом же, результаты экспериментальных данных свидетельствуют о действенности этого приема. Так, по оценкам Н.А. Бакунова с соавторами [4], применение глин, цеолитов, слюд на супесчаных разновидностях дерново-подзолистой почвы ведет к уменьшению доли обменного цезия от двух до 17 раз. Внесение навоза, извести и цеолитового туфа, согласно некоторым данным [11, 30], сопровождается повышением величин коэффициентов распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs между твердой и жидкой фазами почвы. Показано [31], что путем обработки почвы селективными природными сорбентами – алюмосиликатами (каолинит, клиноптилолит, морденит) в соотношении 10:1 удается в четыре-пять раз снизить переход радиоизотопов стронция в биомассу. Исследования Ю.И. Тарасевича [33] указывают на перспективность использования глауконита в процессах поглощения радионуклидов из почвы. Внесение в почву сорбентов-алюмосиликатов позволяет повысить емкость катионного обмена, вызывает подщелачивание почвенного раствора, что способствует уменьшению подвижности большинства радионуклидов в загрязненных поч-

вах. По снижению поступления радионуклидов из торфяной почвы в растения получен ряд: цеолит > тяжелая глина > бентонит > биотит > апатит [43].

Технический гидролизный лигнин (ТГЛ) относится к числу наиболее крупных отходов гидролизного производства и составляет 30-40 % массы перерабатываемого сырья. Благодаря развитой пористой структуре лигнин обладает ярко выраженными сорбционными свойствами. Отмечена способность технических гидролизных лигнинов сорбировать пары воды, органических растворителей, фенолов [14]. По величине удельной поверхности лигнин лишь немного уступает известным адсорбентам бентониту и активированному углю [36]. Предполагают, что этому способствует пространственная структура полимера с химически модифицированной поверхностью. Полученные модификацией лигнина сорбенты способны как к ионообменной сорбции, так и к молекулярной адсорбции и поглощению коллоидов. Их сорбционная способность зависит от вида сырья и способа обработки. В статических условиях катионообменная емкость гидролизных лигнинов достигает 3-4 мг-экв./г, в динамических – 1.5 мг-экв./г. Ионообменные свойства сильно зависят от pH раствора и обусловлены присутствием в структуре лигнина карбоксильных и фенольных групп [6, 14, 16]. Полимолекулы гидролизного лигнина способны подвергаться окислительно-гидролитическому расщеплению. Поскольку несмотря на жесткую кислотную обработку в них присутствует значительное число реакционноспособных этерифицированных фенольных и алифатических гидроксильных групп, незамещенные водороды фенилпропановых единиц, то лигнин легко взаимодействует с электрофильными агентами с введением в молекулу дополнительных ионогенных групп, а также подвергается окислительно-гидролитическому расщеплению в кислой и щелочной средах. Наличие в структуре лигнина значительного числа гидроксильных и простых эфирных групп определяет его способность к хелатированию с образованием внутримолекулярных водородных связей [14].

Некоторые исследователи [34] предлагают использовать активированный гидролизный лигнин для очистки природных и сточных вод от радионуклидов. Как прямые, так и косвенные данные указывают на перспективность использования лиг-

нина в качестве дезактивирующего материала, способного к прочному поглощению из водных сред тяжелых естественных радионуклидов. Так, П.Ф. Андреев с соавторами [3] сообщает о практически полном извлечении лигнином урана из растворов нитрата уранила с концентрацией 0.01 г/дм³ в широком диапазоне кислотно-щелочных условий. При этом выдвинуто предположение о поглощении радионуклида по механизмам ионного обмена и образования комплексов оксониевого типа. Высокая селективность сорбции лигнином церия, проявляющего близкие к урану и торью свойства [16], и исключительная стабильность хелатов урана с гумифицированными продуктами природного лигнина [17, 44, 45] также косвенно свидетельствуют о родстве лигниновых структур к указанным элементам.

Таким образом, анализ данной литературы свидетельствует об эффективности сорбентов для закрепления радионуклидов в почвах и одновременно выявляет недостаточную исследованность этого вопроса, особенно в отношении естественных радионуклидов. Между тем известно, что роль сорбционных процессов как фактора, контролирующего содержание естественных радионуклидов в почвенных фазах, велика. В условиях растущего загрязнения биосферы радиоактивными элементами природного происхождения актуальность исследований, связанных с процессами их трансформации при внесении в почву сорбентов, не вызывает сомнений. Выбор наиболее перспективных поглощающих материалов с учетом многообразия существующих в природных растворах форм естественных радионуклидов чрезвычайно сложен. На наш взгляд, применительно к почвам, загрязненным ураном, радием и торием, рядом преимуществ обладают сорбенты на основе растительной ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексахин Р.М.* Чернобыльская катастрофа и агропромышленное производство // *Аграрная наука*, 1996. № 3. С. 5-7.
2. *Алексахин Р.М., Фесенко С.В., Санжарова Н.И.* Основные итоги работ в области сельскохозяйственной радиэкологии по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986-2001 гг. (к 15-й годовщине аварии) // *Радиац. биол. Радиозкол.*, 2001. Т. 41, вып. 3. С. 313-325.
3. *Андреев П.Ф., Андреева И.В., Рогозина Э.М.* Взаимодействие солей

уранила с компонентами растительной ткани и некоторыми ее производными // *Геохимия*, 1962. № 4. С. 313-317.

4. *Бакунов Н.А., Юдинцева Е.В.* К вопросу о снижении накопления ¹³⁷Cs в растениях при обогащении почв природными сорбентами // *Агрохимия*, 1989. № 6. С. 90-96.

5. *Белоус Н.М.* Воспроизводство плодородия и реабилитация радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада России: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. М., 2000. 51 с.

6. *Беляев Е.Ю., Беляева Л.Е.* Использование растительного сырья в решении проблем защиты окружающей среды // *Химия в интересах устойчивого развития*, 2000. № 8. С. 763-772.

7. *Бондарь П.Ф.* Об оценке эффективности сорбентов как средства закрепления радионуклидов в почвах // *Радиац. биол. Радиозкол.*, 1998. Т. 38, вып. 2. С. 267-272.

8. *Бондарь П.Ф., Дутов А.И.* Оценка эффективности калийных удобрений как средства снижения загрязнения урожая цезием // *Проблемы сельскохозяйственной радиологии*. Киев, 1993. Вып. 3. С. 69-82.

9. *Васильев А.Н., Мартыненко А.И.* Современные подходы к решению проблем загрязнения почв тяжелыми металлами: обзор // *Экотехнология и ресурсосбережение*, 2000. № 5. С. 47-53.

10. Детоксикация почвы электрохимической деминерализацией межпочвенного раствора / *Л.Л. Лысенко, М.И. Пономарев, Б.Ю. Корнилович* и др. // *Химия и технология воды*, 2001. Т. 23, № 5. С. 520-530.

11. *Ибрагимов К.Ш., Соколова С.А., Полова Е.И.* Влияние навоза, извести, цеолита на поступление ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr в растения на примере супесчаной дерново-подзолистой почвы // *Бюл. ВНИИ удобрений и агропочвоведения*, 2001. № 115. С. 129-130.

12. *Илялетдинов А.М.* Микробиологические превращения металлов. Алма-Ата: Наука, 1984. 268 с.

13. Использование геотехнологических способов реабилитации (дезактивации) загрязненных территорий / *В.В. Шаталов, М.И. Фазлуллин, А.В. Комаров* и др. // *Известия Академии промышленной экологии*, 1999. № 2. С. 81-84.

14. Комплексное использование сырья и отходов / *Б.М. Равич, В.П. Окладников, В.Н. Лыгачи* и др. М.: Химия, 1988. С. 7-55.

15. *Корнеев Н.А.* Радиационная авария на южном Урале и проблемы

сельского хозяйства // *Вестн. РАСХН*, 1996. № 4. С. 11-13.

16. *Кузнецов Ю.В., Шebetковский В.Н., Трусов А.Г.* Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений. М.: Атомиздат, 1974. 360 с.

17. *Манская С.М., Кодина Л.А.* Геохимия лигнина. М.: Наука, 1975. 232 с.

18. *Моисеев И.Т., Тихомиров Ф.А.* Влияние удобрений и их сочетаний на переход цезия-137 из почвы в урожай / *Радиобиология, радиэкология, радиационная безопасность*: Тез. докл. III съезда по радиационным исследованиям. Пущино, 1997. Т. 2. С. 460.

19. *Наумова В.И.* Хроника Московского семинара по радиохимии // *Радиохимия*, 2001. Т. 43, № 1. С. 96.

20. *Никовская Г.Н., Ульберг З.Р., Коваль Л.А.* Коллоидно-химические процессы в биотехнологии извлечения тяжелых металлов из почвы // *Коллоидный журн.*, 2001. Т. 63, № 6. С. 820-824.

21. *Огульник П.Г., Лагузин Е.А., Смирнов А.Ю.* Современные технологии для реабилитации загрязненных территорий // *Изв. Акад. пром. экологии*, 1999. № 2. С. 76-81.

22. Опытная технология дезактивации грунтов, загрязненных радионуклидами ⁹⁰Sr / *Д.Э. Чиркст, Т.Е. Литвинова, О.В. Черемисина* и др. // *Радиохимия*, 2001. Т. 43, № 5. С. 475-478.

23. Поведение радионуклидов в системе почва-растение и ведение растениеводства на подвергшихся радиоактивному загрязнению территориях / *Р.М. Алексахин, А.Н. Ратников, Н.И. Санжарова* и др. // *Вестн. РАСХН*, 1996. № 4. С. 17-19.

24. *Прозоров Л.Б., Комарова Н.И., Молчанова Т.В.* Очистка загрязненных глинистых грунтов от цезия-137 // *Изв. Акад. пром. экологии*, 1999. № 2. С. 84-86.

25. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде / *Л.Дж. Апплби, Л. Девелл, Ю.К. Мишра* и др. // *Радиэкология после Чернобыля*. М.: Мир, 1999. 512 с.

26. Разработка промышленной технологии реабилитации территорий, загрязненных радионуклидами в результате техногенной деятельности / *А.С. Поляков, Л.С. Рагинский, Н.А. Науменко* и др. // *Изв. Акад. пром. экологии*, 2000. № 3. С. 16-21.

27. *Ратников А.Н., Алексахин Р.М., Жигарева Т.Л.* Эффективность комплекса агромеиоративных мероприятий в снижении накопления ¹³⁷Cs в продуктах растениеводства в зоне аварии на ЧАЭС // *Агрохимия*, 1992. № 19. С. 112-116.

28. *Сальников В.Г., Моисеев И.Т., Тихомиров Ф.А.* Внесение соединений

кальция и органического вещества с целью снижения поступления ⁹⁰Sr в сельскохозяйственные растения / Основные проблемы охраны почв. М.: Изд-во МГУ, 1975. С. 136-140.

29. Сальников В.Г., Павлоцкая Ф.И., Моисеев И.Т. О связи ⁹⁰Sr с компонентами органического вещества почв при внесении извести и торфа и их роль в накоплении радиоизотопа растениями // Почвоведение, 1976. № 5. С. 87-99.

30. Санжарова Н.И., Абрамова О.Б., Кузнецов В.К. Использование мелиорантов для снижения подвижности радионуклидов в почвах // Материалы докладов III съезда Докучаевского общества почвоведов (Суздаль, июль 2000 г.). М., 2000. Кн. 2. С. 172-174.

31. Соболев В.А., Ткаченко В.И., Нижко В.Ф. Некоторые результаты использования органо-минеральных композиций для очистки загрязненных земель // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии: Матер. III науч.-техн. конф. Гродно, 1999. Ч. 2. С. 96-108.

32. Патент № 2152650, Россия МПК⁷ G21F9/00. Способ дезактивации грунтов от радионуклидов цезия // И.А. Соболев, Л.Б. Подоров, Н.И. Комаров и др.; Московское госпредприятие «Радон»; № 98118801/06; заявл. 13.10.1998 г.; опубли. 10.07.2000. Бюл. № 19.

33. Тарасевич Ю.А. Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев: Наукова думка, 1981. 231 с.

34. Технологии дезактивации радиационно-загрязненных водных систем с применением природных и искусственных сорбентов / А.Ф. Никуфоров, М.В. Смирнова, Л.Н. Еремина и др. // Радиационная безопасность Урала и Сибири: Матер. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 1997. С. 43-44.

35. Ткачук К.В., Довыденков С.В. Поступление радиоцезия в растения тимофеевки луговой из торфяной низинной почвы при возрастающих дозах азотных и калийных удобрений // Материалы докладов III съезда Докучаевского общества почвоведов (Суздаль, июль 2000 г.). М., 2000. Кн. 2. С. 182-183.

36. Федорова А.А., Синева А.В., Машкова Л.П. Адсорбция токсичных веществ на природных адсорбентах // Материалы докладов III съезда Докучаевского общества почвоведов (Суздаль, июль 2000 г.). М., 2000. Кн. 1. С. 312.

37. Фирсова Л.П. Влияние антидефляционных реагентов на подвижность ¹⁴⁴Ce в почвогрунтах // Радиохимия, 1999. Т. 41, № 3. С. 276-278.

38. Хрипкова Н.А. Агроэкологическая оценка эффективности использования цеолита и гумата калия в условиях радиоактивного загрязнения серых лесных почв Орловской области. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2002. 20 с.

39. Arey J. Samuel, Seaman J.C., Bertsch P.M. Immobilisation of uranium in contaminated sediments by hydroxy-

apatite addition // Environm. Sci. Technol., 1999. Vol. 33. P. 337-342.

40. Ebbs S.D., Norvell W.A., Kochian L.V. The effect of acidification and chelating agents on the solubilization of uranium from contaminated soil // J. Environm. Qual., 1998. Vol. 27, № 6. P. 1486-1494.

41. Musabekov K., Aidarova S., Achmetov E. Fixation of the radioactive contaminations of soil surface oit the Azgir range // Contaminated Soil 2000: Proc. VII Intrn.I Conf. on contaminated soil (Leipzig, September 18-22, 2000). London: Thomas Telford, 2000. Vol. 1. P. 405-406.

42. Osmanlioglu A.E. Effect of a bentonite/soil mixture as barrier for uranium ponds // The uranium production cycle and the environment: Proc. Intrn. Symp. (Vienna, 2-6 October, 2000). Vienna: IAEA, 2002. P. 543-544.

43. Paasikallio A. Effect of biotite, zeolite, heavy clay, bentonite and apatite in the uptake of radiocesium by grass from peat soil // Plant and Soil, 1999. Vol. 206, № 2. P. 213-222.

44. Szalay A. Accumulation of uranium and other trace metals in coal and organic shales and the role of humic acids in these geochemical enrichment // Arc. Miner. Geol., 1969. Vol. 5, № 3. P. 23-36.

45. Szalay A. Cation exchange properties of humic acids and their importance in the geochemical enrichment of UO₂²⁺ and other cations // Geochim. Cosmochim. Acta, 1964. Vol. 28, № 11. P. 1605-1614. ❖



СТАТЬИ



ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЗАПАСА РАДИЯ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОМ УЧАСТКЕ С ДЕРНОВО-ЛУГОВОЙ ПОЧВОЙ



Л. Носкова

вед. инженер лаборатории миграции радионуклидов и радиохимии
E-mail: lmn06@mail.ru
тел. (8212) 43 63 01

Научные интересы: радиозкология, миграция радионуклидов



к.б.н. И. Шуктомова

с.н.с. этой же лаборатории
E-mail: shuktomova@ib.komisc.ru

Научные интересы: радиозкология, радиохимия, миграция радионуклидов

Широкое использование ядерной энергетики, применение ионизирующих излучений в различных отраслях хозяйства, техногенное поступление естественных радионуклидов в окружающую среду приводят к загрязнению огромных территорий и накоплению значительных количеств высокотоксичных радиоактивных отходов. В целях контроля воздействия внешнего излу-

чения и инкорпорированных радионуклидов на человека необходимо проводить мониторинговые исследования радиационно-опасных территорий. Несмотря на возросший интерес к поллютантам искусственного происхождения в связи с событиями последних десятилетий [2], большое внимание в литературе уделяется исследованию загрязнений естественными радионуклидами [6, 11, 12, 14]. Эти

территории загрязнены в результате добычи и переработки урановых руд, а также действия радиевых заводов. В результате добычи радия из пластовых вод в Ухтинском районе Республики Коми радиационно-опасной оказалась территория пос. Водный и его окрестностей общей площадью 3 тыс. кв. км [1]. Одной из задач радиационного мониторинга является оценка количеств радионуклидов, попавших в природную среду от источника контаминации. Цель данной работы заключается в оценке динамики запаса радия на радиоактивном участке с дерново-луговой почвой, загрязненной в результате радиевого производства.

Исследуемый участок располагается в пойме рек Ухта и Чуть на высоте 2.5-3.0 м над урезом воды, почвообразующей породой являются аллювиальные отложения. Повышенный радиационный фон на участке возник в результате сброса на поверхность отработанных пластовых высокоминерализованных радиоактивных вод после добычи из них ^{226}Ra , вследствие чего концентрация радия в дерново-луговой почве повысилась до $n \cdot 10^1$ Бк/г [3]. Мощность экспозиционной дозы на поверхности колеблется от 0.1 до 7.5, в отдельных точках достигает 15 мкЗ/ч, на глубине 25-50 см – до 25 мкЗ/ч. В 1962 г. участок частично был дезактивирован насыпным методом (песчано-гравийной смесью). В 1981 и 2002 гг. были отобраны образцы почв с помощью почвенного бура по пикетной сети с шагом 10 м до глубины 1 м и заложено четыре почвенных разреза, в том числе и в дезактивированной части участка (табл. 1). Радий в пробах определяли эманионным методом [10]. Гранулометрический состав исследуемой почвы довольно однороден. В верх-

Таблица 1
Содержание ^{226}Ra в различных горизонтах почвенного разреза № 3 в дезактивированной части участка

Глубина, см	Горизонт	Удельная активность ^{226}Ra , Бк/г
γ-фон на поверхности 150 мкР/ч		
0-7	А _{дер.} супесь	1.22
7-11	Насыпной слой песчано-гравийной смеси	0.71
11-17	То же	0.82
17-21	Темно-коричневый рыхлый легкий суглинок с песчаными прослойками	15.10
21-26		18.50
26-34	Сухая плотная глина крупнокомковатой слоистой структуры	23.50
34-53		19.10
53-102	Коричневый средний суглинок крупнокомковатой структуры	0.38
102-154	Сырая плотная глина	0.10
154-182	Крупный песок, сланцы, окатанная галька	0.07

ней части профиля преобладают фракции мелкого песка, крупной пыли и физической глины, в нижней – мелкого песка [8]. О морфологической характеристике и радиоактивности почвы свидетельствует анализ почвенных разрезов, заложенных на участке в 2002 г. (рис. 1В), по строению они схожи.

Исследованиями установлено, что удельная активность радия в профиле дерново-луговой почвы варьирует от 0.01 до 80 Бк/г. Расчет содержания радия в образцах из почвенного разреза и шпуров указывает на то, что около 90 % запаса радия сосредоточено на глубине от 0 до 55 см, хотя местами достаточно высокие концентрации радионуклида встречаются и на большей глубине. Для количественной оценки запаса радия методом «кригинг» были построены интегрированные карты плотности

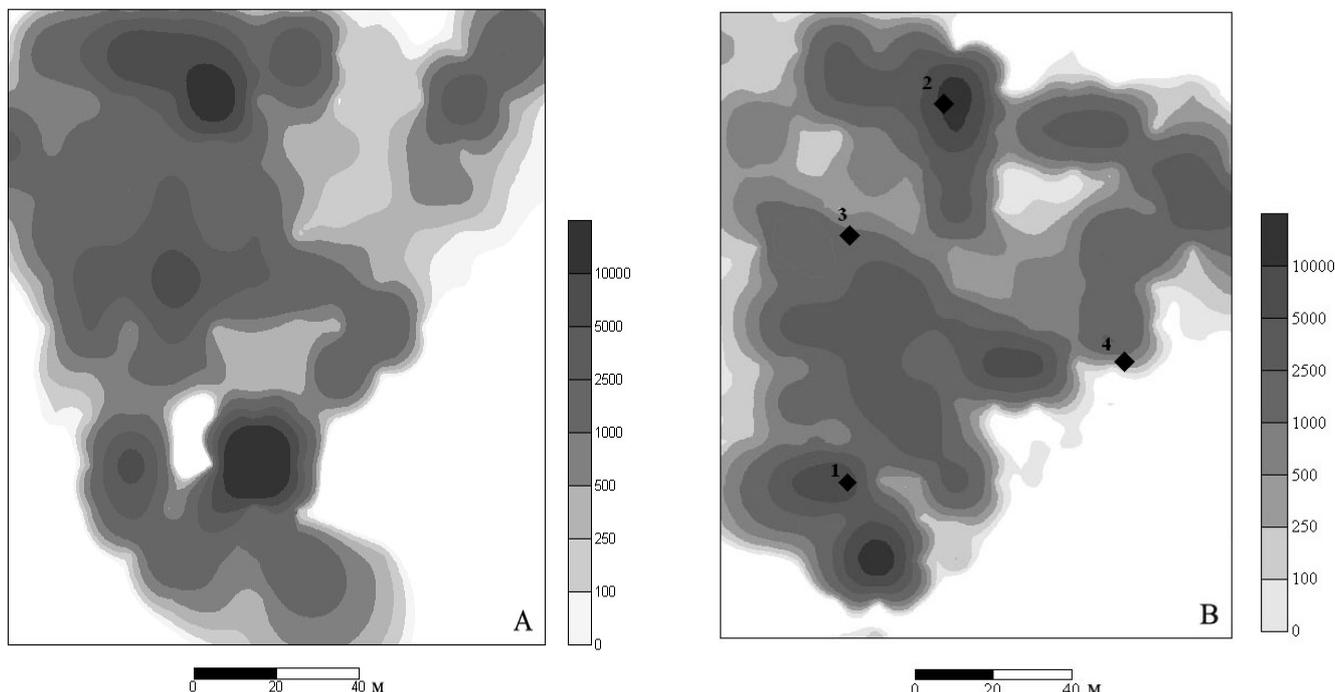


Рис. 1. Интегрированные карты-схемы плотности загрязнения участка ^{226}Ra в 1981 (А) и 2002 г. (В), кБк/м². Цифрами (1-4) обозначено расположение почвенных разрезов.

Таблица 2

Содержание ²²⁶Ra в 0-55-сантиметровом слое дерново-луговой почвы в 1981 (верхняя строка) и 2002 г. (нижняя строка)

Уровень загрязнения ²²⁶ Ra, кБк/м ²	Активность ²²⁶ Ra, кБк/м ²			Площадь, м ² (%)	Активность ²²⁶ Ra, Бк (%)
	x	S _r	n		
0-100	55	0.41	24	767 (6)	4.22·10 ⁷ (<1)
	57	0.38	21	800 (5)	4.56·10 ⁷ (<1)
100-250	167	0.27	23	1352 (10)	2.26·10 ⁸ (1)
	163	0.29	44	1659 (11)	2.70·10 ⁸ (1)
250-500	364	0.22	21	1783 (13)	6.49·10 ⁸ (2)
	369	0.17	26	1920 (13)	7.08·10 ⁸ (3)
500-1000	698	0.18	18	2462 (19)	1.72·10 ⁹ (6)
	707	0.20	18	2655 (18)	1.88·10 ⁹ (7)
1000-2500	1520	0.29	19	4173 (31)	6.34·10 ⁹ (21)
	1698	0.23	18	4095 (28)	6.95·10 ⁹ (27)
2500-5000	3373	0.17	22	1701 (13)	5.74·10 ⁹ (19)
	3766	0.20	27	2984 (20)	1.12·10 ¹⁰ (43)
5000-10000	7310	0.14	6	690 (5)	5.04·10 ⁹ (17)
	6181	0.13	6	614 (4)	3.80·10 ⁹ (15)
>10000	27691	0.76	3	354 (3)	9.80·10 ⁹ (34)
	14257	0.30	4	159 (1)	2.27·10 ⁹ (4)
Сумма				13282 (100)	2.96·10 ¹⁰ (100)
				14886 (100)	2.72·10 ¹⁰ (100)

Примечание: x – среднееарифметическое значение, S_r – относительное стандартное отклонение, n – объем выборки.

загрязнения участка радионуклидом в масштабе 1:2000 для наиболее активного слоя (0-55 см) в 1981 и 2002 г. (рис. 1). Рассчитанная экспериментальным путем объемная плотность дерново-луговой почвы составляет 0.98 г/см³. Далее рассчитывали площади участков с различными уровнями загрязнения, а также соответствующие им активности (Бк) радия (табл. 2). Путем сложения активностей был вычислен общий запас радионуклида на участке, который в 1981 г. составлял 2.96·10¹⁰, в 2002 г. – 2.72·10¹⁰ Бк, что в пересчете составляет 0.80 и 0.74 г соответственно. Таким образом, запас радия на участке за 20 лет практически не изменился. Расхождение в общей площади участка по годам связано с большим количеством точек отбора в 2002 г. вследствие того, что в конце восьмидесятих годов была возведена новая ограда. Поэтому увеличилась площадь неактивной части участка, вклад которой в общий запас радия незначителен (менее 1 %).

Распределение радия в почве (рис. 1) довольно неравномерно, наблюдается разброс участков с более высоким содержанием радионуклида, что вероятно связано с неравномерным разливом пластовых вод. Около 90 % запаса радия сосредоточено на 50 % общей площади участка (табл. 2), причем такое распределение характерно как для 1981, так и для 2002 г., но наблюдается изменение в соотношении активностей радионуклида. За 20-летний период отмечено уменьшение концентрации радия в наиболее активной части (>5000 кБк/м²) от 51 до 19 % и ее увеличение в области с уровнем загрязнения 1000-5000 кБк/м² от 40 до 70 %, что говорит о рассеянии радионуклида по площади. Малоактивными (0-1000 кБк/м²) остаются периферия и некоторые центральные области участка. В этой части участка соотношение площадей и активностей за 20 лет практически не изменилось.

Если сравнить содержание радия в различных горизонтах исследуемой почвы в разные годы (рис. 2), то наблюдаются достоверные по коэффициенту Фишера (p ≤ 0.01) снижение его концентрации в верхних и увеличение в нижних слоях почвенного профиля, что говорит о процессах миграции радионуклида в вертикальной плоскости. Сравнивая данные 2002 г. о содержании радия в исследуемой почве с более ранними [7], можно сделать вывод о том, что вертикальная миграция радия незначительна и составляет в среднем 2-3 мм в год, что согласуется с выводом других исследователей [4]. Из общего запаса радия в 0-55-сантиметровом слое в низлежащие слои за 20-летний период, таким образом, мигрировало 0.6·10⁹ Бк радионуклида, что соответствует 0.01 г и составляет 1-2 % его общего запаса.

Прочность фиксации радия в верхних слоях исследуемого профиля может быть свидетельством хороших сорбционных свойств глинистых минералов, широко представленных в этом типе почв. Данные свойства у вышеуказанных минералов обусловлены низкими значениями коэффициентов диффузии катионов и анионов. В настоящее время в литературе уделено большое внимание изучению применения глинистых минералов в качестве сорбентов и техногенно-геохимических барьеров при радионуклидных загрязнениях [9, 12, 13] и показано [9], что благодаря хорошим сорбционным свойствам и относительной дешевизне природные глинистые минералы пригодны для материала противомиграционного барьера в уже действующих хранилищах радиоактивных и токсических отходов. В работах Г.В. Русановой [7, 8], А.И. Таскаева с соавторами [5] показана зависимость количественного содержания радия в почве от ее физико-химических свойств. Чем больше содержание гумуса, обменных оснований и рН среды (близкая к нейтральной), тем больше накопление радия. Поэтому в исследуемой дерново-луговой почве повышенные концентрации радия также связаны с содержанием значительных количеств гумуса в верхней части почвенного профиля, вплоть до глубины 50 см, и близкой к нейтральной реакции среды.

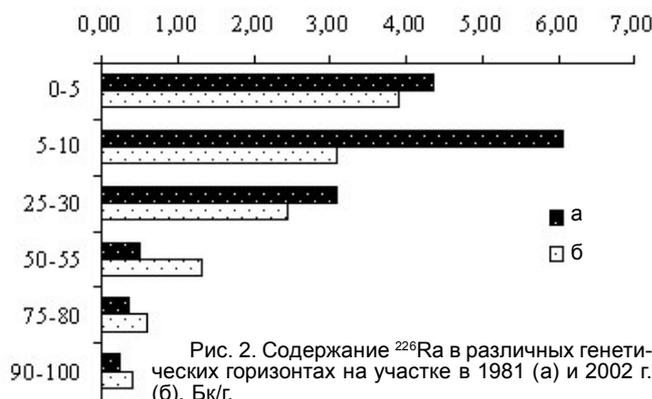


Рис. 2. Содержание ²²⁶Ra в различных генетических горизонтах на участке в 1981 (а) и 2002 г. (б), Бк/г.

Содержание ²²⁶Ra в золе растительности, отобранной в различные годы на участке, Бк/г

Год отбора	Участок		A/B
	недеактивированный (A)	деактивированный (B)	
1972 [1]	0.90 ± 0.07	0.30 ± 0.03	3.0
1981	0.82 ± 0.07	0.62 ± 0.06	1.3
2002	1.09 ± 0.10	1.22 ± 0.17	0.9*

* Различия между A и B недостоверны. Соотношения внутри видов и семейств могут различаться.

Роль растительности в перераспределении радия на участке пока до конца не оценена, но за исследуемый постдезактивационный период она значительно возросла. Если участок условно разделить на дезактивированный и недеактивированный, то можно проследить, как изменялось соотношение концентрации радия в золе растений с этих участков по годам с момента дезактивации. В первые три года после дезактивации радионуклиды погребенного активного слоя практически не поступали на дневную поверхность. Отсутствие выноса за счет физико-химических процессов объясняется хорошим промывным режимом и низкой водоудерживающей способностью песчаного грунта. Корневая система растений не достигала активного слоя. По этим же причинам через пять лет, в момент интенсивного формирования ценоза, содержание радия в растениях было также невысоким. Начиная с восьмого года после дезактивации, его концентрация в растениях резко возрастает, и уже на десятый год всего в три раза отличается от концентрации в недеактивированной части [3] (табл. 3). Через 20 лет после дезактивации отношение содержания радия в растительности в различных частях участка еще сильнее сглаживается, а по данным на 2002 г. эти концентрации достоверно не различимы. По оценкам П.П. Вавилова с соавторами [3], на девятый год после дезактивации (1971 г.) количество радия, выносимого растительной массой за сезон с общей площади 0.3 га, составляло $1.8 \cdot 10^{-6}$ г. Сравнивая содержания радионуклида в растительности по вышеуказанным годам, мы предполагаем, что в настоящее время количество радия, выносимого растительной массой за вегетационный период, как минимум на порядок выше, чем в 1971 г.

Таким образом, оценивая динамику запаса радия на радиоактивно загрязненном участке с дерново-луговой почвой, мы пришли к выводу, что радий достаточно прочно закреплен в верхнем, гумусово-аккумулятивном горизонте почвенного профиля, вертикальная миграция незначительна, за 20-летний период исследования в нижние слои переместилось около 2 % общего запаса радионуклида. Часть радия была вынесена за пределы участка талыми, паводковыми водами и ручьем, протекающим по территории участка. Роль растительности в выносе радия до конца не оценена, но результаты свидетельствуют о достаточно большой ее значимости в перераспределении радионуклида.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евсеева Т.И., Таскаев А.И., Кичигин А.И. Водный промысел. Сыктывкар, 2000. 39 с.
 2. Загрязнение территории радионуклидами топливной компоненты чернобыльских радиоактивных выпадений / В.А. Кашипаров, С.М. Лундин, С.И. Зварич и др. // Радиохимия, 2003. Т. 45, № 2. С. 173-183.

3. Итоги многолетнего эксперимента по дезактивации радиевых и урано-радиевых загрязнений в условиях средней тайги / П.П. Вавилов, Б.И. Груздев, В.И. Маслов и др. // Экология, 1977. № 6. С. 32-38.

4. Крапивский Е.И., Рыжаков В.Н. Исследование радиоактивного загрязнения территории Ухтинского месторождения радия // АНРИ, 2002. № 4. С. 57-64.

5. О формах ²²⁶Ra в горизонтах почв с его повышенной концентрацией / А.И. Таскаев, В.Я. Овченко, Р.М. Алексахин и др. // Почвоведение, 1978. № 2. С. 18-24.

6. Радиоэкологический мониторинг территорий Северного Казахстана, подвергшихся деятельности предприятий урановой промышленности / А.А. Какабаев, С.В. Калашников, А.З. Зандыбай и др. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. II междунар. конф. Томск, 2004. С. 232-236.

7. Русанова Г.В. О некоторых свойствах почв в районе с повышенной естественной радиацией // Почвы Коми АССР и особенности роста растений на Севере. Сыктывкар, 1965. С. 3-11. – (Тр. Коми фил. АН СССР; № 14).

8. Русанова Г.В. Содержание и закономерности распределения радия-226 в почвенном покрове района повышенной естественной дезактивации // Материалы радиоэкологических исследований в природных биогеоценозах. Сыктывкар, 1971. С. 32-56.

9. Сабодина М.Н., Калмыков С.Н., Захарова Е.В. Закономерности поведения радионуклидов при создании техногенно-геохимического барьера на основе глин // Геохимия биосферы: Докл. междунар. науч. конф. Москва-Смоленск, 2006. С. 307-308.

10. Старик И.Е. Основы радиохимии. Л., 1969. 247 с.

11. 3D GPS mapping of land contaminated with gamma-ray emitting radionuclides / I. Adsley, M.M. Davies, R. Murley et al. // Appl. Radiat. Isot., 2004. Vol. 60. P. 579-582.

12. Bosco M.E., Cunha I, Saito R.T. Radium migration through clay liners at waste disposal sites // Sci. Total Environm., 2001. Vol. 266. P. 259-264.

13. Diffusion of ²²⁶Ra and ⁴⁰K radionuclides reproduced in underwater sedimentary columns in laboratory / R.A. Ligerо, F. Feria, M. Casas-Ruiz et al. // J. Environm. Radioactivity, 2006. Vol. 87. P. 325-334.

14. Paridaens J. Radiological health risk evaluation of radium contaminated land: a real life implementation // Radiat. Prot. Dosimetry, 2005. Vol. 113. P. 195-203. ❖

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

ПЕРМСКОМУ УНИВЕРСИТЕТУ – 90 ЛЕТ



Пермскому университету исполнилось 90 лет. Он был открыт 1 (14) октября 1916 г. как отделение Санкт-Петербургского (тогда Петроградского) университета и уже в 1917 г. получил статус самостоятельного университета, став первым университетом на Урале. Его открытие стало проявлением местной инициативы и потребностей развития России. Жители Пермского края с благодарностью и любовью вспоминают Николая Васильевича Мешкова, видного общественного деятеля и почетного гражданина г. Перми, который предоставил свои здания под учебные корпуса, квартиры преподавателям, выделил полмиллиона рублей на содержание университета, стипендии студентам, комплектование библиотеки, приобретение античной коллекции для музея древностей и искусств.

За прошедший период университет сильно вырос и изменился неузнаваемо. Сегодня Пермский государственный университет — один из крупнейших вузов в России. В его составе 12 факультетов, на которых обучаются 18 тысяч студентов. Учебный процесс в университете обеспечивают 77 кафедр, 180 докторов наук, профессоров и более 500 кандидатов наук, доцентов. Среди преподавателей два академика и два члена-корреспондента РАН, 15 заслуженных деятелей науки и 23 заслуженных работника высшей школы Российской Федерации, 40 почетных работников высшего профессионального образования Российской Федерации. Университет готовит кадры высшей научной квалификации по 55 специальностям аспирантуры и семи специальностям докторантуры. Ежегодно в 14 диссертационных, в том числе 11 докторских, советах защищается до 100 диссертаций. Учебный процесс в университете неразрывно связан с научно-исследовательской деятельностью. Пермский университет в числе немногих (всего 17 вузов) стал победителем конкурса в рамках национального проекта «Образование».

За годы своего существования Пермский университет подготовил и выпустил в жизнь более 100 тысяч специалистов — целый город. Выпускники университета получают хорошие знания для дальнейшего роста, о чем свидетельствуют их творческий уровень, навыки и профессионализм. Не случайно он вошел в первую десятку в рейтинге вузов России, выпускники которых сегодня работают в высших эшелонах исполнительной власти страны, и занял 14 место в списке учебных заведений, выпускники которых занимают высшие должности в федеральном правительстве. Элита Пермского края также представлена в основном выпускниками университета. Глава г. Перми И.Н. Шубин — выпускник экономического факультета ПГУ, является председателем попечительского совета университета. 90-летие Пермского университета стало настоящим праздником для преподавателей, выпускников и студентов. В эти дни проходили научные конференции и спортивные состязания, встречи выпускников и коллективов факультетов, концерты, массовые гуляния и т.д.

Одновременно с празднованием 90-летия университета 11-12 октября биологический факультет отмечал свое 75-летие. Дело в том, что вначале подготовка биологов в Пермском университете велась на кафедрах ботаники, физиологии растений, зоологии на физико-математическом и на кафедрах анатомии, гистологии, физиологии человека и животных на медицинском факультетах. Лишь в 1931 г. биологический факультет был выделен в самостоятельное структурное подразделение университета.

В настоящее время на факультете осуществляется подготовка биологов по многоуровневой системе (бакалавры, специалисты, магистры) и экологов (специалисты); обучение в аспирантуре проводится по семи специальностям. На факультете шесть кафедр (ботаники и генетики растений, физиологии растений и микроорганизмов, зоологии беспозвоночных и водной экологии, зоологии позвоночных и экологии, микробиологии и иммунологии, экологии и безопасности жизнедеятельности), на которых преподают 19 докторов наук, профессоров и 43 кандидата наук, доцента. Здесь сложились сильные научные школы ботаников, зоологов, физиологов. Факультет выпускает высококвалифицированных специалистов, работающих в различных областях знаний и в самых разных уголках страны, в том числе и в Республике Коми. В Институте биологии Коми НЦ УрО РАН много лет весьма плодотворно работали выпускники-биологи Пермского университета М.В. Гецен, Л.К. Грунина, А.М. Швецова; продолжают трудиться В.М. Шведова, Б.И. Груздев. Во многом благодаря их усилиям налажены и поддерживаются тесные контакты и сотрудничество между нашими коллективами как в научных исследованиях, так и в подготовке кадров. Биологический факультет Пермского университета часто выступает в качестве ведущей организации, а его преподаватели принимают участие в защитах кандидатских и докторских диссертаций на нашем диссертационном совете как официальные оппоненты. Аспиранты и студенты из Перми каждый год приезжают к нам на конференцию молодых ученых и аспирантов и выступают с интересными докладами.

В дни празднования юбилея на факультете проводилась встреча выпускников, на которую приехали не только из Пермского края и сопредельных областей, но и из Мурманска, Санкт-Петербурга, Москвы, Новосибирска, Владивостока, Магадана и других городов. Собралось несколько сот человек, поэтому встречи были организованы на кафедрах. Выпускники разных лет вспоминали свои студенческие годы, делились своими впечатлениями. Приятно было увидеть выпускников К.Н. Бельтюкову и Н.С. Ажеганову, окончивших в 1936 г. кафедру зоологии беспозвоночных, долгие годы проработавших в университете и до сих пор сохранивших бодрость духа и жизнелюбие, несмотря на свой почтенный возраст.

Праздник в честь 90-летия Пермского государственного университета и 75-летия биофака надолго запомнится всем, кому Пермский классический университет близок и дорог. Пожелаем же Alma mater, вступающей на порог своего столетия, дальнейшего процветания.

проф. М. Долгин, выпускник (1969 г.) биологического факультета
Пермского государственного университета

ИТОГИ ИЗУЧЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ДОБЫЧЕ РАДИЯ В ПОСЕЛКЕ ВОДНЫЙ (краткая справка)

В последнее время на страницах журнала «Вестник Института биологии» [6-8], а также других изданий Коми НЦ УрО РАН [13] появились публикации об истории развития радиевой промышленности в пос. Водный (Ухтинский р-н Республики Коми). Эти работы не касаются более важной, на наш взгляд, проблемы оценки последствий функционирования этого предприятия для экосистем и их компонентов. Работы сотрудников отдела радиоэкологии, вышедшие ранее в научных изданиях Коми филиала АН СССР и современных зарубежных журналах, недоступны и не всегда ясны широкому кругу читателей. Цель настоящей работы – подвести основные итоги проведения радиоэкологических исследований на участках, загрязненных в процессе работы предприятия по добыче радия.

Естественный радиационный фон представляет собой один из важнейших компонентов в сложном комплексе факторов, воздействующих на организмы. Развитие учения о естественном радиационном фоне было всегда тесно связано с проблемами освоения человеком ядерной энергии. Последний период значительного усиления внимания к научным исследованиям действия естественного радиационного фона на экосистемы и человека характеризовался [14] обобщением накопленных знаний о миграции естественных радионуклидов в окружающей среде и влиянии ионизирующих излучений на животных и растения, что привело к закономерному пересмотру сложившихся в 40-50-х годах концепций и смене парадигм. В частности, именно в это время (70-80-е годы XX в.) получила признание точка зрения [1, 9] о ведущей роли естественного радиационного фона в облучении растений, а также животных, включая человека.

В период до конца 80-х годов получены наиболее детальные данные о содержании естественных радионуклидов в окружающей среде. В 1960-1980 гг. на территории западной части бывшего СССР методом аэрогамма-спектральной съемки проведены крупномасштабные исследования распределения естественных радионуклидов в поверхностных отложениях [11]. Определяли распределение урана-238, тория-232 и калия-40. Результатом этих исследований стали карты, охватывающие площадь 4 млн. км², составленные в масштабе 1:10000000. Тем не менее, на этих мелкомасштабных картах не нашли отображения районы повышенной естественной радиоактивности на северо-востоке европейской части России, расположенные мозаично и приуро-



к.б.н. **Т. Евсева**
с.н.с. лаборатории
миграции радионуклидов и радиохимии
E-mail: tevseeva@ib.komisc.ru
тел. (8212) 43 63 012



к.х.н. **Т. Майстренко**
н.с. этой же лаборатории



к.б.н. **Е. Бельх**
н.с. этой же лаборатории

Научные интересы: *радиационная биология, цитология, радиохимия*

ченные к разным природным зонам. Здесь с 1957 по 1967 г. отделом радиобиологии Коми филиала АН СССР (ныне отдел радиоэкологии Коми НЦ УрО РАН) под руководством П.П. Вавилова, П.Ф. Рокицкого и И.Н. Верховской было проведено единственное в то время в нашей стране комплексное обследование биогеоценозов с повышенным уровнем естественной радиоактивности, который обусловлен либо выходом на поверхность горных пород с высокими концентрациями тяжелых естественных радионуклидов (ТЕРН), либо разливом радиоактивных пластовых вод и влиянием технологических процессов (переработка радиевого, уранового сырья и складирование отходов). Проведенные здесь исследования были связаны не только с изучением содержания ТЕРН в раз-

личных абиотических и биотических средах, но и с определением параметров миграции ТЕРН, их биологическим действием и оценкой дозовых нагрузок на растения и животных. Следует особо отметить, что с тех пор вплоть до настоящего времени в нашей стране не проводили таких комплексных исследований действия повышенного фона естественной радиоактивности на популяции растений и животных. Проблема же оценки

дозовых нагрузок от естественных радионуклидов не получила дальнейшего развития, хотя в настоящее время совершенно очевидно, что сделанные ранее расчеты были проведены по упрощенной схеме.

Анализ [3] результатов многолетних исследований, проведенных на территории Республики Коми с 1957 по 1980 г. позволяет констатировать, что в данной радиоэкологической ситуации, характеризующейся преобладающим вкладом внутреннего α -излучения в эквивалентную дозу, повышенным содержанием в объектах окружающей среды сопутствующих ТЕРН токсичных элементов, экстремальными климатическими условиями (низкие

среднегодовые температуры, короткий летний период, избыточная влажность и др.) наблюдаются негативные изменения на разных уровнях биологической организации, выражающиеся в достоверно высокой частоте хромосомных и геномных мутаций в клетках, деструктивных процессах в тканях органов жизненно важных систем, нарушении репродуктивных функций, снижении жизнеспособности потомства животных и растений. Отмечены отдельные компенсаторные процессы и приспособительные реакции, позволяющие животным и растениям выживать в крайне неблагоприятных условиях радиевых и урано-радиевых загрязнений среды обитания. Явных признаков, свидетельствующих об адаптации, не наблюдали.

Проведенные ранее исследования ни в коей мере не исчерпывают всей многоплановой проблемы биологического действия повышенного фона естественной радиоактивности (ПФЕР). В последнее время было предпринято много усилий по систематизации полученной информации о биологическом действии ПФЕР на природные популяции. Результаты этих работ [3, 12] со всей очевидностью продемонстрировали, что полученного материала явно недостаточно для корректной оценки и прогноза развития экологической ситуации в случаях подобных радионуклидных аномалий. К сожалению, часто при проведении исследований методы биологического и

радиационного контроля не были сопряжены во времени и пространстве, и оценить вклад факторов радиационной природы в наблюдаемые у растений и животных изменения не представлялось возможным. Кроме того, достигнутый в последние годы значительный прогресс в понимании механизмов биологического действия малых доз ионизирующих излучений и их совместного действия с факторами радиационной и нерадиационной природы, созданные концептуальная и фактологическая базы требуют переосмысления полученных ранее данных о биологических эффектах, наблюдаемых у животных и растений, обитающих в районах с ПФЕР.

Поэтому отделом радиозологии ИБ Коми НЦ УрО РАН были возобновлены комплексные исследования действия ионизирующих излучений низкой интенсивности на лабораторные и природные популяции растений и животных. Причем цели этих исследований ставятся более широко и направлены на выявление механизмов и закономерностей раздельного и совместного действия малых доз радиации, тяжелых естественных радионуклидов, металлов на животных и растения, изучение влияния факторов низкой интенсивности на природные экосистемы и их компоненты.

В исследованиях последних лет установлено, что реально наблюдаемый уровень биологических эффектов в природных популяциях, населяющих радиоактивно загрязненные территории, часто существенно отличается от прогнозируемого на основе результатов экспериментальных исследований раздельного действия факторов. Это обусловлено возможностью возникновения синергических и антагонистических реакций биологических систем именно в области низкодозовых воздействий. В таких условиях как внешнее облучение в малых дозах, так и инкорпорированные тяжелые естественные радионуклиды оказывают достоверное влияние на уровень генетической изменчивости в популяциях и возможности их адаптации к конкретной радиозологической ситуации [4, 5].

В случае рассматриваемой техногенной аномалии внешнее облучение выступает в качестве фактора отбора, повышая частоту эмбриональных летальных мутаций у растений. Достоверно высокий уровень эмбриональных летальных мутаций наблюдается при гамма-фоне 2400 и 3300 мкР/ч ($5 \cdot 10^{-4}$ и $7 \cdot 10^{-4}$ Гр/сут.). Инкорпориро-

ванный ^{230}Th определяет уровень внутрипопуляционной цитогенетической изменчивости и возможности адаптации растений. Достоверное повышение частоты аберраций хромосом в клетках меристемы корней проростков семян наблюдается при содержании ^{230}Th 204.1 ± 18.4 мБк/г золы надземной массы. При более низкой удельной активности ^{230}Th , не достигающей 100 мБк/г золы, статистически значимого повышения частоты структурных перестроек хромосом не обнаружено. Однако достоверно высокие частоты двойных фрагментов, являющихся признаком радиационного воздействия, зарегистрированы в клетках корневых меристем проростков семян растений, заселяющих все исследованные фации стационара с повышенным фоном естественной радиоактивности. Ведущим фактором формирования этого типа повреждений является ^{226}Ra , причем превышение верхнего предела кларкового значения содержания данного радионуклида в золе растений ($1.62 \cdot 10^{-12}$ г/г или 60 мБк/г) в 14 раз обуславливает возрастание частоты двойных фрагментов в три раза [4]. Высокий уровень частоты аберраций хромосом обнаружен и в соматических клетках мышевидных грызунов. У некоторых особей зарегистрированы изменения кариотипа. При этом мышевидные грызуны накапливали ^{226}Ra в количестве 201-265 мБк/г золы [2].

Морфологические исследования эндокринной и кровеносной систем, печени мышевидных грызунов показали, что сдвиги в этих системах обусловлены как деструктивными, так и активно протекающими компенсаторно-восстановительными процессами. Деструктивные изменения проявляются в виде сосудистых расстройств, дистрофических нарушений клеток, их локальной гибели, переходящей в некоторых случаях в очаги некроза тканей. У группы полевок обнаружены четко выраженные признаки лучевого заболевания – преждевременное старение, дискоординация функционирования эндокринной системы, соматическая мутация и необычная полиплоидизация клеток, а также формирование гранулем, падение уровня гемоглобина, падение уровня гемоглобина – стволовых кровяных клеток. Одновременно выявлены изменения, свидетельствующие о протекании компенсаторно-восстановительных процессов – активизация физиологической и репаративной регенерации тканей, развитие гиперплазии и гипертрофии клеток. С одной

стороны, отмеченные изменения могут быть направлены на поддержание клеточного и функционального гомеостаза исследуемых систем, с другой – создают напряженное, неустойчивое состояние, ведущее к дезорганизации всей системы. Отмеченные изменения свидетельствуют о нестабильном состоянии организма животных в условиях хронического лучевого воздействия, способствующего развитию патологических изменений [10].

Таким образом, до настоящего времени в популяциях животных, заселяющих участки с повышенным фоном естественной радиоактивности, наблюдаются глубокие морфологические изменения состояния крови, селезенки, печени, нарушения в системе регуляции перекисного окисления липидов и энергетического обмена. Сохраняется высокий уровень мутаций в соматических клетках животных и растений в определенных радиозологических условиях. Тем не менее, проведенные исследования еще не позволяют сформулировать гипотезу, которая бы с единых позиций объясняла сущность изменений, происходящих на уровне клеток, тканей животных и растений, и понять, как сказываются эти изменения на существовании популяции в целом. На данном этапе можно лишь констатировать, что животные и растения, длительное время обитающие в условиях повышенного фона естественной радиоактивности, существенно отличаются по генетическим, морфологическим и биохимическим показателям от населяющих фоновые по содержанию ТЕРН территории. При этом на фоне действия самых разнообразных экологических факторов как внешнее гамма-излучение в низких дозах, так и инкорпорированные тяжелые естественные радионуклиды вносят достоверный вклад в уровень наблюдаемой генетической изменчивости в популяциях. Определить, при каких дозовых нагрузках на организм от внутренних и внешних источников излучения развиваются патологические процессы, а при каких – компенсаторные или восстановительные, оценить адаптивные возможности растений и животных, установить эколого-генетические механизмы адаптации популяций, населяющих районы с повышенным фоном естественной радиоактивности – дело будущих исследований, требующих тщательного планирования и консолидированного участия специалистов разного профиля в области дозиметрии и охраны окружающей среды. Ре-

шить такую проблему отдельными экспериментами, опирающимися на изучение изменений одного из показателей состояния организма, и не сопровождающимися оценкой дозовых нагрузок от ПФЕР, не представляется возможным, какими бы детальными эти исследования не были.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексахин Р.М., Тихомиров Ф.А.* Радиоэкология: достижения, задачи и горизонты // Радиобиология, 1985. Т. 25, вып. 3. С. 291-299.
 2. Биологические эффекты радиоактивного загрязнения в популяциях мышевидных грызунов / *А.Г. Кудяшева, Л.Н. Шишкина, О.Г. Шевченко* и др. Екатеринбург, 2004. 214 с.
 3. Биологические эффекты у растений и животных, обитающих на севере России, в районах с повышенным уровнем естественной радиоактивности / *С.А. Гераськин, Т.И. Евсеева, Т.А. Майстренко* и др. // Радиационная биология. Радиодизол., 2007. Т. 47, вып. 1. С. 1-20.

4. Генетическая изменчивость в ценопопуляции горошка мышиноного на участке с повышенным уровнем естественной радиоактивности / *Т.И. Евсеева, С.А. Гераськин, Т.А. Майстренко* и др. // Там же. С. 21-30.
 5. Закономерности реакции растений на совместное действие радионуклидов и металлов / *Т.И. Евсеева, Е.С. Бельих, А.И. Таскаев* и др. // Вопросы радиационной безопасности, 2006. № 3. С. 13-25.
 6. *Иевлев А.* Добыча радия на водном промысле // Вестн. Ин-та биол. Коми НЦ УрО РАН, 2006. № 10. С. 29-30.
 7. *Кичигин А.И.* Комментарий // Там же. С. 30-31.
 8. *Кичигин А.И.* Применение радия в медицинских целях на Ухтинском радиевом промысле в 30-40-х гг. XX в. // Там же. № 8. С. 25-31.
 9. *Книжников В.А., Бархударов Р.М.* Сравнительная оценка радиационной опасности для населения от выбросов в атмосферу ТЭС и АЭС // Атомная энергия, 1977. Т. 43, вып. 3. С. 191-196.
 10. *Материй Л.Д., Ермакова О.В., Таскаев А.И.* Морфофункциональная

оценка состояния организма мелких млекопитающих в радиоэкологических исследованиях (на примере полевки-экономки). Сыктывкар, 2003. 164 с.
 11. Распределение естественных радионуклидов в поверхностных отложениях западной части России и сопредельных государств / *Р.М. Решетов, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман* и др. // Методика и некоторые результаты авиационной гамма-съемки радиоактивного загрязнения территории европейской части России. СПб.: Гидрометеоздат, 1994. С. 243-253.
 12. (*Сазыкина Т., Крышев И.*) Sazykina T., Kryshch I. Radiation effects in wild terrestrial vertebrates e the EPIC collection // J. Environm. Radioactivity, 2006. Vol. 88. P. 11-48.
 13. *Таскаев А.И., Кичигин А.И.* «Водный промысел»: производство радия в Республике Коми. Сыктывкар, 2002. 32 с. – (Сер. Науч. докл. / Коми НЦ УрО РАН; вып. 452).
 14. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере / *Р.М. Алексахин, Н.П. Архипов, Р.М. Бархударов* и др. М.: Наука, 1990. 368 с. ❖



РОЛЬ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ В ПРОЦЕССАХ АККУМУЛЯЦИИ И БИОГЕННОЙ МИГРАЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ТАЕЖНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ

д.б.н. **А. Кудяшева**
 зав. лабораторией радиоэкологии животных
 E-mail: kud@ib.komisc.ru, тел. (8212) 43 04 78

Научные интересы: *радиоэкология, радиобиология, радиационная биохимия*

Вопросы содержания естественных радионуклидов в организме животных относятся к числу очень важных вопросов радиобиологии и наземной радиоэкологии. Они являются обязательным разделом исследований, посвященных выяснению закономерностей биогенной миграции естественных радиоактивных элементов в природных биогеоценозах. Одним из первых детально изучил вопросы участия наземных животных в процессах биогенной миграции естественных радиоактивных элементов в природных биогеоценозах В.И. Маслов¹ [5, 8, 10], связавший процессы миграции радионуклидов с экологией определенных видов животных в конкретных геохимических и радиоэкологических условиях обитания. Автором было установлено, что именно мышевидные грызуны в силу своих экологических особенностей относятся к представителям фауны таежных биогеоценозов, наиболее тесно контактирующим с радионуклидами, которые содержатся в почвенном покрове. Это обусловлено не только их роющей деятельностью и характером трофических связей, но и особенностью устройства нор и убежищ животных в горизонтах почвы с высоким содержанием радиоактивных элементов [8]. В.И.

Масловым был проведен расчет аккумуляции естественных радионуклидов мышевидными грызунами, который включал подробное рассмотрение таких вопросов, как сезонное и годовое определение численности животных, возрастной и половой структуры популяций, расчета биомассы популяций и, наконец, количественных расчетов естественных радиоактивных элементов, аккумулируемых различными видами с единицы площади конкретного биогеоценоза [8].

Учитывая важность, а также большую теоретическую и практическую необходимость детального выяснения роли мышевидных грызунов в аккумуляции и биогенной миграции радионуклидов в течение длительного их обитания на территориях с повышенным уровнем естественной радиоактивности, мы предприняли провести анализ полученных В.И. Масловым в 60-70-е годы данных по этому вопросу на примере популяций полевки-экономки (*Microtus oeconomus* Pall.), как доминирующего вида на стационарных участках с различным уровнем радиоактивности в районе бывшего радиевого промысла (территория Республики Коми), используя также некоторые данные 90-х годов и настоящего времени.

¹ В данной и следующих статьях приведена литература из диссертации и автореферата В.И. Маслова «Миграция урана, радия и тория в системе почва–растения и роль мышевидных грызунов в этих процессах» [8].

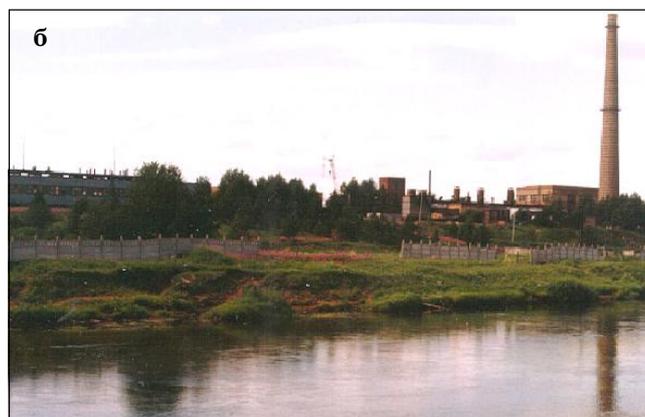
Характеристика стационарных участков как станций обитаний полевки-экономки

Радиоэкологический полигон находится в зоне средней тайги на территории Республики Коми в среднем течении р. Ухта в районе пос. Водный. Данный район характеризуется увалисто-холмистым рельефом с глеево-подзолистыми почвами [22] и травянистой растительностью [2]. В результате радиоэкологических обследований больших территорий в 60-е годы В.И. Масловым и сотрудниками отдела радиоэкологии были выделены урано-радиевый, ториевый, урано-радиево-ториевый районы повышенной естественной радиоактивности, на которых были выделены участки, различающиеся концентрацией радиоэлементов в поверхностных условиях почвы, составом флоры и фауны, а также природными условиями. Как было отмечено В.И. Масловым [6-8], территория района повышенной естественной радиоактивности является весьма разнообразной. Она имеет выраженное очаговое распространение участков повышенного радиоактивного фона, различных по площади, уровню радиации, составу и концентрации радиоактивных элементов. Уровень радиации отдельных участков в 1960-е годы колебался от 100 до 10000 мкР/ч. Для данной территории характерно наличие двух типов участков: урано-радиевых и радиевых. Повышение фона на радиевых участках было вызвано высоким содержанием радия в почве из-за разлива подземных радиоактивных вод и в результате последующего разноса радия, поглощенного верхними слоями почвы. Длительность действия фактора повышенной радиации на некоторых из них достигала 50-70 лет. Основная масса радиевых участков в 60-е годы имела «возраст» 30 лет, следовательно, в настоящее время «возраст» этих участков составляет более 70 лет.

Наши исследования включают период проведения полевых работ (1981-1984 и 1993-2006 гг.). Для изучения динамики накопления радионуклидов в организме полевок были привлечены данные В.И. Маслова о популяциях мышевидных грызунов на данной территории в 60-70-е годы. Среди методов, используемых для проведения радиоэкологических исследований, важное место занимают методы дозиметрии и радиохимии. В.И. Масловым и сотрудниками отдела (А.И. Таскаев, В.С. Никифоров и

др.) дозиметрические исследования проводились на площади около 2500 км² методами авиагамма- и автогамма-съемки и пешеходными маршрутами с различной степенью детализации. Радиационная характеристика исследуемых биогеоценозов дополнялась данными радоновой и тороновой съемки, а также результатами радиохимического анализа почв, вод, растений и животных (определено содержание урана, радия и тория в более 9 тыс. образцах). Уран определялся люминесцентным методом [17], содержание радия – эманационным методом из навесок от 1 до 10 г [20, 21], содержание тория определялось фотометрически с препаратом арсеназо III с предварительным отделением мешающих химических элементов на катионите КУ-2 [18]. До настоящего времени сохранилась преемственность поколений: те же самые методы используются сотрудниками отдела при проведении исследований в биогеоценозах с повышенным уровнем естественной радиоактивности. В дальнейшем всестороннее изучение радиационной обстановки на контрольном, радиевом и урано-радиевом участках проводили в 1981 и 2002 г. Результаты анализа радиационной обстановки исследуемых участков представлены лабораторией дозиметрии, миграции радионуклидов и радиохимии отдела радиоэкологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Для сравнительного анализа и проведения стационарных радиоэкологических исследований как в 60-е годы, так и в дальнейшем были выбраны следующие участки:

Радиевый участок № 1 (высокой активности, по В.И. Маслову [8]) – пойменного типа, с двух сторон омывается реками Ухта и Чуть, занимает площадь около 2 га. (см. фото). Неравномерная радиоактивность отдельных очагов на участке имела уровень радиации от 500 до 12000 мкР/ч. Содержание радия в изливавшихся на поверхность подземных водах в 60-е годы в среднем составляло $3.25 \cdot 10^{-9}$ г/л. Период действия фактора повышенной радиоактивности в указанные годы – 40 лет, в настоящее время – 86 лет. Основываясь на предыдущем опыте радиоэкологических исследований, проведенных в 60-е годы под руководством В.И. Маслова, были составлены первые карты гамма-полей исследуемых стационарных участков. В 1981 и 2002 гг. на радиевом участке с помощью полевых радиометров типа



Радиевый (а) и урано-радиевый (б) участки (современный вид, 2005-2006 гг.).

СРП-68-01 проводилась гамма-съемка с целью оконтурирования и последующего выделения территорий с повышенным и нормальным уровнем радиации. На выделенных таким образом участках проводилась детальная гамма-съемка с шагом 1×1 м. На основании результатов этих съемок по определенным правилам на ЭВМ строились карты гамма-полей и определялись отдельные характеристики, описывающие радиационную обстановку на участке. Эта же карта гамма-поля была основой для построения по определенным алгоритмам поведения животных карт дозовых нагрузок. Построение этих карт позволяло оценить с определенной долей вероятности дозовые нагрузки для животных в зависимости от места их отлова на участке. Для экспрессного выяснения радионуклидов, ответственных за повышенный фон радиации, на участке проводили дополнительно гамма-спектрометрическую съемку с помощью полевого спектрометра СП-4. По результатам этой съемки уже непосредственно в полевых условиях определяли содержание радиоактивных элементов в почвах. На основании этих данных проводился отбор животных для последующего анализа. Кроме того, одновременно отбирали почвенные и растительные пробы по общепринятым методикам, которые в лабораторных условиях анализировались на содержание естественных радионуклидов и ряда микроэлементов [4]. В результате проведенного статистического анализа гамма-съемки в 1981 г. при обработке 1622 измерений на радиевом стационаре средняя мощность дозы внешнего гамма-облучения (уровень измерения по отношению к дневной поверхности – P0) составляла 180 мкР/ч при колебаниях мощности дозы от 50 до 2000 мкР/ч [4]. В 2002 г. средняя мощность дозы внешнего гамма-облучения была равна 140 мкР/ч при диапазоне мощности дозы 20-2000 мкР/ч [15].

Радиевый дезактивированный участок. Для изучения роли растительных и животных организмов в процессах перераспределения и миграции радиоактивных элементов в биогеоценозах, восстанавливающихся после дезактивации, В.И. Масловым в 1960 г. был проведен эксперимент по дезактивации части территории радиевого участка № 1 высокой радиоактивности, который длился 10 лет. Дезактивация была проведена на площади 1 га методом засыпки песчано-гравийной смесью толщиной 20-60 см. Участок пойменного типа, видовой состав животных, обитающих здесь до проведения дезактивационных работ, был такой же, как и на остальных опытных стационарах.

Урано-радиевый стационар образовался на месте складирования отходов урановой промышленности общей площадью около 2 га. Твердые отходы, которые скапливались в хвостохранилище, содержали не только уран и радий (^{238}U – $2.6 \cdot 10^{-2.4}$ г/г, ^{226}Ra – $3.6 \cdot 10^{-9}$ г/г), но и другие химические элементы содовой переработки урановой руды: окислы железа, алюминия, бария, свинца, кальция, кремния, ионы магния, остатки серной кислоты. Главное отличие данного участка – повышенное в 80-100 раз содержание урана в почве по сравнению

с контролем. В 60-70-х годах мощность экспозиционной дозы на урано-радиевом участке варьировала от 200 до 4000 мкР/ч, а в целом была в два раза выше, чем на радиевом участке [3, 23]. В 2002 г. средняя мощность внешнего гамма-облучения составляла 450 мкР/ч и находилась в пределах от 50 до 3800 мкР/ч (на уровне поверхности земли – P0) [15, 16].

Контрольный участок № 1 общей площадью около 3-4 га был выбран на другом берегу р. Чуть на расстоянии 2 км от радиевого участка № 1 и характеризовался уровнем радиации 10-12 мкР/ч. *Контрольный участок № 2* находился на расстоянии 10 км от радиевого участка № 1, пойменного типа, с одной стороны которого проходило русло небольшой реки и участок был характерен для стадии обитания полевки-экономки. В 1981 г. на контрольных участках мощность дозы варьировала в пределах от 10 до 15 мкР/ч. По данным полевой гамма-спектрометрии для контрольных участков характерно среднее кларковое содержание естественных радиоактивных элементов в почве в 60-е годы: радия – $12.2 \cdot 10^{-12}$, урана – $1.8 \cdot 10^{-6}$ и тория – $17.4 \cdot 10^{-6}$ г/г, в 1980-е годы: радия – $8 \cdot 10^{-13}$ и тория – $6.0 \cdot 10^{-6}$ г/г, в 2002 г.: радия – $8 \cdot 10^{-13}$ г/г.

Содержание в почве радионуклидов на радиевом и урано-радиевом стационарах было на порядок, а иногда на два порядка выше, чем на контрольных участках. Так, в 60-е годы для радиевого стационара среднее содержание естественных радионуклидов было равно: радия – $600 \cdot 10^{-12}$, урана – $1.53 \cdot 10^{-6}$ и тория – $18.8 \cdot 10^{-6}$ г/г [8], в 80-е годы: радия – $122 \cdot 10^{-12}$, калия-40 – $195.3 \cdot 10^{-8}$ и тория – $260.0 \cdot 10^{-7}$ г/г [4], в 2002 г.: радия – $84 \cdot 10^{-12}$ г/г [16]. Содержание изотопов урана, тория, радия, радона и полония в растительности на радиевом и урано-радиевом стационарах также существенно отличается от содержания этих элементов на контрольных участках: со временем, например, содержание радия в несколько раз возрастает. Если в 60-е годы на радиевом участке оно было в пределах от 1 до $10 \cdot 10^{-12}$ г/г, то в 80-е годы и 2002 г. эти значения возрасли соответственно до $20-30 \cdot 10^{-12}$ г/г [15]. Таким образом, исследуемые участки отличались по уровню внешнего гамма-облучения и содержанию естественных радионуклидов в почве и растительности, но были сходными по экологическим условиям.

Объект и методы исследования

Результатом анализа многолетних комплексных исследований различных природных биогеоценозов, изучения экологии большого числа видов животных стала предложенная В.И. Масловым [8] радио-экологическая классификация млекопитающих и птиц таежных биогеоценозов повышенной радиоактивности. Он выделил в таежных биогеоценозах три радиоэкологические группы животных: I группа – тесного, II – умеренного и III – слабого контакта с радиоактивными веществами среды обитания. Согласно этой классификации мышевидные грызуны имеют наиболее постоянный и тесный контакт с радиоактивными веществами почвы, поэто-

му они относятся к первой группе и наиболее разносторонне и эффективно могут влиять на процессы распределения радиоактивных элементов внутри биогеоценоза. Именно этим объясняется выбор группы мышевидных грызунов в качестве объекта исследований при выяснении роли животных в процессах биогенной миграции радионуклидов в таежных биогеоценозах. Основной объект наших исследований – полевка-экономка – была наиболее многочисленна на радиоактивных участках. Это широко распространенный вид, встречающийся в таежной зоне и лесотундре северной субарктической зоны от Скандинавии на западе до тихоокеанского побережья на востоке. Южная граница ареала проходит по северу Германии, Польши, Украинскому Полесью, средней Волге и далее на восток по границе леса простирается до северной Монголии, Камчатки и Чукотки [25]. Многолетние наблюдения показали, что полевки-экономки могут быть использованы в качестве тест-объекта при изучении действия малых доз ионизирующей радиации в биоценозах с повышенным уровнем естественной радиоактивности [12].

Отлов животных как в 60-е годы, так и в последующие периоды исследований вплоть до настоящего времени проводили стандартными живоловушками в один и тот же период (июль-август). При определении возраста животных В.И. Масловым был использован метод весовых категорий [13, 14, 24], а также данные дополнялись результатами гистологических исследований. В последующий период исследований мы также использовали эти методы и возраст полевок определяли по комплексу закономерно изменяющихся признаков: массе и длине тела, степени развития генеративных органов, тимуса, структуре черепа [1, 11, 19]. Полевок подразделяли на три возрастные группы: неполовозрелые сеголетки, половозрелые сеголетки, перезимовавшие животные (год и старше). В течение более десяти лет исследований (1957-1969 гг.) В.И. Масловым и сотрудниками отдела на четырех участках (контрольный, радиевый № 1, радиевый № 2 и урано-радиевый стационар) было отловлено более 3200 полевок. В последующие периоды в 80-е годы было отловлено более 500 полевок, с 1993 по 2006 г. проанализировано около 1120 полевок с четырех участков (два контрольных и два опытных – радиевый № 1 и урано-радиевый стационар).

**Аккумуляция радионуклидов
мышевидными грызунами
в различных радиоэкологических условиях
и их роль в биогенной миграции
радиоактивных элементов**

В.И. Масловым в его работах и диссертации одним из главных вопросов было изучение интенсивности накопления естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) в каждой из популяционных групп

полевок в разные сезоны года и определение количества ЕРЭ, поступающих в организм животных. Установлено, что участие популяционных групп полевок, обитающих в различных радиоэкологических условиях, в процессах перераспределения и миграции урана, радия и тория оказалось невозможным без решения таких вопросов как изучение кормовых связей, учет кормов по сезонам года, определение их радиоактивности, учет запасаемых и неиспользуемых кормов и кормовых остатков и др. [6-8]. Эти вопросы были широко и глубоко изучены в 60-е годы (см. таблицу). Выяснение характера и интенсивности суточной активности животных в разные сезоны года и в разные периоды физиологического состояния способствовало решению вопросов ЕРЭ по территории индивидуального участка животного и за его пределами. Определение количества ЕРЭ, вовлекаемого в процесс миграции, оказалось возможным только после тщательного изучения роющей деятельности отдельных видов мышевидных грызунов после уточнения данных об объеме и массе земли, перемещаемой разными видами полевок внутри почвенных горизонтов и выносимой ими на поверхность.

**Объем выполненных радиохимических анализов в 1957-1969 гг.
(данные В.И. Маслова, 1972)**

Наименование объектов, в которых определялось содержание естественных радиоактивных элементов	Количество проанализированных образцов		
	радий	уран	торий
Организм полевок	2300	1100	750
органы и ткани	60	20	1
Корм полевок			
целое растение	660	245	190
органы растений	345	190	130
рацион	45	45	45
кормовые остатки	61	36	36
запасаемые корма	21	19	15
Жилища и убежища полевок			
строительный материал гнезд	245	245	245
почвенные образцы, взятые в норах, ходах сообщений, гнездовых камерах полевок	25	25	25
Почва, перемещаемая полевками в результате роющей деятельности	600	300	300

Попытки определения содержания ЕРЭ в кормах полевок, состоящих из разных видов, и предпочтения животными отдельных видов растений были проведены и в 80-е годы, которые подтвердили предыдущие исследования В.И. Маслова. Однако они не были такими многосторонними.

В.И. Масловым было установлено, что аккумуляция ЕРЭ популяций полевок через кормовые связи сильно варьирует в течение года, причем направленность этих колебаний у разных видов сводится к увеличению процессов аккумуляции радия и урана летом и осенью и некоторого их снижения зимой и весной. Причины, вызывающие эти колебания, по-видимому, одни и те же для разных видов мышевидных грызунов. Динамика содержания ЕРЭ в организме полевки-экономки, установленная в исследованиях В.И. Маслова, показала, что макси-

мум накопления этих остеотропных элементов падает на ранний возраст до одного месяца, т.е. совпадает с периодом наибольшей активности роста скелета. В это время на 1 г живого веса животного приходится: радия до $1.5 \cdot 10^{-12}$ г, урана – $2.3 \cdot 10^{-8}$ г, тория – $1.1 \cdot 10^{-8}$ г, это накопление значительно больше, чем в последующие месяцы жизни зверьков. При сравнении интенсивности аккумуляции организмом полевки ЕРЭ по сезонам года была установлена высокая концентрация радиоэлементов в организме животных летом. Осенью наблюдается тенденция к снижению их в организме. С октября по апрель (в течение всего снежного периода) содержание ЕРЭ резко падает, что заметно коррелирует с сезонными изменениями среднего веса полевков. Весной в организме животных содержание урана и радия возрастает (в расчете на 1 г живой массы), что, вероятней всего, обуславливается сезонной активизацией обменных процессов в организме после зимнего периода. На участках с более высокой мощностью гамма-фона (8000 мкР/ч), обусловленной повышенной концентрацией радиоэлементов в почвенном покрове, наблюдалось повышенное содержание ЕРЭ в организме зверьков. Так, если на урано-радиевом участке содержание радия у полевков в возрасте одного месяца достигало $1.5 \cdot 10^{-12}$ г/г, а урана $2.5 \cdot 10^{-8}$ г/г живой массы, то на участке с меньшей мощностью гамма-фона (4000 мкР/ч) у той же возрастной группы количество радия и урана в организме было вдвое меньшим. В то же время в аналогичной группе контрольного участка концентрация урана и радия была почти в 20-40 раз ниже, чем на опытных участках. У отдельных животных, обитающих на участках высокой радиоактивности, наблюдалось повышение содержания радия в организме в 100 раз по сравнению с контролем. На основании изучения вариабельности содержания урана, радия и тория в организме полевков, обитающих в различных радиоэкологических условиях, В.И. Маслов пришел к заключению, что интенсивность накопления ЕРЭ тесно связана не только с концентрацией их в почвенном и растительном покрове участка обитания, но зависит также и от возрастных особенностей организма. Эти биологические особенности учитывались им при расчетах аккумуляции урана, радия и тория популяциями полевко-экономок, обитающих в условиях радиевых и урано-радиевых биогеоценозов. Популяции полевко-экономок опытных участков во все периоды существования численности аккумулируют радия значительно больше, чем популяции контрольных биогеоценозов. Популяция полевков контрольного участка в период депрессий, несмотря на большую численность и, следовательно, большую биомассу по сравнению с радиевым и урано-радиевым участками, аккумулирует радия соответственно в 6.5 и 2.0 раза меньше. Особенно большие различия между популяциями контрольных и опытных участков в количестве радия, собираемого с одного гектара, наблюдаются в период пика численности. На радиевом участке № 1 (высокий уровень радиоактивности) полевки аккумулируют с 1 га $3.5 \cdot 10^{-9}$ г радия, на урано-ра-

диевом – $2.2 \cdot 10^{-9}$ г, что в 30 и 20 раз больше того количества радия, которое собирается популяцией полевков контрольного участка [8-10].

В.И. Масловым было установлено, что несколько иная картина наблюдается с аккумуляцией урана. В годы депрессии, в результате более высокой численности полевков на участках нормальных радиационных условий, аккумуляция урана биомассой зверьков достигает $40.7 \cdot 10^{-7}$ г. На радиевых и урано-радиевых участках популяция полевков аккумулирует лишь немногим более половины этого количества. Даже в годы подъема на урано-радиевом участке ввиду замедленного процесса восстановления численности популяции после периода упадка аккумуляция урана биомассой полевков остается все еще низкой и составляет лишь 61 % от общего количества аккумулируемого популяцией контрольного участка. Это факт ученый объясняет тем, что содержание урана в рационе полевков радиевых участков лишь в 1.5-2.0 раза выше контроля, в то время как численность полевков, а следовательно, и вес их биомассы уменьшается в 10-15 раз. За счет этого в годы депрессии при минимальной численности полевков на радиевых участках общая аккумуляция урана оказывается меньшей, чем в контроле. Иная картина наблюдается при аккумуляции биомассой радия. В результате высокой концентрации этого радиоэлемента в рационе опытных полевков (в 20-100 раз выше контроля) общая аккумуляция радия возрастает у них независимо от колебаний численности популяции [8].

В.И. Маслов обобщает, что аккумуляция урана биомассой популяции полевко-экономок достигает максимума, превышая в 2.0-2.5 раза количество урана, накапливаемого полевками контрольного участка только в годы высокой численности животных, особенно заметно это проявляется на урано-радиевом участке.

Исследования 60-х годов показали, что на радиевых и урано-радиевых участках повышенной радиоактивности, характеризующихся невысоким содержанием тория в почвенном покрове (в 2-5 раз выше кларковых концентраций) аккумуляция этого радиоэлемента популяцией полевко-экономок с одного гектара территории в годы депрессии почти в 2-5 раз меньше, чем на участках нормальных радиационных условий. Это объясняется меньшей численностью полевков в годы депрессии на участках повышенной радиоактивности, по сравнению с численностью полевков контрольных участков. Незначительная разница по сравнению с контролем наблюдается в выносе тория популяциями полевков опытных участков с одного га территории в период подъема численности, когда популяция начинает восстанавливаться, но еще не достигает своего нормального состояния. Так, если с одного га контрольного участка в годы подъема численности популяция полевки-экономки аккумулирует $14.0 \cdot 10^{-4}$ г тория, то на радиевом участке высокой активности эта величина составляет лишь $10.6 \cdot 10^{-4}$ г, а на урано-радиевом в два-три раза меньше – $3.4 \cdot 10^{-4}$ г [5, 10].

В работе В.И. Маслова были обнаружены также сезонные изменения в интенсивности аккумуляции урана, радия и тория популяциями полевков-экономок в зависимости от радиоэкологических условий обитания (рис. 1). Эти данные показывают, что наиболее активно этот процесс у полевков-экономок происходит в летне-осенние месяцы, что обуславливается высокой радиоактивностью кормов этого периода и высокой численностью полевков. За пять месяцев бесснежного периода (15 мая–15 октября) полевки аккумулируют до 75 % урана, радия и тория, собираемого популяцией с этой площади в течение года. В годы максимальной численности и массовых миграций полевков, когда число мигрантов может достигать нескольких сотен, этот процесс будет усиливаться. В результате наблюдений за мечеными животными В.И. Масловым была установлена интенсивность и дальность миграции полевков и определено точное количество радиоактивных элементов, разносимых полевками-мигрантами в разные сезоны года на территории участка повышенной радиоактивности. Полученные данные показали, что более половины общего количества радиоэлементов переносится полевками-мигрантами за пределы участка на расстояние не более 500 м. Из общего количества радия, разносимого мигрантами за пределы участка повышенной радиоактивности, на расстояние 250 м разносится около 52, на 500 м – до 33, на 1000 м – до 12 и на 2000 м – около 3 %. Было установлено, что наиболее интенсивно разнос радиоактивных элементов происходит летом и осенью (78.6 % годового выноса) [8].

Итак, изучение динамики накопления ЕРЭ одним из распространенных видов мышевидных грызунов – полевкой-экономкой в возрастном и сезонном аспектах позволило установить, что наиболее активно процесс аккумуляции радия и урана происходит у них в раннем возрасте (до двух месяцев) [8]. По формуле, предложенной В.И. Масловым, на примере полевки-экономки были произведены расчеты аккумуляции ЕРЭ популяциями, обитающими в различных радиоэкологических условиях. Установлено, что популяции полевков радиевых и урано-радиевых биогеоценозов аккумулируют радия значительно больше, чем популяции полевков контрольных биогеоценозов во все биологические периоды состояния численности (депрессии, подъема и пика). Аккумуляция урана из-за более слабого его поглощения растениями возрастала на участках повышенной радиоактивности только в период пика численности популяции. Что же касается тория, то исследования показали, что в условиях данных таежных биогеоценозов аккумуляция этого радиоэлемента животными в ко-

личественном выражении на всех участках была примерно одинаковой независимо от уровня их радиоактивности. Общее количество аккумулируемых радиоэлементов различными популяциями полевков возрастало в летне-осенние месяцы, что обуславливалось высокой радиоактивностью кормов этого периода и более высокой численностью полевков [8, 9].

Многолетние комплексные исследования различных районов повышенной радиоактивности позволили В.И. Маслову получить разносторонний материал об участии многих животных и аккумуляции ЕРЭ в условиях таежных биогеоценозов. Установлено, что от общего количества естественных радиоактивных элементов, аккумулируемых всеми наземными позвоночными животными, исследуемых биогеоценозов, только пять видов мышевидных гры-

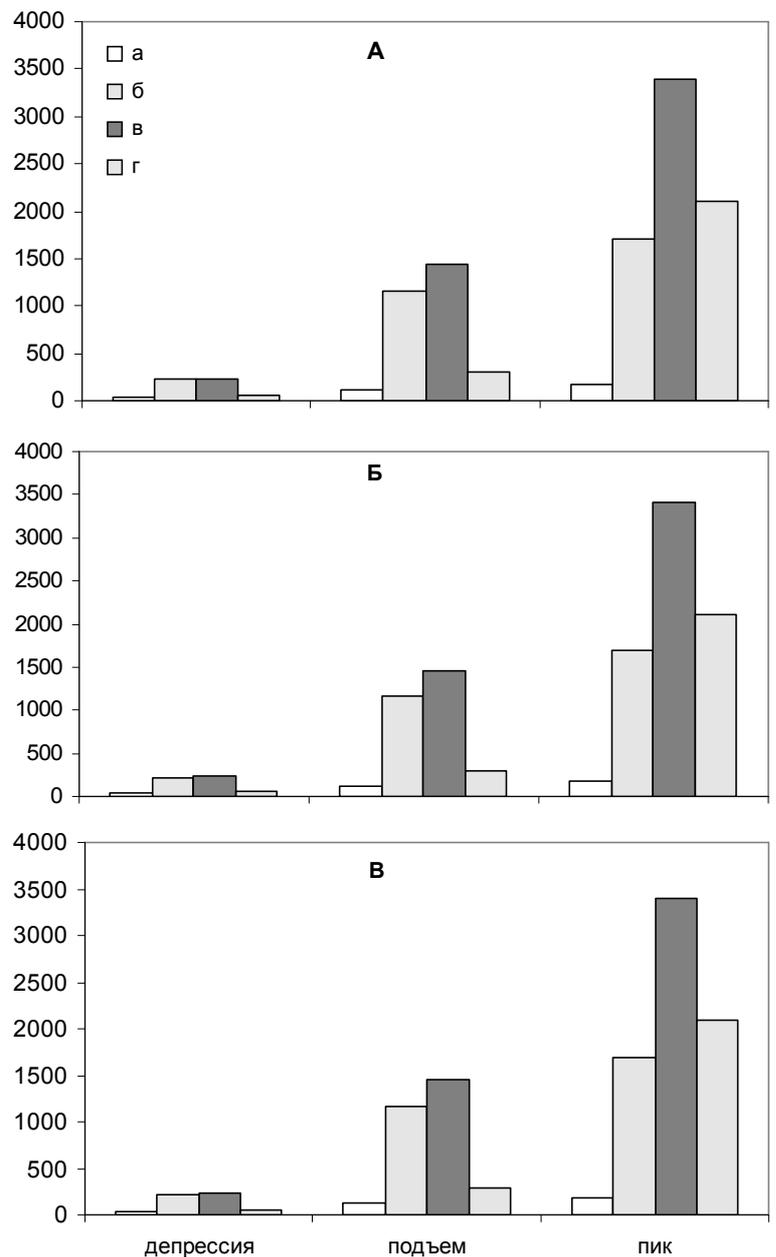


Рис. 1. Аккумуляция радия (А, 10⁻¹⁰ г), урана (Б, 10⁻⁸ г) и тория (В, 10⁻⁵ г) популяцией полевки-экономки в разные периоды ее состояния на контрольном (а), радиевом № 1 (б), радиевом № 2 (в) и урано-радиевом (г) участках в течение года с площади 1 га (данные В.И. Маслова, 1972). По горизонтали указаны фазы популяционного цикла.

зунов аккумулируют свыше 88 % радия, более 86 % урана и свыше 91 % тория. Данные, полученные В.И. Масловым, с достаточной убедительностью показывают, что роль мышевидных грызунов в процессах биогенной миграции радиоэлементов даже в условиях таежной зоны очень велика.

Исследования на этих же радиоактивных участках, проведенные уже в 90-е и 2002-2005 гг., прежде всего подтвердили данные, полученные ранее В.И. Масловым, что аккумуляция радиоактивных элементов (на примере радия-226) у полевков опытных участков идет гораздо сильнее, чем у полевков контрольных участков (рис. 2). Особенности последующих периодов исследований является то, что у полевков контрольных участков отмечали более интенсивное накопление радия, чем у животных этих же контрольных участков в 60-е и 80-е годы. Следует также отметить, что у полевков радиевого и урано-радиевого участков в 90-е и 2002-2005 гг. по сравнению с данными 60-х и 80-х годов аккумуляция радия сильно возрастает. Предполагаем, что отмеченные особенности можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, в связи с происходящим распадом радия наблюдается увеличение мобильных форм радия в почве и в результате этого вынос радионуклидов растительностью происходит интенсивнее. Известно, что растительность является основным кормом полевков, поэтому и накопление радия-226 организмом зверьков происходит сильнее. Во-вторых, в период исследований В.И. Маслова большое внимание уделяли миграции полевков – животных с высоким накоплением радионуклидов выделяли в группу мигрантов и вычленили их из общей выборки животных. В последние годы полевков-мигрантов мы не выделяли в отдельные группы, в результате в общую выборку животных с контрольных участков могли попасть пробы полевков с достаточно высоким накоплением радия, относящихся к животным-мигрантам второго контрольного участка, который находился относительно близко от радиевого стационара (примерно в 500 м, через р. Чуть). Все это приводило к повышению среднего значения

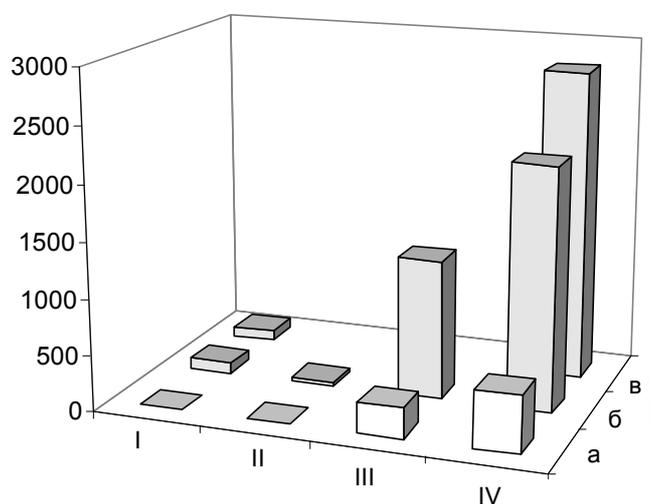


Рис. 2. Аккумуляция радия-226 организмом полевков-экономок (10^{-14} г/г живой массы) на контрольном (а), радиевом (б) и урано-радиевом (в) участках в 60-90-е (I-III) и 2002-2005 (IV) годы.

показателя в группе контрольных животных. Таким образом, полученные данные в последние годы исследований требуют более обстоятельного анализа всех компонентов биогеоценозов как с повышенной радиоактивностью, так и с нормальным (фоновым) уровнем радиоактивности в системе почва–растения–животные, чтобы дать полный ответ на этот вопрос.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варшавский С.Н., Крылова К.Т. Основные принципы определения возраста мышевидных грызунов. 1. Мыши: материалы по грызунам // Фауна и экология грызунов. М., 1948. № 3. С. 179-190.
2. Груздев Б.И. Естественные и искусственные элементы в растениях некоторых природных биогеоценозов северо-востока европейской части СССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1972. 12 с.
3. Изменчивость популяции *V. cracca* L. на территории, имитирующей урано-радиевое загрязнение / О.Н. Попова, В.И. Шершунова, Р.П. Коданева и др. Сыктывкар, 1985. 34 с. – (Сер. Науч. докл. / Коми фил. АН СССР; Вып. 127).
4. Кудяшева А.Г. Активность дегидрогеназ в тканях полевков-экономок (*Microtus oeconomus* Pall.), обитающих в условиях повышенной естественной радиоактивности: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Киев, 1986. 24 с.
5. Маслов В.И. Влияние роющей деятельности мышевидных грызунов на перераспределение радиоактивных элементов в лесных биогеоценозах // Материалы научной конференции Института биологии. Сыктывкар, 1971. С. 35.
6. Маслов В.И. Методы исследований радиоэкологии животных в условиях районов повышенной радиоактивности // Методы радиоэкологических исследований. М.: Атомиздат, 1971. С. 128-140.
7. Маслов В.И. Радиационная обстановка жилищ и убежищ мышевидных грызунов в условиях биогеоценозов повышенной естественной радиоактивности // Радиоэкологические исследования в природных биогеоценозах. М.: Наука, 1972. С. 216-226.
8. Маслов В.И. Миграция урана, радия и тория в системе почва–растения и роль мышевидных грызунов в этих процессах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1972. 16 с.
9. Маслов В.И. Методы определения количества урана, радия и тория, аккумулируемых популяциями мышевидных грызунов в различных радиоэкологических условиях природных биогеоценозов // Вопросы радиоэкологии наземных биогеоценозов. Сыктывкар, 1974. С. 104-119.
10. Маслов В.И. Влияние жизнедеятельности мышевидных грызунов на перераспределение нуклидов урана, тория и радия в биогеоценозах повышенной радиоактивности // Миграция и биологическое действие естественных радионуклидов в условиях северных биогеоценозов. Сыктывкар, 1980. С. 25-42. – (Тр. Коми фил. АН СССР; № 48).
11. Маслова К.И. О роли гистологического метода при проведении радиоэкологических исследований // Методы радиоэкологических исследований. М.: Атомиздат, 1971. С. 155-160.
12. (Маслов В.И., Груздев Б.И., Маслова К.И.) Maslov V.I., Gruzdev B.I., Maslova K.I. The role of nutiforum rodents in the biogenous migration of uranium, radium and thorium under different radioecological conditions // Symposium of radioecology. Cadarache (France), 1969. P. 68.

13. *Наумов Н.П.* Типы поселений грызунов и их экологическое значение // Зоол. журн., 1948. Т. 33, вып. 2. С. 25-29.

14. *Новиков Г.А.* Полевые исследования экологии наземных позвоночных животных. М.: Изд-во Сов. наука, 1949. 602 с.

15. *Носкова Л.М., Шуктомова И.И.* Оценка запасов радия на территории хвостохранилища бывшего радиевого промысла // Геохимия биосферы: Докл. междунар. науч. конф. Москва-Смоленск, 2006. С. 267-269.

16. *Носкова Л.М., Шуктомова И.И., Рачкова Н.Г.* Миграция естественных организмов в системе почва-растение на территории бывшего радиевого промысла // Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды «БИОРАД-2006»: Тез. докл. междунар. конф. Сыктывкар, 2006. С. 25-26.

17. *Палей П.Н.* Методы определения малых количеств урана в рудах // Исследования в области геологии, химии и металлургии. М., 1955. С. 24-26.

18. *Подсокорская В.Н.* Методика определения тория (естественного) в биообъектах // Материалы III Коми республиканской молодежной научной конференции. Сыктывкар, 1969. С. 26.

19. *Пястолова О.А.* Экоморфологические особенности субарктических популяций полевки-экономки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск, 1967. 20 с.

20. *Старик И.Е.* Радиохимический анализ // Анализ минерального сырья. Л.: Химтеоретиздат, 1936. С. 26-30.

21. *Старик И.Е.* Основы радиохимии. Л., 1969. 247 с.

22. *Титаева Н.А., Таскаев А.И.* Миграция тяжелых естественных радионуклидов в гумидной зоне. Л.: Наука, 1988. 232 с.

23. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: миграция и биологическое действие на популяции и биоценозы / *Р.М. Алексахин, Н.П. Архипов, Р.М. Бардухаров* и др. М.: Наука, 1990. 368 с.

24. *Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н.* Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных животных. Свердловск, 1968. С. 132-173. – (Тр. Ин-та экологии растений и животных. Вып. 58).

25. *Fredga K., Persson F., Stenseth N.Chr.* Centric fission in *Microtus oeconomus*. A chromosome study of isolated population in Fennoscandia // *Hereditas*, 1980. Vol. 92. № 2. P. 209-216. ❖

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ПОЛЕВКИ-ЭКОНОМКИ

В БИОГЕОЦЕНОЗАХ С ПОВЫШЕННЫМ УРОВНЕМ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ

Известно, что для мышевидных грызунов характерно циклическое изменение численности, при котором высокая плотность (пик численности) сменяется спадом и депрессией. Колебание численности серых полевок происходит, как правило, с определенной периодичностью – пики численности наблюдаются с интервалом в три-четыре года [3, 6].

В исследованиях В.И. Маслова помимо рассмотрения многочисленных методических разработок в радиоэкологии [8] была отведена большая роль изучению численности мышевидных грызунов, обитающих в биогеоценозах с повышенным уровнем естественной радиоактивности. Он обращал внимание, что определение численности мышевидных грызунов в исследуемых биогеоценозах является не только крайне желательным, но и необходимым условием работы в природе [7]. Существующие методы абсолютного учета численности диких животных и особенно мышевидных грызунов, применяемые в полевых исследованиях [7, 17], являются довольно трудоемкими и требуют специального оборудования и длительного времени. Среди методов относительного учета численности мышевидных грызунов следует указать метод учета нор [2, 22, 29], учет по погадкам хищ-



д.б.н. **А. Кудряшева**
зав. лабораторией
радиоэкологии животных
E-mail: kud@ib.komisc.ru
тел. (8212) 43 04 78



к.б.н. **О. Шевченко**
н.с. этой же лаборатории



Н. Загорская
н.с. этой же лаборатории

Научные интересы:
радиоэкология, радиационная биохимия

ных птиц [19], учет мышевидных грызунов на пробных площадках с помощью ловчих цилиндров [25]. Результаты учета ловчими траншеями в сочетании с ленточными отловами давилками показаны В.А. Поповым [20]. Однако самым распространенным методом относительного количественного учета численности мышевидных грызунов, нашедшим широкое применение при изучении состава природных популяций полевок, стал метод ловушко-линий, предложенный В.Н. Шнитниковым [31] и усовершенствованный П.Б. Юргенсоном [32] и А.Н. Формозовым [29]. Удобный для полевых исследований, не требующий больших затрат труда и времени, хорошо отработанный и ставший стандартным, этот метод, как показано в диссертации В.И. Маслова [7], дает лишь относи-

тельные показатели характеристики видового, возрастного, полового состава и численности мышевидных грызунов на исследуемой территории. Им были также перечислены другие способы, такие как изоляция учетных площадок глубокими земляными канавами [18], металлической сеткой [17] или заборчиками [26-28] с последующим отловом мышевидных грызунов. Эти способы дают наиболее точную информацию о состоянии исследуемой популяции, но, к сожалению, связаны со значительными трудностями, ограничивающими их применение. Метод, предложенный Л.П. Никифоровым [14], более прост и эффективен, но также осложняется необходимостью применения сравнительно дорогого, громоздкого и тяжелого оснащения стационарных учетных площадок.

Способ учета численности животных с применением методов кольцевания, предложенный В.В. Раевским [21], а также Н.Н. Наумовым [12], обладает значительными преимуществами и удобствами и получил в 60-70 годы широкое признание. Наиболее полный обзор характеристик применяющихся методов учета численности мышевидных грызунов был дан в 50-е годы Г.А. Новиковым [15], В.В. Кучерук [4, 5], а также С.С. Шварцем и В.Н. Павлининой [30].

При изучении абсолютной численности природных популяций животных на значительных участках их ареала разными исследователями ранее были использованы данные относительных учетов с применением коэффициентов перехода от данных относительных учетов к показаниям абсолютной численности данной популяции [13, 14]. Наиболее полное освещение этого вопроса было дано В.С. Смирновым [24].

Отлов животных как в 60-е годы, так и в последующие периоды исследований вплоть до настоящего времени проводили стандартными живоловушками в один и тот же период (июль-август), продолжительность отлова на каждом участке составляла пять суток при ежедневном осмотре ловушек. Относительную численность полевок определяли как количество отловленных зверьков на 100 ловушко-суток. В 60-е годы кроме летних отловов проводили зимний и весенний отловы животных, при этом для определения абсолютной численности полевок был применен метод недельного отлова на учетных площадках с последующим определением доли недолова, выявляемого с помощью раскопок нор [7]. В связи с необходимостью получения данных точного учета численности животных, входящих в изучаемые биогеоценозы, В.И. Масловым и сотрудниками отдела помимо проведения ежегодных относительных количественных учетов, осуществляющихся в течение 10 лет (1959-1969 гг.), были проведены абсолютные учеты численности на стационарных участках. Цель этих работ – получение данных абсолютной численности полевок на учетных площадках и экстраполяция их на всю территорию изучаемых участков.

Для установления абсолютной численности полевок был применен комплексный метод: отлов полевок живоловушками в течение пяти дней с последующим отловом всех оставшихся животных на учетной площадке мето-

дом раскопки нор. Учет проводился летом и осенью в одно и то же время на шести участках-стационарах (трех радиевых, урано-радиевом и двух контрольных участках). На стационарных учетных площадках устанавливалось четыре линии ловушек общим количеством 100 штук. Ловушки ставились через пять метров с интервалом между линиями 25 метров. Таким образом, учетная площадь на каждой площадке-стационаре равнялась 1 га и составляла от 10 до 50 % всей площади изучаемого участка, что вполне соответствовало желательному соотношению учетной территории и всей площади участка для получения достоверных сведений о численности мышевидных грызунов в данном районе [16]. Установке ловушек предшествовали работы по учету всех жилых и нежилых нор на учетной площадке, которые для удобства наблюдения за ними нумеровались и обозначались вешками. Все норы закрывались, раскопанные грызунами в течение двух суток считались жилыми. Проверка нор осуществлялась одновременно с проверкой ловушек. Отлов на учетной площадке проводился в течение пяти дней с проверкой ловушек один раз в сутки. В день окончания отлова или на шестой день со дня его начала проводился абсолютный учет численности животных, оставшихся на учетной площадке после проведения отлова. Этот учет осуществлялся методом раскопки всех нор, имеющих на учетной площадке, и отлова всех грызунов, обнаруженных в них. Раскопка нор во избежание захода на площадки животных или ухода их проводилась в минимально короткие сроки (в течение одного дня) силами четырех человек. Участок, на котором проводилась раскопка нор, равнялся 1/3 всей территории учетной площадки. Абсолютная численность животных определялась как сумма результатов отлова особей давилками и отлова зверьков при раскопке нор. В результате применения этого метода были получены данные о количественной характеристике популяции полевок-экономок в различные биологические периоды (депрессии, подъема и пика численности). Для перевода данных относительного отлова мышевидных грызунов в абсолютные показатели численности были получены соответствующие коэффициенты [7]. Математический анализ результатов проведенных учетных работ [11] показал правомерность использования экспериментально уста-

новленных коэффициентов перехода от относительной и абсолютной численности, равных 1.6 и 1.3 соответственно для весеннего и осеннего периодов. Установленные коэффициенты были использованы в последующие годы для перевода данных относительного отлова в абсолютные показатели численности полевок в пересчете на 1 га площади. В последующие периоды (80-е годы и 1993-2006 гг.) определяли лишь относительную численность полевок в пересчете на 100 ловушко-суток. Таким образом, в 60-е годы под руководством В.И. Маслова был заложен фундамент для радиоэкологических исследований природных популяций мышевидных грызунов, была тщательно разработана методология постановки полевых исследований в биогеоценозах с повышенным уровнем естественной радиоактивности, которой пользуются до сих пор сотрудники отдела радиоэкологии.

В работе приведены сравнительные данные анализа результатов по численности полевок-экономок, полученные в ходе многолетних исследований под руководством В.И. Маслова в 60-е годы в биогеоценозах с повышенным уровнем естественной радиоактивности, и данные полевых исследований сотрудников отдела радиоэкологии начиная с 80-х годов до настоящего времени (1993-2006 гг.). В 80-е годы в экспедициях по учету численности животных на радиоактивных участках с повышенным уровнем естественной радиоактивности (пос. Водный, Ухтинский район) принимали участие сотрудники отдела радиоэкологии: А.Г. Кудяшева, Л.А. Башлыкова, Н.Г. Загорская, А.И. Кичигин, О.В. Ермакова, А.О. Ракин, а в 90-е годы в данную группу влились О.Г. Шевченко, О.В. Раскоша, Д.В. Гурьев, Н.Н. Старобор, Н.Г. Юшкова, которые работают и в настоящее время.

При расчете общего количества радиоэлементов, аккумулируемых популяций полевок с единицы площади участка обитания, помимо сведений о среднем содержании ЕРЭ в кормах, а также в организме полевок каждой возрастной (весовой) группы, совершенно необходимы данные, характеризующие состояние численности и возрастной структуры популяции. В экологических исследованиях при изучении состояния популяции мышевидных грызунов широко используются результаты учетных работ по определению численности животных в летне-осенний период. Это позволяет про-

вести необходимые расчеты, связанные с биомассой животных, количеством естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ), накапливаемых и разносимых популяцией, способствующих уточнению характера биогенной миграции ЕРЭ в природных условиях.

В.И. Масловым были обобщены результаты осенних учетов численности полевки-экономки, проведенных в период с 1957 по 1965 г. на участках с разным уровнем радиоактивности (рис. 1). Им было установлено, что в контрольных популяциях полевок, обитающих в нормальных радиационных условиях и в популяциях, обитающих на территориях с повышенной естественной радиоактивностью, наблюдаются различия в численности зверьков по годам. Популяции зверьков прошли два полных цикла колебания численности (годы депрессии, 1957, 1960 и 1965 г.; период восстановления численности, 1958 и 1961 гг.; пик численности, 1959 и 1963 гг. и спад численности, 1960 и 1964 гг.). В течение 10 лет было прослежено два максимума численности полевок. Годы низкой численности в исследуемый период совпадали с неблагоприятными экологическими и погодными условиями (тяжелые условия зимовки и холодная затяжная весна). Учетные работы тех лет показали, что в популяциях из биогеоценозов повышенной радиоактивности численность полевок по сравнению с контрольной популяцией заметно сократилась. При этом популяциям каждого биогеоценоза, характеризующегося определенной концентрацией радиоактивных элементов в почвенном покрове и уровнем радиоактивности среды, была свойственна своя кривая динамики численности (рис. 1).

Так, численность популяции биогеоценоза радиевого района высокой активности (радиевый участок № 1, кривая 3) по сравнению с популяцией из района с нормальными радиационными условиями (контрольный участок, кривая 1) за время полного биологического цикла (1960-1964 гг.) в фазу подъема сократилась в 2.5 раза, в период пика — в 3.0 раза и в фазу спада численности — в 5.0 раз. Характерно, что интенсивность подъема и спада численности полевок в различных биогеоценозах не всегда была одинаковой, в результате чего годы пика численности в сравниваемых популяциях часто не совпадали. В районах с повышенным уровнем радиоактивности нарастание численно-

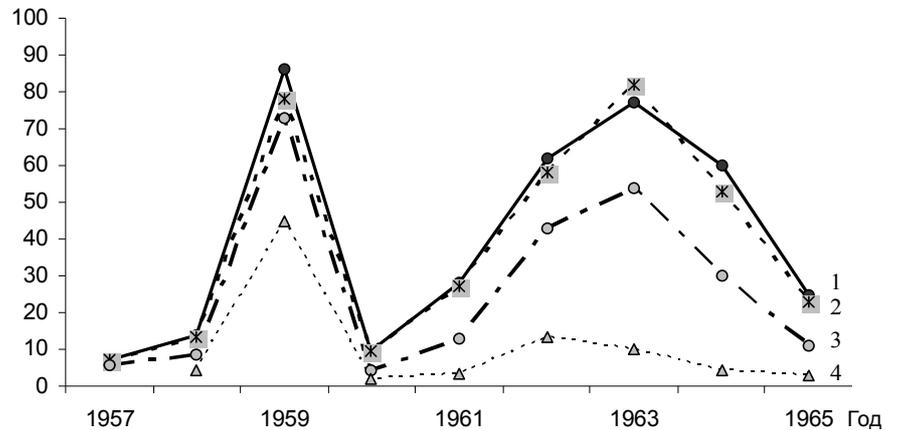


Рис. 1. Динамика абсолютной численности полевки-экономки (особей/га) на контрольном (1), радиевом № 1 (2), радиевом № 2 (3) и урано-радиевом (4) участках [8].

сти полевок-экономок (в годы благоприятных экологических условий) было замедленным, а спад (в годы неблагоприятных экологических условий) шел с большей скоростью, чем в популяции животных с контрольных участков. В популяциях, подвергшихся более сильному воздействию радиационных условий (радиевый № 1 и урано-радиевый сильнозагрязненные участки), снижение численности происходило на год раньше, чем в популяциях из биогеоценоза с нормальными радиационными условиями. Это обстоятельство учитывалось при расчете биомассы животных. Исследования по определению количества радиоактивных веществ, аккумулируемых популяцией полевок в течение года, требовали дополнительного анализа численности полевок не только в осенне-летний, но также в весенний и зимний периоды. Важным выводом из этих работ является то, что на участках различного уровня радиоактивности в разные сезоны года состояние популяций полевок было весьма специфично для каждого исследуемого участка. В.И. Масловым было установлено, что для популяций полевок-экономок, обитающих на участках повышенной радиоактивности, характерна более низкая численность, при этом максимальное снижение численности приходится на участки с более высокой радиоактивностью (урано-радиевый участок), что заметно влияет на структуру популяции во все сезоны года. Скорость восстановления численности полевок в летне-осенний период также во многом зависит от радиоэкологических условий обитания популяции. Так, если на участках нормального уровня радиоактивности в годы пика численности количество зверьков в течение летне-осеннего

периода увеличивалось в шесть раз по сравнению с весенней численностью, то на участках урано-радиевом и радиевом № 1 численность полевок в течение лета и осени повышалась лишь в 4.6 раза. В годы депрессии процесс нарастания численности полевок в летне-осенний период в популяциях радиевых и урано-радиевых участков происходил заметно медленнее, чем на контрольном. Численность полевок на контрольных участках осенью увеличивалась в четыре раза по сравнению с весной, в то время как на радиевых участках — в три раза, а на урано-радиевом участке — только в два раза. Было обнаружено, что в годы крайнего неблагоприятия популяция численность полевок на радиоактивных участках в течение одного сезона могла сокращаться с 90 до трех зверьков (т.е. в 30 раз), на радиевом участке высокой активности — с 56 до одного зверька (т.е. в 56 раз) [7].

Учет численности полевок-экономок, обитающих на контрольном и радиоактивных стационарах, начиная с 80-х годов до настоящего времени подтвердил данные, полученные В.И. Масловым, и позволил также выявить наличие популяционных циклов у данного вида (рис. 2). Изучение динамики численности диких грызунов в районе восточно-уральского радиоактивного следа (ВУРС), в зоне аварии на Чернобыльской АЭС (некоторых видов мышевидных грызунов) показало синхронность популяционных циклов на загрязненных и контрольных участках [1, 3]. Проведенный анализ динамики численности в 80-е годы обнаружил наличие четких и синхронных колебаний численности полевок-экономок на контрольном и радиоактивных (опытных) участках: все фазы численности животных (пик, спад, депрессия,

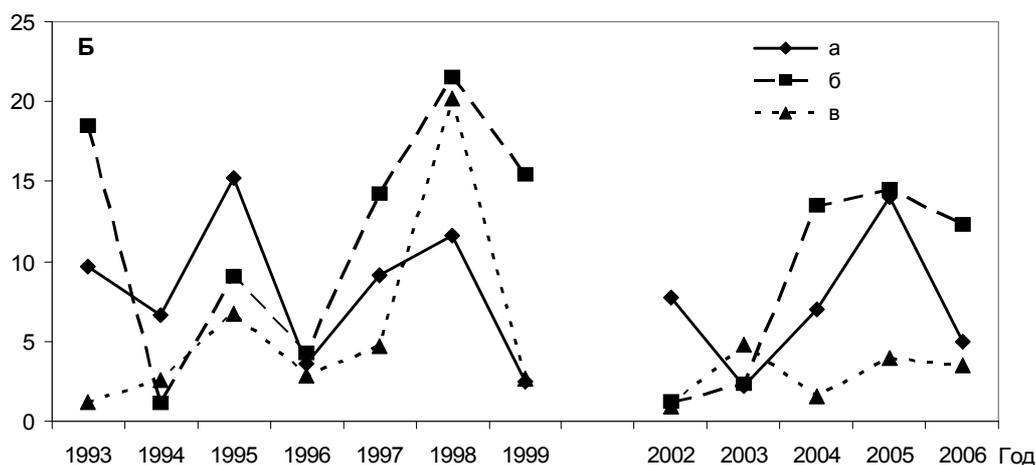
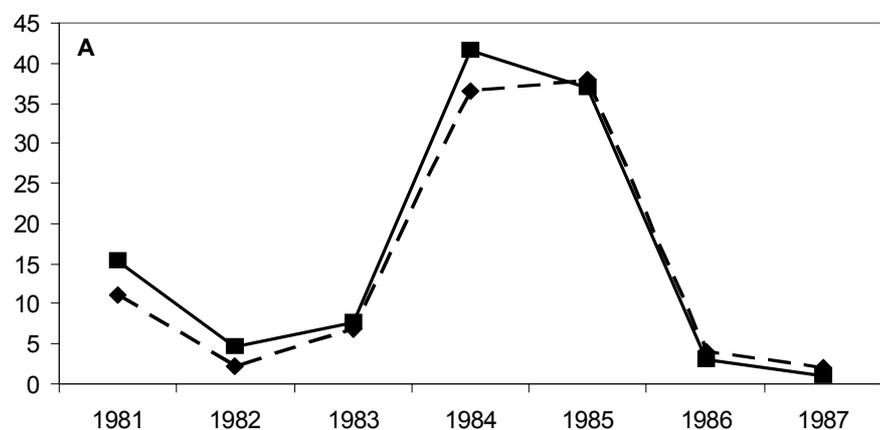


Рис. 2. Динамика относительной численности полевки-экономки (особей/100 повушко-суток) на контрольном (а), радиевом (б) и урано-радиевом (в) участках в 80-е (А) и 1993-2006 (Б) гг.

подъем) последовательно сменяют друг друга (рис. 2). При сравнении этих данных с результатами 60-х годов и периода 1993-2006 гг., следует отметить, что на урано-радиевом участке численность полевых длительное время находится на низком уровне как в 1960-1965 гг., так и в 1993-1997 гг., особенно это проявляется в последний период наблюдений (2002-2006 гг.) (рис. 2). Пик численности здесь наблюдается значительно реже, чем на других участках. Аналогичная закономер-

ность нами была отмечена в популяциях мышевидных грызунов (на примере полевки-экономки), обитающих в зоне ЧАЭС в первые семь лет после аварии [1, 23].

Необходимо отметить различия в численности зверьков как контрольного, так и радиоактивных участков в одни и те же фазы популяционного цикла в разные годы наблюдений. Более низкая абсолютная численность полевых на радиевом, урано-радиевых участках в 1950-1960 гг. (рис. 1) может

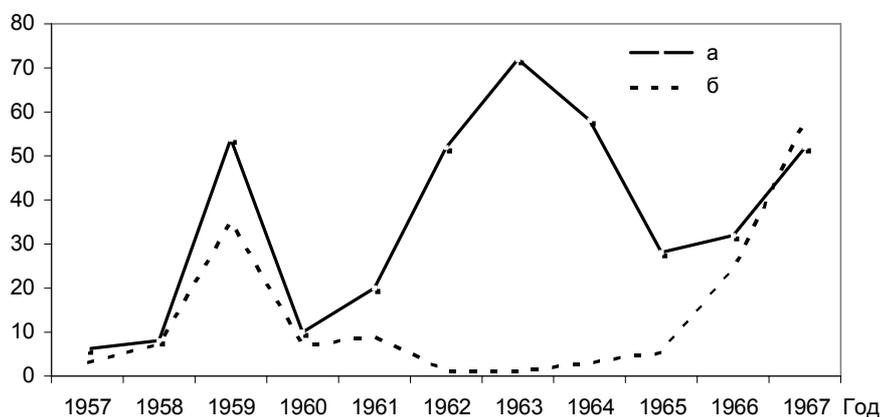


Рис. 3. Динамика абсолютной численности полевки-экономки (особей/га) на контрольном (а) и радиевом участке № 1 высокой радиоактивности (б) до (1957-1961 гг.) и после (1961-1967 гг.) проведения дезактивационных работ.

быть связана с высоким уровнем радиоактивного загрязнения. В этот период в результате воздействия повышенного уровня ионизирующего излучения у животных наблюдали нарушения в органах половой системы. У большинства животных были изменения в зародышевом эпителии семенников, сокращение запаса первичных яйцевых фолликулов и увеличение частоты встречаемости патологически измененных форм. Все это вызывало нарушение в процессах спермо- и овогенеза, которые приводили к времен-

ной и глубокой стерильности самцов, торможению их полового созревания, повышению эмбриональной гибели плодов, сокращению репродуктивных возможностей у самок [9, 10]. По прошествии длительного времени после начала радиоактивного загрязнения (с 30-х годов) и после дезактивации радиевого участка песчано-гравийной смесью (60-е годы) на радиевом участке наблюдали не только снижение уровня радиоактивного загряз-

нения, но и изменение характера динамики численности животных. В это время не отмечены синхронные колебания фаз численности, практически пять лет (1961-1964 гг.) численность полевых остается на очень низком уровне (рис. 3). Низкая численность полевых на радиевом участке в первую очередь связана с отсутствием кормовой базы для мышей, лишь после зарастания участка растительностью в 1965 г. начинается рост численности полевых, который достигает уровня численности на контрольном участке в 1967 г.

В 80-е годы отмечали более высокую численность полевых-экономок на радиевом участке, чем на контрольном (рис. 2), эту же закономерность отмечали в 90-е годы, когда в разные фазы популяционного цикла (периоды исследований – 1996-1999 и 2003-2006 гг.) численность полевых на радиевом участке была выше, чем на контрольном. Это могло бы свидетельствовать о стабилизации и определенной адаптации популяций полевых к повышенному радиационному фону. Однако сравнение численности полевых в последнее десятилетие (с 1993 по 2006 г.) показывает, что относитель-

ная численность их на радиевом и контрольном участках изменяется в большем диапазоне в разные фазы и наблюдается общая тенденция для обоих участков – снижение численности животных. Если в 80-е годы в пике численности отловленных полевков было до 40-45 особей на 100 ловушко-суток, то в эту же фазу в 1995, 1998 и 2005 гг. число пойманных полевков не превышало 15-23 особей на 100 ловушко-суток, что в среднем указывает на снижение численности полевков в два раза по сравнению с 80-ми годами. Следует обратить внимание, что в последние два года исследований (2005-2006 гг.) характерным как для радиевого, так и для контрольного стационаров является заселение участков другими видами мышевидных грызунов – особенно в большом количестве в 2005 и 2006 гг. отлавливали водяных полевков, рыжих полевков, бурундуков. Одной из причин могут быть благоприятные погодные условия для размножения этих видов животных, другой причиной – сильное зарастание, особенно это касается радиевого участка, древесной растительностью, которая в центре участка образует сплошной лесной массив из лиственных пород деревьев (появились ива, осина, черемуха, береза, кусты красной смо-

родины и т.д.). В результате радиевый участок начинает постепенно приобретать другой тип растительности, характерный для лесного типа, а не лугового, что не является типичным для стационарного обитания полевков-экономок.

Таким образом, сравнение численности полевков на разных стационарах показывает, что на радиевом и контрольном участках наблюдается синхронное чередование фаз популяционного цикла. Но в отличие от контрольной популяции животных, в радиевой наблюдали более резкое изменение численности, что может быть связано с ее неустойчивостью и большей гибелью животных. Отметим также, что на урано-радиевом участке, характеризующимся более высоким уровнем радиоактивного загрязнения и наличием в почве не только соединений радия, но и урана, который является не только радиоактивным, но и токсичным тяжелым металлом, в динамике численности полевков наблюдаются длительные периоды низкой численности, что было ранее в 70-е годы показано еще В.И. Масловым. В результате продолжительных периодов низкой численности на урано-радиевом участке фазы популяционного цикла не всегда совпадают с фазами численности животных на радиевом и

контрольном участках, что отмечено не только в 60-е годы, но и в настоящее время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биохимические механизмы радиационного поражения природных популяций мышевидных грызунов / А.Г. Кудяшева, Л.Н. Шишкина, Н.Г. Загорская и др. СПб.: Наука, 1997. 156 с.
2. Бируля Н.М. Метод пробных площадок на защиту урожая. Бюл. МОИП, 1934. Отд. биол. Т. XIII, вып. 7. С. 7-8.
3. Исаев С.И. Некоторые вопросы экологии размножения диких грызунов в связи с обитанием в загрязненных ^{90}Sr биогеоценозах // Экология, 1975. № 1. С. 45-51.
4. Кучерук В.В. Количественный учет важнейших видов вредных грызунов и землероек // Методы учета численности и географическое распределение наземных позвоночных. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 251 с.
5. Кучерук В.В. Новое в методике количественного учета вредных грызунов и землероек // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. М.: Изд-во АН СССР. 1963. 162 с.
6. Максимов А.М., Ермаков Л.Н. Циклические процессы в сообществах животных (биоритмы, сукцессии). Новосибирск: Наука, 1985. 236 с.
7. Маслов В.И. Миграция урана, радия и тория в системе почва-рас-

ЮБИЛЕЙ

Наталья Евгеньевна Игнатова более 25 лет посвятила бескорыстному служению науке в области аналитической химии. Ею освоены физико-химические методы анализа почв, растений и полевых почвенно-экологических исследований. Она является высококвалифицированным специалистом, талантливым, творческим химиком-аналитиком, постоянно стремится к совершенствованию, в коллективе пользуется заслуженным авторитетом, постоянно консультирует молодых инженерно-технических работников и аспирантов при освоении ими методов химического анализа. При выполнении работ ее отличает высокая ответственность, аккуратность и самостоятельность. Наталья Евгеньевна активно участвует в проведении научных конференций, совещаний международного и регионального уровня. Она обладает исключительными человеческими качествами: тактичностью и требовательностью, принципиальностью и доброжелательностью. Реализация всех этих качеств стала возможной благодаря ее удивительному трудолюбию, высокой самокритичности и бескомпромиссному чувству долга. Коллеги-почвоведы знают Наталью Евгеньевну как заботливую, внимательную, доброжелательную хозяйку отдела. Она удивительно обаятельна, готова поддержать всех в трудную минуту и прийти на помощь. Мы ценим Вас, Наталья Евгеньевна, не только как ведущего инженера-химика, высококвалифицированного специалиста, но и как прекрасного, доброжелательного, отзывчивого человека, хорошую мать, жену, подругу.

*Дорогая Наталья Евгеньевна,
сердечно поздравляем Вас со славной датой — 50-летним юбилеем!
Мы благодарны Вам за все, что Вы сделали для нас, и передаем слова признательности
и пожелания доброго здоровья, дальнейших успехов в работе, душевной гармонии,
бодрости духа, семейного благополучия.*

Сотрудники отдела почвоведения



тения и роль мышевидных грызунов в этих процессах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1972. 16 с.

8. *Маслов В.И.* Методы исследования радиоэкологии животных в условиях районов повышенной радиоактивности // Методы радиоэкологических исследований / Под ред. И.Н. Верховской. М.: Атомиздат, 1971. С.128-140.

9. *Маслова К.И.* Влияние экологического фактора повышенной естественной радиоактивности на организм мышевидных грызунов // Радиоэкология позвоночных животных. М.: Наука, 1978. С. 33-59.

10. *Маслова К.И., Маслов В.И., Тестов Б.В.* О воспроизводительной способности мышевидных грызунов, обитающих в различных радиоэкологических условиях // Вопросы радиоэкологии наземных биогеоценозов. Сыктывкар, 1974. С. 85-96.

11. *Модянова А.Г., Никифоров В.С., Таскаев А.И.* Метрологические вопросы применения полевых радиометров для дозиметрии гамма-полей со сплошным спектром излучения // Материалы III Коми республиканской молодежной научной конференции. Сыктывкар, 1969. С. 45.

12. *Наумов Н.П.* Новый метод изучения экологии мелких лесных грызунов // Фауна и экология грызунов. М., 1951. С. 28-30. – (Тр. МОИП; Вып. 4).

13. *Никитина Н.А.* Абсолютный учет грызунов с помощью меченя и сравнение его результатов с данными относительного учета ресурсов фауны наземных позвоночных. М., 1961. 101 с.

14. *Никифоров Л.П.* Опыт абсолютного учета численности млекопитающих в лесу / Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. М.: Изд-во АН СССР, 1963.

15. *Новиков Г.А.* Полевые исследования экологии наземных позвоночных животных. М.: Изд-во Сов. наука, 1949.

16. *Оболенский С.И.* Учет грызунов в СССР // Труды по защите растений, 1931. Т. 4, вып. 1. С. 15-21.

17. *Орлов Е.И., Лысенко С.Е., Лонзингер Г.К.* К методике изучения численности и размещения лесных мышевидных грызунов на изолированных площадках // Вопросы экологии и биодинамики, 1939. Вып. 5-6. С. 81-84.

18. *Першаков А.А.* Условия борьбы с мышами в нагорных дубравах Чувашско-Марийского Поволжья // Изв. Поволжского лесотехнического института, 1934. С. 35-38.

19. *Пидопличка И.Г.* Шкидливы грызуны правобережного лисостепу та значиния окремих груп у господарстві ввид. ентомолог, 1930. Вып. 63. С. 18-20.

20. *Попов В.А.* Методика и результаты учета мелких лесных млекопитающих Татарской АССР // Труды общества естествоиспытателей при Казанском государственном университете. Казань, 1945. Т. 7, вып. 1-2. С. 12-18.

21. *Раевский В. В.* Количественный учет млекопитающих методом кольцевания // Зоол. журн., 1934. Т. 2, вып. 1. С. 35-38.

22. *Ралль Ю.М.* Характер передвижения мышевидных грызунов на небольших площадях // Зоол. журн., 1936. Т. 13, вып. 1. С. 29-31.

23. Регуляция окислительных процессов в тканях мышевидных грызунов, отловленных в зоне аварии на ЧАЭС / *Л.Н. Шишкина, А.Г. Кудяшева, Н.Г. Загорская* и др. // Радиационная биология. М.: Наука, 2006. Т. 46, № 2. С. 216-232.

24. *Смирнов В.С.* Методы учета численности млекопитающих // Труды института биологии УФАИ. Свердловск, 1964. Вып. 39. С. 35-37.

25. *Снигиревская Е.Н.* Наблюдения над полевкой-экономкой на островах средней Волги // Труды зоологи-

ческого института АН СССР. Л., 1961. Т. XXIX. С. 61-65.

26. *Тупикова Н.В., Заклинская В.А., Евсеева В.С.* Установка заборчика как способ учета численности и массового отлова мелких млекопитающих // Совет по вопросам организации и методам учета ресурсов фауны наземных позвоночных. М.: МОИП, 1961. 160 с.

27. *Тупикова Н.В., Заклинская В.А., Евсеева В.С.* Учет численности и массовый отлов мелких млекопитающих при помощи заборчиков // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 23-25.

28. *Формозов А.Н.* Мелкие грызуны и насекомоядные Шарьинского района Костромской обл. в период 1930-1940 гг. // Фауна и экология грызунов. М., 1948. С. 19-21. – (Тр. МОИП; Вып. 3).

29. *Формозов А.Н.* Программа и методика работ наблюдательных пунктов по учету мышевидных грызунов в целях прогноза их массового появления // Ученые записки МГУ. М., 1937. Вып. 2. Биология. 101 с.

30. *Шварц С.С., Павлинин В.Н.* Указания по учету и прогнозу численности мышевидных грызунов в условиях лесостепного Зауралья. Свердловск, 1956. 15 с.

31. *Шнитников В.Н.* Постановка работы по изучению экологии млекопитающих // Краеведение, 1929. Т. VI. № 4. С. 18-20.

32. *Юргенсон П.Б.* К методике учета мышевидных грызунов в лесах // Научно-методические записки Главного управления по заповедникам. М., 1939. Вып. IV. С. 36-39.

33. *Elton Ch.* Voles, mice and lemmings. Problems on population dynamics. Oxford: Clarendon Press, 1942. 496 p. ❖

ЮБИЛЕЙ



Альбине Николаевне Тыриной 70 лет. Более 40 лет своей трудовой деятельности она отдала Коми научному центру Уральского отделения РАН. Именно здесь Альбина Николаевна стала высокопрофессиональным специалистом, работа и опыт которого до сих пор остаются востребованными!

В этот праздничный день мы все, кто работал с Вами, выражаем Вам свое уважение, благодарность за Ваш многолетний добросовестный труд и желаем как можно больше здоровья, благополучия и счастья Вам и всей Вашей семье!

*70 — это не праздник старости.
Пусть не чувствует сердце усталости.
Это зрелость во всем и всегда,
Это опыт большого труда.*

*Это возраст совсем небольшой,
Ежели не стареть душой.
Счастья Вам полную чашу
За труд и отзывчивость Вашу.*

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПУЛЯЦИЙ ПОЛЕВОК ЭКОНОМОК ИЗ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В последнее время внимание исследователей привлекают проблемы совместного действия факторов разной природы на организмы, поскольку в естественных условиях любая биологическая система контактирует и реагирует на множество факторов, определяющих состояние окружающей среды. С этих позиций исследование биологических систем разных уровней организации кажется крайне сложным, порой невозможным. Однако, в ряде случаев территории могут выделяться небольшим числом показателей, например, уровнем радиационного фона, степенью радиоактивного загрязнения. Поэтому исследование реакции биосистем, длительное время контактировавших с фактором (факторами), может помочь оценить последствия действия этого фактора на отдельные компоненты экосистемы, в частности мышевидных грызунов, и понять механизмы действия изучаемых факторов на организм.

В данной работе была предпринята попытка оценить эффективность действия малых доз естественной радиации и сопутствующих ей факторов нерадиационной природы на популяцию мышевидных грызунов по критерию эмбриональной смертности.

Изучена интенсивность размножения (F_1) и эмбриональная смертность у потомства (F_2 - F_4) полевок-экономок, родители которых обитали в различных радиационных условиях: нормального фона радиации (контроль) и в условиях повышенной радиоактивности, где мощность экспозиционной дозы изменялась в пределах 3.6-144 пКл/(кг·с) (опыт) [4, 8]. Проанализировано 120 самок первой беременности. Самок забивали на 15-17-е сутки беременности, подсчитывали число живых и мертвых эмбрионов, количество желтых тел в яичниках. На основании этих данных определяли уровень доимплантационной, постимплантационной гибели и общей эмбриональной смертности [1].

В эксперименте использовано два типа скрещивания – аллогенное и сингенное, проведен эксперимент в двух вариантах – без облучения и с хроническим облучением с мощностью дозы 46.2 пКл/(кг·с). Результаты эксперимента обработаны методами вариационной статистики по критерию малых долей [5] и усовершенствованным точным методом Фишера для статистической обработки 4-польных таблиц [7].

В условиях нормального фона радиации при неродственном (аллогенном) скрещивании спонтанный уровень постимплантационной гибели потомков животных контрольного участка (контроль) достоверно ниже, чем потомков с опытного участка (опыт)



к.б.н. **Л. Башлыкова**
с.н.с. отдела радиозоологии
E-mail: bashlykova@ib.komisc.ru

Научные интересы: *популяционная экология, генетика, малые дозы радиации*



к.б.н. **О. Ермакова**
с.н.с. этого же отдела
E-mail: ermakova@ib.komisc.ru

Научные интересы: *экология, эндокринология, гистология, малые дозы радиации*



д.б.н. **В. Зайнуллин**
зав. лабораторией
этого же отдела
E-mail: vzainullin@ib.komisc.ru

Научные интересы: *экология, генетика, малые дозы радиации*

($p_{1-2} = 0.014$). Сходные результаты были получены и при анализе уровня постимплантационной гибели в эксперименте с хроническим облучением ($p_{5-6} = 0.034$; см. таблицу). На наш взгляд, существование подобных различий между потомками опыта и контроля объясняется различиями генотипов исследуемых групп: если постимплантационная гибель является результа-

том действия рецессивных летальных мутаций, о чем свидетельствует, например, работа [6], то разница в частоте рецессивных летальных мутаций может быть вполне объяснима различиями в генотипах. Однако, при анализе эмбриональной смертности полевок родственного (сингенного) скрещивания большую чувствительность проявили потомки животных с контрольных участков, т.е. в этом варианте эксперимента меняется соотношение между опытом и контролем. «Ножницы» в эмбриональной смертности при родственном и неродственном скрещивании зверьков можно объяснить, если принять во внимание существование генетического контроля, ответственного за успех инбридинга [3]. По видимому, у предков опытных животных с радиоактивных участков произошло нарушение этого контроля. О том, что хроническое облучение может влиять на успех инбридинга, также говорят данные, свидетельствующие о снижении постимплантационной смертности при родственном скрещивании в группе контрольных полевок с 9.8 % (без облучения) до 3.1 % (при облучении) (см. таблицу).

Еще одним объяснением этого факта может быть следующее: если родственное скрещивание является нетипичным для дикой популяции мышевидных грызунов,

то его проведение в условиях вивария действует на полевок как сильный стрессорный фактор, а стресс, как известно, резко усиливает генетическую изменчивость [2]. В этом случае стрессовое действие близкородственного скрещивания на группу опытных животных намного ниже, чем на группу контрольных животных ($p_{3-4} = 0.001$). Причиной различий в эмбриональной смертности контрольных и опытных животных в анализируемых экспериментах могло быть и сингенное скрещивание, являющееся сильным стрессорным фактором для контрольной популяции.

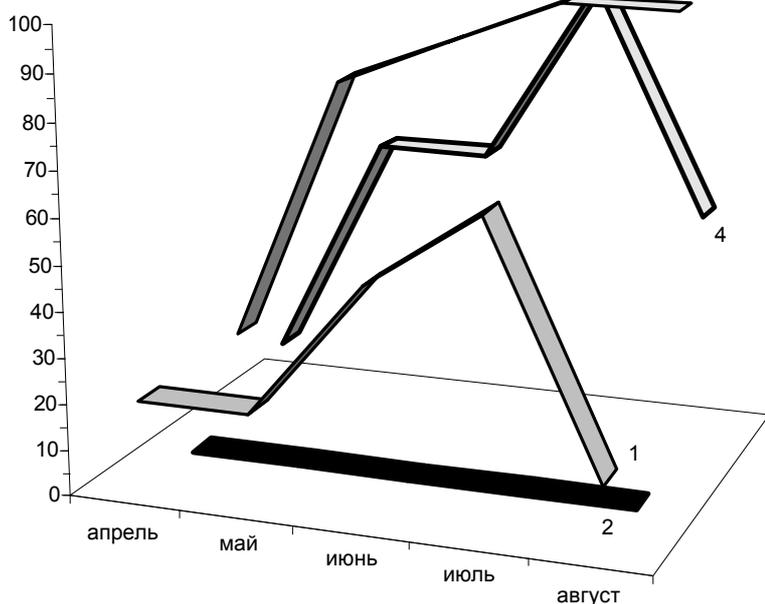
Как уже отмечалось ранее, чувствительность к облучению по критерию эмбриональной смертности у опытных животных выше, чем у контрольных (при аллогенном скрещивании). В варианте опыта без облучения значения общей эмбриональной смертности у контрольных и опытных животных досто-

Частота эмбриональной смертности при различных вариантах скрещивания и облучения

Вариант	Объем выборки	Эмбриональная смертность, %		
		доимплантационная	постимплантационная	общая
Нормальный фон радиации				
Неродственное скрещивание				
Контроль	16	4,0		4,0
Опыт	40	4.5	1.8	6.2
P ₁₋₂		0.046*	0.014*	0.095
Родственное скрещивание				
Контроль	14	8.9	9.8	17.8
Опыт	27	6.2	4.95	10.6
P ₃₋₄		0.04*	0.001*	0.028
Хроническое облучение				
Неродственное скрещивание				
Контроль	4	0	0	0
Опыт	19	7.7	3.2	10.9
P ₅₋₆		0.05*	0.034*	0.003*
Родственное скрещивание				
Контроль	8	8.6	3.1	11.4
Опыт	16	1.7	1.7	3.3
P ₇₋₈		0.2	0.34	0.32

* Различия достоверны при p < 0.05.

верно не отличались, а при хроническом облучении эти различия стали достоверно значимыми (p_{5,6} = 0.003). В то же время облучение в той же дозе контрольных животных приводит к снижению доимплантационной гибели и никак не сказывается на постимплантационной гибели, т.е. можно говорить о повышении жизнеспособности оплодотворенной яйцеклетки, находящейся на доимплантационной стадии. Возможно, здесь мы имеем дело скорее не столько с прямым стимулирующим эффектом малых доз радиации (46.2 пКл/(кгс) на зиготу, сколько со стимулированием организма матери. Хроничес-



Динамика интенсивности размножения при неродственном и родственном скрещиваниях в контроле (соответственно 1 и 2) и опыте (соответственно 3 и 4).

По вертикали – доля пар, участвующих в размножении, %.

кое облучение группы опытных животных приводит, напротив, к увеличению частоты до- и постимплантационной гибели, т.е. обладает отрицательным эффектом. Ответ же группы контрольных животных вполне ожидаем, так как стимулирующий эффект малых доз радиации общеизвестен.

Изучение динамики размножения полевок F₁ показало, что более высокая интенсивность размножения наблюдается у потомков животных с радиоактивных участков (см. рисунок). В отличие от контроля, эта группа животных имела потомство в сингенных скрещиваниях. Все пары полевок с радиоактивного стационара давали потомство при этом типе скрещивания, т.е. наблюдается нарушение барьера инбридинга у «опытных» полевок, что свидетельствует о нарушении у них поведенческой реакции.

Отсутствие близкородственного скрещивания F₁ и повышенная эмбриональная смертность при спаривании sibсов F₂-F₄ контрольных животных свидетельствует в пользу существования, как мы уже отмечали, барьера нескрещиваемости. Наличие барьера инбридинга способствует сохранению гетерозиготности природной популяции [9], что является залогом устойчивости популяции к различным неблагоприятным факторам, а нарушение этого барьера в облучаемой популяции может свидетельствовать о дестабилизации их генома.

До недавнего времени парадигмой в радиобиологии было то, что «...наследуемые радиобиологические эффекты возникают вследствие повреждения первичной мишени, которой является ДНК. Но в последнее время интерес радиобиологов сместился к изучению биологических эффектов, в возникновении которых первичным событием является повреждение не ДНК, а других компонентов клетки. Это так называемые «немишенные» (non target) эффекты. Они характерны для воздействия радиации в малых дозах»¹. Вероятно, обнаруженный нами эффект нарушения барьера близкородственного скрещивания у облученных животных также является немишенным эффектом облучения в малых дозах.

Таким образом, у исследуемых групп животных различна реакция на действие ионизирующей радиации. Возможно, эти различия обусловлены отличиями в генотипе, которые сложились в микропопуляциях опытных животных в результате длительного (20-30 лет) воздействия повышенного радиационного фона на организм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башлыкова Л.А., Ермакова О.В., Зайнуллин В.Г. Эмбриональная смертность полевки-экономки как показатель влияния малых доз естественной радиоактивности

¹ На конференции, проходившей в г. Сыктывкар и посвященной эффектам малых доз радиации (БИОРАД-2006), И.И. Пелевиной был сделан доклад, посвященный «немишенным» эффектам и проведен круглый стол по этой проблеме (Немишенные эффекты в радиобиологии / И.И. Пелевина, А.В. Алещенко, В.Я. Готлиб и др. // Междунар. конф. «БИОРАД-2006», Сыктывкар, 28 февраля – 3 марта 2006 г.: Тез. докл. Сыктывкар, 2006. С. 114.

на генетические процессы в популяциях // Радиобиология, 1987. Т. 26. Вып. 1. С. 126-128.

2. *Беляев Д.К.* Эволюционная генетика: межвуз. сб. Л., 1982. С. 35-59.

3. *Евсиков В.И., Осетрова Т.В., Беляев Д.К.* Генетика плодовитости животных. Сообщение IV. Эмбриональная смертность и ее влияние на плодовитость мышей линии BALB и C₅₇BL и их реципрокных гибридов // Генетика, 1972. Т. 8. № 2. С. 55-66.

4. *Маслова К.И.* Повышенная естественная радиоактивность как радиоэкологический фактор среды обитания // Радиоэкологические исследования почв, растений и животных в биогеоценозах севера. Сыктывкар, 1983. С. 21-30. – (Тр. Коми фил. АН СССР, № 60).

5. *Парчевская Д.С.* Статистика для радиобиологов. Киев: Наукова думка, 1969. 12 с.

6. *Семенов Ч., Уолкер Д.* Роль рецессивных летальных генов в спонтанной эмбриональной смер-

ности в популяциях нелинейных мышей и крыс в условиях острова Куба // Бюлл. эксперим. биологии и медицины, 1983. № 3. С. 71-73.

7. *Сусликов В.И.* Об уменьшении смертности млекопитающих от кишечного синдрома при частичном экранировании кроветворной системы или постлучевой трансплантации кроветворных клеток // Радиобиология, 1973. Т. 13. Вып. 6. С. 880-888.

8. *Тестов Б.В.* Репродукция полевков в различных радиоэкологических условиях // Радиоэкология биогеоценозов с повышенным фоном естественной радиоактивности, 1987. С. 27-36. – (Тр. Коми фил. АН СССР; Вып. № 81).

9. Free female choice of dominant versus subordinate males in house mouse: From odour preference to mate choice / *C. Roland, M. De Fraipont, M. Berdoy, D. Macdonald* // Abstr. Euro-Amer. Mammal Congr., Santiago de Compostela, 19-24 July, 1998. Santiago de Compostela, 1998. P. 252. ❖

СОСТОЯНИЕ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ ЭНДОКРИННЫХ ЖЕЛЕЗ БЕЛЫХ БЕСПОРОДНЫХ МЫШЕЙ ПОСЛЕ ДЕЙСТВИЯ ЭКДИСТЕРОИДОВ СЕРПУХИ ВЕНЦЕНОСНОЙ



к.б.н. **О. Раскоша**
н.с. лаборатории радиоэкологии животных
E-mail: raskosha@ib.komisc.ru
тел. (8212) 43 63 01



к.б.н. **О. Ермакова**
с.н.с. этой же лаборатории

А. Селезнева
студентка Сыктывкарского
государственного
университета

О. Стрекаловская
студентка этого же
университета

Научные интересы: *действие малых доз, эндокринология, гистология, патофизиология*

Одним из наиболее эффективных способов повышения резистентности организма к антропогенным воздействиям является применение различных растительных препаратов из природного сырья, к которым относятся фитозкдистероиды. Такие соединения являются, по данным литературы, экологически чистыми, обладают многокомпонентным воздействием, легко включаются в метаболизм организма и выводятся из него [2, 3, 12, 13, 15].

Определяющую роль в повышении устойчивости организма к неспецифическому действию экзогенных и эндогенных факторов играют нейрогуморальные механизмы [8]. Известно, что действие стимуляторов ЦНС растительного происхождения включает влияние на функции желез внутренней секреции. Органы эндокринной систе-

мы являются удобной моделью для изучения влияния биологически активных веществ на организм животного, так как участвуют практически во всех защитно-приспособительных реакциях организма. Экстракты женьшеня и элеутерококка обладают гонадотропным, эстрогенным и антидиуретическим действием [8]. Имеются сведения о стимулирующем и адаптогенном действии родиолы, элеутерококка и левзеи на функцию щитовидной железы, надпочечников, тимуса и половых желез [11]. Известно, что экстракт левзеи оказывает анаболическое действие (стимулирует биосинтез белков и РНК) на печень, тимус, поджелудочную железу и надпочечники, что, по мнению авторов, связано с действием экдистерона, присутствующем в экстракте левзеи [5]. Обнаружено, что

в надземных частях серпухи венценозной содержание фитозкдистероидов, в частности 20-гидроксиэкдизона, на порядок выше, чем в левзее сафлоровидной [14], что значительно повысило интерес к этому растению. В литературе сведений о биологическом действии экдистероидсодержащего препарата, полученного из серпухи венценозной, на периферические органы эндокринной системы не обнаружено. Учитывая сказанное, представляется перспективным провести гистоморфологическое исследование щитовидной железы и коры надпочечника животных после хронического действия экдистероидов серпухи венценозной.

В эксперименте тестировали субстанцию Серпистен¹, полученную из надземной части растений серпухи

¹ Разработан в лаборатории биохимии и биотехнологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН (зав. д.б.н. В.В. Володин, e-mail: volodin@ib.komisc.ru). Получено свидетельство на товарный знак «Серпистен» (Заявка № 2004717505. Приоритет 04.08.2004. Зарегистрировано 22.02.2005). Инокостерон выделен из надземной части серпухи венценозной в этой же лаборатории.

венценосной (*Serratula coronata* L.). Серпистен представляет собой смесь экидстероидов: 20-гидроксизакдизон (80%), инокостерон (11%), экидизон (5%) и другие фракции экидстероидов, находящиеся в следовых количествах. В качестве объекта исследования использовали 20 половозрелых самцов белых беспородных мышей средней массой 26.4 ± 1.1 г. Опытные мыши получали Серпистен в водном растворе в течение 10 сут. в дозах 5 и 50 мг/кг массы тела. Контрольные зверьки пили чистую воду. Животных содержали на стандарт-

ном рационе питания в одинаковых условиях вивария. Декапитацию мышей проводили спустя сутки после прекращения воздействия. Извлеченные органы помещали в формалин и далее подвергали стандартной гистологической обработке, надпочечники окрашивали гематоксилин-эозином, а щитовидные железы – реактивом Шиффа, ядра докрашивали гематоксилином Карачи. В надпочечниках измеряли ширину общей коры, клубочковой, пучковой и сетчатой зон. При определении гормонов коры надпочечника (кортикостерона, 11-дегидрокортикостерона и альдостерона) применяли хроматографический метод анализа. В щитовидной железе определяли объемные плотности коллоида, фолликулярного эпителия, экстрафолликулярных клеток и стромы. Статистическую обработку проводили с использованием t-критерия Стьюдента [9].

Кора надпочечников. После введения Серпистена в обеих опытных группах животных было выявлено увеличение размеров коры надпочечников по сравнению с показателями контрольных зверьков ($p < 0.001$) (рис. 1). Это происходило за счет расширения пучковой и сетчатой зон. После введения препарата в дозе 5 мг/кг пучковая и сетчатая зоны увеличились на 22.4 и 6.0 мкм соответственно,

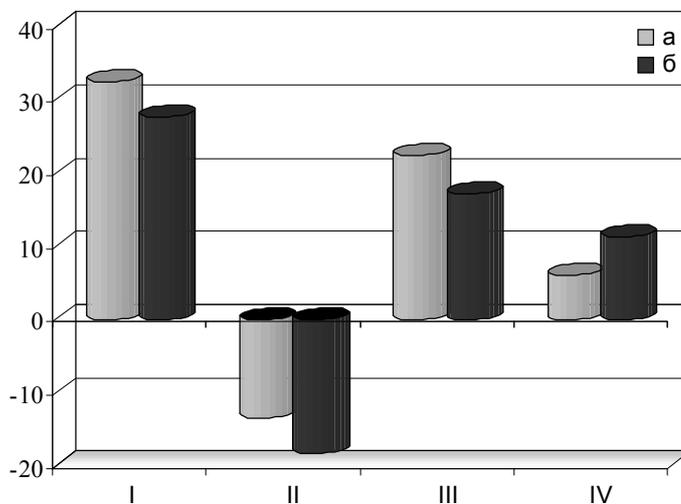


Рис. 1. Морфометрические параметры коры надпочечников белых беспородных мышей после действия Серпистена в дозах 5 (а) и 50 (б) мг/кг массы тела. По вертикали указана разница по отношению к контролю, мкм. Условные обозначения: I – кора; II – клубочковая, III – пучковая и IV – сетчатая зоны.

после воздействия в дозе 50 мг/кг пучковая зона возросла на 17.7, сетчатая – на 11.2 мкм. Размеры клубочковой зоны в обеих опытных группах, напротив, уменьшились ($p < 0.001$). Судя по результатам морфологического исследования, можно предположить, что эффекты, вызываемые Серпистеном в дозах 5 и 50 мг/кг, сходны, однако в дозе 50 мг/кг отмечали достоверно большее увеличение ширины сетчатой зоны и более сильное уменьшение клубочковой зоны, чем в дозе 5 мг/кг.

Морфологические данные подтверждаются результатами измерения концентрации гормонов надпочечни-

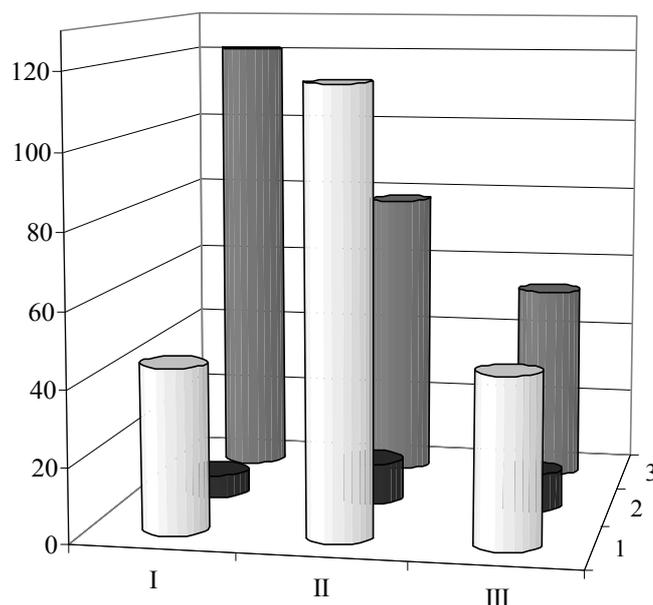


Рис. 2. Содержание (нг) кортикостерона (1), 11-дегидрокортикостерон (2) и альдостерона (3) в надпочечниках белых беспородных мышей в контроле (I) и после действия Серпистена в дозах 5 (II) и 50 (III) мг/кг.

ка. Обнаружено, что у животных, получавших Серпистен в дозе 5 мг/кг, содержание кортикостерона, вырабатываемого клетками пучковой зоны, достоверно выше, а уровень альдостерона, который является гормоном, синтезируемым клубочковой зоной, напротив, ниже, чем у контрольных мышей (рис. 2). После введения препарата в дозе 50 мг/кг не происходит подъема уровня кортикостерона в коре надпочечников мышей, но еще более значительно, чем при 5 мг/кг, снижается выработка альдостерона.

Надпочечник – железа быстрого реагирования, поэтому при воздействии на организм факторов разной природы границы между зонами смещаются, и может наблюдаться расширение одних зон за счет сужения других. Увеличение размеров пучковой зоны указывает на напряженную деятельность клеток, обеспечивающую интенсивный синтез глюкокортикоидов, которым принадлежит важная роль в поддержании организмом гомеостаза [1]. По данным литературы, глюкокортикоиды, вырабатываемые надпочечником, оказывают катаболическое действие – стимулируют распад цитоплазматических белков и использование освободившихся аминокислот для новообразования жиров и углеводов, на уровне клеток они могут тормозить синтез белка, препятствовать белковосинтетическому влиянию соматотропина или их образованию и, наконец, способны уменьшать выделение соматотропина из гипофиза. Возможно, что глюкокортикоиды оказывают тормозящее влияние не на гипофизарном, а на гипоталамическом уровне [7]. Расширение сетчатой зоны может свидетельствовать об усиленной продукции стероидных гормонов, основным из которых является дегидроэпиандростерон-сульфат (ДЭАС). Полагают, что назначение ДЭАС состоит в обеспечении оптимального

течения адаптационного процесса, который обуславливает стрессоустойчивость организма и предотвращает развитие ряда патологий [10]. В целом, расширение зон коры надпочечника рассматривают как адаптивную реакцию. Известно, что если воспрепятствовать усилению активности коры надпочечников, то сопротивляемость животных понижается. Так, зверьки с удаленными надпочечниками или с их пониженной функцией переносят заболевания самой различной этиологии значительно тяжелее и скорее погибают [6].

Щитовидная железа. После действия Серпистена в дозе 5 мг/кг на массу тела животного в щитовидной железе мышей статистически значимо увеличивалась объемная плотность коллоида (рис. 3). После дозы 50 мг/кг значения этого показателя тоже имели тенденцию к повышению. Щитовидная железа – железа запаса, и именно в коллоиде происходит резервирование тиреоидных гормонов и их предшественников. По данным литературы, увеличение количества коллоида может свидетельствовать о понижении функциональной активности щитовидной железы [4]. Остальные структурные компоненты щитовидной железы достоверно от контрольных показателей не отличались.

В целом, полученные результаты показали, что эффекты, вызываемые Серпистеном в адреналовой и тиреоидной ткани как в дозе 5, так и 50 мг/кг, сходны. Надпочечники сравнительно быстро реагируют на изменения, при этом адренокортикоциты не способны депонировать свои секреторные продукты, их выделение в кровь осуществляется по мере синтеза, поэтому вполне объяснима более выра-

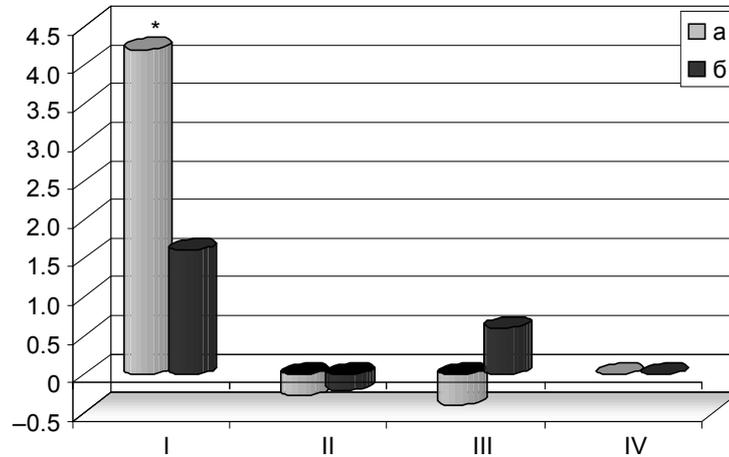


Рис. 3. Соотношение объемных компонентов щитовидной железы белых беспородных мышей после действия Серпистена в дозах 5 (а) и 50 (б) мг/кг массы тела (* $p > 0.05$). По вертикали указана разница по отношению к контролю, %.

Условные обозначения: I – коллоид, II – фолликулярный эпителий, III – экстрафолликулярные клетки, IV – строма и сосуды.

женная реакция этого органа на введение стероидного препарата. После действия Серпистена в концентрациях 5 и 50 мг/кг у мышей происходило увеличение размеров пучковой и сетчатой зон коры надпочечника, что предполагает повышенную секрецию гормонов, участвующих в реакциях адаптации организма. Выраженные изменения структурно-функционального состояния коры надпочечников после воздействия на организм животных Серпистена в исследуемых дозах свидетельствует о чувствительности этого органа к экдистероидсодержащим препаратам и о возможности использования его показателей в качестве индикаторов при воздействии природных адаптогенов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артюшевский А.А. Надпочечные железы. Строение, функции, развитие. Минск, 1977. 127 с.
2. Ахрем А.А., Ковганко Н.В. Экдистероиды: химия и биологическая активность. Минск: Наука и техника, 1989. 327 с.
3. Брехман И.И. Элеутерококк. Л., 1968. 185 с.
4. Быков В.Л. Гетерогенность щитовидной железы млекопитающих и

возрастные изменения органа // Арх. анат. гистол. эмбриол., 1979. Т. 67, № 10. С. 61-71.

5. Влияние экдистерона на биосинтез белков и нуклеиновых кислот в органах мышей / И.Н. Тодоров, Ю.И. Митрохин, О.И. Ефремова и др. // Хим.-фарм. журн., 2000. Т. 34, № 9. С. 24-26.

6. Горизонтов А.Д. Роль интегральных систем организма в развитии патологических процессов (к проблеме stress в патологии) // Арх. патол., 1973. Т. 35, № 8. С. 3-11.

7. Држевецкая И.А. Основы физиологии обмена веществ и эндокринной системы. М.: Высшая школа, 1994. 256 с.

8. Каплан Е.Я., Цыренжапова О.Д., Шантанова Л.Н. Оптимизация адаптивных процессов организма. М.: Наука, 1990. 94 с.

9. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 158 с.

10. Обут Т.А., Овсюкова М.В., Черкасова О.П. Пролонгированный лимитирующий стресс-активность эффект дегидроэпиандростерон-сульфата // Бюл. эксперим. биол. мед., 2006. Т. 141, № 5. С. 507.

11. Саратиков А.С. Золотой корень. Томск, 1974. 155 с.

12. Сыров В.Н. К механизму анаболического действия фитоэкдистероидов в организме млекопитающих // Биол. науки, 1984. № 11. С. 16-19.

13. Сыров В.Н., Курмуков А.Г. О тонизирующих свойствах экдистерона, выделенного из левзеи сафроловидной // Докл. АН УзССР, 1977. № 12. С. 27-30.

14. Фитоэкдистероиды / Под ред. В.В. Володина. СПб.: Наука, 2003. 293 с.

15. Slama K., Lafont R. Insect hormones – ecdysteroids: their presence and actions in vertebrate // Eur. J. Entomol., 1995. Vol. 92. P. 355-377. ❖

Сердечно поздравляем всех сотрудников Института с Днем защитника отечества и желаем здоровья, успешной работы и всего самого наилучшего!

**К 90-ЛЕТИЮ ВСЕВОЛОДА ИВАНОВИЧА МАСЛОВА
(04.01.1917–20.06.1994)**

В этом году исполнилось 90 лет со дня рождения Всеволода Ивановича Маслова, известного радиозолога, заслуженного деятеля науки и культуры Коми АССР, одного из организаторов радиозоологических исследований в Республике Коми.

Всеволод Иванович Маслов родился 4 января 1917 г. в Хабаровске. Год до призыва в армию работал в колхозной школе в Читинской области в должности заведующего учебной частью и преподавателя математики. После окончания в 1939 г. Томского артиллерийского училища был направлен в действующую армию (район Халхин-Гола), где занимал различные командные должности – от командира взвода до начальника разведки полка. В 1941 г. в бою за Москву был тяжело ранен. После выхода из госпиталя в 1942 г. был назначен преподавателем артиллерии Сталинградского училища. В 1943 г. демобилизован по ранению. 1944-1949 гг. – учеба на зверо-охотоведческом факультете Московского пушно-мехового института. По окончании института Всеволода Ивановича направляют на работу в Коми АССР в должности начальника управления охотничьего хозяйства при Совете Министров Коми АССР. С июля 1953 г. в связи с реорганизацией министерств и ведомств и с передачей управления охотничьего хозяйства в Министерство сельского хозяйства и заготовок Коми АССР его назначают начальником отдела охотничьего хозяйства. В сентябре того же года Всеволод Иванович переходит на научную работу в Коми филиал АН СССР на должность младшего научного сотрудника лаборатории зоологии. Вся последующая трудовая деятельность В.И. Маслова связана с научной работой в Коми филиале АН СССР. В 1953 г. он поступает в заочную аспирантуру при отделе зоологии, а в 1957 г. включается в разработку нового направления исследований – радиозоологии наземных биогеоценозов, во всей полноте проявляя присущие ему качества – глубокое научное чутье, смелость, огромный организаторский талант.

Инициатором идеи создания в недрах Коми филиала АН СССР нового направления исследований – радио-

Российская академия наук
Уральское отделение
Коми научный центр
Институт биологии



**Всеволод Иванович
МАСЛОВ
(1917-1994)**

Сыктывкар 2006

экологии, молодой развивающейся ветви радиобиологии, науки о взаимодействии в природных условиях живых организмов с радионуклидами естественного и искусственного происхождения – был д.б.н. П.Ф. Рокицкий, генетик, работавший в те далекие 50-е годы в Сыктывкаре. Его предложение – целесообразность включения биологов филиала в разработку нового научного направления горячо поддержал председатель президиума Коми филиала АН СССР П.П. Вавилов. Большой интерес к проблеме и готовность к ее немедленной реализации проявил В.И. Маслов, тогда сотрудник отдела зоологии.

Зимой 1957 г. была разработана программа первой радиозоологической экспедиции в район Ухтинского водного промысла, где после закрытия уникального радиевого производ-

ства остались обширные территории с весьма сложным по составу и интенсивности уровнем радиоактивности. В задачу той первой экспедиции входило обследование большой территории так называемого Водного промысла, где с 1931 по 1957 г. добывали радий из пластовых вод. Предполагалось выделить на радиоактивно загрязненной территории участки для последующих стационарных исследований. Под руководством В.И. Маслова четко формулируются задачи и тема исследований, продумываются до мелочей предстоящие этапы рекогносцировочных выездов в районы исследований. Из числа сотрудников трех отделов филиала – биологии растений, биологии животных и почвоведения – формируются отряды намечаемых экспедиций. Поисково-разведочный отряд, возглавляемый В.И. Масловым, выехал в район Ухты 10 июля 1957г., объехал и обошел более 300 км², исследуя более 800 участков и очагов повышенной радиоактивности. Эта первая комплексная экспедиция положила начало развитию радиозоологических исследований в Республике Коми.

Период работы В.И. Маслова в должности заведующего радиобиологической лабораторией, а затем отделом радиозоологии (1957-1982 гг.) с полным правом можно назвать эпохой. Успехи в развитии молодой развивающейся ветви радиобиологии – радиозоологической науки в Коми крае в 50–60-е годы прошлого столетия неотделимы от его имени. Зоолог по образованию, В.И. Маслов стал признанным радиозологом. В результате обследования было получено достаточно ясное представление о состоянии района повышенной радиоактивности. На выделенных семи участках, наиболее значительных по размерам и по интенсивности радиационного фона и представляющих интерес для дальнейших стационарных наблюдений, были отобраны первые пробы воды, почвы, растений и животных; проведено геоботаническое описание. Обработка материалов со всей очевидностью показала перспективность начатых исследований. Решающим итогом этой первой экспедиции в район повышенной естественной ра-

диоактивности было объявление радиобиологических исследований в Коми филиале АН СССР одним из ведущих направлений и принятие решения о срочном укрупнении его специалистами – биологами, радиофизиками, радиохимиками, дозиметристами. На базе ранее сформировавшейся радиобиологической группы 21 сентября 1959 г. создается лаборатория радиобиологии в составе 12 человек во главе с В.И. Масловым.

В конце 50-х годов прошлого столетия экология, а тем более радиоэкология, была в ходу лишь среди узкого круга специалистов, и не все они считали, что такая наука имеет право на существование. В.И. Маслов посвятил свою трудовую деятельность разработке теоретических и методических основ радиоэкологии, показав ее значение, сферу приложения, ее роль в современной науке. Когда он начинал свою деятельность, время всеобщего признания «малых доз» ионизирующей радиации еще не пришло.

За короткий срок на территории Коми АССР была проведена инвентаризация районов и участков с повышенной природной радиоактивностью. В это время под руководством В.И. Маслова и при его личном участии были проведены экспедиции в различные районы Коми края (пос. Водный; Полярный, Северный и Южный Урал, Тиман). Уже в 1958 г. бессменным куратором исследований становится д.б.н. Ирина Николаевна Верховская, руководитель изотопного практикума в Институте биофизики АН СССР. При активной ее консультативной поддержке были начаты исследования природных биогеоценозов в районах повышенной естественной радиоактивности. Благодаря столь направленной деятельности сотрудниками лаборатории за относительно короткий срок была проведена инвентаризация районов и участков с повышенной природной радиоактивностью, выполнен на них комплекс предварительных дозиметрических работ, разносторонних наблюдений, позволивших собрать огромный фактический материал и сделать первые научные сообщения. В период 1960–1968 гг. в связи с испытанием атомного оружия были проведены внеплановые исследования по выяснению загрязнения территории Коми АССР радиоактивными атмосферными осадками, результатом которых стал отчет «Изучение больших природных сообществ (биогеоценозов) в условиях локальных выпадений продуктов ядерных взрывов».

В работах В.И. Маслова проявилась глубокая приверженность традициям русского естествознания – комплексный подход к изучению природных феноменов, организация и проведение многолетних радиоэкологических исследований строились на широкой комплексной программе, охватывающей взаимодействие всех основных биотических и абиотических компонентов в условиях природных биогеоценозов повышенной естественной радиоактивности. По специальному запросу В.И. Маслова в те далекие годы прибыли в Сыктывкар молодые специалисты – радиофизики и радиохимики. В практику лаборатории устойчиво входит стажировка у ведущих радиобиологов страны (школа Н.В. Тимофеева-Ресовского на Урале, Институт биофизики в Москве). Всеволод Иванович предпринимает упорные усилия по строительству в Сыктывкаре специализированного радиобиологического корпуса. И эта его мечта осуществилась только спустя 15 лет, в 1974 г.

Еще в осенне-зимний период 1958/1959 гг. В.И. Маслов лично проводит дозиметрическое обследование районов северной тайги, преодолевая пешком расстояния в десятки и сотни километров. Для него, биолога-охотоведа, этот богатый зверем и птицей район представлял особый интерес. Одновременно с дозиметрическим контролем Всеволод Иванович ведет видовой учет фауны, определяет популяционные показатели – плотность населения, численность... В течение многолетних исследований им были проанализированы результаты радиохимических анализов в более девяти тысячах образцах почв, вод, растений и животных. В 1972 г. в Сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева В.И. Масловым была защищена кандидатская диссертация «Миграция урана, радия и тория в системе почва–растения и роль мышевидных грызунов в этих процессах», которая получила очень высокую оценку. По единодушному мнению оппонентов и всех, кто ознакомился с материалами его многолетних исследований, блестяще защищенная им диссертация явно заслуживала присуждения степени доктора биологических наук.

Эта работа была посвящена изучению широкого круга вопросов, касающихся закономерностей миграции естественных радиоактивных элементов в почве, растениях, системе почва–растения–животные. Значительное внимание в диссертации было

уделено разработке оригинальных методов постановки и проведения комплексных исследований природных биогеоценозов таежной зоны. Автор разработал радиоэкологическую классификацию млекопитающих и птиц северной тайги, которая дает возможность более правильно определить объект исследований при изучении природных биогеоценозов. Диссертация подкупала своей фундаментальностью и широтой охвата разнообразных вопросов исследуемой проблемы. В ней были решены такие крупные задачи, как разработка метода комплексного радиоэкологического изучения биогеоценозов повышенной естественной радиоактивности; изучение закономерностей распределения, перераспределения, форм нахождения геохимической и биогенной миграции радионуклидов и продуктов их распада в условиях природных и техногенных биогеоценозов; биологическое действие малых доз радиоактивности, создаваемых хроническим внешним облучением и инкорпорированными радиоэлементами на организм и популяции растений и животных в условиях дополнительного воздействия физических, химических, экологических и других природных и техногенных факторов.

В 60-е годы под руководством В.И. Маслова был заложен фундамент для радиоэкологических исследований природных популяций мышевидных грызунов, тщательно разработана методология постановки полевых исследований в биогеоценозах с повышенным уровнем естественной радиоактивности, которой пользуются до сих пор сотрудники отдела радиоэкологии. Результаты исследований позволили автору получить детальные карты распределения урана, радия и тория, а также радона, торона и гамма-активности как по площади участков, так и по почвенным профилям. На этом фоне были изучены концентрации радиоэлементов в 70 видах растений, произрастающих на участках различной радиоактивности. Это дало возможность установить виды «растений – концентратов радионуклидов» и оценить количество этих элементов, выносимых растениями на поверхность. Определенное научное значение в те далекие годы имели представленные и обобщенные материалы по изучению миграции урана, радия и тория в системе почва–растение. Автором была показана зависимость аккумуляции радия в почве от их физико-химических свойств. Крупные ис-

следования проведены по вопросу перераспределения естественных радиоактивных элементов с участием мышевидных грызунов через трофические связи и в результате их роющей деятельности. Важное место в диссертации занимают научные основы для практических рекомендаций при проведении сельскохозяйственных, санитарно-гигиенических и дезактивационных мероприятий в зонах с повышенной естественной или искусственной радиоактивностью.

Одним из первых В.И. Маслов детально изучил вопросы участия наземных животных в процессах биогенной миграции естественных радиоактивных элементов в природных биогеоценозах, связал процессы миграции радионуклидов с экологией определенных видов животных в конкретных геохимических и радиозоологических условиях обитания. Автором было установлено, что именно мышевидные грызуны в силу своих экологических особенностей относятся к представителям фауны таежных биогеоценозов, наиболее тесно контактирующих с радионуклидами, которые содержатся в почвенном покрове. В исследованиях В.И. Маслова помимо рассмотрения многочисленных методических разработок в радиозоологии была отведена большая роль изучению численности мышевидных грызунов, обитающих в биогеоценозах с повышенным уровнем естественной радиоактивности.

Под руководством В.И. Маслова благодаря глубоко продуманной стратегии и тактики исследований в Коми филиале АН СССР за относительно короткий срок сформировался достаточно профессиональный коллектив, способный решать многогранные проблемы взаимодействия ионизирующих излучений со всеми биотическими и абиотическими компонентами природных биогеоценозов повышенной радиоактивности. Глубокая причастность к разработке методов радиозоологических исследований, а также последовательность в изучении проблемы действия на обитателей биогеоценозов повышенной естественной радиоактивности малых доз ионизирующих излучений снискали возглавляемому им научному коллективу известность не только в пределах страны, но и за рубежом. В 60-е годы прошлого столетия в центральной прессе и научных изданиях о радиозоологических исследованиях, развиваемых в разных регионах СССР, упоминали и лабораторию радиобиологии Коми филиала АН СССР в г. Сыктывкаре, руководимую В.И. Масловым (наземная радиология естественно-радиоактивных

зон), наряду с такими известными лабораториями Уральского филиала (радиационная биогеоценология, Н.В. Тимофеев-Ресовский), Севастопольской биологической станцией (морская радиозоология, Г.Г. Поликарпов), Тимирязевской академии (сельскохозяйственная радиозоология, В.М. Клечковский). Благодаря накопленному опыту работ на территориях с повышенным уровнем естественной радиоактивности научный совет по проблемам радиобиологии АН СССР решил первый Всесоюзный симпозиум по методам радиозоологических исследований провести в 1967 г. в Сыктывкаре. Академик В.М. Клечковский высоко оценил значение этого симпозиума и его вклад в дальнейшее совершенствование методов радиозоологических исследований. Участники симпозиума единодушно отметили, что только в Коми филиале АН СССР проводятся столь обширные комплексные исследования одновременно по двум основным направлениям радиозоологии – миграции естественных радионуклидов и их биологическому действию. Крупное всесоюзное совещание было проведено в Сыктывкаре в 1973 г. как знак признания приоритета радиозологов Коми, посвященное теоретическим и практическим проблемам действия малых доз ионизирующих излучений. Материалы научных разработок отдела неоднократно звучали на международных совещаниях по проблемам радиозоологии в Швеции (1966 г.), Франции (1969 и 1971 г.), СССР (1971 г.). За всем этим стояла непреклонная вера В.И. Маслова и вверенного ему коллектива в необходимость и перспективность начатых исследований. Актуальность действия малых доз ионизирующей радиации на живые организмы, вновь возросшая в связи с Чернобыльской аварией, и по сей день не сходит с повестки дня.

В.И. Масловым написано 114 работ: 88 опубликованы, 26 – в виде рукописей хранятся в фондах Коми научного центра УрО РАН и Управления охотничьего хозяйства при Совете Министров Республики Коми. В.И. Маслов награжден орденом «Красной Звезды» и медалями за участие в Великой Отечественной войне и за доблестный труд. В среде радиозологов Всеволод Иванович Маслов является одним из основоположников изучения природных биогеоценозов повышенной естественной радиоактивности, его работа наряду с изучением радиационных исследований имела четкую экологическую направленность. По результативности его исследования и

на сегодняшний день не имеют аналога.

По воспоминаниям многих, В.И. Маслов при первом знакомстве производил впечатление «большого», значительного, интеллигентного, приветливого и обаятельного человека. Он обладал спокойным достоинством и достаточно сильным характером. Каждый, кто соприкасался с В.И. Масловым по работе или просто по житейским делам, в той или иной степени ощущал отзывчивость, истинное неравнодушие, готовность прийти на помощь. Говоря о В.И. Маслове как об ученом-экологе, нельзя не отметить присущую ему ярко проявляющуюся черту гражданственности. Вся его жизнь по сути была поставлена на службу защиты живой природы и человека от радиационной опасности. Его многочисленные докладные записки, направленные в разнообразные властные структуры, свидетельствуют о проявлении беспокойства о здоровье людей, оказавшихся по воле судьбы заложниками радиационной опасности (речь идет о населении бывшего радиевого промысла). Чувство общественного долга, ответственность перед людьми были для него столь фундаментальны, что, будучи уже на пенсии, почти прикованный к постели, он продолжал заботиться о чистоте и сохранении природы. Образ Всеволода Ивановича нельзя понять в отрыве от анализа его общественной позиции. Самоотверженность была одной из главных черт его характера. Он всегда работал не на себя, не ради карьеры. Воспоминания о нем будут неполными, если не упомянуть о той атмосфере творчества и общей приподнятости, которая постоянно присутствовала в возглавляемом им коллективе. Дух свободного поиска и высказываний, раскованность, демократичность и доступность в общении – все это было типично для радиозологов 60-80-х годов.

Вот уже 13 лет его нет среди живых, однако о нем остались воспоминания как о сильной личности, обаятельном человеке, который в трудное послевоенное время внес огромный вклад в развитие радиозоологических исследований в нашей стране. Его многочисленные ученики, а также коллеги, научная общественность, отмечая 90-летие со дня рождения Всеволода Ивановича, сохраняют его в своей памяти как яркую личность, выдающегося ученого и организатора науки.

*Коллектив сотрудников
отдела радиозоологии
Института биологии
Коми НЦ УрО РАН*

ИССЛЕДОВАНИЯ В.И. МАСЛОВА ПО ВОПРОСАМ МИГРАЦИИ РАДИЯ, УРАНА И ТОРИЯ В СИСТЕМЕ ПОЧВА–РАСТЕНИЕ

Л. Носкова

вед. инженер лаборатории миграции радионуклидов и радиохимии

Исследованиям почвенно-растительного покрова в радиоэкологии отводится существенное место, поскольку именно эта часть биосферы является первым экраном на пути поступления радиоактивных веществ из атмосферы на земную поверхность. Через нее, как через глобальную биокосную мембрану, идет радионуклидный обмен между атмосферой и гидросферой. При этом почвы, в которых совершаются процессы вторичного синтеза и деструкции огромного количества веществ биогенной природы, а также различные биогеохимические и биоэнергетические превращения, становятся основным депо радионуклидов в наземной природной среде [5]. От поведения радиоактивных элементов в системе почва–растение во многом зависит их поступление в организм животных. Растения, являясь источником питания многих живых организмов, выступают в роли промежуточного звена, обеспечивающего дальнейшую миграцию радиоэлементов живыми организмами на значительные расстояния от мест их локализации. Выявление закономерностей миграции радиоактивных изотопов и количественное прогнозирование их распределения в различных биогеоценозах – одна из первостепенных задач радиоэкологии. Исследования, направленные на выяснение путей миграции радиоизотопов в каждом из компонентов биогеоценоза, предусматривают конкретную цель – предупреждение попадания радионуклидов в конечное звено биологической системы почва–растение–животное–человек.

В радиоэкологии часто работы по определению содержания радионуклидов, скорости их миграции в природных экосистемах не завершались оценкой биологических последствий этих процессов, а с другой стороны, биологи, обнаружив изменения у живых организмов, затруднялись с интерпретацией этих данных, не имея полного представления о радиоэкологической ситуации в биогеоценозе. Эти два взаимодополняющих друг друга направления радиоэкологии нашли свое место в работе В.И. Маслова, который для изучения вопросов миграции радиоэлементов в природных биогеоценозах, биологической системе почва–растение–животное один из первых применил комплексный методический подход [3], понимая, что без общей оценки радионуклидного загрязнения биогеоценоза практически невозможно изучить последствия хронического облучения в популяциях живых организмов.

Будучи заведующим лабораторией радиобиологии Коми филиала АН СССР, В.И. Маслов был фактически участником каждой работы. Он понимал, что радиоэкологические исследования немислимы без знания радиационной обстановки и требуют детального дозиметрического и геохимического контроля. Поэтому, комплектуя лабораторию, Всеволод Иванович уделял особое внимание налаживанию радиофизических и радиохимических исследований.

Радиофизиками (В.С. Никифоров, А.И. Таскаев, А.Г. Модянова, Е.В. Степанюк, Ю.А. Яборов, Б.Г. Новаковский, Б.В. Тестов) был предложен алгоритм оценки радиационной обстановки в сложных естественных условиях, позволяющий любому исследователю выбрать для изучения набор необходимых и достаточных факторов. Для всех исследуемых районов повышенной радиоактивности были построены карты гамма-полей и вычислены значения эквивалентных доз. А.И. Таскаевым был разработан оригинальный картографический метод. Сотрудниками лаборатории – радиохимиками (В.Я. Овченко, А.Н. Басырова, И.И. Шуктомова, Н. Овчинникова, И.А. Мысова, Ф.Т. Козлова, Ю. Логинова, Т. И. Белоголова, В.А. Лодыгин, Э.Г. Ржаницына, Э.И., Кирушева, Л.И. Адамова, Т.Н. Музакка, А.Н. Тырина, Г.М. Туркина, Т.М. Семьяшкина, О. Кузнецова, Т.А. Москаленко, Т.С. Нестеренко, Т.И. Калинина, Г.Н. Аникина, Э.И. Хантимер) – были освоены методы определения всей совокупности продуктов распада материнских радионуклидов урана и тория, а позднее и искусственных радионуклидов. Благодаря радиохимикам появились и первые разработки в отделе. А.И. Таскаевым и И.И. Шуктомовой были разработаны методы выделения изотопов урана и тория из растительных, почвенных образцов [6] и количественного определения ^{238}U и ^{232}Th и изотопного состава урана в золе костной ткани животных [10]. В радиоэкологические исследования были включены и почвоведы (Д.М. Рубцов, Г.В. Русанова, Т.В. Гиль, Н.Б. Бадлуева, Э.И. Правдина, А.И. Мелехов), которые с первых дней существования лаборатории поставляли информацию о содержании и миграции урана, радия и тория в различных по генезису почвах радиоактивных аномалий. Большая информация об участии растительности Воднинского региона в формировании радиоактивного фона была получена в связи с обследованием местной флоры группой растениеводов (Р.П. Коданева, З.Г. Иевлева, О.Н. Попова, Б.И. Груздев, Н.П. Фролова, Н.А. Трофимова, В.И. Шершунова, Г.И. Калинина) [7]. Под биологические исследования, таким образом, был подведен надежный фундамент.

При проведении многолетних радиобиологических исследований особое внимание уделялось изучению радиационной обстановки в различных таежных и тундровых биогеоценозах, которые отличались друг от друга рядом показателей: мощностью дозы α -, β -, γ -излучений, набором и концентрацией радиоэлементов в почве, воде и воздухе, типом почвы, характером растительных ассоциаций, животным населением, климатическими и некоторыми другими экологическими условиями [1]. Позднее (1971 г.), полученные результаты были оформлены В.И. Масловым в диссертационной работе под названием «Миграция урана, радия и тория в сис-

теме почва–растения и роль мышевидных грызунов в этих процессах». В качестве участков-стационаров были выбраны урано-радиевые участки района повышенной радиоактивности. Почвы исследуемых участков характеризуются повышенными содержаниями в поверхностных слоях радия, урана и тория. Были исследованы различные типы почв: глее-сильнопodzолистые, дерново-подзолистые, дерново-луговые, дерново-глеевые. Их изучение показало [1, 3, 9], что характер вертикального распределения радиоэлементов по почвенному профилю обуславливается спецификой образования радиевых и урано-радиевых участков. Наибольшее количество исследуемых радионуклидов концентрируется в верхних горизонтах почвы до глубины 40 см (табл. 1). Во всех изученных почвах происходит миграция радия сверху вниз по почвенному профилю. И, как оказалось, наиболее прочно, по сравнению с другими типами почв, связывает радий дерново-луговая почва, о чем свидетельствовало сравнительно меньшее содержание радионуклида в ее лизиметрических водах.

Было прослежено [3], что содержание радия в почвенном покрове и его распределение по почвенным горизонтам с течением времени сильно изменяется в зависимости от процессов, связанных с жизнедеятельностью растений, которые поглощают растворимые формы радионуклида из почвы подобно остальным минеральным веществам, а затем возвращают их в верхние ее горизонты вместе с опадом. При выносе радиоактивных элементов из разных глубин почвы, в зависимости от проникновения корневой системы, растения накапливают их в своем организме, что играет важную роль в процессе вертикального перераспределения радиоэлементов в почвенном покрове данного биогеоценоза. При изучении радиоактивности растений, произрастающих на участках-стационарах, прежде всего, ставилась задача количественного определения радия, урана и тория главным образом у видов, являющихся кормовыми объектами у мышевидных грызунов и определения общего количества радиоэлементов, выносимых из почвы различными растительными ассоциациями с единицы площади исследуемых участков. Радиохимическими методами было определено содержание урана, радия и тория в 70 видах луговой, прибрежной и водной растительности, произрастающей на почвах с различной

концентрацией радиоэлементов, вследствие чего было установлено, что содержание в них урана, радия и тория зависит от экологических особенностей вида и радиационных условий района их произрастания. Наибольшим содержанием радиоэлементов отличались растения семейств злаковых, сложноцветных и бобовых. При среднем содержании радия в растениях по Виноградову [2], равном 7.4 мБк/г, превышение концентрации радионуклида у этих видов растений составляло 100-200 и 700 раз соответственно.

Известно также, что кустарниковая и древесная растительность является одним из основных компонентов рациона полевок почти во все периоды года. Поэтому содержание радиоактивных элементов в листьях, коре и древесине во многом определяет радиоактивность их рациона. Особенно это важно в осенне-весенние и зимние периоды. Как оказалось, в листьях кустарников и деревьев, произрастающих на исследуемых участках, радия содержится не в меньших, а зачастую в больших количествах, чем в листьях травянистой растительности. Радиохимический анализ отдельных органов древесных растений показал, что у всех растений был отмечен акропетальный градиент распределения исследуемых радиоэлементов (табл. 2).

Важно отметить, что соотношение радионуклидов, поступающих в растения, не соответствует их соотношению в почве. Больше всего поступает в растения радия, затем урана, меньше всего – тория. Все радиоэлементы, включая наиболее подвижный радий, практически не способны к реутилизации внутри растения и остаются депонированными в том месте, куда исходно попали вместе с восходящим током воды [1].

Для определения общего количества урана, радия и тория, выносимого из почвы различными растительными ассоциациями, анализировались растения, собранные с площадок в 1 м². Проведенные исследования показали, что на участках с повышенной радиоактивностью возрастает роль растений, участвующих в перераспределении радиоэлементов, содержащихся в почве. Интенсивность этого процесса зависит от состава и характера растительной ассоциации участка произрастания. На радиевом участке количество радия, выносимого с 1 м² растительностью, от четырех до 20 раз больше, чем на контрольном участке, различий в выносе урана и

Таблица 1

Содержание (Бк/г) урана, радия и тория в почвенном покрове участков повышенной радиоактивности (по данным В.И. Маслова)

Глубина взятия образцов, см	Контрольный участок (пойменная дерново-луговая почва)			Радиевый участок (пойменная дерново-луговая почва)			Урано-радиевый участок (глее-сильнопodzолистая почва)		
	радий	уран	торий	радий	уран	торий	радий	уран	торий
1-5	0.41	0.03	0.11	15.5	0.02	0.06	14.4	0.60	0.04
5-10	0.41	0.03	0.11	16.7	0.02	0.09	10.7	0.49	0.06
10-15	0.45	0.02	0.07	22.2	0.02	0.08	71.0	0.03	0.06
15-20	0.45	0.02	0.07	5.92	0.02	0.10	71.0	0.009	0.04
20-40	0.42	0.02	0.06	1.00	0.02	0.07	1.48	0.005	0.05
40-50	0.41	0.02	0.06	0.37	0.02	0.06	1.48	0.006	0.05
50-60	0.41	0.02	0.06	0.89	0.02	0.07	0.26	0.01	0.08

тория практически не наблюдалось. Растения, произрастающие на почвах урано-радиевого участка, способны поднимать из почвенных слоев урана в 7-10 раз больше, чем на участках нормальной радиоактивности. Было также определено общее количество урана, радия и тория, выносимого из почвы травянистой растительностью.

По результатам исследований, на радиевых участках за период вегетации с площади 1 га растительностью выносятся до 80 мкг радия, более 100 мг урана и до 30 г тория, на урано-радиевых – до 90 мкг радия, до 1 г урана и до 30 г тория. Как показано В.И. Масловым [3], валовые величины выноса радия из почвы находятся в положительной корреляции с биологической продуктивностью растений.

В процессах дальнейшего перераспределения радиоэлементов, выносимых растениями из почвы, важную роль играют мышевидные грызуны. Только популяциями двух видов мышевидных грызунов (полевка водяная и полевка-экономка) включается в процесс дальнейшего перераспределения до 15-20 % общего количества радиоэлементов, выносимых растениями на поверхность. Обнаружено, что в результате роющей деятельности с площади 1 га эти виды животных могут переместить до 6 тонн грунта и вовлечь в процесс перераспределения до 5 мг радия, около 50 г урана и более 60 г тория [3, 4].

Особое место в работе Всеволода Ивановича занимает исследование биогенной миграции естественных радиоэлементов на дезактивированной территории. В радиозэкологическом аспекте были изучены процессы восстановления биогеоценоза в пост-дезактивационный период. Были установлены скорость естественного зарастания участка и факторы, влияющие на формирование и сукцессионные изменения в ценозе, направленность процессов миграции и перераспределения радиоэлементов по компонентам формирующегося биогеоценоза во времени, изменение уровня радиации на участке в результате деятельности как растений, так и животных, размеры выноса радия растительностью за вегетационный период. По полученным результатам, эффективный период насыпного метода дезактивации радиевых загрязнений при естественном формировании биогеоценоза в условиях речных пойм средней тайги составляет семь-восемь лет. В дальнейшем процессы миграции и перераспределения радия по компонентам биогеоценоза идут с той же интенсивностью, что и до дезактивации. В то же время для урана и тория, вследствие низкого их поглощения растительностью, эффективный период насыпного метода дезактивации значительно больше [8]. Показано [3], что при использовании насыпного метода наибольший защитный эффект

Таблица 2

Содержание урана, радия и тория в различных органах некоторых видов древесной растительности (по данным В.И. Маслова)

Название растения	Орган	Содержание радиоактивных элементов, МБк/г		
		радий	уран	торий
Ива филиколистная	Лист	80	0.06	2.9
	Кора	170	0.10	3.7
Осина	Лист	90	0.07	0.4
	Кора	170	0.10	4.1
	Ветка	330	0.20	6.2
Береза пушистая	Лист	300	0.20	3.3
	Кора	650	0.20	3.7
Сосна	Лист	10	0.40	2.9
	Кора	40	0.90	8.2

достигается при дезактивирующем слое песчано-гравийной смеси мощностью 50-60 см, а в целях усиления эффективности механических методов дезактивации рекомендуется на первых стадиях восстановления биогеоценоза применение химических способов уничтожения растительности, что будет исключать возмож-

ность заселения дезактивированной территории мышевидными грызунами и снижать интенсификацию процессов биогенной миграции на дезактивированных территориях.

В.И. Масловым была проделана огромная работа по изучению миграции естественных радиоэлементов в системе почва-растение, а также по оценке роли мышевидных грызунов в этих процессах. Был получен интересный и обширный материал по распределению, перераспределению и состояниям радиоэлементов в различных компонентах биогеоценозов с повышенным техногенным уровнем естественной радиоактивности. Всеволод Иванович проработал заведующим лабораторией радиобиологии, а затем отделом радиозэкологии до 1982 г. В настоящее время многими сотрудниками отдела радиозэкологии продолжают начатые им исследования. В лаборатории миграции радионуклидов и радиохимии мы изучаем долговременное перераспределение радионуклидов в почвах загрязненных участков уже через 20 и 40 лет с момента их загрязнения. Получены новые данные о содержаниях радиоэлементов в почвах и растительности с этих участков, построены новые карты гамма-полей, проводится сравнительный анализ с ранее полученными данными. И конечно, в наших исследованиях мы опираемся на работы, сделанные В.И. Масловым, а также другими сотрудниками отдела, которые работали вместе с ним.

ЛИТЕРАТУРА

1. Верховская И.Н., Вавилов П.П., Маслов В.И. Распределение и перераспределение урана, радия и тория в природных биогеоценозах // Радиозэкологические исследования в природных биогеоценозах. М.: Наука, 1972. С. 243-256.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 150 с.
3. Маслов В.И. Миграция урана, радия и тория в системе почва-растения и роль мышевидных грызунов в этих процессах: Дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 1971. 218 с.
4. Маслов В.И. Участие мышевидных грызунов в процессе перераспределения радиоактивных элементов, выносимых растениями из почвы // Теоретические и практические аспекты действия малых доз ионизирующих излучений. Сыктывкар, 1973. С. 97-99.

5. Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Эколого-геохимические аспекты миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове. Екатеринбург, 2001. 161 с.

6. Определение изотопов урана и тория в почвах и растениях (методические указания) / А.В. Кузнецов, П.М. Орлов, И.И. Шуктомова и др. М., 1989. 21 с.

7. Попова О.Н., Фролова Н.П. Всеволод Иванович Маслов. Сыктывкар, 1996. 40 с.

8. Роль растений и животных в процессах биогенной миграции радия на дезактивированных территориях / В.В. Вавилов, Б.И. Груздев, В.И. Мас-

лов и др. // Теоретические и практические аспекты действия малых доз ионизирующих излучений. Сыктывкар, 1973. С. 95-97.

9. Русанова Г.В. Содержание и закономерности распределения радия-226 в почвенном покрове района повышенной естественной радиации // Материалы радиоэкологических исследований в природных биогеоценозах. Сыктывкар, 1971. С. 32-64.

10. Шуктомова И.И., Таскаев А.И. Количественное определение ^{238}U , ^{232}Th и изотопного состава урана в золе костной ткани животных. Сыктывкар, 1988. 8 с. – (Сер. Новые науч. методики / Коми НЦ УрО РАН; Вып. 27).

ПУТЬ, ПО КОТОРОМУ СТОИТ ИДТИ (к 90-летию со дня рождения В.И. Маслова)

к.б.н. О. Ермакова

с.н.с. лаборатории радиоэкологии животных

Прошло уже больше десяти лет, как ушел из жизни этот выдающийся ученый и большой человек – Всеволод Иванович Маслов. Мы, его соратники, а точнее – ученики, ибо для всех нас, кто жил и работал рядом с ним, он был и остается учителем – вспоминаем с глубоким чувством благодарности те годы, когда создавалась радиоэкология в Республике Коми, когда нам довелось работать рядом с этим человеком. Успехи в развитии молодой ветви радиобиологии – радиоэкологической науки – в нашей республике неотделимы от имени В.И. Маслова. Много он успел сделать сам, что-то не успел, и его идеи развивают теперь многочисленные его последователи, научные дети и внуки.

В настоящее время слово «экология» вошло в нашу повседневную жизнь. Мы его ежедневно встречаем на страницах газет, слышим по телевидению, его научились произносить и государственные деятели, и домохозяйки. Но в конце 50-х годов термин «экология», а тем более «радиоэкология» был в ходу лишь среди узкого круга специалистов, и не все они считали, что такая наука имеет право на существование. В.И. Маслов посвятил свою жизнь разработке теоретических основ радиоэкологии, показав ее значение и сферу приложения, роль в современной науке. Когда он начинал свою деятельность, время всеобщего признания действия «малых доз» ионизирующей радиации на живые организмы еще не пришло.

Инициатором идеи создания в недрах нашего Коми филиала АН СССР нового направления исследований – радиоэкологии, был Петр Фомич Рокцкий, работавший в те далекие 50-е годы в Сыктывкаре. Идею горячо поддержали Петр Петрович Вавилов,

председатель Президиума, и В.И. Маслов, тогда сотрудник отдела зоологии. Зимой 1957 г. была разработана программа первой радиоэкологической экспедиции в район Ухтинского водного промысла, где после закрытия радиевого производства остались обширные территории с повышенным уровнем естественной радиоактивности. Эта первая экспедиция, положившая начало развитию в Республике Коми радиоэкологических исследований, выехала в район Ухты 10 июля 1957 г. под руководством В.И. Маслова.

На базе ранее сформировавшейся радиобиологической группы 21 сентября 1959 г. создается лаборатория радиобиологии в составе 12 человек во главе с В.И. Масловым. При активной консультативной поддержке д.б.н. И.Н. Верховской были начаты исследования природных биогеоценозов в районах повышенной естественной радиоактивности. Организация и проведение многолетних радиоэкологических исследований строились на широкой комплексной программе, охватывающей взаимодействие всех основных биотических и абиотических компонентов в условиях природных биогеоценозов повышенной естественной радиоактивности. Основные цели исследований Всеволод Иванович сформулировал так:

1. Разработка метода комплексного радиоэкологического изучения биогеоценозов повышенной естественной радиоактивности;

2. Изучение закономерностей распределения, перераспределения, форм нахождения геохимической и биогенной миграции радионуклидов и продуктов их распада в условиях природных и техногенных биогеоценозов;

3. Биологическое действие малых доз радиоактивности, создаваемых хроническим внешним облучением и инкорпорированными радиоэлементами на организм и популяции растений и животных в условиях дополнительного воздействия физических, химических, экологических и других природных и техногенных факторов [8, 11].

В период становления и организации отдела радиоэкологии (1957-1962 гг.) основные усилия были сосредоточены на создании прочной базы для последующего интенсивного развития радиоэкологических исследований. Сотрудниками лаборатории за короткий срок на территории Республики Коми была проведена инвентаризация районов и участков с повышенной природной радиоактивностью, выполнен большой объем дозиметрических работ. В пределах большого экологического региона были выделены перспективные для последующих исследований локальные радиевые, урано-радиевые, ториевые участки, различающиеся по комплексу геохимических и экологических условий, на которых в последующем проводились основные научные работы радиоэкологов (Ухтинский район (пос. Водный), Южный, Северный и Полярный Урал, средний Тиман). Радиоэкологические стационары явились экспериментальными полигонами для постановки и проведения многолетних наблюдений при изучении важнейших вопросов радиоэкологии.

В.И. Масловым и первыми сотрудниками на радиевом и урано-радиевом стационаре проведен пятнадцатилетний цикл исследований изменения динамики численности, половой и возрастной структуры популяций мышевидных грызунов и биологической эффективности малых доз радиации

на различные систематические группы животных [10]. Радиоэкологический мониторинг этих территорий продолжается и сейчас. На радиевом стационаре В.И. Масловым и сотрудниками отдела был выполнен длительный эксперимент по определению эффективности насыпного метода дезактивации территорий, загрязненных радиоактивными веществами. На ториевом стационаре В.И. Масловым проведено 20-летнее исследование взаимодействия животных и растений речных и приречных биогеоценозов с радиоактивными элементами, выносимыми рекой из ториевой аномалии. В условиях урано-радиевого техногенного стационара сотрудниками отдела проведен длительный эксперимент по изучению последствий хронического облучения сельскохозяйственных растений в ряду поколений. Полученные на этих территориях первые результаты давали основание предполагать неблагоприятное влияние повышенной радиоактивности на живые организмы. Предстояло кропотливое изучение в различных направлениях всех компонентов биогеоценозов: почвы, воды, наземной и водной флоры и фауны и человека.

Будучи по складу мышления теоретиком, В.И. Маслов всегда придавал большое значение планированию и осуществлению работ, связанных с получением конкретного фактического материала в природных и лабораторных условиях. Он организовал многочисленные экспедиции, в которых сам принимал непосредственное участие. По его инициативе в Институте был создан виварий. Без использования радиофизических и радиохимических методов было невозможно проведение исследований по двум основным

направлениям радиоэкологии – миграции естественных и искусственных радионуклидов и их действие на живые организмы. Первая группа радиохимиков была направлена в ведущие учреждения Москвы и Новосибирска для освоения методов определения урана, радия и тория в объектах окружающей среды. Получены уникальные результаты по вертикальному распределению радиоэлементов в различных почвах на территориях бывшего радиевого промысла. В результате радиохимического анализа 70 видов луговой, прибрежной и водной растительности было установлено, что содержание в них урана, радия и тория зависит от экологических условий района. У некоторых видов растений накопление радия превышало кларковое содержание в 100-700 раз. Было установлено, что травянистая растительность на радиевых участках за период вегетации выносит из почвы с площади 1 га до $8 \cdot 10^{-5}$ г радия, более 100 мг урана и до 30 г тория. Мышевидные грызуны аккумулируют до 90 % урана, радия и тория от общего количества радиоактивных элементов, аккумулируемых всеми позвоночными [9].

В.И. Маслов возглавил все исследования, которые проводились в отделе, но особое внимание он уделял изучению биологического действия малых доз ионизирующих излучений на организм и популяции млекопитающих биогеоценозов с повышенной естественной радиоактивностью. Он не только планировал исследования по радиоэкологии того дня, но намечал перспективы развития этой науки в будущем. Комплексный метод радиоэкологических исследований природных биогеоценозов, по мнению В.И. Маслова, и это мы видим на схеме, опубликованной им в одной из своих работ [11], предусматривает изучение биологического действия радиационных факторов на всех уровнях – от молекулярного до популяционного – с охватом тех основных вопросов, которые помогают выяснению механизмов радиочувствительности и адаптации организма и популяций к действию малых доз радиации.

Необходимо отметить, что экологию Всеволод Иванович еще тогда понимал как науку о популяциях. Большое внимание уделял в своей работе именно популяционному уровню. До сих пор многие вопросы влияния хронического облучения на популяции животных в природной среде остаются нерешенными. Представление о самостоятельности популяционного уровня жизни, наряду с молекуляр-

ным, органическим и организменным, потребовало поиска новых методов изучения природных популяций. Призывая, что важнейшей целью радиоэкологических исследований является установление закономерностей динамики популяций в условиях радиационного загрязнения среды обитания, следует считать особенно целесообразным применение методов, которые позволяли бы оценивать физиологическое состояние конкретных «контрольных» и «опытных» популяций с учетом возрастной, половой и сезонной специфики. При этом изучение физиологических особенностей популяций не являлось самоцелью, а рассматривалось лишь как средство изучения их реакций в целом на действие факторов внешней среды. Метод морфофизиологических индикаторов был разработан С.С. Шварцем [19] и подхвачен многими экологами в нашей стране. Более чем тридцатилетняя практика использования этого метода в нашем отделе показала перспективность его применения при решении ряда вопросов радиоэкологии. В основу анализа популяций мышевидных грызунов контрольных и опытных территорий был положен принцип сопоставления морфофункциональных, эколого-физиологических, гистоморфологических, а впоследствии биохимических и генетических особенностей изучаемых видов. Накопленный многолетний материал по интерьерным особенностям различных видов, обитающих на территориях с нормальной и повышенной радиоактивностью, позволил найти различия в «популяционной норме» природных микропопуляций. В.И. Масловым был введен термин – радиоэкологический фактор, включающий в себя совокупное дей-



ствии повышенного фона радиации с геохимическими, климатическими и другими природными и техногенными условиями [12, 15].

Проведенные в первое десятилетие комплексные исследования нашего отдела легли в основу разработки методических подходов к решению ряда проблем наземной радиоэкологии. Они получили положительную оценку на выездной сессии Научного совета по проблемам радиобиологии АН СССР, на бюро отделения биохимии и биофизики физиологически активных соединений. Материалы исследований прозвучали на международных симпозиумах в Швеции (1967 г.), Франции (1969 г.). В Сыктывкаре был проведен Всесоюзный симпозиум по методам радиоэкологических исследований. Отдел благодаря энергии В.И. Маслова и всего коллектива завоевал всесоюзное и международное признание и закрепил свои позиции в научном мире. В 1972 г. Всеволодом Ивановичем была защищена кандидатская диссертация «Миграция урана, радия и тория в системе почва-растения и роль мышевидных грызунов в этих процессах», которая получила очень высокую оценку. Многие оппоненты отмечали, что работа заслуживает присуждения докторской степени.

Были в отделе и трудные времена, когда направление считали бесперспективным и ставили вопрос о закрытии отдела. Но несколько комиссий, в которые входили практически все ведущие радиобиологи страны, подчеркнули важность и правильность выбранного направления. И в этом большая заслуга именно В.А. Маслова. На основе многолетних исследований Всеволодом Ивановичем была создана классификация млекопитающих и птиц северной тайги, которая предусматривала деление животных на три радиоэкологические группы: тесного, умеренного и слабого контакта с радиоактивными веществами. В основу классификации были положены степень накопления урана, радия и тория в организме животных и экологические особенности обитания вида [14]. Классификация позволила выйти на основные объекты для последующего изучения – на мышевидных грызунов. Полевка-экономка стала постоянным и обоснованным тест-объектом для биоиндикации уровня радиоактивности природной среды. На ней проводятся комплексные морфологические, гистологические, биохимические и другие исследования [16]. Исследования влияния радиоэкологического фактора на организм, на-

чавшиеся в 60-е годы, показали, что одними из наиболее чувствительных, являются органы кроветворения (периферическая кровь, костный мозг, селезенка [17]).

Самые первые гистоморфологические исследования по биологической эффективности малых доз ионизирующей радиации на репродуктивную систему мелких млекопитающих, обитающих на территориях, загрязненных естественными радионуклидами, показали высокую радиочувствительность сперматогенного эпителия. Изменения, происходящие в гонадах, как было установлено, представляли собой сложный комплекс деструктивных компенсаторно-репаративных процессов, влияющих в целом на состояние организма и популяции [4]. В дальнейшем гистоморфологические исследования были продолжены на органах эндокринной системы [5]. Изучение состояния органов и тканей репродуктивной, кровеносной, иммунной и эндокринной систем позволило установить некоторые закономерности развития деструктивных и компенсаторных процессов, а также формирования необратимых патологических нарушений. Было установлено, что выявленные патоморфологические изменения формируются на фоне активно протекающих компенсаторно-восстановительных процессов, направленных на приспособление организма к условиям повышенной радиоактивности. Активизация компенсаторных реакций, создавая напряженное состояние, усугубляет патологические процессы. Степень выраженности биологических эффектов существенно зависит от генезиса радиоактивного загрязнения, уровня γ -фона, множества популяционных характеристик (пол, возраст, фаза популяционного цикла, миграционная активность животных), а также от прочих воздействий нерадиационной природы [2].

Начатые в 70-х годах биохимические исследования на мышевидных грызунах, обитателях урано-радиевого и радиевого участков (Ухтинский стационар), выявили у них нарушения белкового обмена. А.Т. Алиев предложил использовать сывороточные эстеразы в качестве чувствительного к облучению теста [1]. В органах и тканях грызунов исследованы также тиоловые группы, играющие важную роль в энергетическом обмене (В.Ф. Удот, А.Г. Кудяшева). Впоследствии было установлено, что хроническое воздействие ионизирующей радиации в малых дозах приводит к дискоординации процессов дегидрирования в тканях грызунов, нарушению процессов перекис-

ного окисления липидов [6, 7]. Среди важных итогов исследований именно экологической направленности следует отметить работу Л.А. Башлыковой «Эколого-генетические процессы в популяциях мышевидных грызунов, обитающих в условиях радиоактивных загрязнений». В работе показано, что малые дозы ионизирующего излучения на фоне действия других факторов окружающей среды приводят к усилению темпа мутационного процесса и нарушению процесса воспроизводства, а также ряда других популяционных характеристик [3]. Эксперименты по влиянию хронического γ -облучения, имитирующего действие радиации на радиовом стационаре, подтвердили результаты, полученные на животных из природных популяций и позволили сделать вывод, что исследованный уровень малых доз ионизирующей радиации не является безразличным для живого организма.

Сегодня мы не можем не вспомнить о том, что более 20 лет назад высокая квалификация сотрудников отдела позволила нам одним из первых среди радиоэкологов АН СССР начать работы в зоне аварии на Чернобыльской АЭС. Сама жизнь подтвердила важность и необходимость дальнейшего изучения действия малых доз радиации. В этой области не решены еще многие задачи. Остается неразрешенным вопрос о наличии порога чувствительности различных биологических систем к действию облучения – о важности и необходимости решения этого вопроса В.И. Маслов говорил еще в 70-е годы в своей работе «Проблемы радиоэкологии природных биогеоценозов повышенной радиоактивности» [11]. Проблема воздействия инкорпорированных радионуклидов на различные биологические структуры, вопросы дифференциальной тропности клеточных оргanelл, самих клеток, тканей и органов к накоплению радионуклидов и изотопов одного и того же элемента также остаются во многом нерешенными. Примером этого являются многие противоречивые данные о щитовидной железе в постчернобыльский период. Прочно вошедший в практику расчет поглощенных доз от инкорпорированных источников без учета неоднородности их распределения может давать существенное занижение значения поглощенных доз. О необходимости и актуальности решения этой задачи мы также читаем в трудах В.И. Маслова [13]. Разработке этой проблемы много внимания уделено в работах А.И. Таскаева [18].

В настоящее время исследования сотрудниками нашего отдела вопросов механизма действия малых доз радиации, формирования приспособительных реакций организма и популяций к хроническому облучению, сочетанного действия радиации и сопутствующих факторов, по-существу, соответствуют замыслам и задачам В.И. Маслова. Тех, кому выпало счастье хорошо знать его, работать с ним, всегда поражали его талант, огромная эрудиция и скромность, большое трудолюбие и преданность своему делу, доброжелательность и любовь к людям. Он заложил и культивировал в отделе атмосферу доброжелательности, взаимного уважения и поддержки. Сплоченность и творческий климат во многом определили успех в работе коллектива и сегодня мы пытаемся сохранить эти традиции. Наш отдел гордится своим первым заведующим. 4 января Всеволоду Ивановичу исполнилось бы 90...

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев А. Т. Белки плазмы крови и гемоглобин полевков-экономок (*Microtus oeconomus* Pall.), обитающих в различных радиэкологических условиях: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 1976. 30 с.
2. Атлас патоморфологических изменений у полевков-экономок из очагов локального радиоактивного загрязнения / К.И. Маслова, Л.Д. Материй, О.В. Ермакова и др. СПб.: Наука, 1994. 129 с.
3. Башлыкова Л.А. Эколого-генетические процессы в популяциях мышевидных грызунов, обитающих в условиях радиоактивных загрязнений: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2000. 21 с.
4. Верховская И.Н., Маслова К.И., Маслов В.И. Действие малых доз радиации и инкорпорированных естественно-радиоактивных элементов на сперматогенез полевков-экономок в природных условиях // Радиобиология, 1965. Т. 5, вып. 5. С. 720-729.

5. Ермакова О.В. Морфофункциональные изменения щитовидной железы и коры надпочечников у полевков-экономок, обитающих в условиях повышенной радиоактивности: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 1991. 25 с.

6. Кудяшева А.Г. Активность дегидрогеназ (сукцинатдегидрогеназы, пироватдегидрогеназы и лактатдегидрогеназы) в тканях полевков-экономок (*Microtus oeconomus* Pall.), обитающих в условиях повышенной естественной радиоактивности: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Киев, 1986. 24 с.

7. Кудяшева А.Г. Антиоксидантный статус, состав фосфолипидов и процессы дегидрирования в органах мышевидных грызунов из районов с радиоактивным загрязнением: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 1996. 34 с.

8. Маслов В.И. Некоторые итоги комплексных исследований по влиянию повышенной естественной радиоактивности на живые организмы в природных условиях // Тезисы докладов юбилейной научной сессии, посвященной 50-й годовщине Великой Октябрьской социалистической революции. Сыктывкар, 1967. С. 6-8.

9. Маслов В.И. Миграция урана, радия и тория в системе почва-растения и роль мышевидных грызунов в этих процессах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1972. 17 с.

10. Маслов В.И. Методы определения количества урана, радия и тория, аккумулируемых популяциями мышевидных грызунов в различных радиэкологических условиях природных биосферных биосфер // Вопросы радиэкологии наземных биосфер. Сыктывкар, 1974. С. 104-119.

11. Маслов В.И. Проблемы радиэкологии природных биосферных биосфер повышенной радиоактивности // Проблемы радиэкологии и биологического действия малых доз ионизирующей радиации. Сыктывкар, 1976. С. 17-29.

12. Маслов В.И. Действие радиэкологического фактора на эволюционно-закрепленные приспособительные реакции популяций животных к условиям Севера // Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции по эко-

логической физиологии. Сыктывкар, 1982. С. 62-63.

13. Маслов В.И. Опыт и итоги многолетних комплексных радиэкологических исследований в природных биосферах повышенной естественной радиоактивности // Радиэкологические исследования почв, растений и животных в биосферах Севера. Сыктывкар, 1983. С. 6-20. – (Тр. Коми фил. АН СССР; № 60).

14. Маслов В.И., Маслова К.И. Классификация млекопитающих и радиэкологические группы млекопитающих и птиц биосферных биосфер повышенной радиоактивности // Радиэкологические исследования в природных биосферах. М.: Наука, 1972. С. 161-173.

15. Маслова К.И. Повышенная естественная радиоактивность как радиэкологический фактор среды обитания // Радиэкологические исследования почв, растений и животных в биосферах Севера. Сыктывкар, 1983. С. 21-30. – (Тр. Коми фил. АН СССР; № 60).

16. Маслова К.И., Маслов В.И. Действия ТЕРН на животных (на примере популяции полевки-экономки *Microtus oeconomus* Pall.) // Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере. Миграция и биологическое действие на популяции и биосферы / Коллектив авторов. М.: Наука, 1990. С. 234-275.

17. Маслова К.И., Материй Л.Д. Морфологические изменения в периферической крови и селезенке полевков при обитании их в среде с повышенной радиоактивностью // Вопросы радиэкологии наземных биосфер. Сыктывкар, 1974. С. 74-85.

18. Тестов Б.В., Таскаев А.И. Накопление естественных радионуклидов в организме животных на участках с повышенной радиоактивностью // Техногенные элементы и животный организм. Свердловск, 1986. С. 23-36.

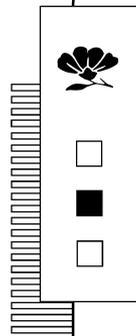
19. Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологии индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск, 1968. 386 с. – (Тр. ИЭРиЖ / Урал. фил. АН СССР; Вып. 58).

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

Инне Владимировне Рапота, помощнику директора Института биологии Коми НЦ УрО РАН, награжденной Почетной грамотой муниципального образования городского округа «Сыктывкар» за многолетний и добросовестный труд.

Желаем творческого оптимизма!

Коллеги





КОНФЕРЕНЦИИ



ПЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ЭФФЕКТАМ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (Варанаси, Индия)

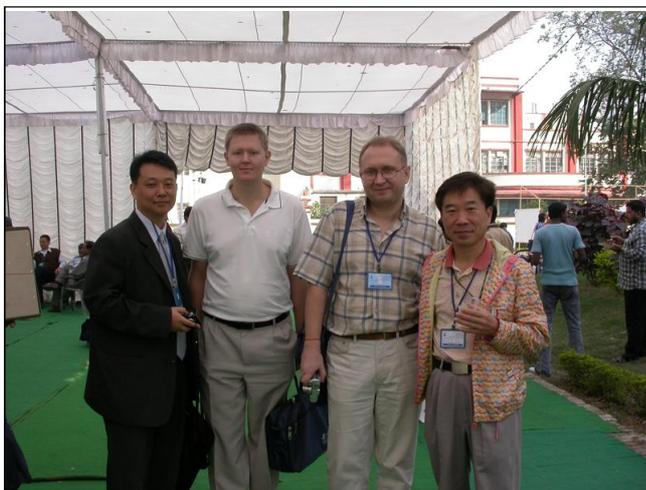
д.б.н. А. Москалев

С 19 по 24 ноября 2006 г. в Бенаресском индуистском университете (г. Варанаси, Индия) проводилась V международная конференция по эффектам малых доз радиации на здоровье человека и окружающую среду и была посвящена проблемам молекулярной и клеточной радиобиологии, эффектам малых доз радиации (геномная нестабильность, эффект свидетеля), радиопротекторным свойствам лекарственных растений, популяционным эффектам радиации, оценке рисков, радиотерапии рака, радиомодификаторам и адаптогенам (аюрведа). В ее работе приняли участие более 300 специалистов из Индии, США, стран Западной и Восточной Европы, Австралии, ЮАР, Южной Кореи, Японии и России.

Президент Международной организации радиобиологов проф. Масао Сасаки (Япония) прочитал пленарную лекцию по материалам своих многолетних исследований по эффективной дозе, полученной жителями Хиросимы и Нагасаки в результате атомной бомбардировки с точки зрения роли нейтронного облучения, внесшего основной вклад в поражающее воздействие радиации. Доктор Сафрани (Европейское общество по радиационным исследованиям, Венгрия) посвятил свой пленарный доклад исследованию генов радиационного ответа и радиочувствительности по результатам полногеномного ДНК-микрочипового скрининга. Он выявил десятки генов, индуцируемых или репрессированных малыми дозами радиации, либо ответственных за индивидуальную радиочувствительность. В нормаль-

ных фибробластах 109 генов повышали свою экспрессию и 114 снижали ее в ответ на облучение. Большинство радиоиндуцируемых генов регулирует ответ на повреждение ДНК (GADD45A, BTG2, PCNA, IER5), клеточный цикл (CDKN1A, PPM1D, SERTAD1, PLK2, PLK3, CYR61) и апоптоз (BBC3, TP53INP1). Большая их часть индуцируется или регулируется транскрипционным фактором p53. Профессор Джордж Илиакис (председатель Европейского общества по радиационным исследованиям, Эссен, Германия) представил материалы о механизмах репарации двухцепочечных разрывов в клетках высших эукариот. Ключевой доклад д-ра Пельмар (Безеда, США) был посвящен оценкам радиационного повреждения с медицинской точки зрения.

Большое количество докладов индийских авторов было посвящено радиопротекторным, адаптогенным и антиоксидантным свойствам аюрведических лекарственных растений, в которых отмечалось, что наибольшими защитными свойствами обладают растения, произрастающие в суровых условиях (подверженные постоянному холодному и другим видам стрессов). Моя лекция была посвящена сравнению продолжительности жизни гетерогенных и изогенных линий дикого типа после облучения малыми дозами гамма-радиации на протяжении 15 последовательных поколений дрозофилы, где был предложен новый механизм радиационного гормонализма по продолжительности жизни. Работа вызвала большой интерес. Поездка оказалась возможной благодаря гранту Президента РФ для молодых докторов наук.



С коллегами из Института общей генетики (Москва) и Технического университета (Сеул). Второй слева – Алексей Москалев.



На улицах самого древнего города Варанаси.

Окончание. Начало на задней обложке.

ности (фото 5). Довольно много в составе подроста березы и почти всегда в небольшом количестве сосна. Лиственница и пихта встречаются редко. Подрост хвойных в северотаежных ельниках является важным резервом для смены и пополнения основного полога еловых древостоев.

Развитие нижних ярусов растительности определяется условиями произрастания. Они представлены 4-6 видами кустарничков, 7-11 видами травянистых растений, 6-9 видами мхов.

Северотаежные ельники являются перспективными для роста объемов лесозаготовок. Потенциальные ресурсы древесины ели в лесном фонде региона составляют 339 млн. м³. Запасы эксплуатационного фонда, которые можно использовать для заготовки лесной продукции, равны 213 млн. м³, из них 89 % сосредоточено в спелых и перестойных насаждениях. В этом фонде большая часть (74 %) запасов древесины ели приходится на деловую древесину средней и мелкой категории крупности. Возраст рубки главного пользования в еловых насаждениях V класса бонитета и выше установлен в пределах VI класса возраста (120-140 лет). Наиболее ценными сортаментами, заготавливаемыми в ельниках, являются пиловочник, баланс, фанерный кряж, рудстойка и стройлес, на долю которых приходится около 85 % объема деловой древесины ели.

Наряду с древесными ресурсами в северотаежных ельниках сосредоточены большие запасы дополнительного сырья — пней и корней, сучьев и ветвей, коры, древесной зелени, общие запасы которых в спелых и перестойных насаждениях эксплуатационного фонда достигают 126.9 млн. тонн. Значительным ресурсом для лесохимической промышленности и древесно-плитного производства являются пни и корни, сучья и ветви, запасы которых в старовозрастных ельниках составляют 80.6 млн. тонн, а для сельского хозяйства, медицинской и парфюмерной промышленности — кора (16.3 млн. тонн), древесная зелень (30 млн. тонн).

д.б.н. **К. Бобкова**

Фото 1, 3 **А. Патова**



ВЕСТНИК ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ 2007 № 2 (112)

Ответственный за выпуск **А.Г. Кудяшева**

Редактор **И.В. Рапота**

Компьютерный дизайн и стилистика **Р.А. Микушев**

Компьютерное макетирование и корректура **Е.А. Волкова**

Лицензия № 19-32 от 26.11.96 КР № 0033 от 03.03.97

Информационно-издательская группа Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Адрес редакции: г. Сыктывкар, ГСП-2, 167982, ул. Коммунистическая, д. 28

Тел.: (8212) 24-11-19; факс: (8212) 24-01-63

E-mail: directorat@ib.komisc.ru

Компьютерный набор.

Подписано в печать 03.03.2007. Тираж 250. Заказ № 05(07).

Распространяется бесплатно.