



# ВЕСТНИК

Института биологии Коми НЦ УрО РАН

**ЗАПОВЕДАНО СОХРАНИТЬ**

**Коренные еловые леса  
подзоны средней тайги**

2007

№ 3(113)

## ЗАПОВЕДАНО СОХРАНИТЬ

### Коренные еловые леса подзоны средней тайги



На территории Республики Коми в средней подзоне тайги еловые леса произрастают на площади 6.74 млн. га, из них 74 % сосредоточено в спелых и перестойных насаждениях. Старовозрастные ельники представляют спонтанно (без антропогенных или стихийных воздействий) развивающиеся в течение многих веков массивы коренных темнохвойных лесов. Здесь они сформированы главным образом елью сибирской (*Picea obovata*). Лишь на западе и юго-западе республики распространена ель гибридного происхождения (*Picea obovata* + *Picea abies*) с преобладанием признаков ели сибирской (Правдин, 1975). Среднетаежные коренные ельники представлены фитоценозами зеленомошной (47.6 %) (фото 1), долгомошной (36.8 %) (фото 2), травяной (3.2 %) (фото 3), сфагновой (12.2 %) (фото 4), лишайниковой (0.2 %) групп типов. Они развиваются главным образом на типичных подзолистых и торфянисто-подзолистых суглинистых почвах.

Древостой старовозрастных ельников в основном смешанные по составу, IV-V (редко III) класса бонитета, полнотой 0.6-0.9, с запасом древесины от 100 до 420 м<sup>3</sup>/га. При господстве в нем ели закономерно участие (до четырех единиц) березы, сосны, лиственницы, кедра, пихты. В фитоценозах коренных ельников накапливается от 150 до 220 тонн/га органической массы или от 75 до 91 тонн/га углерода. Годичная продукция фитомассы в зависимости от типа леса изменяется в пределах 5.2÷10.2 т/га. Количество энергии, аккумулированной фитомассой ельников, составляет (3.2÷4.0)·10<sup>12</sup> Дж/га. В составе древостоев ель имеет продолжительность жизни до 200 (редко 300) лет. Древостой образует многообразные, но преимущественно разновозрастные ценопопуляции. Ель представлена практически непрерывным рядом, начиная от всходов и кончая возрастом естественной спелости. В средней тайге для древостоев коренных ельников характерен разнообразный тип возрастной структуры. Здесь они в равной степени представлены абсолютно и относительно разновозрастными древостоями. Идеальная разновозрастная структура присуща не всем коренным ельникам. В средней тайге довольно часто встречаются сообщества с условно одновозрастными древостоями. Отпад деревьев происходит постепенно после гибели отдельных экземпляров, достигших предельного возраста, либо пораженных энтомо- или фитовредителями. Лесовозобновительный процесс в коренных ельниках непрерывен. Смена поколений в них происходит постепенно. Во всех типах леса имеется подрост разного количества (1.1÷5.6 тыс. экз./га), состава, возраста. Он, как правило, состоит из тех же древесных растений, что и древостой при доминировании здоровой ели (фото 5). Растения почвенного покрова представлены 4-6 видами кустарничков, 7-12 видами травянистых растений, 6-9 видами мхов.

В еловых лесах средней тайги встречается около 180 видов сосудистых растений (Мартыненко, 1990). Наиболее



PARUS

# ВЕСТНИК

Института биологии  
Коми НЦ УрО РАН

Издается  
с 1996 г.

№ 3 (113)

## 2007 - ГОД 45-ЛЕТИЯ ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ

### В н о м е р е

#### СТАТЬИ

- 2 Состав фосфолипидов в тканях мышей при совместном действии хронического низкоинтенсивного  $\gamma$ -облучения и нитрата свинца в разных дозах. **Н. Загорская**
- 6 О противолучевых свойствах иннокостерона. **О. Шевченко, Н. Загорская**
- 9 Влияние хронического  $\gamma$ -облучения в малых дозах на продолжительность жизни 14 поколений изогенной и гетерогенной линий дикого типа *Drosophila melanogaster*. **А. Москалев**
- 12 Индукция доминантных летальных мутаций у дефицитных по репарации линий *Drosophila melanogaster* при облучении с разной мощностью дозы. **М. Шапошников**
- 13 Динамика численности и плодовитости особей в экспериментальных популяциях дрозофилы при воздействии хронического  $\gamma$ -излучения. **Е. Юшкова**
- 16 Модификация гибберелловой кислотой генетических эффектов у *Tradescantia* (клон 02), индуцированных облучением в малых дозах. **А. Хомиченко, В. Зайнуллин**
- 20 Радиация и лейкозы. Распространенность лейкозов среди детей Республики Коми. **И. Канева**

#### РЕФЕРАТ

- 23 Облучение в малых дозах: история развития проблемы. **В. Зайнуллин**

#### КОНФЕРЕНЦИИ

- 26 Первая рабочая встреча по проекту ЕС «Оценка баланса углерода в северной России: прошлое, настоящее и будущее (Carbo-North)» (2006-2010 гг.). **В. Пономарев**
- 30 Десятое международное совещание рабочей группы по гусям Wetlands International. **О. Минеев**

#### ИСТОРИЯ

- 32 Хроника становления радиозэкологических исследований в Коми филиале АН СССР. **О. Попова**
- 33 Слово о Всеволоде Ивановиче Маслове. **Р. Алексахин**
- 33 Сколько радия было добыто на «Водном промысле»? **А. Кичигин**
- 37 К истории добычи радия на «Водном промысле». **А. Иевлев**

#### ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

- 38 Правовая защита научных разработок. Часть 1. Авторское право. **И. Чадин**

**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. Евсева, к.б.н. В.В. Елсаков, д.б.н. С.В. Загирова, к.б.н. К.С. Зайнуллина, к.х.н. Б.М. Кондратенок, 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



## СОСТАВ ФОСФОЛИПИДОВ В ТКАНЯХ МЫШЕЙ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ХРОНИЧЕСКОГО НИЗКОИНТЕНСИВНОГО $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЯ И НИТРАТА СВИНЦА В РАЗНЫХ ДОЗАХ

Н. Загорская

н.с. лаборатории радиэкологии животных  
E-mail: zagorskaya@ib.komisc.ru, тел. (8212) 43 63 01

Научные интересы: радиэкология, радиационная биохимия

Усиление антропогенной нагрузки на окружающую среду, сопровождающееся как локальными повышениями радиационного фона, так и загрязнением среды обитания тяжелыми металлами, радионуклидами и различными ксенобактериями, делает актуальным изучение механизмов совместного действия факторов радиационной и нерadiационной природы на живые организмы. Несмотря на большое количество опубликованных результатов [7, 9], полученных в основном на растительных объектах на цитогенетическом уровне, на животных до сих пор недостаточно изучены все аспекты совместного действия различных агентов химической природы, в том числе и тяжелых металлов, и ионизирующего излучения (ИИ) низкой интенсивности. Известно, что сложные, разнонаправленные процессы, индуцируемые в клетках и тканях сочетанным воздействием этих факторов, способны в зависимости от их соотношения формировать самые разные ответные реакции – от антагонизма до синергизма [7]. С теоретической точки зрения изучение закономерностей при сочетанных воздействиях поможет пониманию механизмов усиления или ослабления радиационных эффектов и представляет несомненный практический интерес для экологического нормирования одновременного воздействия нескольких агентов.

Среди тяжелых металлов, в силу высокой способности накапливаться в различных тканях, особую опасность представляют соединения свинца. Наиболее изучены клинические аспекты действия различных солей свинца на животных и человека и почти полностью отсутствуют сведения о длительном действии свинца в условиях повышенного радиационного фона. По данным токсикологии хорошо растворимый в воде нитрат свинца попадает в организм млекопитающих через желудочно-кишечный тракт, всасывание свинца в кровь происходит медленно – от пяти-шести до 24 часов. В организме свинец соединяется с белками, циркулирует в крови в виде альбуминов и фосфатов, а затем свинцовые соединения откладываются в различных органах и тканях. Больше всего свинца накапливается в костной ткани (41 %), почках (11 %), печени (22 %) [13]. Свинцовая интоксикация проявляется в заболевании всего организма с поражением нервной системы (астено-вегетативный синдром, полиневритический синдром, свинцовая энцефалопатия, желудочно-кишечный синдром, печеночный синдром), эндокринной системы, в снижении иммуно-

логической реактивности организма [1, 14]. Общеизвестно, что соли тяжелых металлов и металлов с переменной валентностью (в том числе свинца), как и ионизирующая радиация низкой интенсивности, усиливают генерацию в клетке активных форм кислорода, что сопровождается активацией перекисного окисления липидов (ПОЛ), приводящей к развитию окислительного стресса и нарушению прооксидантно-антиоксидантного баланса в клетках и тканях [8, 10]. Интенсификация ПОЛ изменяет транспорт и метаболизм липидов, что может приводить к развитию патологического процесса. Известно [2, 5], что липидная фаза мембран чрезвычайно чувствительна к воздействию как низкоинтенсивного излучения, так и различных химических токсикантов в малых дозах. Однако метаболизм фосфолипидов в различных тканях при одновременном действии низкоинтенсивного ионизирующего излучения и солей свинца в малых дозах практически не изучен.

Цель данной работы – изучить изменения состава фосфолипидов в различных тканях мышечной линии СВА в ранние и отдаленные периоды после сочетанного действия хронического низкоинтенсивного  $\gamma$ -облучения и нитрата свинца в разных дозах.

Исследования проведены на 102 одновозрастных половозрелых самцах лабораторных мышей линии СВА. Анализировали шесть групп животных: А – контроль (n = 18); Б – облучение (n = 18); П – облучение + нитрат свинца 0.01 г/кг массы тела (n = 20); III – облучение + нитрат свинца 0.03 г/кг (n = 20); IV – облучение + нитрат свинца 0.10 г/кг (n = 7); V – облучение + нитрат свинца 0.30 г/кг (n = 19). Мышей экспонировали в течение 30 дней от двух источников  $^{226}\text{Ra}$  (активность источников составляла  $0.474 \cdot 10^6$  и  $0.451 \cdot 10^6$  кБк, мощность дозы 2.0-2.2 мР/ч). Общая поглощенная доза за месяц облучения составляла 1.44-1.60 сГр. Зверьки групп А и Б получали чистую питьевую воду, остальным группам мышей весь период облучения вместо питьевой воды давали раствор нитрата свинца («чда»; «Реахим», СССР) в концентрациях, обеспечивающих поступление в организм  $\text{Pb}^{2+}$  в разных дозах – 0.01, 0.03, 0.10 и 0.30 г/кг массы тела животных. Проводили два эксперимента с различными сроками анализа после прекращения сочетанного воздействия облучения и нитрата свинца: в первом анализировали ранние биохимические эффекты (через сутки; по 10 особей в каждой группе, кроме группы IV), во втором – отдаленные (через 30 суток).

После декапитации мышей извлекали печень и головной мозг и до начала анализа подвергали их глубокому замораживанию. Эритроциты осаждали центрифугированием и отмывали от плазмы физиологическим раствором при повторном центрифугировании. В гомогенатах тканей печени, головного мозга и эритроцитах крови исследовали состав фосфолипидов [12, 16]. Обобщенные показатели липидного обмена оценивали по соотношению сумм более легкоокисляемых и более трудноокисляемых фосфолипидов и вычисляли по формуле:  $\Sigma\text{ЛОФЛ}/\Sigma\text{ТОФЛ} = (\text{ФИ} + \text{ФС} + \text{ФЭ} + \text{КЛ} + \text{ФК}) / (\text{ЛФХ} + \text{СМ} + \text{ФХ})$ , где ФИ – фосфатидилинозит, ФС – фосфатидилсерин, ФЭ – фосфатидилэтаноламин, КЛ – кардиолипин, ФК – фосфатидная кислота, ЛФХ – лизофосфатидилхолин, СМ – сфингомиелин, ФХ – фосфатидилхолин. Достоверность различий определяли с использованием общепринятых статистических методов [15].

**Состав фосфолипидов в эритроцитах, печени и головном мозге мышей в ранние сроки после сочетанного воздействия**

По данным биохимического анализа в ранние сроки после совместного действия хронического облучения и нитрата свинца самые значительные изменения в составе фосфолипидов обнаружены в эритроцитах крови. Наибольший масштаб изменений по всем показателям отмечен при минимальной дозе химической компоненты (0.01 г/кг). При этом наблюдали достоверное снижение относительного содержания основных фракций и резкий рост всех минорных фракций фосфолипидов (рис. 1). Если в норме в составе фосфолипидов эритроцитов лизофосфатидилхолин (ЛФХ) не обнаруживали, то при действии облучения и нитрата свинца в низкой и средней дозах его содержание достигает 3-4 %. Как известно, лизоформы ФЛ являются токсическими для клеточной мембраны и могут вызвать гемолиз эритроцитов. Содержание СМ и КЛ + ФК в липидах эритроцитов этих животных возрастает в среднем в два-три раза по сравнению с контролем (рис. 1б).

В тканях печени в отличие от эритроцитов не было отмечено четкой зависимости между интенсивностью действующих факторов и масштабом изменений содержания большинства фракций фосфолипидов. Только доля фосфатидилхолина (ФХ) достоверно уменьшалась как при облучении, так и при совместном воздействии химической компоненты и облучения. Отметим, что с увеличением дозы химической составляющей происходило усиление эффекта. Можно предположить, что нитрат свинца усиливает действие облучения, и это приводит к снижению содержания данной фракции.

Анализ состава фосфолипидов ткани головного мозга показал достаточно быструю ответную реакцию этого органа на облучение (рис. 2). Об этом свидетельствует резкое увеличение доли лизоформ ФЛ в липидах мозга

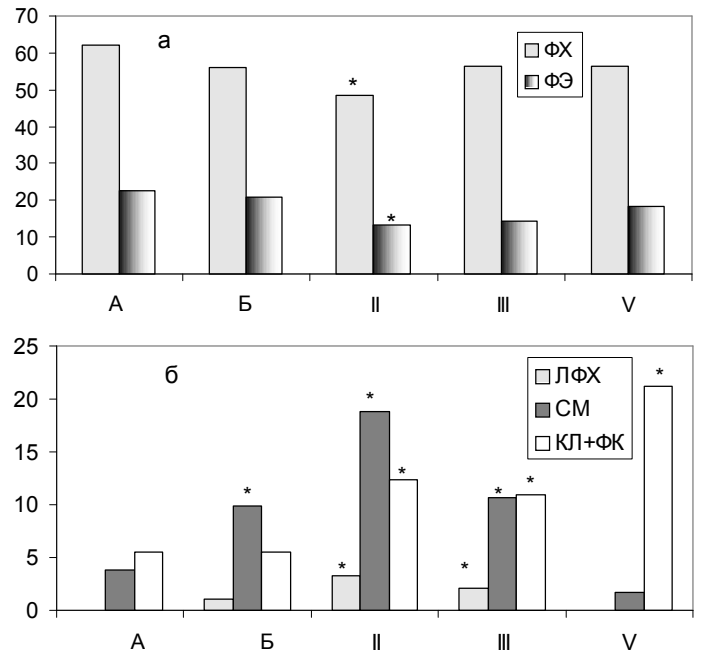


Рис. 1. Содержание (%) основных (а) и минорных (б) фракций фосфолипидов в эритроцитах мышей в ранние сроки после совместного действия хронического облучения и нитрата свинца. Здесь и далее звездочкой отмечена достоверность различий по отношению к контролю при  $p < 0.05$ .

непосредственно после прекращения облучения. Подобное увеличение относительного содержания данной фракции неоднократно наблюдали в условиях действия облучения в минимально летальных дозах в экспериментах на лабораторных животных, а также на животных природных популяций, обитающих на территориях с техногенным радиоактивным загрязнением [3]. Во всех вариантах сочетанного действия в липидах головного мозга наблюдали также увеличение относительного содержания других минорных фракций – сфингомиелина (СМ), фосфатидилсерина (ФС), фосфатидилинозита (ФИ), а также кардиолипина с фосфатидной кислотой (КЛ + ФК). Увеличение дозы химической составляющей не приводило к усилению эффекта.

Изменения в содержании отдельных фракций фосфолипидов повлияли на обобщенные показатели липидного обмена всех изученных тканей. В эритроцитах при действии средней и высокой дозы нитрата свинца на фоне облучения растет отношение ФХ/ФЭ (рис. 3), характеризующее жесткость мембраны. В печени и мозге, как правило, при всех

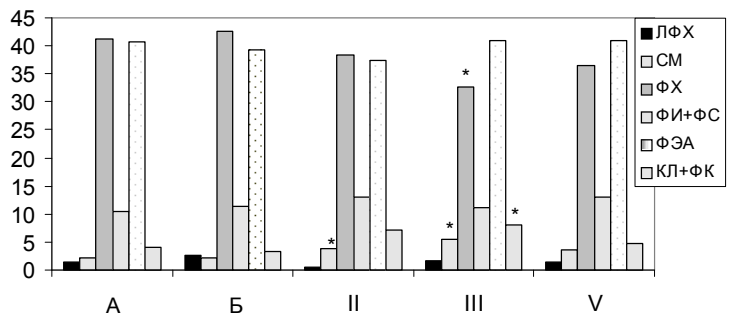


Рис. 2. Состав (%) фосфолипидов головного мозга мышей линии СВА в ранние сроки после сочетанного действия облучения и нитрата свинца.

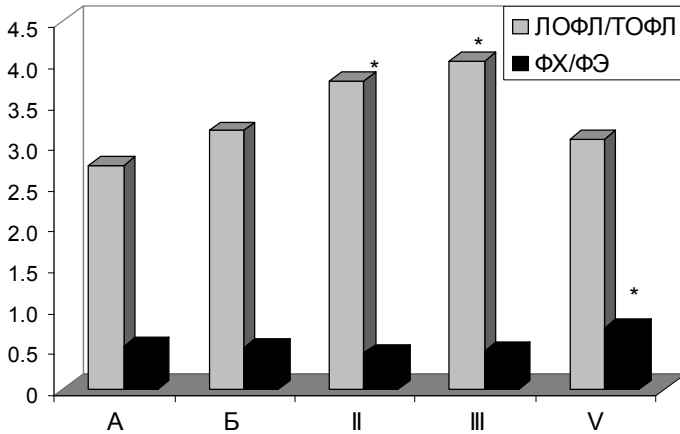


Рис. 3. Обобщенные показатели (относительные единицы) липидного обмена в эритроцитах мышей в ранние сроки после сочетанного действия облучения и нитрата свинца.

вариантах опыта происходит снижение содержания доли фосфолипидов в составе общих липидов. Отмечена тенденция к снижению данного показателя при низкой и средней дозе нитрата свинца. Как в липидах печени, так и в липидах головного мозга отмечали увеличение соотношения сумм легкоокисляемых и трудноокисляемых фракций во всех вариантах сочетанного воздействия. В эритроцитах достоверное увеличение этого показателя наблюдали во II и III вариантах эксперимента соответственно при дозах 0.01 и 0.03 г/кг массы тела, что указывает на то, что мембраны становятся более легкоокисляемыми.

Биохимический анализ состава фосфолипидов в функционально различных тканях показал высокую чувствительность мембранных структур эритроцитов и ткани мозга в ранние сроки исследований после сочетанного воздействия хронического облучения и нитрата свинца. Более глубокий характер ответной реакции отмечали при низкой и средней дозах химической составляющей.

**Состав фосфолипидов в тканях мышей в отдаленные сроки после сочетанного воздействия**

Спустя месяц после действия хронического облучения значительные изменения в составе ФЛ были обнаружены в печени мышей. Воздействие радиации с малой мощностью дозы (вариант Б, рис. 4) вызывает некоторое снижение доли как основных

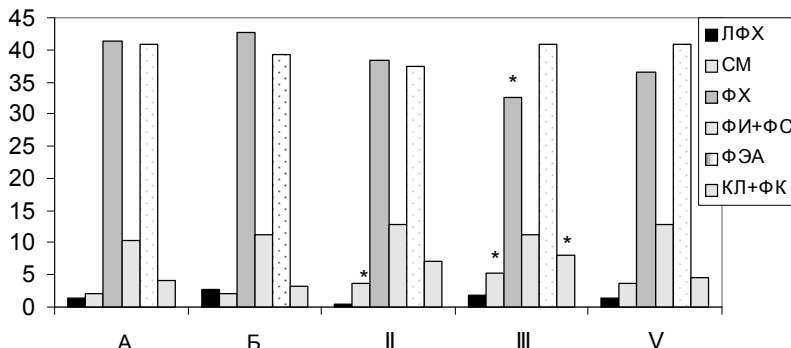


Рис. 4. Состав (%) фосфолипидов печени мышей линии СВА в отдаленные сроки после совместного действия облучения и нитрата свинца.

(ФХ, ФЭ), так и минорных (ФИ + ФС) фракций. Наиболее существенные изменения происходят в относительном содержании ЛФХ, которое увеличивается в 1.9 раза. В липидах головного мозга данной фракции во всех вариантах опыта обнаружено не было. Увеличение лизоформ в печени происходит за счет активации фосфолипазы А2 [4]. Как известно, избыточные лизоформы ФЛ являются токсичными для клеточной мембраны. Подобное увеличение доли лизоформ ФЛ в липидах печени под действием облучения в минимально летальных дозах установлено как в экспериментах на лабораторных животных [6], так и у диких грызунов, обитающих на территориях с радиоактивным загрязнением [3, 17]. Наряду с изменениями в количественном содержании отдельных фракций ФЛ в печени животных отмечено также некоторое обеднение липидов фосфолипидами (43 против 45 % в контроле). Выявлено нарушение взаимосвязей между структурой мембраны и ее окисляемостью, на что указывают значения коэффициента линейной регрессии между соотношениями ФХ/ФЭ и ΣЛОФЛ/ΣТОФЛ (в контроле  $r = -0.431$ ; в варианте с облучением  $r = -0.100$ ).

Сочетанное действие радиации и нитрата свинца в низкой дозе (0.01 г/кг – вариант II) увеличивает глубину изменений в составе фосфолипидов печени по сравнению с облучением (рис. 4). Здесь мы наблюдаем более значимые изменения в количественном содержании как минорных, так и основных фракций фосфолипидов. Относительное содержание ЛФХ увеличивается в среднем в три раза ( $p < 0.05$ ), в два раза возрастает СМ ( $p < 0.05$ ). Достоверно снижается доля основных фракций фосфолипидов – ФХ (38 против 45 % в контроле) и ФЭ (24 против 30 %). Уменьшение содержания основных фракций на фоне увеличения минорных (ЛФХ, СМ, КЛ + ФК) происходит одновременно со снижением доли фосфолипидов в составе общих липидов. При этой дозе химической составляющей нарушения взаимосвязи между окисляемостью и структурой мембраны аналогичны тем, которые мы наблюдали в варианте Б (облучение). В головном мозге в отдаленные сроки сочетанного воздействия двух исследуемых факторов подобных изменений в составе фосфолипидов не наблюдали. Однако увеличение дозы нитрата свинца до 0.03 г/кг (вариант III) приводит к снижению доли фосфолипидов в составе общих липидов по сравнению с контролем в два раза, а по сравнению с вариантом Б (облучение) – в 1.5 раза.

При дальнейшем увеличении дозы химической составляющей до 0.10 г/кг массы тела (вариант IV) в обеих тканях не происходит усиления наблюдаемых ранее нами эффектов ни по одному из рассмотренных показателей. Более того, по многим из них отмечена нормализация. Так, относительное содержание ЛФХ, КЛ + ФК, ФЭ, а также доля фосфолипидов в составе общих липидов печени приближаются к контрольным

значениям. Относительное содержание одной из основных фракций – ФХ, определяющей структуру мембраны, не только достигает контрольных значений, но и превышает их (рис. 4). Происходит полное восстановление взаимосвязи между структурой и окисляемостью мембраны, несмотря на то, что соотношения ФХ/ФЭ и ΣЛОФЛ/ΣТОФЛ отличны от контроля.

Состав фосфолипидов печени животных варианта V (0.30 г/кг) характеризуется наиболее выраженными изменениями. Относительное содержание ЛФХ достигает максимальных значений (12 против 3.6 % в контроле). Увеличивается степень варьирования показателей состава ФЛ, происходит полное искажение характера взаимосвязи между структурным состоянием мембранной системы и ее окисляемостью (обратная зависимость между ФХ/ФЭ и ΣЛОФЛ/ΣТОФЛ, существующая в норме, меняется на прямую). Вместе с тем наблюдается тенденция к восстановлению доли СМ и ФЭ (рис. 4), а также такого обобщенного показателя, как процент ФЛ в составе общих липидов. В мозге в отличие от печени столь существенных биохимических изменений не происходит. Можно лишь отметить, что наблюдаемые количественные изменения в относительном содержании отдельных фракций фосфолипидов соответствуют значениям, характерным для варианта Б (облучение).

Обнаруженные в печени в отдаленные сроки исследований после сочетанного действия γ-облучения и различных доз нитрата свинца разнонаправленные эффекты могут быть объяснены на основе представлений об изменении соотношения между параллельно протекающими процессами повреждения и восстановления. Возможно, что при использовании низких доз химической компоненты на фоне облучения системы восстановления либо вообще не индуцируются, либо работают с невысокой интенсивностью. Максимальный неблагоприятный эффект (экстремум) наблюдается при использовании средних доз нитрата свинца, когда, по-видимому, только начинают включаться в работу восстановительные (репарационные) системы. При дальнейшем увеличении дозы, сопровождающемся преобладанием восстановительных процессов в мембранных структурах печени, эффекты гораздо ниже тех, которые можно было бы ожидать при экстраполяции с низких доз. Аналогичные закономерности в ответе систем на действие низкоинтенсивных факторов различной природы были выявлены также при многолетних исследованиях на разных биообъектах [11] и в природных популяциях животных из зоны аварии на Чернобыльской АЭС [3].

Итак, в рассматриваемом интервале поглощенных доз нитрата свинца в сочетании с хроническим низкоинтенсивным γ-облучением не наблюдается линейной зависимости доза-эффект ни по одному из изученных показателей. Направленность модифицирующего эффекта нитрата свинца определяется его дозой, временем после прекращения воздействия и анализируемой тканью. При сочетанном действии двух факторов возможно как усиление,

так и ослабление нарушений в липидной фазе клеточных мембран. Совокупность представленных данных позволяет использовать один из параметров системы регуляции перекисного окисления липидов (состав фосфолипидов) при оценке степени и глубины повреждений клеточных мембран, обусловленных сочетанным воздействием хронического γ-облучения низкой интенсивности и солей тяжелых металлов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонова В.Г., Плющ О.Г., Шевелева М.А. Некоторые аспекты профессионального воздействия соединений свинца на сердечно-сосудистую систему // Медицина труда и промышленная экология, 1998. № 12. С. 6-10.
2. Биоантиоксиданты в лучевом поражении и злокачественном росте / Е.Б. Бурлакова, А.В. Алесенко, Е.М. Молочкина и др. М., 1975. 214 с.
3. Биохимические механизмы радиационного поражения природных популяций мышевидных грызунов / А.Г. Кудряшева, Л.Н. Шишкина, Н.Г. Загорская и др. СПб.: Наука, 1997. 156 с.
4. Брокерхоф Х., Дженсен Р. Липолитические ферменты. М., 1978. 280 с.
5. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с.
6. Влияние биологически активного вещества на структуру и функциональную активность ядер печени облученных крыс / Д.Х. Хамидов, А.К. Мирахмедов, П. Мирахмедова и др. // Радиацион. биол. Радиоэкол., 1992. Т. 32, вып. 5. С. 696-700.
7. Влияние комбинированного действия ионизирующего излучения и солей тяжелых металлов на частоту хромосомных aberrаций в листовой меристеме ярового ячменя / С.А. Гераськин, В.Г. Дикарев, А.А. Удалова и др. // Генетика, 1996. Т. 32, № 2. С. 279-288.
8. Дзугоева Ф.С., Великова Л.Р., Дзугоев С.Г. Влияние свинцовой интоксикации на функциональное состояние почек, перекисное окисление липидов и антиокислительную защиту клетки в эксперименте // Нефрология и диализ, 2003. Т. 5, № 3. С. 23-32.
9. Евсеева Т.И., Гераськин С.А., Храмова Е.С. Цитогенетические эффекты сочетанного действия <sup>232</sup>Th с ионами щелочных и тяжелых металлов на меристематические клетки растений // Вестн. Национального ядерного центра Республики Казахстан, 2001. Вып. 3. С. 143-148.
10. Калиман П.А., Шаламов Р.В., Загайко А.Л. Влияние хлорида кобальта на содержание липидов и липопротеинов в печени и сыворотке крови крыс // Биохимия, 1997. Т. 62, вып. 7. С. 850-857.
11. Новые аспекты закономерностей действия низкоинтенсивного облучения в малых дозах / Е.Б. Бурлакова, А.Н. Голощапов, Г.П. Жижина и др. // Радиацион. биол. Радиоэкол., 1999. Т. 39, № 1. С. 26-34.
12. Основы биохимии // А. Уайт, Ф. Хендлер, Э. Смит и др. М.: Мир, 1981. 617 с.
13. Распределение свинца в органах и тканях белых крыс при хронической затравке / В.К. Макаров, Т.Г. Жданова, И.И. Исаханова и др. // Гигиена труда и профзаболевания, 1976. № 4. С. 40-43.
14. Свинец и здоровье. Гигиенический и медико-биологический мониторинг / Н.Ф. Измеров, А.Е. Ермоленко, Л.А. Тарасова и др. М., 2000. 256 с.

15. 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.

16. Хиггинс Дж.А. Биологические мембраны. Методы. М., 1990. 339 с.

17. Шевченко О.Г. Состав фосфолипидов в тканях полевок-экономок, обитающих в условиях повышенной естественной радиоактивности // Воздействие радиоактивного загрязнения на наземные экосистемы в зоне аварии на Чернобыльской АЭС (1986-1996 гг.). Сыктывкар, 1996. С. 123-131. – (Тр. Коми НЦ УрО РАН; № 145). ❖



к.б.н. **О. Шевченко**  
н.с. отдела радиозэкологии  
E-mail: shevchenko@ib.komisc.ru  
тел. (8212) 43 04 78

Научные интересы: *радиозэкология, биохимия липидов*



**Н. Загорская**  
н.с. этого же отдела

Научные интересы: *радиозэкология, радиационная биохимия*

## О ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СВОЙСТВАХ ИНОКОСТЕРОНА

В настоящее время поиску и изучению препаратов, обладающих противолучевыми свойствами в области малых доз облучения, уделяется большое внимание. Известно, что синтетические радиопротекторы обладают значительными побочными эффектами, и применение их при малых дозах облучения не всегда оправдано. В связи с этим особенно перспективно исследование природных соединений. Отличительной особенностью фитозэкдистероидов является их низкая токсичность и быстрое выведение из организма [17]. По своей структуре экдистероиды отличаются от стероидных гормонов млекопитающих и не связываются со специфическими рецепторами гормонов позвоночных животных [16]. Молекулярный механизм действия экдистероидов на позвоночных животных включает в себя процессы неспецифической догенной активации системы вторичных мессенджеров, а также активацию транскрипции, связанную, по-видимому, со структурной лабильностью хроматина [3]. Опосредованное действие фитозэкдистероидов на организменном уровне связано с модулирующим эффектом на нейроэндокринную систему [1, 12]. Широко известны тонизирующие и адаптогенные свойства как самих экдистероидов, так и содержащих их растительных препаратов, в частности, левзеи сафлоровидной и серпухи венценосной. Показано, что растительный экстракт, содержащий фитозэкдистероиды, и сам препарат при пероральном введении крысам, облученным в дозе 8 Гр, увеличивают среднюю продолжительность жизни на 6-9 суток [6].

Ранее нами были проведены исследования противолучевой активности экдистероидсодержащей субстанции Серпистен<sup>1</sup> в условиях низкоинтенсивного облучения в малых дозах. Показано, что при определенном режиме использования Серпистен обладает выраженным противолучевым эффектом в области низкоинтенсивного облучения, наличие и выраженность эффекта зависят от дозы и времени его поступления в организм. Предварительные исследования показали безвредность Серпистена, содержащего до 11 % инокостерона, в тестах на лабораторных животных на острую и хроническую токсичность, генотоксичность и пирогенность [10], а также его более выраженное анаболическое и антиоксидантное действие по сравнению с ранее известными экдистероидсодержащими препаратами [5].

Наш интерес к фитозэкдистероидам обусловлен их биологической активностью, связанной с воздействием на параметры физико-химической системы регуляции ПОЛ, от состояния которых в значительной мере зависит радиорезистентность организма при низких дозах облучения. Известно мембраностабилизирующее действие экдистероидов, а именно – мембранные структуры клетки имеют первостепенное значение в реализации эффектов ионизирующей радиации с низкой интенсивностью [13]. Цель настоящей работы – выявление противолучевых свойств инокостерона при пролонгированном действии ионизирующего  $\gamma$ -излучения в малой дозе.

Эксперименты проводили на 75 молодых одновозрастных самцах белых беспородных мышей. Животных подвергали воздействию  $\gamma$ -излучения от двух источников <sup>226</sup>Ra (активность источников составляла 0.474·10<sup>6</sup> и 0.451·10<sup>6</sup> кБк) в течение одного месяца. Суммарная поглощенная доза составила 22.6 сГр. В течение 10 дней после прекращения облучения либо в течение 10 дней до начала облучения животным заменяли питьевую воду раствором инокостерона. Концентрацию подбирали таким образом, чтобы суммарная доза препарата составила 5 мг/кг массы тела, учитывали начальную массу животных, а также объем потребляемой ими жидкости за 10 дней. В процессе проведения эксперимента животных взвешивали через каждые двое суток, наблюдая за изменениями массы тела. После декапитации и вскрытия животных органы сразу помещали на лед. Кровь собирали в пробирки, обработанные 5 %-ным раствором цитрата натрия. Плазму от форменных элементов крови отделяли центрифугированием.

Интенсивность ПОЛ в гомогенате тканей оценивали по содержанию продуктов, реагирующих с 2-тиобарбитуровой кислотой (ТБК-активные продукты, ТБК-АП), используя метод [14]. Определение активности каталазы в печени осуществляли спектрофотометрически при длине волны 410 нм по образованию окрашенного комплекса молибдата аммония в присутствии пероксида водорода [8]. Содержание белка определяли с помощью модифицированного биуретового метода [15]. Метод определения ОПА крови основан на фотометрической регист-

<sup>1</sup> 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 венценосной (*Serratula coronata* L.) в этой же лаборатории.



**Показатели ПОЛ в тканях мышей в различных вариантах эксперимента по совместному действию облучения и инокостерона**

Вариант	Пероксидазная активность крови, мкМ/мин. · мл	ТБК-АП, нМ/мг белка			
		печень	мозг	селезенка	плазма
Контроль	205.9 ± 3.1	0.152±0.028	0.366±0.038	0.662±0.061	0.140±0.017
Облучение	262.1±12.4***	0.183±0.024	0.413±0.037	0.747±0.132	0.069±0.011**
Инокостерон	215.2±10.1	0.175±0.031	0.478±0.035**	0.751±0.094	0.035±0.008***
Инокостерон+облучение	226.5±4.8 **	0.194±0.036	0.383±0.039	0.484±0.065	0.068±0.023
Облучение+инокостерон	–	0.166±0.026	0.365±0.029	0.462±0.041*	0.159±0.01

Различия достоверны при:  
 \* ≤ 0.05;  
 \*\* ≤ 0.01;  
 \*\*\* ≤ 0.001.  
 Прочерк – отсутствие данных.

рации понижения концентрации индигокармина, который окисляется пероксидом водорода в присутствии пероксидазы [11]. Полученные данные обрабатывали общепринятыми методами вариационной статистики.

В эксперименте с использованием инокостерона обнаружен некоторый анаболический эффект данного соединения на фоне воздействия  $\gamma$ -излучения. За период облучения (один месяц) масса тела опытных мышей (n = 30) увеличилась на  $3.6 \pm 0.7$  г, интактных зверьков (n = 30) на  $4.1 \pm 0.7$  г, а животных (n = 15), получавших до начала облучения в течение 10 дней инокостерон, – на  $5.2 \pm 0.9$  г. Показано, что после введения инокостерона происходит достоверное увеличение массы печени и снижение массы селезенки. При использовании инокостерона до или после облучения масса внутренних органов не отличалась от контроля (рис. 1а, б). Были определены следующие показатели состояния физико-химической системы регуляции ПОЛ: ОПА, активность каталазы печени и содержание вторичных продуктов ПОЛ в печени, селезенке, головном мозге и плазме крови (см. таблицу). Облучение приводило к достоверному увеличению ОПА по сравнению с контролем. Введение инокостерона до облучения приближало ОПА крови к контрольному уровню.

Ранее нами установлено [1] наличие прямой

зависимости ( $r = 0.8-0.9$ ) между активностью каталазы и интенсивностью ПОЛ в печени лабораторных мышей и полевок разных видов, что соответствует представлениям о субстратной индуцируемости каталазы [7]. Тесная положительная корреляция между этими показателями была отмечена и в данном эксперименте (рис. 2а). Увеличение содержания ТБК-АП в печени животных, подвергнутых облучению, сопровождалось повышением активности каталазы, при этом существующая в норме положительная взаимосвязь между данными показателями (коэффициент корреляции  $r = 0.80 \pm 0.17$ ) после облучения исчезала

(рис. 2б;  $r = 0.14$ ). Исчезновение взаимосвязи между интенсивностью процессов ПОЛ и активностью каталазы в печени отмечалось нами и в эксперименте с хроническим облучением мышей в малых дозах (5 и 40 сГр) в антенатальный период развития [2]. Применение инокостерона как до, так и после облучения способствовало восстановлению (рис. 2в) вышеуказанной взаимосвязи ( $r = 0.89 \pm 0.13$  и  $0.79 \pm 0.17$  соответственно).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что биологически активный инокостерон, воздействуя на параметры системы регуляции ПОЛ, способен модифицировать эффекты низкоинтенсивного облучения в малых дозах, что и позволяет предположить перспективность изучения противолучевых свойств данного препарата.

Работа поддержана программой президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине».

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Биологические эффекты радиоактивного загрязнения в популяциях мышевидных грызунов / А.Г. Кудяшева, Л.Н. Шишкина, О.Г. Шевченко и др. Екатеринбург, 2004. 214 с.

2. Влияние хронического  $\gamma$ -излучения в малых дозах в ранние периоды онтогенеза на окислительные процессы в органах грызунов / Н.Г. Загорская, А.Г. Кудяшева, О.Г. Шевченко и др. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2007. Т. 47, вып. 4 (в печати).

3. Влияние экдистерона на биосинтез белков и нуклеиновых кислот в органах мышей /

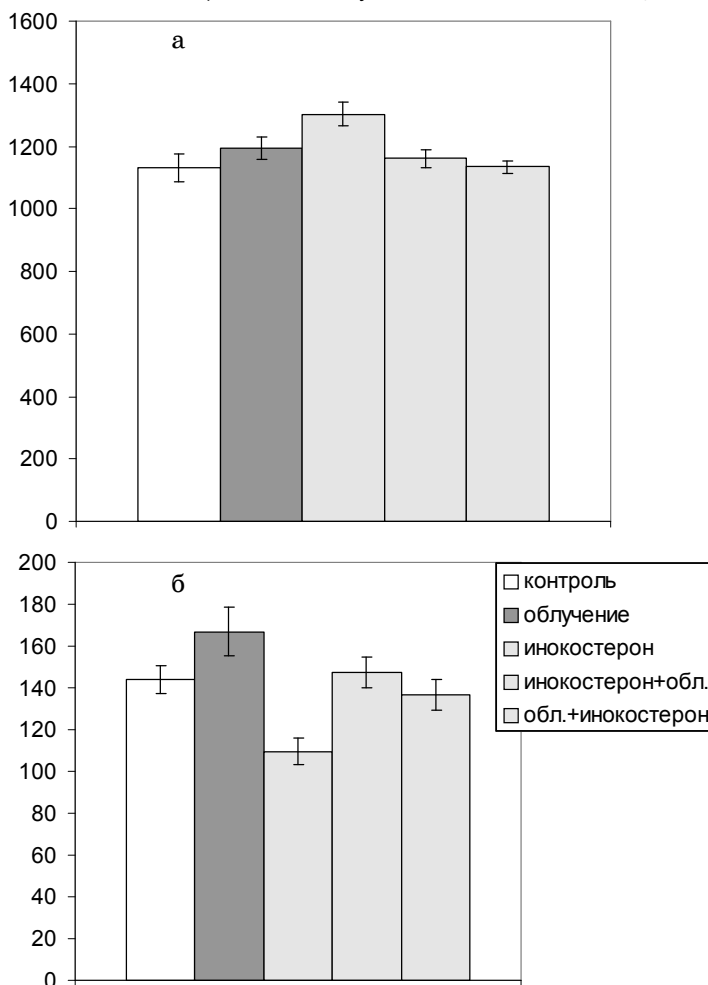


Рис. 1. Масса печени (а) и селезенки (б) облученных мышей и мышей, получавших инокостерон. По вертикали – масса органа, мг.

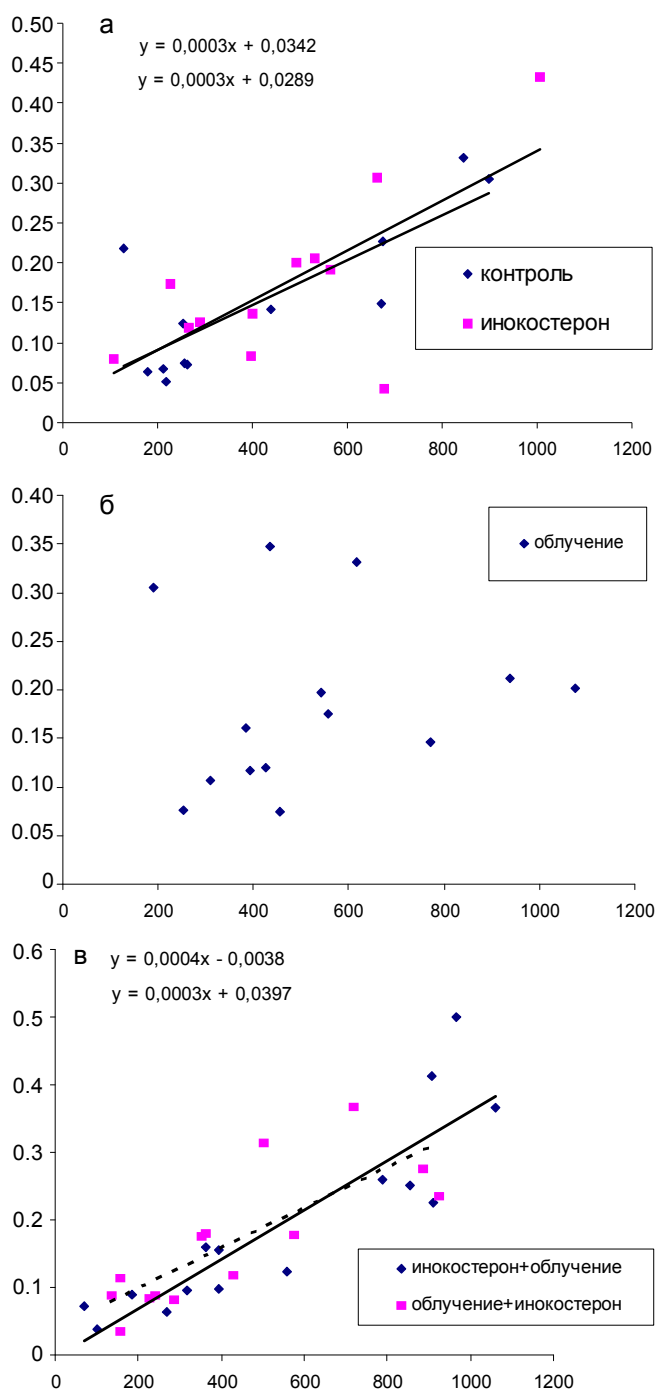


Рис. 2. Соотношение между активностью каталазы и содержанием вторичных продуктов ПОЛ в печени мышей.  
 По оси абсцисс: активность каталазы, мкмоль/мг белка.  
 По оси ординат: ТБК-активные продукты, нмоль/мг белка.

И.Н. Тодоров, Ю.И. Митрохин, О.И. Ефремова и др. // Хим.-фарм. журн., 2000. Т. 34, № 9. С. 3-5.

4. Действие экстрактов левзеи сафлоровидной на биосинтез РНК и белков в органах мыши / И.Н. Тодоров, Ю.И. Митрохин, О.И. Ефремова и др. // Хим.-фарм. журн., 2000. Т. 34, № 9. С. 24-26.

5. Доклиническое исследование новой экдистероидсодержащей субстанции Серпистен / В.В. Володин, Л.Д. Пчеленко, С.О. Володина и др. // Вестн. ИБ, 2005. № 4. С. 2-10.

6. Зибарева Л.Н. Фитозкдистероиды растений семейства Сагуорфиллацие: Автореф. дис. ... докт. хим. наук. Новосибирск, 2003. 31 с.

7. Комов В.П., Беспалова Е.В., Стрелкова М.А. Влияние ионизирующего облучения на биосинтез и молекулярную гетерогенность каталазы в культуре ткани *Ranwolffia serpentina* // Радиобиология, 1988. Т. 38, № 6. С. 900-907.

8. Королюк М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г. Определение активности каталазы // Лабораторное дело, 1988. № 1. С. 16-19.

9. Генопротекторный эффект препаратов на основе экдистероидов при отравлении крыс тетрахлорметаном и хлорофосом / В.Н. Чабанный, Е.Л. Левицкий, Ю.И. Губский и др. // Укр. биохим. журн., 1994, Т. 66, № 35. С. 67-77.

10. Оценка возможного токсического и мутагенного эффектов экдистероидов сепухи венценосной (*Serratula coronata* L.) / Л.Д. Пчеленко, С.О. Володина, Н.Г. Загорская и др. // Радиозкологические и биологические последствия низкоинтенсивных воздействий. Сыктывкар, 2003. С. 235-241.

11. Попов Т., Нейковска Л. Метод определения пероксидазной активности крови // Гигиена и санитария, 1971. № 10. С. 89-91.

12. Тодоров И.Н., Тодоров Г.И. Стресс, старение и их биохимическая коррекция / Отв. ред. С.М. Алдошин. М.: Наука, 2003. 479 с.

13. 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.

14. Asakawa T., Mitsushita S. Coloring conditions of tiobarbituric acid test for detecting lipid hydroperoxides // Lipids, 1980. Vol. 15, № 3. P. 137-140.

15. Itzhaki R., Gill D.M. A micro-biuret method for estimating proteins // Anal. Biochem., 1964. Vol. 9. P. 401-410.

16. Lafont R., Dinan L. Practical uses for ecdysteroids in mammals including humans: an update // J. Insect Sci., 2003. 3.7. 30 p.

17. Lafont L., Girault J.-P., Kerb U. Excretion and metabolism of injected ecdysone in the white mouse // Biochem. Pharmacol., 1988. Vol. 37. P. 1173-1174.



## НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

д.б.н. **Алексею Александровичу Москалеву** с победой в конкурсе 2007 г. по присуждению грантов президента Российской Федерации для поддержки молодых ученых — докторов наук (МД-1266.2007.4, протокол заседания конкурсной комиссии № 2 от 16.03.2007 г.).

*Желаем дальнейших творческих успехов!*



**ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО  $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ 14 ПОКОЛЕНИЙ ИЗОГЕННОЙ И ГЕТЕРОГЕННОЙ ЛИНИЙ ДИКОГО ТИПА *DROSOPHILA MELANOGASTER***

д.б.н. **А. Москалев**  
 в.н.с. лаборатории радиационной генетики  
 E-mail: amoskalev@ib.komisc.ru, тел. (8212) 43 06 50

Научные интересы: радиационная генетика, геронтология, апоптоз, дрозофила

**И**сследование малых доз ионизирующей радиации – одна из ключевых проблем современной радиобиологии. Интегральным показателем такого действия является изменение продолжительности жизни. В этой связи малоизученными остаются феномен радиоадаптации, наследование радиационно-индуцированных изменений длительности жизни в поколениях и механизмы радиационного гормезиса. Несмотря на то, что малые дозы радиации не приводят к соматической гибели организма, они модифицируют клеточно-тканевые процессы и, как следствие, такой комплексный признак, как продолжительность жизни [2, 4]. Как наиболее общая реакция влияния облучения продолжительность жизни исследуется с середины прошлого века [1, 7]. Накоплены данные как об уменьшении, так и об увеличении этого показателя под действием радиации. Но до сих пор не ясны точные механизмы таких реакций, особенно для малых доз радиации. Слабо разработанной областью исследований является наследование продолжительности жизни в поколениях облучения и практически не изучено с этой точки зрения влияние малых доз. Теоретическое значение этой проблемы очевидно: важно знать роль наследственности в формировании такого важного индивидуального и популяционного показателя, как продолжительность жизни. В связи с антропогенной нагрузкой на экосистемы резко возросло и практическое значение таких исследований [3]. Подходящим объектом является плодовая мушка *Drosophila melanogaster*, поскольку имеет:

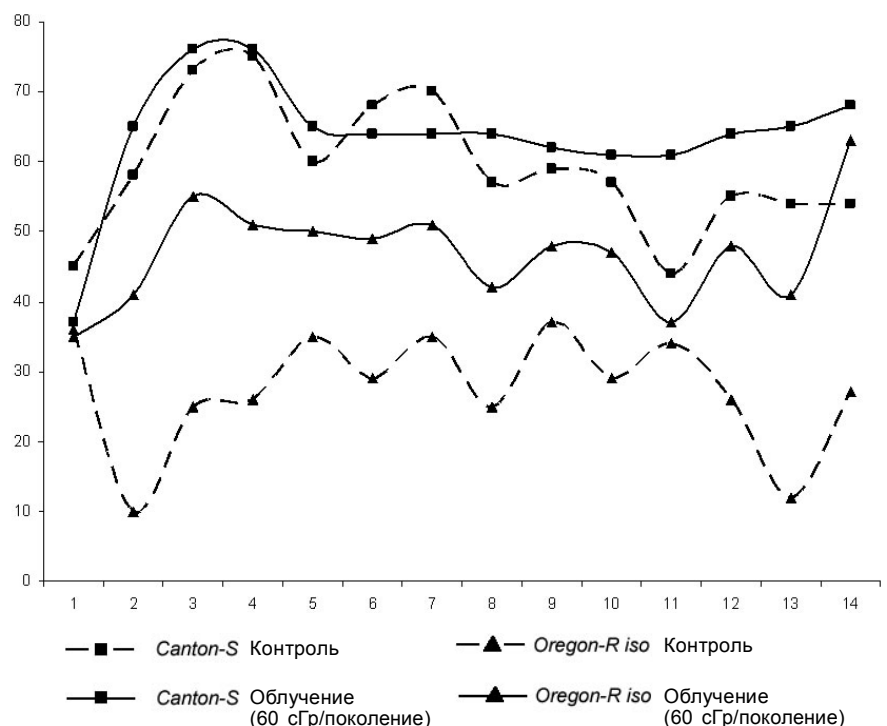
- короткий жизненный цикл (14 дней);
- относительно небольшую продолжительность жизни (максимум 100 дней);
- нет опухолей и радиационной болезни у имаго (постмитотический организм);
- примерно 80 % генов дрозофилы гомологичны генам человека [6].

Цель данной работы – исследовать связь радиоадаптации по признаку продолжительности жизни с генетической гетерогенностью.

Особей облучали на предимагинальной стадии от источника  $^{226}\text{Ra}$  (мощность дозы 0.17 сГр/ч). Поглощенная доза за поколение около 60 сГр. Животных содержали в стандартных условиях (25 °С и 12-часовой режим освещения). Исследовали гетерогенную линию дикого типа *Canton-S* и изогенную линию дикого типа *Oregon-R spa* (предоставлена Е.Г. Пасюковой; Институт молекулярной генетики, Москва).

Сравнивали динамику продолжительности жизни в 14 последовательных поколениях хронического облучения у гетерогенной и изогенной линий дикого типа (см. рисунок). Гетерогенная линия *Canton-S* характеризуется циклическими (в течение четырех поколений) флуктуациями продолжительности жизни (см. таблицу). Ранее подобный эффект наблюдали Линтц [9] и Измайлов [3] в конце 80-х годов. Продолжительность жизни необлученной изогенной линии *Oregon-R* имеет существенно меньше, чем у *Canton-S*, возможно, благодаря инбридинговой депрессии (снижению жизнеспособно-

сти инбредной популяции). Продолжительность жизни – количественный признак, поэтому она модифицируется неспецифическими генетическими манипуляциями, такими как инбридинг (потомство, полученное путем скрещивания близкородственных индивидуумов). Во всех случаях инбридинг приводит к снижению продолжительности жизни [8]. После хронического облучения гетерогенной линии *Canton-S* колебания продолжительности жизни исчезают. Медианная продолжительность жизни остается на плато с пятого поколения. Значения продолжительности жизни облученной группы превышают контрольные значения, начиная с восьмого поколения. Облучение изогенной линии *Oregon-R* приводит к увеличению продолжительности жизни со второго поколения. Возможно, это обусловлено позитивным действием радиационно-индуцированной гетерогенности на продолжительность жизни с инбридинговой депрессией. Двухфакторный дисперсионный анализ показал достоверный вклад факторов «облучение» и «гено-



Флуктуации медианной продолжительности жизни (дни; по вертикали) после хронического облучения в поколениях (по горизонтали) изогенной (*Oregon-R*) и гетерогенной (*Canton-S*) линий дрозофилы дикого типа.

**Хроническое воздействие ионизирующей радиации  
на продолжительность жизни в поколениях изогенной (Oregon-R)  
и гетерогенной (Canton-S) линий**

Поклоение	Воздействие	Параметр						
		M	$\bar{X} \pm \Delta m$	90 %	MRDT	$\alpha$	R	N
<i>Oregon-R iso</i>								
1	Контроль	36	38.1±1.2	66	3.6671	0.04851	0.00604	208
	Облучение*	35	33.7±0.9	50	3.7152	0.05803	0.00646	200
2	Контроль	10	18.3±0.7	41	4.5282	0.02335	0.03745	312
	Облучение*	41*	38.0±1.3	67	3.9297	0.04252	0.00701	217
3	Контроль	25	26.9±0.9	51	4.1964	0.03119	0.01859	259
	Облучение*	55*	47.4±1.3	69	3.7423	0.05785	0.00228	241
4	Контроль	26	27.1±0.8	49	4.3901	0.04714	0.01301	305
	Облучение*	51*	47.7±1.4	76	3.9271	0.04634	0.00352	231
5	Контроль	35	35.2±0.9	57	4.1227	0.04344	0.00845	289
	Облучение*	50*	48.5±0.9	68	3.8444	0.06540	0.00171	303
6	Контроль	29	31.6±1.1	57	4.8995	0.02959	0.01472	236
	Облучение*	49*	47.9±1.3	62	3.7214	0.06689	0.00175	133
7	Контроль	35	36.8±1.0	58	3.8728	0.05149	0.00604	263
	Облучение*	51*	45.7±1.4	71	3.7832	0.05574	0.00290	177
8	Контроль	25	27.2±0.8	47	3.8281	0.05088	0.01218	231
	Облучение*	42*	39.3±0.9	47	3.6789	0.07254	0.00289	177
9	Контроль	37	37.1±1.2	63	4.1898	0.04437	0.00722	209
	Облучение*	48*	44.6±1.1	56	3.2808	0.12211	0.00027	118
10	Контроль	29	29.6±1.0	61	3.8800	0.03714	0.01371	257
	Облучение*	47*	45.6±1.1	66	4.4104	0.06117	0.00248	190
11	Контроль	34	35.1±1.3	57	4.1320	0.04978	0.00730	126
	Облучение*	37*	43.8±1.2	64	3.6231	0.06288	0.00271	136
12	Контроль	26	25.3±1.2	57	4.8221	0.01442	0.02830	269
	Облучение*	48*	48.8±1.4	75	3.6770	0.05554	0.00250	142
13	Контроль	12	19.2±1.2	42	6.0117	0.02430	0.03467	114
	Облучение*	41*	42.4±2.1	79	4.5659	0.02633	0.00914	161
14	Контроль	27	30.4±1.1	46	4.0314	0.03736	0.01334	171
	Облучение*	63*	57.4±1.4	84	3.6250	0.05407	0.00148	229
<i>Canton-S</i>								
1	Контроль	45	47.4±0.8	66	3.5635	0.05842	0.00253	280
	Облучение*	37*	39.2±0.9	62	3.8704	0.04861	0.00591	256
2	Контроль	58	59.8±0.9	84	3.4900	0.06245	0.00093	312
	Облучение*	65	62.2±0.9	84	3.5543	0.06390	0.00071	343
3	Контроль	73	68.7±1.0	89	3.5579	0.07562	0.00023	302
	Облучение**	76	72.5±0.8	90	3.3596	0.08164	0.00012	346
4	Контроль	75	68.2±0.9	83	3.4296	0.08889	0.00011	274
	Облучение*	76*	72.3±0.8	90	3.3682	0.08636	0.00009	316
5	Контроль	60	59.3±1.1	77	3.6027	0.08038	0.00039	179
	Облучение*	65*	63.7±1.0	81	3.6382	0.08210	0.00025	200
6	Контроль	68	66.5±1.1	85	3.4657	0.08583	0.00016	163
	Облучение**	64	62.6±1.2	88	3.6574	0.06594	0.00062	190
7	Контроль	70	68.0±1.0	85	3.4983	0.09895	0.00006	171
	Облучение*	64**	64.3±1.0	82	3.3726	0.08602	0.00020	183
8	Контроль	57	55.4±0.9	71	3.6212	0.09582	0.00026	196
	Облучение*	64	59.0±0.9	78	3.4657	0.08081	0.00040	214
9	Контроль	59	60.7±1.0	77	3.4657	0.08140	0.00035	207
	Облучение***	62	62.7±1.2	77	3.5702	0.07611	0.00039	154
10	Контроль	57	52.7±1.0	69	3.6101	0.06552	0.00129	276
	Облучение*	61*	59.4±0.8	77	3.3962	0.07902	0.00043	292
11	Контроль	44	48.0±0.8	71	3.5353	0.05890	0.00224	306
	Облучение*	61*	57.0±0.8	75	3.3581	0.07515	0.00059	304
12	Контроль	55	54±1.0	80	3.5809	0.06065	0.00137	275
	Облучение*	64*	65±0.9	86	3.4467	0.07578	0.00031	244
13	Контроль	54	53.4±1.6	80	3.5809	0.04568	0.00264	213
	Облучение*	65*	58.2±1.7	86	3.4467	0.05265	0.00147	192
14	Контроль	54	50.7±1.0	69	3.7152	0.06457	0.00157	229
	Облучение*	68*	67.2±0.9	88	3.3610	0.07612	0.00026	282

\*  $p < 0.001$ .

\*\*  $p < 0.05$  (во второй колонке – по критерию Колмогорова-Смирнова, в третьей – по критерию Гехана-Бреслоу-Вилкоксона).

M – медианная продолжительность жизни (дни);  $\bar{X} \pm \Delta m$  – средняя продолжительность жизни ± стандартная ошибка; 90 % – 90 %-ная смертность; N – объем выборки; MRDT – время удвоения интенсивности смертности;  $\alpha$ , R – параметры уравнения Гомпертца  $\mu(x) = Re^{\alpha x}$ ,  $\mu(x)$  – интенсивность смертности.

тип» (или уровень гетерогенности) в продолжительность жизни ( $p < 0.00001$ ).

Известно, что высокие дозы ионизирующей радиации способны укорачивать продолжительность жизни у всех исследованных видов. В то же время облучение в малых и средних дозах рентгеновскими и  $\gamma$ -лучами часто увеличивает продолжительность жизни насекомых, растений, мышей и крыс. Зачастую эти эффекты связаны со снижением темпов смертности от инфекций и других неопухолевых заболеваний в первую часть жизни, при остающейся неизменной частоте опухолей и максимальной продолжительности жизни [10]. Однако в наших экспериментах максимальная продолжительность жизни (оцениваемая через более стабильный показатель 90 %-ной смертности) после облучения у изогенной линии возрастает на 8-88 % (см. таблицу). Другие типы умеренного стресса (гипергравитация, тепловой шок) также приводят к увеличению продолжительности жизни. Возможно, это связано с увеличением устойчивости к последующим стрессам (акклиматизация). Малые дозы различных токсических воздействий способны индуцировать стресс-ответ с позитивными последствиями, превышающими повреждающее действие (так называемый гормезис). Значение такого превышения, как правило, невелико – 10-20 % [5].

Каков механизм такого действия? Малые дозы ионизирующей радиации стимулируют иммунитет и пролиферацию, индуцируют репарацию ДНК, подавляют функцию гонад, снижают патогенность микрофлоры [10], тогда как при высоких дозах мы имеем дело с прямым повреждающим действием структур на клеточном и тканевом уровне, при малых дозах эффект радиационно-индуцированных изменений существенно модифицируется эшелонами клеточно-тканевой защиты (активацией антиоксидантной системы, репарацией ДНК, апоптозом нерепарированных клеток). Однако в нашем случае мы имеем дело с более выраженным эффектом – увеличением продолжительности жизни на 50-80 %. Очевидно, что увеличение максимальной продолжительности жизни после облучения (у изогенной линии со второго поколения) является не следствием обычных механизмов гормезиса, а результатом радиационно-индуцированной отмены инбридинговой депрессии.

Таким образом, хроническое облучение в малых дозах гетерогенной ли-

нии приводит к нарушению естественной циклической динамики продолжительности жизни дрозофилы. Увеличение продолжительности жизни облученной изогенной линии со второго поколения происходит благодаря предотвращению инбридинговой депрессии в результате радиационно-индуцированного увеличения уровня гетерогенности.

В заключение хочу поблагодарить лаборанта А.С. Яцкива за помощь в проведении экспериментов и заведующего лабораторией радиационной генетики В.Г. Зайнуллина за внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробцова И.Е. Сравнительный анализ радиочувствительности различных линий *Drosophila melanogaster*

et al. // *Biogerontology*, 2000. Vol. 1, № 2. P. 145-155.

2. Зайнуллин В.Г. «Доза–эффект» в исследовании эффектов малых доз радиации // Труды Коми НЦ УрО АН СССР. Сыктывкар, 1988. № 97. С. 93-97.

3. Продолжительность жизни *Drosophila melanogaster* в ряду поколений после однократного воздействия ионизирующей радиации / Д.М. Измайлов, Л.К. Обухова, О.В. Окладнова и др. // ДАН, 1990. Т. 313, № 3. С. 718-722.

4. Современные аспекты радиобиологии *Drosophila melanogaster*. Апоптоз и старение / В.Г. Зайнуллин, А.А. Москалев, М.В. Шапошников и др. // Радиц. биол. Радиоэкол., 1999. Т. 39, № 1. С. 49-57.

5. A mild stress due to hypergravity exposure at young age increases longevity in *Drosophila melanogaster* males / E. Le Bourg, N. Minois, P. Bullens

et al. // *Biogerontology*, 2000. Vol. 1, № 2. P. 145-155.

6. O'Kane C.J. Modelling human diseases in *Drosophila* and *Caenorhabditis* // *Semin Cell Dev Biol.*, 2003. Vol. 14, № 1. P. 3-10.

7. Sacher G.A. Effects of X-rays on the survival of *Drosophila* imagoes // *Physiol. Zool.*, 1963. Vol. 36. P. 295-311.

8. Swindell W.R., Bouzart J.L. Inbreeding depression and male survivorship in *Drosophila*: Implications for senescence theory // *Genetics*, 2006. Vol. 172. P. 317-327.

9. Unexplained variations in life span of the Oregon-R strain of *Drosophila melanogaster* over a four-year period. / F.A. Lints, C.V. Lints, P. Bullens et al. // *Exp. Gerontol*, 1989. Vol. 24, № 3. P. 265-271.

10. Upton A.C. Radiation hormesis: data and interpretations // *Critical reviews in toxicology*, 2001. Vol. 31, № 4-5. P. 681-695. ❖

## ЮБИЛЕЙ

5 марта исполнилось 55 лет кандидату биологических наук, старшему научному сотруднику лаборатории биологии почв и проблем природовосстановления отдела почвоведения Института биологии Коми НЦ УрО РАН **Флюзе Мубараковне Хабибуллиной**.

Флюза Мубараковна пришла в Институт биологии уже сложившимся исследователем, специалистом, работающим в области микологии и фитопатологии. Со всей своей энергией она сразу же включилась в исследования, направленные на выявление закономерностей формирования комплекса микроскопических грибов в почвах таежной и тундровой зон. За относительно короткий период времени (начиная с 1996 г.) Флюза Мубараковна получила уникальный материал, характеризующий разнообразие почвенной микобиоты в подзоне средней тайги на европейском северо-востоке России. Из различных типов почв, формирующихся на водоразделах и в долинах рек, Ф.М. Хабибуллина выделила 123 вида микроскопических грибов из 37 родов и показала, что в ряду исследованных экосистем наиболее богатый видовой состав почвенных микромицетов отличает пойменные почвы. Своими исследованиями она доказала, что грибы доминируют среди микроорганизмов-целлюлозолитиков, составляя 50-90 % от их общего числа.

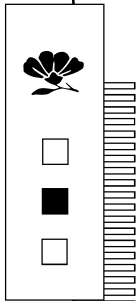
Значительное место в научной работе Ф.М. Хабибуллиной занимают микробиологические исследования, связанные с разработкой приемов биологической рекультивации нарушенных, в том числе нефтезагрязненных земель. Ею создана коллекция микромицетов и бактерий, разлагающих нефтепродукты, лигнин, целлюлозу, разрабатываются новые микромицетно-бактериальные композиции для биорекультивации. Результаты научных разработок Флюзы Мубараковны подтверждены патентами, а в 2007 г. биосорбент, разработанный коллективом авторов при непосредственном участии Ф.М. Хабибуллиной, получил серебряную медаль на VII Московском международном салоне инноваций и инвестиций.

Флюза Мубараковна — щедрой души человек! Свои обширные знания она передает студентам Сыктывкарского лесного института, где уже несколько лет читает курсы лекций по «Микробиологии», «Основам биотехнологии и микробиологии» и «Лесной фитопатологии».

*Дорогая Флюза Мубараковна!*

*Мы искренне поздравляем Вас с юбилеем, желаем крепкого здоровья, бодрости, счастья, творческих успехов и, конечно же, новых открытий в микромире!*

Коллеги-почвоведы





**ИНДУКЦИЯ ДОМИНАНТНЫХ ЛЕТАЛЬНЫХ МУТАЦИЙ  
У ДЕФИЦИТНЫХ ПО РЕПАРАЦИИ ЛИНИЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER*  
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ С РАЗНОЙ МОЩНОСТЬЮ ДОЗЫ**

к.б.н. **М. Шапошников**  
с.н.с. лаборатории радиационной генетики  
E-mail: mshaposhnikov@mail.ru

Научные интересы: *радиационная генетика, малые дозы*

**Р**адиобиологический эффект зависит не только от величины поглощенной дозы (зависимость доза-эффект), но и от мощности экспозиционной дозы (эффект мощности дозы) [3]. Для излучений с низкой линейной энергией передачи (ЛЭП) при одинаковой величине поглощенной дозы можно наблюдать как прямую, так и обратную зависимость эффекта от мощности экспозиционной дозы. Эти два типа зависимости известны как прямой и обратный эффект мощности дозы [3]. На примере разных типов клеток млекопитающих показано, что в диапазоне от очень малых мощностей до малых доз наблюдается обратный эффект мощности дозы с минимальным выходом повреждений в пределах от 0.1 до 1.0 сГр/мин [5]. Предполагается, что он связан с индукцией безошибочной репарации ДНК в данном диапазоне [5]. При облучении с большей мощностью дозы наблюдается прямой эффект. По-видимому, он обусловлен меньшей эффективностью репарации сублетальных повреждений ДНК при увеличении мощности дозы [3]. Наличие эффектов мощности дозы продемонстрировано в экспериментах на многих видах биологических объектов как на соматических клетках в культуре, так и на половых клетках *in vivo* [5]. Изучение данных эффектов у организмов с нарушениями в механизмах защиты клетки от повреждения ДНК может прояснить причины различного действия острого и хронического облучения при одинаковых поглощенных дозах. В настоящем исследовании мы провели оценку эффекта мощности дозы у лабораторных линий *Drosophila melanogaster* с радиочувствительными фенотипами. В эксперименте использовали следующие линии *Drosophila melanogaster*:

- *Canton-S* – линия дикого типа, без выраженных генетических нарушений;
- *sod* (генотип: *sod[n1] red[1]/TM3, Sb[1] Ser[1]*) – линия, гетерозиготная по мутации в гене супероксиддисмутазы *sod*;
- *mei-41* (генотип: *mei-41[D5]/mei-41[D5]*) – линия, гомозиготная по мутации в гене *mei-41*, отвечающего за контроль процесса репарации двунитевых разрывов ДНК по механизму гомологичной генетической рекомбинации;
- *mus209* (генотип: *mus209[B1] b pr cn/CyO*) – линия имеет мутацию в гомологе гена *PCNA* млекопитающих, что обуславливает нарушение в репаративном синтезе ДНК, сниженную способность к репарации двунитевых разрывов ДНК и эксцизионной репарации;
- *mus309* (генотип: *mus309[D3] ry[506]/TM3, Sb[1] ry[RK]*) – линия имеет нарушение репарации

двунитевых разрывов ДНК с помощью синтез-зависимого воссоединения нитей ДНК [1].

Для хронического гамма-облучения использовали источник <sup>226</sup>Ra (мощность экспозиционной дозы 10<sup>-5</sup> Гр/мин). Для острого облучения использовали гамма-установку «Исследователь» (<sup>137</sup>Cs) при мощности экспозиционной дозы 12 Гр/мин. Поглощенная доза как при остром, так и при хроническом облучении составила 0.2 Гр. Проводили анализ уровня индукции доминантных летальных мутаций (ДЛМ) у облученных самцов опытных линий. В качестве материнской линии использовали *Canton-S*.

У самцов линии дикого типа *Canton-S* наблюдали достоверное (*p* < 0.001) увеличение уровня индукции ДЛМ как после острого, так и после хронического облучения (см. таблицу). При этом не было выявлено зависимости наблюдаемого эффекта от мощности дозы. Полученные результаты могут свидетельствовать о незначительной роли процессов репарации у дрозофилы в восстановлении поврежденных ДНК в данном диапазоне доз. В отличие от дрозофилы, у объектов с более совершенной системой репарации (например, клеточные культуры млекопитающих) в сходном диапазоне доз наблюдали снижение эффекта при уменьшении мощности экспозиционной дозы, что связывают с более эффективной репарацией сублетальных повреждений ДНК при увеличении времени воздействия излучения [2]. Для выяснения роли репарации в формировании эффекта мощности дозы в эксперименте использовали линии дрозофилы с нарушениями в репаративном синтезе ДНК (*mus209*), процессе репарации двунитевых разрывов ДНК (*mei-41* и *mus309*), а также в системе обезвреживания свободных радикалов (*sod*). Поскольку данные линии (*mus209*, *mei-41*, *mus309* и *sod*) имеют нарушения в механизмах защиты клетки от повреждения ДНК, то у них наблюдали высокий уровень индукции ДЛМ в сравнении с линией дикого типа (см. таблицу). В то же

**Уровень индукции доминантных летальных мутаций после  $\gamma$ -облучения в дозе 0.2 Гр**

Линия	Контроль	Мощность дозы облучения	
		10 <sup>-5</sup> Гр/мин	12 Гр/мин
<i>Canton-S</i>	0.2 ± 0.1	1.5 ± 0.4**	0.9 ± 0.3**
<i>sod</i>	0.1 ± 0.1	1.9 ± 0.7*	1.3 ± 0.6*
<i>mei-41</i>	1.1 ± 0.5*	5.0 ± 1.5*	5.4 ± 1.4*
<i>mus209</i>	0.6 ± 0.4	3.2 ± 1.1*	2.0 ± 0.8*
<i>mus309</i>	0.3 ± 0.3	4.4 ± 1.2*	2.4 ± 0.8*

\* *p* < 0.05;  
\*\* *p* < 0.001.

время в этих линиях так же, как и у линии дикого типа, не выявлено достоверных различий в эффектах острого и хронического облучения (см. таблицу). Однако у линии *mus309* отмечена тенденция к увеличению уровня индукции ДЛМ после хронического облучения (обратный эффект мощности дозы). Наблюдаемый уровень индукции ДЛМ после хронического облучения почти в два раза превышает эффект острого облучения (см. таблицу). Известно, что белок *mus309* дрозофилы необходим для безошибочной репарации двунитевых разрывов ДНК [1]. В то же время малые дозы ионизирующей радиации могут вызывать образование этого типа повреждений, остающихся длительное время в нерепарированном состоянии [4]. Можно сделать вывод, что образование двунитевых разрывов ДНК играет ведущую роль в формировании ДЛМ у дрозофилы при хроническом облучении малыми дозами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adams M.D., McVey M., Sekelsky J.J. Drosophila BLM in double-strand break repair by synthesis-dependent strand annealing // Science, 2003. Vol. 299, № 5604. P. 265-267.
2. Dose-rate effect on the induction of HPRT mutants in human G<sub>0</sub> lymphocytes exposed *in vitro* to gamma radiation / P.R. Kumar, M.N. Mohankumar, V.Z. Hamza et al. // Radiat. Res., 2006. Vol. 165, № 1. P. 43-50.
3. Hall E.J. Weiss lecture. The dose-rate factor in radiation biology // Int. J. Radiat. Biol., 1991. Vol. 59, № 3. P. 595-610.
4. Rothkamm K., Lobrich M. From the cover: evidence for a lack of DNA double-strand break repair in human cells exposed to very low X-ray doses // PNAS, 2003. Vol. 100, № 9. P. 5057-5062.
5. Vilenchik M.M., Knudson Jr.A.G. Inverse radiation dose-rate effects on somatic and germ-line mutations and DNA damage rates // PNAS, 2000. Vol. 97, № 10. P. 5381-5386. ❖



**ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И ПЛОДОВИТОСТИ ОСОБЕЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ ДРОЗОФИЛЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХРОНИЧЕСКОГО  $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Е. Юшкова**  
 аспирант лаборатории радиационной генетики  
 E-mail: ushkova@ib.komisc.ru, тел. (8212) 43 06 50

Научные интересы: *популяционная генетика, адаптация, малые дозы ионизирующей радиации*

**М**ногочисленные исследования в области радиобиологии показывают, что хроническое облучение в малых дозах, являясь одним из ведущих экологических факторов, влияет на выживаемость биологических систем. Выживаемость популяций определяется общепринятыми популяционными методами, такими как анализ численности и плодовитости особей. Плотность населения так же, как и другие факторы окружающей среды, влияет на интенсивность размножения популяции. В настоящей работе мы изучали влияние хронического облучения в малых дозах на динамику численности и плодовитости популяций дрозофилы с учетом их генетической неоднородности. При рассмотрении этого вопроса, на наш взгляд, следует упомянуть и внутривидовые факторы, от которых зависят те или иные изменения, влияющие на жизнеспособность популяций. Для каждого вида существует оптимальный уровень плотности, отклонение от которого в ту или иную сторону неблагоприятно сказывается на его популяциях. С увеличением плотности населения отношения особей внутри популяции сменяются на нейтральные и конкурентные, ведущие к устранению излишней части популяции. Ус-

транение такой части популяции осуществляется за счет определенных механизмов, таких как прямое физическое уничтожение, свойственное видам, развитие которых протекает в условиях ограниченных запасов пищи и пространства, конкуренция за пищу, изменение среды в результате жизнедеятельности популяции, выделение физиологически активных веществ, столкновение и интерференция особей.

Существует мнение [3], что увеличение численности до некоего определенного уровня повышает выживаемость особей, но с дальнейшим ее ростом выживаемость сокращается. Данное явление характерно для личинок дрозофилы и некоторых паразитов, гусениц златогузки, рисовой огневки и т.п. Общим для этих видов является усиление конкуренции с ростом численности населения, в результате чего сокращается число имаго. Для популяций двукрылых характерна линейная зависимость между плотностью и смертностью особей, находящихся на ранних стадиях индивидуального развития. В случае, когда численность популяции еще не достигла своей критической величины, реакцией на перенаселенность может быть снижение размеров и массы не толь-

ко личинок и куколок, но и взрослых особей. Кроме того, численность населения через изменение физиологических показателей влияет не только на плодовитость вылетевших самок, но и в том числе на продолжительность их жизни, жизнеспособность и уровень эмбриональной смертности.

Динамика численности населения зависит от фактора встречаемости полов. Отрицательная роль большой разреженности популяции должна выражаться, прежде всего, в снижении общей плодовитости вследствие уменьшения количества неоплодотворенных или однократно оплодотворенных самок. При этом и проявляются адаптационные возможности животных, обеспечивающие встречу полов при сильной разреженности популяции. Тем не менее, исследования на дрозофиле, мучном хрущаче, рисовом долгоносике и других насекомых показали, что при низкой плотности населения частота контактов между особями противоположного пола недостаточна, чтобы обеспечить оптимальную частоту спаривания [1]. Преимущество, получаемые при определенной численности популяции сапрофитами, связываются с изменением механической структуры среды и межвидовой конкуренцией. Так, рост численности

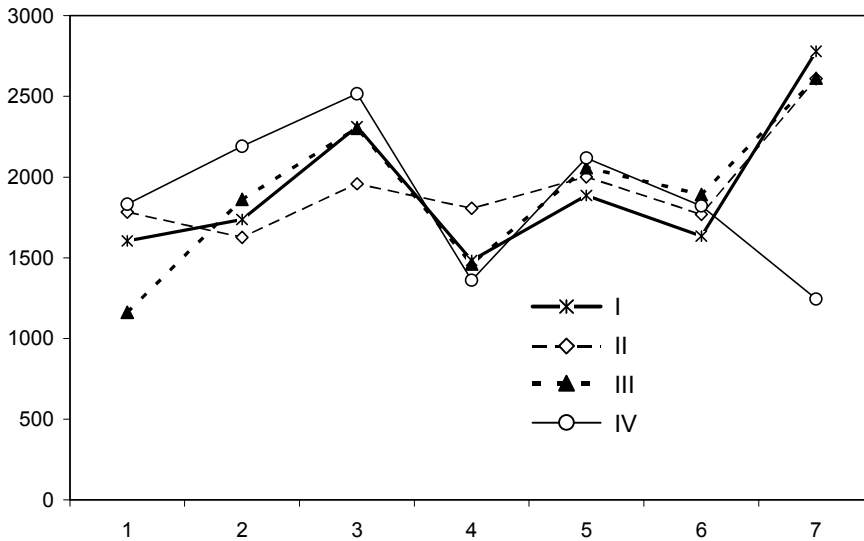


Рис. 1. Динамика численности дрозофилы линии *Cantos-S* до постановки эксперимента: ящики А (I) и В (II) – несмешанные, С (III) и D (IV) – смешанные (1 % самцов линии *Harwich*) популяции. По горизонтали – номер учета, по вертикали – количество особей.

потомства дрозофилы в недонаселенной культуре отчасти объясняется совместной активностью личинок, подавляющих развитие плесени и бактерий, что повышает шансы выживания каждой отдельной особи. Важно подчеркнуть, что смена благоприятных отношений внутри популяции на конкурентные возможна не только в результате увеличения плотности населения, но и в результате изменения потребностей особей в ходе онтогенеза [3].

Исследования экспериментальных популяций дрозофилы показывают, что при разведении насекомых на свежей питательной среде рост их численности вначале происходит медленно, затем ускоряется, некоторое время идет по экспоненте, но с какой-то определенной точки снова замедляется и, наконец, прекращается совсем. Причиной остановки роста популяции может быть как истощение кормовых ресурсов, так и различные неблагоприятные изменения среды, в том числе ионизирующая радиация, или самих организмов, вызванные увеличением численности населения. Ту же закономерность наблюдали и в природе при освоении популяцией новой территории. Подобное замедление и остановка роста численности при отсутствии миграций могут происходить только под влиянием возрастающего сопротивления среды вследствие повышения эффективности ранее действовавших факторов или включения новых. Это может проявляться в истощении каких-либо жизненно важных ресурсов, усилении деятельности естественных врагов, накоплении вред-

ных метаболитов, а также в отрицательном влиянии скученности, выражающемся в увеличении смертности или снижении плодовитости [1].

В настоящей работе при изучении численности и плодовитости дрозофилы в условиях хронического  $\gamma$ -облучения (10-11 сГр за поколение) использовали четыре ящичные популяции. До постановки эксперимента численность и соотношение по полу в популяциях линии дикого типа *Canton-S* рассматривали в течение нескольких учетов с интервалом 14 дней (рис. 1). В эксперименте в две популяции линии *Canton-S* (ящики С и D) добавили 1 % самцов линии *Harwich*, имеющих R-цитотип. Данные популяции мы назвали смешанными ( $CS_{(H)}$ ), а две другие популяции линии *Canton-S* – несмешанными (ящики А и В). Смешанную и несмешанную популяции (соответственно ящики А и D) подвергали хроническому облучению, вторую пару (ящики В и С) с соответствующими популяциями использовали в качестве контроля. Контрольные и опытные популяции дрозофилы поддерживали в одинаковых условиях (температура  $25.0 \pm 0.1$  °C и 12-часовой режим освещения) на дрожжевой изюмной среде. Для получения перекрывающихся поколений питательную среду в популяционных ящиках меняли каждые 14 дней.

Полученные нами данные показывают, что динамика численности на протяжении 15 поколений характеризуется своими пиками и спадами (рис. 2а). Характерная низкая численность трех популяций (ящики А, В и С) в первом поколении, по-видимому,

связана с высокой плотностью населения в последнем учете особей этих же популяций до постановки эксперимента (рис. 1). По той же причине в смешанной облучаемой популяции (ящик D) наблюдается обратная зависимость. Следует отметить, что при росте численности особей в популяциях происходит снижение плодовитости, что приводит к снижению численности популяции в следующем поколении. Здесь наблюдается общая закономерность, свидетельствующая о том, что плодовитость особей способна влиять на динамику численности, и наоборот. Впервые изменение плодовитости под влиянием изменяющейся численности популяции продемонстрировал R. Pearl, показав, что плодовитость дрозофилы снижается с увеличением плотности популяции. Такой тип реакции на увеличивающуюся плотность населения был назван «дрозофила-типом» [6]. Популяции, в которых рост плотности вызывает сначала увеличение плодовитости самок, а затем ее снижение, обладают «Алли-типом». Оба типа реакции характерны для любого вида и зависят от условий эксперимента, учитывая, что первый тип характерен для малых объемов, а второй – для больших. Объединив их, K. Watt заключил, что увеличение средней плодовитости самок с ростом плотности населения до каких-то определенных пределов является общим свойством популяции [8]. Таким образом, численность популяции, являясь одним из элементов среды, влияет на интенсивность размножения, и, следовательно, для каждого вида должен существовать оптимальный уровень плотности, отклонение от которого неблагоприятно для популяции.

Для динамики численности населения дрозофилы характерны определенные фазы – сокращение, подъем, вспышка и снижение. В фазах вспышки наблюдается наибольшее количество особей, в литературе [2] такие подъемы называют пиками численности популяций. Кривые колебания численности (рис. 2а) показывают неодинаковое число пиков, причем в контрольной несмешанной популяции их количество наиболее высокое. Численность в облучаемых популяциях по сравнению с контрольными (от 1050 до 1900) изменяется на более низком уровне – от 700 до 1400 особей. Так, ее средняя величина ( $X \pm S_x$ ) за 15 поколений в несмешанных и смешанных популяциях в контроле составила соответственно  $1336.2 \pm 74.7$  и



1364.1 ± 71.5, в условиях хронического облучения – соответственно 1036.2 ± 55.6 и 1223.1 ± 44.9. Возможно, данный факт связан с радиационным воздействием и генетической неоднородностью популяций. При сравнении популяций до постановки эксперимента с популяциями, подвергавшимися хроническому  $\gamma$ -излучению, было установлено, что облучение в малых дозах влияет на динамику численности облучаемой несмешанной популяции ( $p < 0.001$ ). Но мы пока не можем судить о том, что такие популяционные эффекты связаны именно с влиянием хронического облучения, так как статистически не выявили тенденцию ( $F = 2.3$  при  $p > 0.05$ ).

На сегодняшний день накоплен достаточно большой фактический материал, показывающий влияние ионизирующего излучения разной мощности на динамику численности и плодовитости популяций дрозофилы. Например, в результате постоянно действующего острого облучения в популяциях накапливается большое количество вредных мутаций, способных снижать плодовитость и жизнеспособность особей, после прекращения радиационного воздействия из облученных популяций постепенно элиминируются особи, несущие хромосомные перестройки и доминантные летальные мутации, так как они больше влияют на выживаемость их носителей. Таким образом, происходит процесс «очищения» от вредных мутаций, сопровождающийся гибелью особей на разных этапах онтогенеза, после которого наблюдается постепенное увеличение плодовитости в последующих поколениях. При хроническом облучении ионизирующая радиация в таком виде является фактором среды с высокой мутагенной активностью. В результате действия малых доз ионизирующей радиации в популяциях помимо увеличения генетического груза возрастает частота полезных для организма мутаций, которые, включаясь в генофонд популяций, повышают их адаптационные возможности, плодовитость и жизнеспособность. При появлении новых условий среды, в том числе повышения естественного радиационного фона, накопленные популяцией мутации способствуют ускорению адаптивного сдвига, который участвует в формировании радиорезистентности популяций [4].

Наблюдаемая нами динамика плодовитости во всех популяциях одновременно обусловлена, очевидно, естественными причинами (рис. 2б).

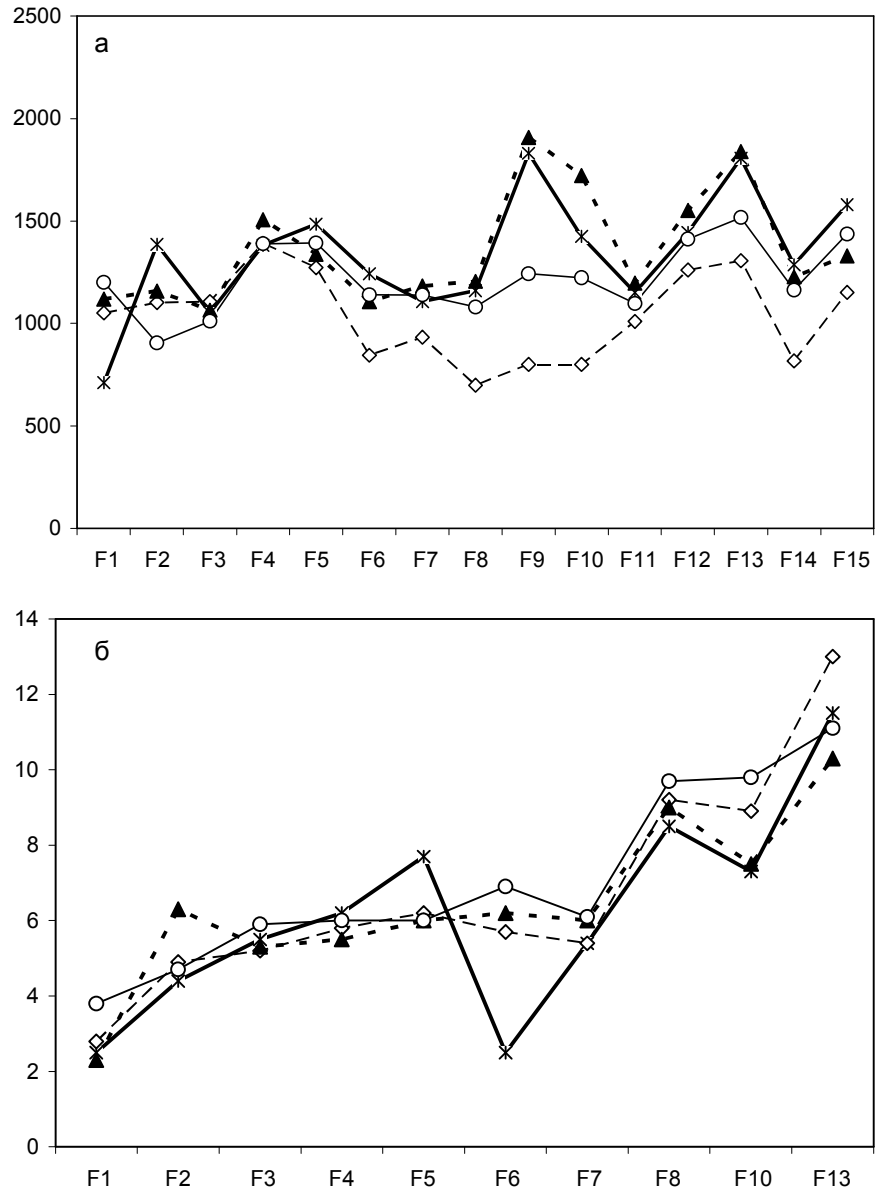


Рис. 2. Динамика численности (а) и плодовитости (б) популяций дрозофилы линии *Cantos-S* при воздействии хронического облучения (ящики А и D) и в контроле (ящики В и С). По горизонтали указано поколение. Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

Однако внутри изменений можно выявить некоторые различия, характерные генетически неоднородным популяциям и обусловленные нашими экспериментальными воздействиями. В контрольной несмешанной популяции в отличие от остальных прослеживаются две точки с низкой плодовитостью в первом и шестом поколениях. Это мы связываем с естественной природой таких скачков, не зависящей от радиационного воздействия. С третьего по седьмое поколение в трех других популяциях наблюдается постепенное увеличение плодовитости особей, которое сменяется резким подъемом вплоть до 13 поколения. Особенно это заметно в облучаемой несмешанной популяции, где среднее количество эмбрионов на самку со-

ставляет 13.0 ± 0.8. Так, по мнению И.Б. Мосса, в популяциях, длительно подвергавшихся облучению в малых дозах, формируются адаптационные способности, обусловленные повышенной скоростью яйцекладки [4].

Под влиянием численности популяций происходит изменение соотношения полов, причем при благоприятных условиях в плотных популяциях наблюдается высокая доля самцов [2, 7]. Подобное наблюдается и в нашем эксперименте, где среднее количество самцов выше, чем самок во всех исследуемых популяциях на протяжении 15 поколений (см. таблицу). На наш взгляд, при увеличении численности популяции наиболее конкурентоспособными становятся самцы дрозофилы. В экспериментальных популяциях

дрозофилы, по мнению некоторых авторов [2, 4], напротив, перенаселенность и конкуренция вызывают увеличение доли самок, очевидно, за счет избирательной гибели самцов. И в том, и в другом случае происходит сдвиг в соотношении полов по сравнению с оптимальными условиями плотности, что в конечном итоге снижает скорость роста популяции. Следует отметить, что для многих видов влияние плотности на соотношение полов не обнаружено.

Таким образом, динамика показателей численности и плодовитости особей в экспериментальных популяциях дрозофилы описывается волнообразными кривыми в течение исследуемых поколений. На их изменения влияют не только внутривидовые факторы, о которых говорили в начале обзора, но и внешние стрессоры, в число которых входит и ионизирующая радиация, причем связь между численностью и плодовитостью особей не всегда выявлена. Наблюдали такие периоды, когда численность, а вместе с ней и плодовитость попу-

**Средняя численность самок и самцов в популяциях *Drosophila melanogaster* линии Canton-S за 15 поколений в контроле (верхняя строка) и условиях хронического облучения (нижняя строка)**

Популяция	Самки $\bar{X} \pm S_x$	Самцы $\bar{X} \pm S_x$	Соотношение полов	u-критерий
Несмешанная				
ящик В	585.0±34.2	751.2±44.7	1:1.28	2.03*
ящик А	460.4±27.5	576.4±31.1	1:1.25	1.59
Смешанная				
ящик С	589.3±27.7	774.8±46.9	1:1.31	7.07**
ящик D	564.0±21.7	659.7±31.2	1:1.17	3.87**

\* $p < 0.05$ .  
\*\* $p < 0.001$ .

ляций на протяжении нескольких поколений держатся примерно на одном уровне или продолжают изменяться в одном и том же направлении. Следует отметить, что влияние хронического  $\gamma$ -облучения на динамику численности и плодовитости популяций дрозофилы в ряду поколений не всегда прослеживали. Для установления роли хронического облучения в изменчивости генетически неоднородных популяций нами планируется провести дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буров В.Н. Плотность популяции как фактор динамики численности //

Зоол. журн., 1968. Т. 47, № 10. С. 1445-1461.

2. Гречаный Г.В., Погодаева М.В. Изменение полового состава популяций дрозофилы при динамике численности // Генетика, 1996. Т. 32, № 10. С. 1349-1353.

3. Гречаный Г.В., Корзун В.М., Кравченко К.Л. Колебания численности ящичных популяций дрозофилы и селекционно-генетический механизм их регуляции // Журн. общ. биологии, 2002. Т. 63, № 5. С. 382-392.

4. Моссэ И.Б. Радиация и наследственность: Генетические аспекты противорадиационной защиты. Минск, 1990. С. 103-111.

5. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. Минск: Высшая школа, 1964. 328 с.

6. Pearl R. The influence of density of population upon egg production in *Drosophila melanogaster* // J. Exp. Zool., 1932. Vol. 63, № 3. P. 151-159.

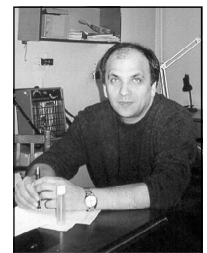
7. Promislow D.E.L., Smith E.A., Pearse L. Adult fitness consequences of sexual selection in *Drosophila melanogaster* // Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1998. Vol. 95, № 18. P. 10687-10692.

8. Watt K.E.F. The effect of population density on fecundity in insects // Can. Entomol., 1960. Vol. 92, № 9. P. 674-695.

**МОДИФИКАЦИЯ ГИББЕРЕЛЛОВОЙ КИСЛОТОЙ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ У TRADESCANTIA (КЛОН 02), ИНДУЦИРОВАННЫХ ОБЛУЧЕНИЕМ В МАЛЫХ ДОЗАХ**



**А. Хомиченко**  
м.н.с. лаборатории радиационной генетики  
E-mail: lescha68@mail.ru  
тел. (8212) 43 06 50



д.б.н. **В. Зайнуллин**  
зав. этой же лабораторией

Научные интересы: *малые дозы ионизирующей радиации*

Одним из основных эффектов малых доз ионизирующей радиации является нестабильность генома, находящая отражение в нелинейной зависимости цитогенетических нарушений от величины доз. Ведущую роль в механизмах, обеспечивающих устойчивость и адаптацию биологических систем к меняющимся условиям внешней среды, согласно концепции Г. Селье [5, 6], играет гормональная система. В нескольких работах было показано, что гибберелловая кислота, являясь мутагеном, проявляет себя как исключительно эффективный радиопротектор, что указывает на ее значение в механизмах, обеспечивающих генетический гомеостаз [1, 2]. Ранее была показана нелинейная зависимость частоты соматических мутаций в волосках тычиночных нитей *Tradescantia* (клон 02) в зависимости от дозы хронического  $\gamma$ -излучения [3]. Про-

веденная работа по определению содержания фитогормонов показала, что содержание гиббереллина АЗ при облучении в диапазоне доз до 28 сГр может меняться, по меньшей мере, в десятки раз [7]. В настоящей работе нами была поставлена задача изучить модифицирующее действие гибберелловой кислоты на частоту РСМ в ВТН *Tradescantia* (клон 02).

В экспериментах использовали гибрид *Tradescantia occidentals* Pritton ex Rydb. и *Tradescantia ohienis* Raf. – *Tradescantia* (клон 02), который применяется в работах для оценки действия малых доз ионизирующих излучений и биологически активных соединений нерадиационной природы, их сочетанных воздействий [4, 8]. Для изучения цитогенетических эффектов в соцветиях традесканции клон 02 при облучении в малых дозах использовали соцветия, полученные в весенне-летний период.

Использовали тест-систему «соматические мутации (СМ) в волосках тычиночных нитей (ВТН)» [8]. Срезы соцветий традесканции на черенках с двумя-тремя междоузлиями помещали в дистиллированную воду. Через 17 ч растения подвергали воздействию  $\gamma$ -излучения в течение 20 ч, источник –  $^{226}\text{Ra}$  (50 Р/ч). Мощности излучения в эксперименте составили от 0.02 до 1.40 сГр/ч. Полученные дозы составили от 0.4 до 28.0 сГр. С шестого по 21-й день после облучения подсчитывалось количество ВТН и цитогенетических нарушений для каждого соцветия. Частоту цитогенетических нарушений определяли как соотношение учтенных событий и количества подсчитанных волосков тычиночных нитей. Для изучения модифицирующего действия гиббереллина на цитогенетические эффекты малых доз ионизирующей радиации в ВТН соцветия традесканции на черенках с двумя-тремя междоузлиями перед облучением помещали в водные растворы гиббереллина АЗ в концентрациях  $10^{-4}$  и  $10^{-5}$  моль/л. Использовали кристаллический гиббереллин АЗ, производства Орловского химического завода. Режимы облучения точно соответствовали таковым для эксперимента с дистиллированной водой. Был проведен эксперимент с облучением соцветий традесканции при постоянной мощности излучения – 1.15 сГр/ч, полученные дозы составили от 21 до 104.4 сГр. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием стандартных методов.

В контроле частота СМ составляла 0.112 %. При облучении в дозе 0.4 сГр частота СМ близка к контрольному значению – 0.143 %. При облучении в дозе 1 сГр частота генетических нарушений составляет 0.182 % ( $p < 0.05$ ). В следующем варианте (2.3 сГр) частота мутаций становится несколько ниже контроля (недостоверно), но достоверно относительно предыдущей точки. Частота СМ возрастает до значения 0.381 % в варианте с облучением в дозе 4.86 сГр, так же достоверно отличного по отношению к контролю ( $p < 0.001$ ) и к предшествующему минимуму. Далее частота СМ снижалась с ростом дозы облучения, уменьшаясь в варианте 9.8 сГр в 2.09 раза, до значения 0.182 %. Разница между частотой мутаций в этом варианте и в варианте для 4.86 сГр статистически достоверна. С дальнейшим ростом доз частота мутаций увеличивается (рис. 1), достигая значения 2.49 % при облучении в дозе 28 сГр ( $p < 0.001$ ). Кривая, построенная на основе зависимости «доза–эффект», описывается уравнением второго порядка ( $R^2 = 0.9733$ ).

Гиббереллин оказывает заметное мутагенное действие на эту тест-систему. При частоте СМ в варианте с дистиллированной водой 0.112 % (контроль), в варианте с обработкой гиббереллином в концентрации  $10^{-5}$  моль/л частота РСМ увеличивалась до 0.198 % ( $p > 0.05$ ), при концентрации гиббереллина в  $10^{-4}$  моль/л – до 0.213 % ( $p < 0.05$ ). Влияние гибберелловой кислоты на зависи-

мость «доза–эффект» для СМ сказалось в частичном снятии ее нелинейного характера. Это относится к области доз, где в эксперименте с дистиллированной водой наблюдали первый максимум и первый минимум частоты СМ при облучении в дозах 1.0 и 2.3 сГр соответственно. При обработке традесканции гиббереллином в концентрациях  $10^{-4}$  и  $10^{-5}$  моль/л на этом участке дозовой кривой не было вариантов с достоверными отличиями между собой и контролем по частоте СМ (табл. 1).

Этот эффект не наблюдали на участке, где в эксперименте с дистиллированной водой отмечали второй максимум частоты СМ. В опытах с обеими концентрациями гиббереллина частота СМ в варианте с облучением в 4.86 сГр достоверно отличалась как от вариантов с меньшей дозой облучения, так и с большей. Так, в опыте с обработкой традесканции гиббереллином в концентрации  $10^{-4}$  моль/л частота СМ для варианта с облучением в дозе 4.86 сГр отличалась от варианта с дозой 1.0 сГр со значением  $t_p$  3.15. Значение  $t_p$  для разницы между частотами СМ при облучении в дозах 9.80 и 4.86 сГр составляло 3.53. При концентрации гиббереллина в  $10^{-5}$  моль/л значение  $t_p$  для различий между частотами СМ в этих вариантах (4.86 сГр и 9.80 сГр) составляет 2.11. Сохранение нелинейного характера этого участка дозовой кривой указывает, что обработка экзогенным гиббереллином не сказывается на протекании процессов, лежащих в основе наблюдаемого цитогенетического эффекта.

При облучении соцветий традесканции в дозе 7 сГр обращает на себя внимание такой показатель, как среднее количество учтенных ВТН на одно соцветие (табл. 2). В эксперименте с дистиллированной водой данный показатель в этом варианте не выходит за пределы доверительного интервала относительно других вариантов. При действии гибберелловой кислоты в концентрации  $10^{-5}$  моль/л значение этого показателя выходит за пределы доверительного интервала для варианта без облучения и варианта с облучением в дозе 1 сГр. При концентрации гиббереллина в  $10^{-4}$  моль/л количество учтенных ВТН в опыте с облучением в дозе 7 сГр было снижено относительно других вариантов более чем в два раза и выходит за пределы доверительного

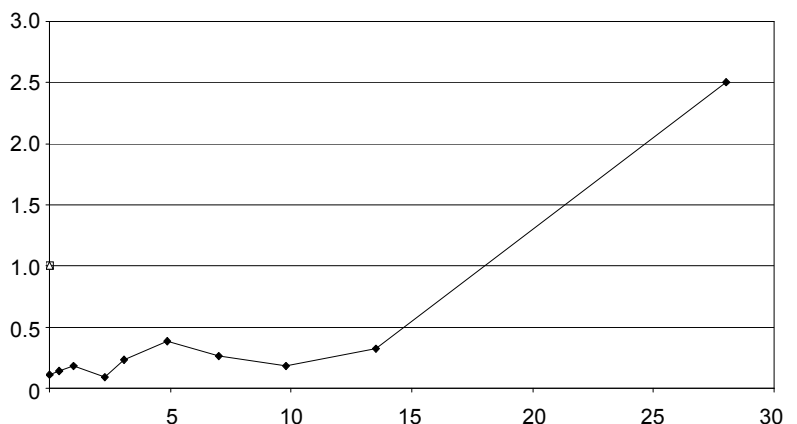


Рис. 1. Динамика частоты соматических мутаций (%; по оси ординат) в клетках волосков тычиночных нитей традесканции (клон 02) при облучении в малых дозах (сГр; по оси абсцисс).

Таблица 1

**Влияние ионизирующего излучения и гибберелловой кислоты в концентрации  $10^{-4}$  (верхняя строка) и  $10^{-5}$  (нижняя строка) на частоту соматических мутаций (СМ) в волосках тычиночных нитей (ВТН) традесканции (клон 02)**

Вариант опыта, сГр	Количество, шт.		Частота СМ, %	Критерий Фишера
	просмотрено ВТН	СМ		
Контроль	6586	14	0.213	–
	6047	12	0.198	–
0.40	7738	19	0.246	–
	6752	14	0.207	–
1.00	16314	25	0.153	–
	15984	29	0.181	–
2.30	17756	32	0.180	–
	13912	22	0.158	–
3.10	4805	10	0.208	–
	8715	18	0.207	–
4.86	7065	26	0.368	–
	7738	30	0.388	2.1*
7.00	8274	22	0.266	–
	10833	26	0.240	–
9.80	9043	10	0.111	–
	8673	18	0.208	–
13.50	5081	13	0.256	–
	7267	30	0.413	2.24*
28.00	10805	132	1.221	8.19***
	10692	272	2.543	14.23***

Примечание. Отличие от контроля достоверно при: \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ .  
Прочерк –  $p > 0.05$ .

интервала относительно всех них. Изменение среднего числа ВТН на одно соцветие при облучении в дозе 7 сГр связано с уменьшением числа цветков, распутившихся в период с шестого по 21 день после облучения, что может быть объяснено следующим образом. В работе по определению фитогормонов [6] было показано, что при облучении в дозе 4.86 сГр содержание эндогенного гиббереллина достигает максимального значения – 228.0 нг/г. В варианте с облучением в дозе 9.8 сГр, содержание эндогенного гиббереллина АЗ было ниже уровня чувствительности метода [7]. Вариант с облучением в дозе 7 сГр находится на дозовом отрезке, где происходит снижение уровня эндогенного гиббереллина АЗ. Снижение количества учтенных ВТН в этом варианте относительно пропорционально увеличению концентрации экзогенного гиббереллина в опыте. Обработка экзогенным гиббереллином АЗ является фактором, увеличивающим физиологическую нагрузку на ткани соцветий, активно элиминирующих этот гормон, что, по-видимому, приводит к снижению интенсивности цветения. Вероятно, эта нагрузка тем больше, чем выше концентрация экзогенного гиббереллина.

Вариант с облучением в дозе 9.8 сГр является первым, когда радиомодифицирующее действие гиббереллина проявляет зависимость от его концентрации (рис. 2). При облучении в этой дозе, как и в последующих двух, частота СМ заметно снижается при обработке соцветий гиббереллином в концентрации

$10^{-4}$  моль/л. Для варианта 9.8 сГр разница в частоте СМ при обработке гиббереллином в разных концентрациях составляла 1.86 раза,  $t_F = 1.59$  ( $p > 0.05$ ), для варианта 13.5 – 1.63 раза,  $t_F = 1.43$  ( $p > 0.05$ ) и при облучении в дозе 28 сГр – 2.08 раза ( $p < 0.001$ ). Вероятно, низкий уровень эндогенного гиббереллина в тканях соцветий (вариант с облучением в дозе 9.8 сГр) влияет на протекание процессов, определяющих характер цитогенетических эффектов при облучении в этой и более высоких дозах. После обработки соцветий традесканции экзогенным гиббереллином в концентрации  $10^{-4}$  моль/л потенциал механизмов, инактивирующих гиббереллины, возможно, недостаточен для снижения содержания гормона до некоторого необходимого уровня, что может приводить к существенным изменениям в частоте генетических нарушений.

При облучении соцветий традесканции в дозах 9.8, 13.5 и 28.0 сГр рост дозы обеспечивали путем увеличения мощности дозы с 0.49 до 1.40 сГр/ч. Нами был проведен эксперимент, направленный на выявление зависимости величины цитогенетических эффектов от режима облучения в диапазоне, начинающемся на этом дозовом участ-

ке. Облучали соцветия традесканции в дозах от 21.0 до 104.4 сГр, при мощности облучения 1.15 сГр/ч (рис. 3). Также имелся вариант с облучением в дозе 28.0 сГр при мощности дозы 1.05 сГр/ч. Отличия частот СМ в диапазоне от 21.0 до 55.1 сГр не были статистически значимы относительно друг друга, т.е. частота СМ не зависела существенно от величины дозы. Этот ответ предшествует выходу в режим, когда частота генетических нарушений возрастает с ростом доз. Для облучения в дозе 81.2 сГр  $t_F$  относительно варианта для 21.0 сГр составляет 4.23; для облучения в дозе 104.4 сГр – 7.63. Сопоставление данных о зависимости частоты СМ от мощности облучения при одинаковой дозе, составлявшей 28.0 сГр, при разных мощностях облучения показывает, что реакция тест-системы «соматические мутации в волосках тычиночных нитей традесканции» на облучение в этой дозе характеризуется повышением уровня мутаций с ростом мощности облучения. Так,  $t_F$  для варианта с мощностью облучения 1.15 сГр/ч относительно варианта с мощностью из-

Таблица 2

**Среднее количество учтенных волосков тычиночных нитей на одно соцветие традесканции (клон 02) в контроле, при облучении и обработке гибберелловой кислотой**

Концентрация гибберелловой кислоты, моль/л	Вариант опыта, сГр			
	контроль	1.0	2.3	7.0
Дистиллированная вода	1190.3±124.8	1084.0±94.8	1105.0±440.0	859.1±336.2
$10^{-5}$	1080.3±211.8	1085.2±94.8	1036.0±393.4	722.2±18.0
$10^{-4}$	1143.4±113.3	1256.7±69.5	1326.8±132.6	551.6±43.0

лучения 1.05 сГр/ч составляет 2.37,  $t_F$  для для варианта с мощностью излучения 1.4 сГр/ч – 11.8. Таким образом, реакция на облучение в этом диапазоне доз (от 21.0 до 55.1 сГр) характеризуется повышением уровня мутаций с ростом мощности доз при относительной независимости частоты мутаций от величины доз, что может быть признаком активности какой-либо репаративной системы.

По нашему мнению, облучение соцветий традесканции в дозах приблизительно от 7 сГр и выше индуцирует ответ механизмов, определяющих характер цитогенетических эффектов с дальнейшим ростом доз. Они являются гиббереллин-зависимыми, и условием их индукции является низкий уровень эндогенной гибберелловой кислоты. Обработка экзогенным гиббереллином в концентрации  $10^{-4}$  моль/л существенно модифицирует генетические ответы данной тест-системы.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Араратян Л.А.* Цитогенетические эффекты фитогормонов. Ереван, 1989. 138 с.
2. *Виленский Е.Р.* Роль гормонов в радиационном поражении растений // Радиобиология, 1987. Т. 27, № 5. С. 663-665.
3. *Евсеева Т.И.* Закономерности раздельного и сочетанного действия факторов радиационной и нерадиационной природы в диапазоне малых доз (концентраций) на традесканцию (клон 02): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Обнинск, 1999. 23 с.
4. *Евсеева Т.И., Зайнуллин В.Г.* Сочетанное действие хронического гамма-облучения и нитрата тория-232 на традесканцию (клон 02) в условиях водной культуры // Радиационная биология. Радиоэкол., 1998. Т. 38, вып. 6. С. 856-864.
5. *Селье Г.* На уровне целого организма. М.: Наука, 1972. 258 с.
6. *Селье Г.* Стресс без дистресса. М.: Прогресс, 1979. 194 с.
7. *Хомиченко А.А., Зайнуллин В.Г., Скоробогатова И.В.* Генетические и гормональные эффекты у традесканции (клон 02) при облучении в малых

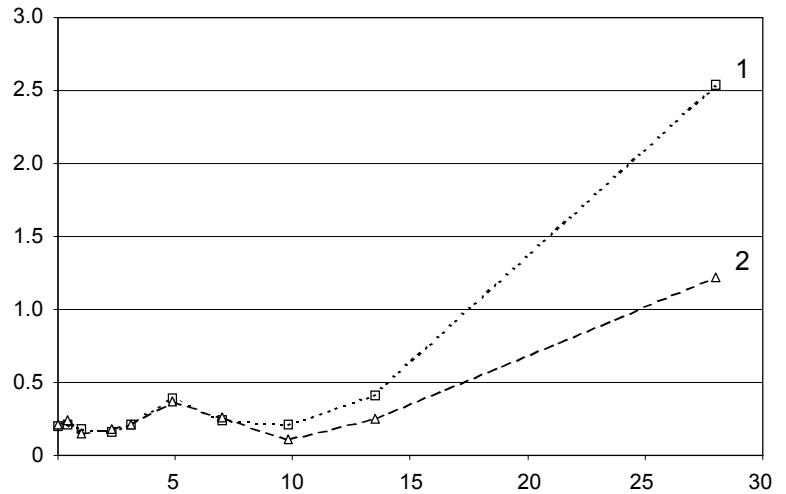


Рис. 2. Динамика частоты соматических мутаций (%; по оси ординат) в клетках волосков тычиночных нитей традесканции (клон 02) при обработке гибберелловой кислотой в концентрации  $10^{-5}$  (1) и  $10^{-4}$  (2) моль/л и облучении в малых дозах (сГр; по оси абсцисс).

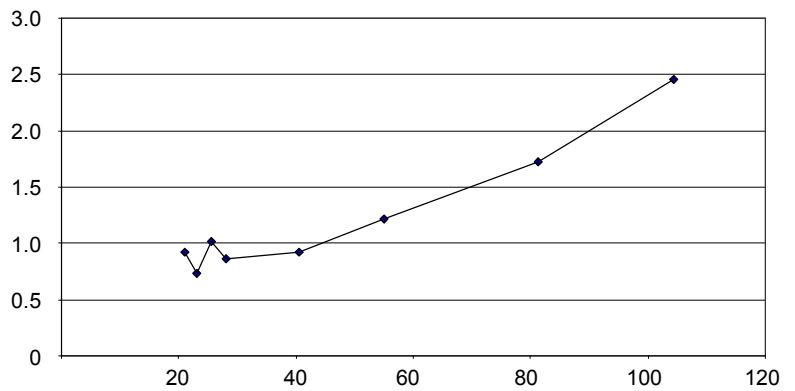


Рис. 3. Динамика частоты соматических мутаций (%; по оси ординат) в клетках волосков тычиночных нитей традесканции (клон 02) при облучении в дозах до 104.4 сГр (по оси абсцисс).

Примечание:  $t_F$  для облучения в дозе 81.2 сГр относительно варианта для 21.0 сГр составляет 4.23; для облучения в дозе 104.4 сГр – 7.63; для остальных вариантов различие статистически незначимо.

дозах (гиббереллины) // Биорад-2006: Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды: Тез. междунар. конф. Сыктывкар, 2006. С. 131-132.

8. *Sparrow A.H., Undenbrink A.G., Ross H.H.* Mutations induced in Tradescantia by small doses of X rays and neutrons: analysis of dose-response curves // Science, 1972. Vol. 176. P. 916-918. ❖

**Сердечно поздравляем  
всех милых дам Института  
с первым весенним праздником и желаем здоровья,  
успешной работы и всего самого наилучшего!**

## РАДИАЦИЯ И ЛЕЙКОЗЫ. РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ЛЕЙКОЗОВ СРЕДИ ДЕТЕЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

И. Канева

аспирант лаборатории радиационной генетики  
E-mail: kaneva\_i@ib.komisc.ru, тел. (8212) 43 06 50

**Л**ейкозы – термин, объединяющий многочисленные опухоли кроветворной системы, возникающие из кроветворных клеток и поражающие костный мозг [2]. Проблема изучения лейкозов наиболее остро встала при анализе последствий атомной бомбардировки японских городов Хиросима и Нагасаки. Было выявлено, что возрастание частоты заболеваний лейкозами прямо пропорционально расстоянию от эпицентра взрыва. Тогда впервые заговорили о радиации как о наиболее значимом факторе в развитии лейкозов. Многочисленные и разнообразные исследования показали, что вся опухолевая масса клеток является потомством одной мутировавшей клетки, т.е., является клоном [3]. Существуют острые, хронические и врожденные лейкозы. Разделение на острые и хронические происходит в зависимости от характеристики морфологического субстрата: острые – субстрат клетки составляют молодые (бластные) клетки; хронические – субстрат составляют морфологически зрелые клетки. К острым лейкозам относятся острые миелобластные лейкозы и острые лимфобластные лейкозы. К хроническим лейкозам – хронический миелолейкоз, хронический лимфолейкоз, волосато-клеточный, пролимфоцитарный [7].

Среднемировая частота лейкозов составляет около 13 случаев на 100000 населения в год. Заболеваемость лейкозами в XX веке повсеместно росла, особенно после 1930 года. Наивысшая частота лейкозов наблюдается в США, Великобритании, странах Скандинаво-Балтийского региона. В России заболеваемость лейкозами ниже среднемировой, но за период с 1980 по 1988 г. возросла от 9.4 до 13.1 на 100000 [5]. Лейкозы в детском возрасте встречаются с частотой 4.0-4.5 на 100000 детей, составляя приблизительно одну треть всех злокачественных опухолей у детей. Острый лимфобластный лейкоз встречается в 5-6 раз чаще, чем острый миелобластный лейкоз. Мальчики и девочки заболевают практически одинаково часто с небольшим преобладанием мальчиков [7].

### Радиация и лейкозы

На сегодняшний момент почти все исследователи считают, что лейкозы являются следствием повреждения – мутации – кроветворной клетки. Ее бесконтрольное деление и привело к развитию болезни. Экспериментальные и клинико-эпидемиологические наблюдения доказывают, что этиология лейкозов может быть связана с различными мутагенными факторами, главными из которых являются ионизирующая радиация, химические канцерогены, включая лекарства, онкогенные вирусы. Но вопрос причины возникновения заболевания остается открытым, нет четких данных, какая доза может привести к развитию заболевания, какой фактор является ведущим, либо заболевание развивается под действием нескольких факторов, не определена окончательно роль наследственности в развитии болезни. Лейкозы считают «экологическим заболеванием», так как в их возникновении ведущую роль играют факторы окружающей среды.

Радиацию как фактор лейкогенеза выделяют почти все исследователи. Имеются экспериментальные модели на мышах, крысах (в том числе, при однократном облучении высокой дозой гамма-лучей – до 2 Гр и выше, при хроническом действии малых доз в течение не менее чем двух месяцев и при инкорпорации радионуклидов, – например, изотопов иттрия и фосфора), а также сведения о повышенной частоте лейкозов у хибакуса (в 11-18 раз), у радиологов и рентгенологов, у пациентов, подвергавшихся рентгено-радиотерапии по поводу различных болезней (спондилоартрит, эритремия, тимомегалия), у детей, облученных *in utero*. Во всех случаях речь идет о закономерно предсказуемом, дозозависимом повышении риска лейкозов [6].

Установлено, что воздействие на организм человека облучения не проходит бесследно. Развиваются последствия, к которым следует отнести стохастические и нестохастические эффекты. Стохастические эффекты – это эффекты, для которых вероятность возникновения эффекта, а не его тяжесть, рассматривается как фун-

кция дозы без порога. Радиационно индуцированный рак и генетические мутации были определены как стохастические эффекты. Нестохастические эффекты – это те эффекты, тяжесть которых варьирует в зависимости от дозы и для которых поэтому может существовать порог. Нестохастические эффекты возникают при наличии большого количества поврежденных клеток. Отдаленными стохастическими эффектами считаются лейкозы. Связь возникновения лейкозов с ионизирующим излучением отчетливо прослежена на последствиях атомной бомбардировки городов Хиросимы и Нагасаки. Ионизирующие излучения вызывают в основном острые лейкозы и хронический миелолейкоз. Анализ последствий бомбардировки этих двух городов показал, что возрастание частоты заболеваний лейкозами прямо пропорционально расстоянию от эпицентра взрыва. Наиболее значительное учащение лейкозов было зарегистрировано среди жителей Хиросимы. По данным Научного комитета по действию атомной радиации и Международного комитета экспертов в области медицины и здравоохранения, риск заболевания острыми лейкозами возрастал лишь у лиц с дозой нагрузки свыше 1 Гр. Изменения в организме развиваются и при возникновении малых доз ионизирующего излучения. Единого мнения о том, какие дозы излучения следует считать малыми, нет. В медицинской радиологии за малые принимают дозы до 0.5 Гр. По мнению других, значение малых доз колеблется в пределах 0.01-0.05-0.1 Гр. По данным Научного комитета ООН по действию атомной радиации, к малым дозам следует отнести дозы, не превышающие 0.2 Гр. Минимальная доза, обладающая лейкозогенным эффектом, соответствует 0.1-0.2 Гр. Пик заболеваемости наблюдали в городах Хиросима и Нагасаки через 6-10 лет после атомного взрыва, но и через 20 лет частота заболеваемости лейкозами здесь выше, чем в других городах Японии. Среди жителей Хиросимы, получивших дозу радиации больше 3 Гр, заболеваемость составила 140 на 100000 [1].

В результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции в 1986 г. впервые в истории человечества радиоактивному загрязнению были подвержены большие густонаселенные территории. Миллионы жителей Белоруссии, Украины, России оказались в условиях не только краткосрочного, но и долгосрочного воздействия ионизирующего облучения. Ситуация осложнялась тем, что непосредственное радиационное воздействие дополняется долговременным влиянием факторов загрязнения среды обитания продуктами радиоактивного распада ( $^{136}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ), которые длительное время могут накапливаться в организме, попадая в него по пищевым цепочкам с корнеплодами, молоком, мясом. Создавая внутренний источник радиационного воздействия, этот фактор в зависимости от уровня инкорпорации может представлять опасность не только для первичного поражения индивидуумов, но и для их потомства.

Наиболее ранним и выраженным стохастическим последствием облучения является возрастание риска воз-

никновения лейкозов, эпидемиологические закономерности которого установлены при изучении главным образом острого лучевого воздействия при атомных взрывах в Хиросиме и Нагасаки, а также в результате радиационных терапевтических процедур. Например, при облучении позвоночника больных спондилезом в суммарной дозе 17.5 Гр частота острого лейкоза возросла до 16-17 на 100000 обученных, а при увеличении суммарной дозы до 22.5 Гр число лейкозов увеличилось в пять раз. Рентгенологические исследования пациентов могут привести к возникновению лейкозов. Следует помнить, что рентгенография грудной клетки – это около 1 бэра, а рентгеноскопия желудка – 30-40 бэр. При этом основная доза облучения приходится на кроветворную зону (поясничные позвонки, крестец, тазовые кости).

Кооперированные эпидемиологические исследования в Чернобыльском регионе проводили с 1986 г. Загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  свыше 15 Ки/км<sup>2</sup> подверглись территории шесть юго-западных районов Брянской области Российской Федерации. Повышение

показателей смертности от гемобластозов обнаружено в Ровенской области Украины, шесть северных районов которой поражены радионуклидами вследствие аварии на ЧАЭС. Установлено, что смертность от гемобластозов в период 1981-1991 гг. возросла после катастрофы по всей области. Биологические эффекты малых доз облучения при малых мощностях изучены слабо. Для подтверждения радиационной природы лейкозов большое распространение получил анализ хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови. При исследованиях такого рода, выполненных вскоре после аварии, выявлено существенное повышение уровня хромосомных aberrаций у жителей районов, прилегающих к месту катастрофы. В частности, более чем у половины жителей Гомеля и Гомельской области был обнаружен высокий уровень хромосомных aberrаций (дигентрики без фрагментов, ацентрические кольца, хроматидный фрагмент и др.) [1].

Накопленные к настоящему времени данные указывают на возможное лейкозогенное действие некоторых

## ЮБИЛЕЙ



**Ольга Владимировна Шалаева**, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела Ботанический сад 17 марта 2007 г. отмечает юбилейную дату – 50-летие со дня рождения. Она совпала с 25-летием ее плодотворной творческой работы в Институте биологии. В 1981 г., после окончания химико-биологического факультета Сыктывкарского госуниверситета и года преподавательской работы в школе, она пришла в лабораторию интродукции растений (ныне Ботанический сад) и сразу проявила недюжинный интерес к научному творчеству, поиску, экспериментам, новым знаниям. Ее

первые шаги в науке по заданной тематике – интродукции кормовых многолетних злаковых трав, разрабатываемой вначале Н.И. Иевлевым и И.А. Коюшевым, достойно продолжили работы предшественников. Изучение фенотипической изменчивости в популяциях костреца безостого, привлеченных из всех природно-климатических зон Республики Коми, позволили ей в условиях культуры выявить в географическом аспекте наиболее полиморфные популяции данного вида и на их основе отобрать устойчивые в агроценозе. Полученные результаты легли в основу ее диссертационной работы «Внутривидовая изменчивость костреца безостого в Республике Коми», успешная защита которой состоялась в 1998 г. В последние годы О.В. Шалаева большое внимание уделяет вопросам экологического образования, его содержания, философско-методологическим аспектам биологической науки, которые нашли отражение в нескольких публикациях.

Научная деятельность О.В. Шалаевой представлена в более 40 научных публикациях, в том числе двух монографиях. Ольга Владимировна принимает активное участие в выполнении хозяйственных тем и в общественной жизни отдела. Ее успехи в научной и общественной деятельности отмечены благодарностями и грамотами Института биологии, президиумов Коми научного центра УрО РАН и Уральского отделения РАН.

Творческой натуре Ольги Владимировны свойственны и увлечение музыкой, поэзией и огромный интерес к многогранности человеческого знания, интеллекту. А в обычной жизни она человек очень доброжелательный, отзывчивый, честный.

*Дорогая Ольга Владимировна!*

*Коллектив отдела Ботанический сад сердечно поздравляет Вас с юбилейной датой!  
Мы искренне желаем Вам крепкого здоровья, счастья и новых творческих успехов!*

химических веществ (метаболитов триптофана и тирозина), вызывающих хромосомные мутации и активацию латентных вирусов, лекарственных цитостатических препаратов, генетических факторов в развитии лейкозов, электромагнитное излучение. В целом среди специалистов, занимающихся проблемой развития лейкозов, преобладает точка зрения о многофакторности воздействий, вызывающих заболевание.

**Детская заболеваемость лейкозами в Республике Коми**

Исследование заболеваемости различными формами лейкозов детей в возрасте от 0 до 14 лет проводили по материалам медицинской статистики, предоставленным отделением детской гематологии республиканского кардиологического центра, также были изучены медицинские карточки в архивах республиканского кардиологического центра и детской республиканской больницы. Учитывали пол ребенка, дата рождения, район проживания, диагноз, год заболевания, возраст матери, наличие наследственных заболеваний, заболевания крови и

кровеносной системы, онкологические заболевания родственников. По полученным данным с помощью ГИС-технологий была составлена карта распределения уровней заболеваемости по районам Республики Коми. Для этого использовали программу Arc View GIS.

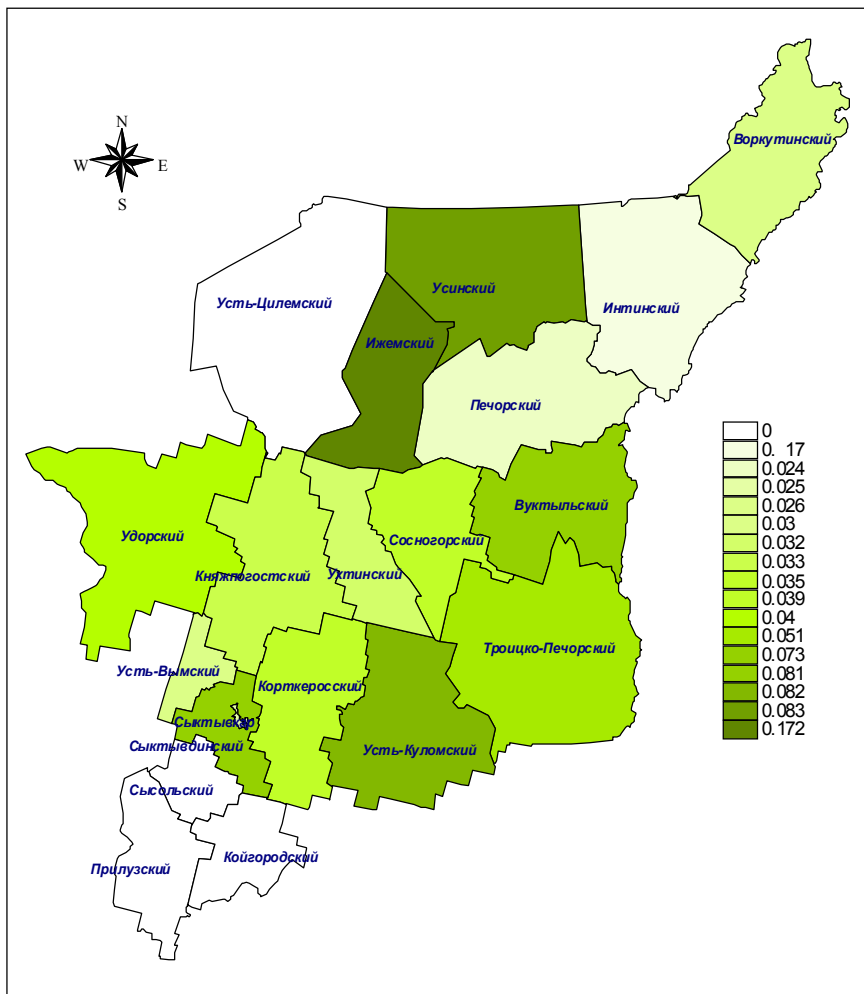
Исследование заболеваемости различными формами лейкозов на территории Республики Коми показало, что за период с 1997 по 2001 г. заболело 44 ребенка. Среднегодовой уровень заболеваемости составил 1.422 на 100000 детского населения. Это ниже, чем в среднем по России, где этот показатель колеблется в пределах 3.4-4.0 на 100000 детского населения. Как и в целом по России наблюдали заметный рост числа заболевших: шесть вновь выявленных случаев в 1999 г., девять – в 2000 и 16 – в 2001. Этот рост происходит на фоне ухудшения экологической обстановки, возрастания уровня радиационной и химической нагрузки. Повышение количества вновь выявленных заболевших в 2001 г. можно объяснить также работой выездных медицинских бригад, которые обнаружили несколько

случаев заболевания в сельской местности, где давно не проводили медосмотры.

Как отмечали, в педиатрической практике преобладает острый лимфобластный лейкоз (от 75 до 90% случаев по данным разных исследователей). Аналогичную ситуацию наблюдали и в Республике Коми. На острый лимфобластный лейкоз приходится 89.8 % от всего числа заболевших, также диагностированы лимфосаркомы (4 %), острый миелобластный лейкоз (4 %) и один случай хронического миелобластного лейкоза.

Мнения разных исследователей о частоте встречаемости лейкозов у мальчиков и девочек разделились. По одним данным, они заболевают с одинаковой частотой, по другим – мальчики болеют чаще девочек [6]. В Республике Коми мальчики болеют чаще девочек. Из 44 зарегистрированных случаев было 16 девочек (36.36 %) и 28 мальчиков (63.67 %). Пик заболеваемости приходится на 3-5-летний возраст (35 % случаев), также наблюдается увеличение заболевших в возрасте 13-14 лет (20 %). Уровень заболеваемости различается по районам (см. карту). Средний коэффициент заболеваемости по республике за пять лет на 100000 населения составил 7.11. Наибольший коэффициент заболеваемости в Ижемском районе (32.47), также заметно превышен средний показатель в Усть-Куломском (15.5), Усинском (15.6), Вуктыльском (15.25), Сыктывдинском (13.6), Троицко-Печорском (9.6) районах. Помимо этого есть районы, где случаев заболевания лейкозами вообще не зарегистрировано. Это все южные районы республики – Прилузский, Койгородский, Сясьский, а также Усть-Цилемский район, расположенный на северо-западе Республики Коми.

Развитие лейкозов – многофакторный процесс, обусловленный внешними и внутренними причинами. Поэтому факторы, повлиявшие на увеличение уровня заболеваемости в отдельных регионах республики Коми, могут быть различны. Одним из ведущих факторов лейкозогенеза общепризнанно является ионизирующая радиация. Как было отмечено, для Республики Коми наиболее значимым радиационным фактором естественного происхождения является радон, а искусственного – медицинские источники ионизирующего излучения, последствия испытаний на полигоне Новая Земля ядерного оружия, добычи и обогащения радия, извлечение на по-





верхность полезных ископаемых. Одной из причин увеличения заболеваемости в Ижемском и Усть-Куломском районах может быть повышенный максимальный уровень содержания цезия-137 и стронция-90 вследствие испытаний на Новой Земле ядерного оружия. Повышенный уровень радиоактивного фона в связи с извлечением полезных ископаемых может являться одной из причин в Воркуте, Усинске, Сосногорске [4]. На уровень заболеваемости в городах республики, а также близлежащих районов, может сказываться увеличение химической нагрузки, в частности повышенное содержание бенз(а)пирена, метилмеркаптана, диоксинов и других токсических веществ в воздухе. К сожалению, недостаток данных не позволяет с точностью судить о зависимости возраста матери и заболеваемости детей. Однако наблюдается тенденция к возрастанию по сравнению со средними показателями количества матерей, чей возраст превышает 30 лет. Это может быть связано с нарушением продукции гормонов у женщины, на фоне которого протекает возрастная беременность, со снижением функции плаценты, воздействием на

половые клетки в течение жизни матери неблагоприятных факторов окружающей среды.

**Выводы**

Исследование лейкозов детей (0-14 лет) в Республике Коми выявило невысокий средний уровень заболеваемости по сравнению с показателями в целом по России и по всему миру. Тем не менее, наблюдается заметный рост числа заболевших. Помимо этого, в нескольких районах (Ижемский, Усть-Куломский, Усинский, Сыктывдинский, Вуктыльский, Троицко-Печорский) уровень заболеваемости лейкозами заметно выше, чем в среднем по республике. Это может быть обусловлено как внешними, так и внутренними причинами. Среди внешних причин необходимо выделить естественные и вызванные деятельностью человека. К естественным причинам относятся геологические особенности территории, солнечная радиация. Факторы, возникшие в результате деятельности человека – это повышенный радиационный фон вследствие испытаний ядерного оружия на Новой Земле, Пермской области, добычи полезных ископаемых, возрастание

доли химической нагрузки. Заболеваемость населения Сыктывкара, Ухты и близлежащих районов может быть обусловлена общей неблагоприятной экологической обстановкой городов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Абдулкадыров К.М., Бессмельцев С.С., Рукавицын О.А.* Хронический миелолейкоз. СПб., 1998. 462 с.
2. Большая медицинская энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1980. Т. 18. 536 с.
3. *Воробьев А.И.* Руководство по гематологии. М.: Медицина, 2002. 462 с.
4. *Глушкова Л.И., Маймулов В.Г., Корабельников И.В.* Обеспечение эколого-гигиенического благополучия в условиях Крайнего Севера: проблемы и решения. СПб., 2002. 298 с.
5. Демографический ежегодник Госкомстата Республики Коми. Сыктывкар. 2002. 127 с.
6. *Зайчик А.Ш., Чурилов А.П.* Механизмы развития болезней и синдромов. СПб., 2002. 507 с.
7. *Климкович Н.Н., Козарезова Т.И.* Болезни крови у детей. Минск, 2001. 325 с.
8. *Павловская Н.* Повлияла ли Чернобыльская авария на распространенность лейкоза // Рус. мед. журн., 1999. Т. 5, № 6. С. 25. ❖



**РЕФЕРАТ**



**ОБЛУЧЕНИЕ В МАЛЫХ ДОЗАХ: ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРОБЛЕМЫ**

Д.б.н. **В. Зайнуллин**  
 зав. лабораторией радиационной генетики  
 E-mail: vzainullin@ib.komisc.ru

Научные интересы: *экология, генетика, радиоэкология*

В течение нескольких месяцев после открытия Рентгена X-лучи были быстро внедрены в практику медицины, поскольку у первых радиологов и работников, контактировавших с облучением, возникали различные формы лучевых поражений и появилась необходимость в исследованиях последствий облучений. Среди первых реакций на облучение преобладали острые реакции кожи – в первые годы описаны сотни таких случаев. Среди первых исследователей, испытавших такие реакции, был Кларенс Мэдисон Дэйли, работа которого с Т. Эдисоном по производству примитивного флюороскопа и работающих ламп Рентгена в 1896 г. привела к лучевым ожогам руки с дальнейшим развитием рака и последующим летальным исходом. Пьер Кюри преднамеренно облучал руку, чтобы наблюдать последствия облучения; Мария Кюри сожгла пальцы при обработке радия; А.А. Беккерель сжег кожу на

груди, перенося пробирку с радий-содержащим хлоридом бария в кармане жилета.

Первые интенсивные наблюдения за реакцией кожи, за биологическими объектами, контактировавшими с облучением, выявили иные типы лучевых поражений, включая радиоиндуцированный рак. Эти исследования, в конце концов, показали, что облучение в большой дозе обязательно приводит к клинической реакции (десятки или сотни Гр, в зависимости от рассматриваемой ткани), что привело к выводу, что существует порог толерантности, при превышении которого и возможны обнаруживаемые эффекты. Подтверждением данной концепции служили данные о том, что фракционированное облучение X-лучами, или γ-лучами приводило к меньшему эффекту, нежели совокупный, т.е. предполагалась возможность восстановления между дозами облучения.

Хотя кривые «доза–эффект» в исследованиях клинических реакций (острое облучение) достаточно полно к настоящему времени исследованы, эффекты меньших доз облучения изучены недостаточно. Неудачи в систематических исследованиях облучения в малых дозах определялись не только статистическими ограничениями, но и тем, что в отношении генотоксических эффектов предполагалась беспороговая концепция – т.е. эффекты облучения в малых дозах обязательно должны быть отрицательными. Случайные наблюдения, показавшие, что при облучении в малых дозах при некоторых обстоятельствах может увеличиваться устойчивость, вообще интерпретировались как свидетельство компенсаторных, или восстанавливающих реакций на воздействие, а не как стимулирующий, или гормезисный эффект. И только в последние годы появились сведения о том, что облучение в малых дозах может приводить к гормезису.

В рассматриваемом обзоре [1] приведены последние данные о влиянии облучения в малых дозах на такой показатель, как выживаемость (продолжительность жизни). Показано, что облучение может приводить к увеличению продолжительности жизни различных групп насекомых, клеток растений, мышей, крыс (табл. 1). Самой вероятной причиной этого эффекта может быть увеличение устойчивости облученного организма, обусловленной различными механизмами – от изменения активности систем репарации до подавления функции гонад. Облучение в разных дозах может стимулировать рост и развитие разных видов (табл. 2). Например, облучение семян в диапазоне доз от 5 до 20 крад может увеличить рост и развитие семян, тогда как большие дозы могут привести к противоположному эффекту. Облучение в дозе 25-50 рад зрелой спермы радужной форели приводит к увеличению числа

эмбрионов. Показано, что при облучении в малых дозах возможно активирование определенных генов «стресс-ответа», облучение приводит к индукции различных факторов роста у растений. Хотя иммунная система очень чувствительна к действию облучения, в некоторых случаях иммунный ответ также может быть стимулирован облучением (табл. 3). Наконец, существует много работ, в которых показана возможность адаптивного ответа, значительно уменьшающего биологическую эффективность последующей (большей) дозы облучения для некоторых типов клеток. Так, облучение клеток китайского хомячка в дозе 1-5 сГр или обработка <sup>3</sup>H-тимидином привела к уменьшению частоты микроядер и сестринских хроматидных обменов после облучения несколькими часами позже в дозе 1 Гр.

Основной механизм реакции «адаптивного ответа» связан со стимуляцией систем репарации. Существуют данные о том, что механизм «адаптивного ответа» 1) является преходящим и не может превышать нескольких часов, 2) индукция адаптивного ответа возможна при облучении в дозах от 5 до 200 мГр, 3) возможность ответа меняется от особи и не может быть определена в клетках нечувствительных особей.

Итак, на сегодня отмечено большое количество данных, свидетельствующих об индукции различных адаптивных и стимулирующих эффектов, обнаруживаемых у биологических систем после облучения соответствующими дозами. Показано, что большая часть стимулирующих эффектов индуцируется облучением в малых дозах, тогда как облучение в больших дозах приводит к цитотоксическому эффекту, определяемому по тем же показателям. Однако, существуют данные о том, что облучение в крайне низких (малых) дозах также может приводить к увеличению частоты нарушений: вы-

Таблица 1

Увеличение выживаемости различных видов после облучения

Облучение	Режим облучения (тип)	Вид	Эффект на выживаемость
Гамма-лучи	0.11-8.8 Р/сутки на протяжении жизни	Мыши (оба пола)	Увеличивается у самцов, но не у самок
Гамма-лучи	0.7-56.7 Р/сутки, хроника	Мыши (самцы)	Увеличивается при малых дозах облучения
Гамма-лучи	19 мГр/сутки и 38 мГр/сутки, хроника	Мыши (самки)	Увеличивается при обеих дозах
Х-лучи, нейтроны	0.5-3 Гр, острая 0.125-1 Гр, острая	Мыши (самцы)	Увеличивается при малых дозах и уменьшается при больших в каждом типе облучения
Гамма-лучи	0.1 Р/ч, 8 ч/сутки на протяжении жизни	Крысы (самцы)	Увеличивается
Гамма-лучи	10-200 Р/сутки; 3-20 кР острая	Мучной жук (оба пола)	Увеличивается при 100 Р/сутки или 3 кР острой
Х-лучи	10-15 крад острая	Муха комнатная (оба пола)	Увеличивается при 10-15 крад у самцов; но уменьшается при более высоких дозах у самцов и при всех дозах у самок
Гамма-лучи	25-45 крад острая	Моль яблоневая (оба пола)	Увеличивается у самцов и самок
Гамма-лучи	0.5-10 крад острая	Сверчок домовый (оба пола)	Увеличивается при 0.5-2 крад у самок; но уменьшается у обоих полов при больших дозах
Х-лучи	2-6 крад острая	Мучной жук (оба пола)	Увеличивается у самцов и самок
Х-лучи нейтроны	750-6000 рад 750-1500 рад	Мучной жук (оба пола)	Увеличивается при всех дозах облучения в обоих типах только у самцов
Х-лучи	20-66 крад острая	Комнатная муха (оба пола)	Увеличивается при 20-40 крад, но уменьшается при 66 крад у самцов, уменьшается при всех дозах облучения у самок

Примечание. Здесь и далее: приведены материалы из работы [2] в нашем переводе.

Таблица 2

Увеличение роста и развития разных видов организмов после облучения

Облучение	Доза	Вид и форма	Эффект на рост и развитие
Гамма-лучи	25-400 рад, острая	Сперма радужной форели	Продукция эмбрионов увеличивалась при облучении в дозах 25-50 рад, но уменьшалась при увеличении дозы, уровень нарушений увеличивался при всех дозах
Гамма-лучи	250-2000 Р, острая	Семена томатов	Увеличение роста при 500-1000 Р, уменьшение при 2000 Р
Гамма-лучи	0.5-20 кР, острая	Семена кукурузы	Увеличение содержания аминокислот в корнях при 10-15 кР
Гамма-лучи	5-50 кР, острая	Семена сены	Увеличение роста при всех дозах облучения
Х-лучи	300-10000 рад	Пыльца сосны	Рост пыльцевой трубки увеличивался при 400-1900 рад, но уменьшался при более высоких дозах
Гамма-лучи			
Х-лучи	1-38 Гр, острая	Суспензия культуры клеток <i>H. gracilis</i>	Выживаемость увеличивалась при облучении Х-лучами в дозах ниже 4 Гр, но уменьшалась при более высоких дозах облучения и при всех дозах при нейтронном облучении
Нейтроны			
Гамма-лучи	0.02 Гр, хроника (семь суток)	Семена <i>Cucumis sativus</i> и <i>Raphanus rafantinum</i>	Увеличивался рост корней и эпикотилия
Гамма-лучи	7-75 мГр/год, хроника	<i>Paramecium tetraurelia</i> и <i>Synechococcus lividus</i>	Увеличение роста при дозах 20-50 мГр/год, но уменьшение при более высоких дозах облучения

явлено увеличение уровня мутаций в экспериментах с «необлученным гомологом»; показано увеличение частоты хромосомных aberrаций у многих видов, подвергшихся облучению Х- или γ-лучами в дозах ниже 0.3 рад у традесканции, 1.0 рад – кузнечика, 5.0 рад – у лилии и в культуре клеток человека; обнаружено увеличение частоты нарушений

линейно с дозой радиации; (5) риск рака щитовидной железы увеличивается линейно с дозой после Х-облучения в детстве и значительно после облучения в дозе 100 мГр.

Без сомнения, воздействие низкоинтенсивных факторов различной природы приводит к разнонаправленным эффектам [1, 2]. Учитывая этот факт,

Таблица 3

Увеличение иммунного ответа после облучения ионизирующей радиацией

Наблюдаемый эффект иммунного ответа на облучение
Увеличение выхода антител на <i>Staphylococcus</i> у кролика при облучении в дозе 100 Р, но уменьшение при облучении в дозе 1000 Р, после облучении всего кролика Х-лучами.
Увеличение выхода антител на клетки красной крови овец у кролика при последующем облучении в дозе 25-100 Р
Увеличение первичного ответа выхода антител на гемоцианин у мышей после облучения в дозе 100-200 Р/неделя гамма-лучами, но подавление его при мощности дозы 300 Р/неделя; вторичный эффект увеличен при всех дозах
Увеличение выхода антител к клеткам красной крови овец в клетках селезенки мышей <i>in vitro</i> после облучения в дозе 5-50 рад Х-лучами, но подавление при облучении в более высоких дозах
Увеличение выхода антител на чужеродные опухолевые клетки после облучения мышей в дозе 15 Р
Увеличение внепланового синтеза ДНК в клетках селезенки мышей после облучения гамма-лучами мышей в дозе 0.025-0.075 Гр, но подавление при более высоких дозах
Ответ лимфоцитов селезенки мышей на антигены увеличивался после облучения гамма-лучами в дозе 0.02 <i>in vivo</i> , но ингибировался при дозе 2.0 Гр
Апоптоз и фрагментация ДНК в тимоцитах мышей при облучении Х-лучами <i>in vivo</i> клеток EL-4 при облучении х-лучами <i>in vitro</i> уменьшались при дозах меньших 0.1 Гр, но увеличивались при более высоких дозах
Чувствительность лимфоцитов человека к интерлейкину-2 увеличивалась после облучения <i>in vitro</i> в дозе 0.25-200 мГр

хромосом у людей, работающих на атомных станциях и проживающих в районах с повышенным радиационным фоном. Кроме того, хотя экспериментальные и эпидемиологические данные, полученные в экспериментах с облучением в малых дозах, интерпретировались некоторыми исследователями с точки зрения уменьшения риска негативных эффектов, необходимо учитывать данные о том, что: (1) общий риск солидных опухолей у перенесших атомную бомбардировку японцев повышается линейно с дозой в дозах ниже 2.5 Зв и значительно возрастает в дозе 5-50 мЗв; (2) выявлен дозо-зависимый уровень лейкемий у работников атомных производств; (3) пренатальное облучение в дозе около 10 мГр Х-лучами увеличивает риск рака у детей; (4) риск рака молочной железы увеличивается

данные о высокой индивидуальной изменчивости как на уровне отдельной особи, так и на уровне физиологии индивидуального развития, крайне сложным, как нам кажется, будет решение о характере дозовой зависимости между величинами исследуемого показателя и исследуемых факторов в диапазоне околофоновых концентраций и доз. Поэтому необходимы дальнейшие исследования механизмов реакции биологических систем на облучение в малых дозах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайнуллин В.Г. «Доза-эффект» в исследовании малых доз радиации // Труды Коми НЦ УрО АН СССР. Сыктывкар, 1988. № 97. С. 93-97.  
 2. Upton A.C. Radiation hormesis: data and interpretations // Critical reviews in toxicology, 2001. Vol. 31, № 4-5. P. 681-695.

**ПЕРВАЯ РАБОЧАЯ ВСТРЕЧА ПО ПРОЕКТУ ЕС  
«ОЦЕНКА БАЛАНСА УГЛЕРОДА В СЕВЕРНОЙ РОССИИ:  
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ (CARBO-NORTH)» (2006-2010 гг.)**

к.б.н. **В. Пономарев**

ученый секретарь по международному сотрудничеству

По результатам объявленного в рамках VI Рамочной программы Европейской Комиссии конкурса проектов, в котором с заявками приняло участие около 800 исследовательских коллективов, получил финансирование на три с половиной года проект «Оценка баланса углерода в Северной России: прошлое, настоящее и будущее» (CARBO-NORTH) с участием четырех исследовательских групп Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Еще в сентябре, задолго до наступления официальной даты начала проекта (1 ноября ушедшего года), была организована и проведена пилотная поездка в Республику Коми представителей ряда организаций – участников проекта. Совместные полевые работы в рамках подготовительных мероприятий по реализации проекта были посвящены отбору участков для долговременного мониторинга баланса парниковых газов, запланированного в рамках проекта в 2007-2009 гг. и прошли в окрестностях поселков Сеида, Абезь и Ляли соответственно Воркутинского, Интинского и Княжпогостского районов Республики Коми.

Координатором проекта является Стокгольмский университет, а в число участников (некоторые места участников проекта все еще остаются вакантными) вошли 17 организаций из восьми стран:

1. Университет Стокгольма, Швеция;
2. Университет Лун да, Швеция;
3. Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вагнера, г. Потсдам, Германия;
4. Университет Грейфсвальда, Германия;
5. Датский институт метеорологии, г. Копенгаген, Дания;
6. Университет Копенгагена, Дания;
7. Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия;
8. Британское управление метеорологии, г. Экзетер, Великобритания;
9. Университетский колледж Лондона, Великобритания;
10. Университет Ноттингема, Великобритания;

11. Университет Хельсинки, Финляндия;

12. Университет Куопио, Финляндия;

13. Университет Утрехта, Нидерланды;

14. Университет Вагенингена, Нидерланды;

15. Малое предприятие «ENSIS», г. Лондон, Великобритания;

16. Малое предприятие (вакансия), г. Сыктывкар, Россия;

17. Университет Аляски, г. Фернбенкс, США.

Целью проекта «CARBO-NORTH» является количественное определение запасов углерода на севере России во временной и пространственной динамике. Исследования направлены на выяснение темпов изменения экосистем, их воздействия на запасы углерода. При этом в центре внимания остаются влияние меняющегося климата земного шара на экономическую политику, определение темпов изменения границы произрастания лесов в Арктике, таяния вечной мерзлоты, скорости деструкции органического вещества почвы, в результате которого увеличивается выделение парниковых газов и имеет место выщелачивание. Свой вклад в изучение высокоширотных экосистем вносят специально подготовленные в рамках проекта климатические модели. Заметим, что темпы изменения экосистем под действием прошлых вариаций климата будут оцениваться по косвенным показателям.

Современные условия окружающей среды будут охарактеризованы с использованием различных подходов, включая оценку природных и антропогенных нарушений, в масштабах начиная от небольшого участка земли и заканчивая обширными ландшафтами. Обстоятельный мониторинг и подробное картирование растительности, почвы и вечной мерзлоты внесут существенный вклад в ход исследований (динамика границ произрастания деревьев; обмен углерода в тундре, лесу, реке; оседание почвы и т.д.). Применение результатов найдет выражение в интегрированном экосистемном моделировании, расчете общего

радиационного эффекта, а также в определении чувствительности прогнозов (с использованием климатической модели) к краткосрочным изменениям окружающей среды.

Размеры ожидаемых изменений и крайняя уязвимость экосистем высоких широт придают этим территориям приоритет в исследовании ранних влияний глобального изменения. В свою очередь, некоторые процессы, происходящие в Арктике, являются важной частью всемирной климатической системы. Сдвиги границ произрастания деревьев и лесных массивов влияют на альбедо и общее содержание углерода, изолированного в фитомассе. Северные богатые органикой почвы и торфяные залежи являются важным естественным депо атмосферного углекислого газа. В то же самое время поверхности влажных торфяников являются и основными источниками метана. Значительную неопределенность представляют общее количество пулов углерода в районе вечной мерзлоты. Динамика вечной мерзлоты влияет на гидрологию суши путем инфильтрации грунтовых вод, пучения грунта при замерзании, его оседания.

Исследуемый регион и четыре избранных участниками проекта участка для интенсивных исследований расположены в низменных районах европейского северо-востока России и характеризуются постепенными изменениями климата, растительности и условий вечной мерзлоты. Широтный уклон соответствует разнице средней годовой температуры в 6 °С, что равнозначно ожидаемому глобальному потеплению в регионе к концу XXI века. Соответственно, использование таких подходов как изучение косвенных данных, мониторинг, моделирование возможных влияний изменения климата (и динамики вечной мерзлоты) на запасы углерода в регионе может быть в дальнейшем дополнено аналогичным сравнением между выбранными таежными и тундровыми участками.

Рабочим планом проекта было предусмотрено проведение первой встречи в Стокгольме на базе Стокгольмского университета. В понедель-

ник 22 января в Стокгольм прибыли практически все участники встречи из 16 организаций и восьми стран, отсутствовали лишь предполагаемые субконтракторы и вакантная организация из Сыктывкара. Открытие мероприятия, как и вся последующая работа в рамках встречи, прошло на базе Департамента физической географии и четвертичной геологии университета Стокгольма, профессор которого и давний друг и партнер Института биологии Питер Кури персонально и является координатором проекта «CARBO-NORTH».

Ровно в 9<sup>30</sup> 23 января и на правах принимающей стороны Питер Кури представил участников встречи и познакомил новых членов команды с предысторией проекта, в основных чертах связанной с успешной реализацией уже завершенных международных проектов «TUNDRA», «PERUSA», «ARCTICA», «SPICE», «GLIMPSE», в каждом из которых важнейшую, если не витальную роль сыграл Институт биологии.

Далее в точном соответствии с программой встречи состоялось обсуждение рабочего плана, хода подписания Консорциального соглашения, было достигнуто общее согласие партнеров в отношении определения заявленных по конкурсу субконтракторов и поиска последнего российского партнера и, кроме того, рассмотрены всевозможные практические аспекты.

Предусмотренный расписанием встречи сразу после вступительной части обзор рабочих программ проекта открыла Аннет Ринке (Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вагнера).

Пакет программ 2 «Изменчивость и изменения климата в регионе: прошлое, настоящее и будущее» будут совместно выполнять Стокгольмский университет; университет Хельсинки; Университетский колледж, Лондон; Датский институт метеорологии; Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вагнера, Потсдам. Среди задач пакета программ:

- Определить естественную изменчивость в прошлом: изменение климата в голоцене;
- Выявить изменчивость климата и типов погоды в современных условиях;
- Оценить будущие изменения регионального климата;
- Оценить колебание и роль естественной изменчивости в прогнозировании климата.

Каждый раз при обсуждении содержания работ по тому или иному пакету программ общее выступление его лидера сопровождалось сообще-

ниями-презентациями представителей организаций-участников и весьма бурными дискуссиями, постоянно заставлявшими координатора с повышенным вниманием следить за регламентом встречи.

Рабочий пакет программ 3 «Динамика ландшафта в вечной мерзлоте» (презентация лидера пакета Питера Кури). Исполнители – Стокгольмский университет; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; субконтракторы; университет Аляски, Фернбенкс; Датский институт метеорологии; Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вагнера, Потсдам.

Цели:

- Нанести на карту и провести мониторинг условий вечной мерзлоты на участках исследования, расположенных в тундре:

(Здесь и далее: когда речь идет о конкретных задачах, выполняемых с участием Института биологии, мы не ограничиваемся самыми общими словами, давая более детальную характеристику содержания работ). Будут созданы подробные карты вечной мерзлоты на уровне ландшафта, связанные с основными геологическими картами, дано объяснение условий вечной мерзлоты для трех участков исследования в тундре (вечная мерзлота на четвертом участке отсутствует, поскольку он находится в тайге). В настоящее время карт вечной мерзлоты такого качества для региона нет.

- Произвести одномерное моделирование динамики вечной мерзлоты на исследуемых участках;

- Выявить потенциальные физические изменения ландшафта вследствие потепления:

Будет доказано, что под влиянием изменяющегося климата и связанного с ним таяния вечной мерзлоты, дифференциальная просадка грунта является решающим фактором в изменении физических характеристик ландшафта и формы гидрографической сети.

- Определить чувствительность предсказаний климатической модели к изменяющимся условиям вечной мерзлоты

Рабочий пакет программ 8 «Экстраполирование и интегрированное моделирование» (Ричард Беттс, университет Лунда). Исполнители – университеты Лунда и Хельсинки; Британское управление метеорологии, Экзетер; Датский институт метеорологии. Предусмотрены:

- Экстраполяция репрезентации процессов для усовершенствования крупномасштабных моделей экосистем;

- Определение крупных откликов экосистем на изменения климата в недавнем прошлом и по сценариям повышения и стабилизации содержания парниковых газов в будущем;

- Оценить общее радиационное усиление как результат взаимодействия экосистем и атмосферы в недавнем прошлом и по сценариям повышения содержания парниковых газов и их стабилизации в будущем;

- Определить чувствительность прогнозирования глобального климата к различным уровням общего радиационного усиления на панарктической территории.

Рабочий пакет программ 4 «Тайга и динамика верхней границы леса» (Тармо Виртанен, университет Хельсинки). Исполнители – университеты Хельсинки, Стокгольма, Лунда и Грейфсвальда, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. Именно в этом блоке проекта будут проведены исследования баланса углерода в лесных экосистемах окрестностей пос. Ляли группой сотрудников отдела лесобиологических проблем Севера под руководством К.С. Бобковой, доклад которой с большим интересом был заслушан участниками встречи. Запланированы следующие задачи:

- Классифицировать земельный покров лесной территории и измерить фитомассу;

- Выяснить влияние лесохозяйственной деятельности на баланс углерода:

Деятельность человека, особенно лесохозяйственная, способна радикально изменить лесные экосистемы. Добыча леса была важной составляющей экономики северо-востока европейской России, но в 90-е гг. XX в. количество лесозаготовок уменьшилось. В настоящее время идет возрождение отрасли. Все больший интерес к таким крупным лесным ресурсам проявляют западные компании. Существует много планов по улучшению доступа к ресурсам через совершенствование старых и постройку новых железнодорожных путей. Таким образом, понадобится сбор и анализ информации о добыче леса в прошлом, настоящем, а также и в будущем относительно влияния на углеродный баланс.

- Произвести пробы потоков углерода в лесных и северных торфяниковых экосистемах:

На протяжении полутора лет будут проведены измерения потоков углерода в таежных лесах и торфяниках и затем они будут смоделированы относительно климатических условий. Подобные исследования являются абсолютно беспрецедентными для тайги севера европейской России.

- Изучить динамику участков, расположенных на арктической границе произрастания лесов;

- Темпы перемещения границ произрастания лесов и темпы образования торфа в заболоченных территориях в период голоцена;

- Проверить чувствительность предсказаний климатической модели к условиям поверхности земли

Рабочий пакет программ 5 «Динамика тундры: объединение физических, химических и биологических процессов» (Пертти Мартикайнен, университет Куопио). Исполнители – университеты Куопио, Копенгагена, Ноттингема, Хельсинки, Датский институт метеорологии; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вагнера, Потсдам.

Цели исследований:

- Создать классификацию поверхности тундры и измерить фитомассу;
- Определить динамику газов на уровне микроучастка;

- Провести измерения динамики CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> с помощью метода турбулентной ковариации;

- Определить степень антропогенного воздействия на тундровые территории;

Результаты прямого физического антропогенного влияния на поверхность земли, почву, вечную мерзлоту и, соответственно, на газодинамику тундры будут оцениваться по степени отклонений около объектов нефтяной и газовой инфраструктуры на торфя-

ном плато/термокарстовом комплексе бассейна верховий р. Колва. Планируется исследовать потоки CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в период вегетации на микроучастках, которые находятся под таким воздействием и, кроме того, количественно определить отклик газодинамики на антропогенные изменения ландшафта. Результаты сопоставят с данными, полученными на нетронутых тундровых территориях.

- Оценить условия продвижения верхней границы произрастания лесов в результате наличия питательных веществ;

- Выяснить чувствительность прогнозов климатической модели к изменяющимся условиям поверхности земли.

На общем выступлении проф. Пертти Мартикайнена программа первого дня рабочей встречи была завершена. Она возобновилась 24 января продолжением обсуждения пакета 5 (в частности, с презентацией об исследованиях антропогенного влияния на баланс газов в тундре выступила Елена Патова, Институт биологии) и представлением рабочего пакета программ 6 «Распределение, пулы и подверженность к разложению органического вещества почвы» (Галина Мажитова, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН). Исполнители – Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; университет Стокгольма; Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вагнера, Потсдам; Датский институт метеорологии. Среди целей пакета:

- Нанести на карту и интерпретировать распределение почвы на уровне ландшафта.

Будет нанесено на карту и интерпретировано распределение почвы на ландшафтном уровне с учетом климата, поверхности земли, уклона, направления (аспекта), геологии поверхности и условий вечной мерзлоты. Для четырех участков исследования в формате ГИС выполнят подробные карты согласно российской и WRB-классификаций, которые будут применяться при проведении анализов.

- Проанализировать ландшафтное распределение органического вещества почвы, плотность и общую химию:

Предлагается провести анализ распределения органики почвы по плотности на ландшафтном уровне, а также дать общую химическую характеристику по различным экоклиматическим и почвенным параметрам (тундра–тайга, территории вечной мерзлоты–незадетые вечной мерзлотой, активный слой–вечно мерзлые горизонты). Протестируют индикаторные значения простых химических характеристик на качество ОВП (отношение C/N, колориметрия торфа) с использованием более сложных методов. Используют региональные схемы земной поверхности и классификации почвы, проведут экстраполирование пулов органического вещества почвы.

- Определить скорость накопления углерода в период голоцена;

- Определить восприимчивость органического вещества почвы к распаду;



## ЮБИЛЕЙ

### ДОБРОТА И ЧУТКОСТЬ – ГЛАВНЫЕ ЧЕРТЫ ЮБИЛЯРА!

Имя **Анны Александровны Мартюшовой** хорошо знакомо всему коллективу Института шестидесятых-восьмидесятых годов.

Она пришла работать в Коми филиал АН СССР в 1956 г. в лабораторию интродукции растений. В те годы начинались исследования с новыми кормовыми растениями, обладающими высокими продукционными качествами в условиях Севера. Это борщевик, гречиха Вейриха, топинамбур, мальва, редька масличная, горчица белая, окопник шершавый, маралий корень, сальфия и др. Анна Александровна каждое лето работала в поле – вела наблюдения на опытных делянках, зимой вела камеральную обработку материалов. Заведующий лабораторией д.с.-х.н. К.А. Моисеев был бесконечно рад такому надежному помощнику-труженику.

С организацией Института биологии (1962 г.) ее попросили быть секретарем канцелярии Института. И на этом посту она выполняла большую работу. Компьютеров еще не было и сейчас трудно представить, как управлялась одна Анна Александровна с канцелярской работой всего Института!

*Дорогая Анна Александровна,  
сердечное Вам спасибо за Ваш самоотверженный труд, за Вашу доброту!  
Коллектив Института биологии горячо поздравляет Вас с 75-летием,  
от всей души желает Вам здоровья, счастья, благополучия!*

• Определить чувствительность прогнозов климатической модели к усовершенствованным схемам почвы:

Применяя климатическую модель Арктики высокого горизонтального разрешения, которая объединяет в себе данные об атмосфере, поверхности и почве, определяют чувствительность прогнозов современного и будущего климата в регионе к условиям и параметрам грунта. В центре внимания будут находиться исследования температуры почвы и выделения воды, цикла атмосферной воды и запаса поверхностной энергии. Проведут анализ роли замораживания грунтов в изменении регионального климата в будущем. Изучат сезонные и региональные взаимодействия почвы и климата, например, отклики в системе почвенная вода–осадки, их силу.

Рабочий пакет программ 7 «Влияние климатических и экологических изменений на изменение стока и химии воды» (Ренс ван Биик, университет Утрехта). Исполнители – университеты Утрехта, Хельсинки и Вагенингена; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; университетский колледж, Лондон. Предусмотрено:

• Провести наблюдение за гидрохимической динамикой северных рек: Вместе с мониторингом химических характеристик воды и наносов будет организован мониторинг гидравлики рек (сток, высота уровня воды по рейке, температура воды и толщина ледяного покрова) с целью определить накопление и перенос углеродсодержащих веществ в речной сети. Произведут отбор проб из двух-трех водосборов, которые отличаются своеобразием поверхности земли и климати-

ческих характеристик (реки Большая Роговая, Ачим и, в зависимости от финансовых возможностей западных партнеров, Адзва). В течение первых двух лет проекта в устьях данных рек будут проводить мониторинг химических параметров воды и гидравлики, что даст представление о процессах, происходящих в них, и поможет провести другие мероприятия этого блока работ. Соберут данные о долговременных наблюдениях за динамикой рек со станций и дополнят ими высококачественные, но краткосрочные данные, полученные во время проведения проекта. Кроме того, эту информацию используют в качестве калибровочных и проверочных величин при моделировании.

• Определить количество биогеохимических взаимодействий органических соединений и их транспорт в речную сеть через почвенную систему;

• Восстановить изменения концентрации DOC и POC и водной продуктивности северных озер в прошлом;

• Дать оценку влияния климатического и экологического изменения на сток DOC и POC через речную систему;

• Выяснить чувствительность стока DOC и POC северными реками к климатическим и экологическим изменениям.

Рабочий пакет программ 1 «Управление проектом, материально-техническое обеспечение и стратегии распространения информации о проекте» (Василий Пономарев, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН). Исполнители – Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; университет Стокгольма; малые пред-

приятия Великобритании и России). Цели данного блока проекта:

• Создать брошюру и сайт в Интернет (с обновлениями);

• Разместить в Интернете базы мета-данных и ГИС-платформы;

• Распространять информацию и популяризировать проект;

• Проводить собрания, семинары, заключительный симпозиум;

• Организовать и провести совместные полевые исследования, а также мониторинг по измерению потоков углерода:

Участники проекта объединят усилия в деятельности, направленной на одновременное измерение потоков газа и речных потоков в тайге и тундре, что облегчит интеграцию результатов. Проведение совместных полевых исследований в осенне-летние периоды в течение двух лет минимизирует затраты по найму вертолета и придаст наблюдениям взаимозаменяемый характер. Ответственным за большую часть логистики является Институт биологии. Финансовые ресурсы на обеспечение данных работ проходят по пункту «Затраты на управление».

После завершения представления организационной структуры и пакетов рабочих программ проекта все участники встречи разделились по интересам на шесть рабочих групп, в которых и прошли оживленные вечерние дискуссии второго дня встречи по следующим темам и направлениям:

• Базы данных и приобретение; форматы данных для моделирования; прочие данные;

• Базы данных ГИС и приобретение космоснимков;

## ЮБИЛЕЙ

**Софии Григорьевне Омельянович – 65 лет.**

Более пяти лет она трудится в бюро пропусков Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

К выполнению своих обязанностей Софья Григорьевна относится очень ответственно, отличается требовательностью и принципиальностью.

Она прекрасный, отзывчивый человек, хорошая мать, бабушка.

*Сердечно поздравляем со славной датой, желаем доброго здоровья, успехов в охране нашего биологического дома науки, бодрости духа, семейного благополучия и еще:*

*Желаем радостей земных,  
Тепла друзей, любви родных.  
И чтоб без горестей и бед  
Прожить еще немало лет!*



Коллектив Института биологии

- Весенняя экспедиция 2007 г.;
- Летняя экспедиция 2007 г.;
- 5 и 6. Районы интенсивных исследований и начало изучения баланса парниковых газов.

Заключительная сессия 1-й рабочей встречи по проекту прошла 25 января и была посвящена рапортам представителей рабочих групп, обсуждению формы и содержания отчетности перед Европейской комиссией, процедур перечисления средств партнерам, сроков и места следующей рабочей встречи, родственных проектов и связей с другими программами, подборам кандидатур внешних советников и др. На этом рабочая встреча

была завершена. 26 и 27 января ее участники разъехались по своим странам, городам и организациям.

Здесь необходимо особо отметить, что ранее реализованные в регионе проекты прояснили ситуацию с рядом ожидаемых признаков относительно климата, растительности, почвы и вечной мерзлоты. Пробелы же имеются в определении прошлых, настоящих и будущих региональных запасов углерода. Главной задачей проекта «CARBO-NORTH» является заполнение таких пропусков путем понимания решающих процессов в пространственной и временной динамике откликов эко-

систем и их интегрированное моделирование до регионального уровня.

Общая новизна проекта заключается в выявлении двух особенностей, касающихся запасов углерода в высокоширотном регионе: 1) темпы в условиях изменения климата, при которых происходят физические изменения и нарушения земли и экосистем; 2) интеграция запасов углерода в экосистемах на уровне ландшафта, участка и региона. Для решения данных вопросов и был образован консорциум, где каждый партнер проводит передовые в своей области исследования, а исследовательская программа проекта направлена на объединение полученных результатов.

### ДЕСЯТОЕ МЕЖДУНАРОДНОЕ СОВЕЩАНИЕ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ ПО ГУСЯМ WETLANDS INTERNATIONAL (26-31 января 2007 г., Ксантен, Германия)

к.б.н. О. Минеев

Десятое юбилейное международное совещание группы специалистов по гусям и 12 конференция по гусям Wetlands International состоялись в Германии, в г. Ксантен с 26 по 31 января 2007 г. С 1980-х годов конференции по гусям проходили под эгидой Wetlands International (ранее МБИВ – Международное бюро по изучению водоплавающих, IWBR). В октябре 1981 г. симпозиум IWBR по популяционной экологии гусей проходил в г. Дебрецен (Венгрия), в феврале 1989 г. симпозиум IWBR по гусям Западной Палеарктики – в г. Клеве (район нижнего Рейна, Германия). Согласно решению исследовательской группы по гусям IWRB, принятому в Страсбурге (декабрь 1994 г.) на международном совещании «Anatidae 2000», было решено проводить регулярные совещания, посвященные этой группе птиц. С тех пор было проведено девять международных конференций по гусям:

- 1° Долина нижней Одры (Польша) ноябрь 1995
- 2° Мартин Мере (Великобритания) декабрь 1996
- 3° Каварна (Болгария) февраль 1998
- 4° Матсushima (Япония) январь 1999
- 5° Де Хаан (Бельгия) январь 2000
- 6° Рооста (Эстония) апрель-май 2001
- 7° Кото Донана (Испания) декабрь 2002
- 8° Одесса (Украина) март 2004
- 9° Шопрон (Венгрия) ноябрь 2005

Ксантен расположен в нижнем течении р. Рейн и входит в состав германской федеральной земли – Нордрейн-Вестфалия. Здесь находятся наиболее важные в Германии места зимовки гусей. Ксантен основан в ранние средние века, но корни его уходят к временам римской империи. Вначале это был военный лагерь римлян, а с I века нашей эры стал римским городом – Colonia Ulpia Trajana, он был расположен за каменными стенами. После падения

Римской империи на римском кладбище была построена часовня Святого Виктора, а в VI веке рядом с ней был основан монастырь. Эти строения стали центром средневекового Ксантена (от латинского Сантен – святой), который получил права в 1228 г. Город окружен остатками римской архитектуры – амфитеатр, колоннада, каменные укрепления и т.п. В центре старого города возвышается готический кафедральный собор (построен в XII-XIII вв.), который является самым крупным после Кёльнского собора к северу от Кёльна.

Конференция проводилась в молодежной туристической гостинице, расположенной на берегу оз. Зюдзее в трех километрах от центра Ксантена. Молодежный отель был построен в 2003 г. и имеет все современные удобства. Турбаза располагает 50 комнатами, семью залами (на 30-180 персон) для проведения конференций, баром, столовой, прачечной самообслуживания со стиральными машинами и сушилкой, Интернет-терминалом, Интернет-соединениями во всех залах и террасой с видом на озеро. Зюдзее – искусственное озеро, которое находится в пойме р. Рейн. Оно регулярно используется белолобыми гусями, гуменниками и серыми гусями для зимовок. Если повезет, здесь также можно наблюдать короткоклювого гуменника, пискульку и краснотопку казарку.

Вечером 25 января я прибыл в аэропорт Дюссельдорфа, где меня встретил сотрудник оргкомитета по имени Нильс, и спустя час мы прибыли в Ксантен. На следующий день происходило массовое прибытие и регистрация участников конференции. Утром до начала регист-



Доктор Йохан Х. Моой – директор биологической станции Везель (BSKW), президент Норд-Рейн-Вестфальского орнитологического общества (NWO), спикер группы проектов «Экология гусей» Германского орнитологического общества (DOG), организатор 10-го совещания группы специалистов по гусям Wetlands International в г. Ксантен (Германия).



рации, по просьбе председателя оргкомитета совещания Йохана Моой, я и коллега из Узбекистана Евгения Лановенко дали интервью германскому телевидению о наших исследованиях. Оно прошло на фоне стай гусей, кормящихся на сельскохозяйственных полях в пойме р. Рейн.

В совещании приняли участие 119 человек из Финляндии, Швеции, Украины, Нидерландов, Германии, Дании, США, Венгрии, Норвегии, Англии, России, Эстонии, Франции, Бельгии, Казахстана, Узбекистана, Чехии, Румынии, Словакии, Азербайджана и Ирландии. Россию представляли 11 человек. Символом Десятого международного совещания по гусям был белолобый гусь.

На открытии совещания с приветственным словом к его участникам обратились хорошо известные в Германии лица: лидер партии представленной в парламенте Северной Рейн-Вестфалии – Хельмут Шталь, президент административного округа г. Дюссельдорф – Юрген Бюссов, заместитель члена совета района г. Везель – Хайнц Дамс, бургомистр Ксантена – Кристиан Штрук, председатель группы специалистов по гусям Wetlands International – Барт Эббинге и организатор нынешнего совещания, директор биологической станции в г. Везель – Йохан Моой. После торжественного открытия совещание приступило к реализации намеченной программы. На заседаниях было заслушано 73 устных доклада. В ночное время в одном из конференц-залов работала постерная секция (она была также доступна и в любое другое время). На ней было представлено 24 доклада.

В ходе работы совещания были рассмотрены следующие вопросы: изучение миграций гусей и определение миграционных путей благодаря кольцеванию; места остановок мигрирующих птиц и места зимовок в различных регионах Европы и Азии; изучение полного миграционного цикла гусей с использованием GPS технологий. Обсуждались изменения численности гусей на местах зимовок и причины этих изменений. Были заслушаны доклады о выживании различных видов гусей в результате охоты на них, о влиянии дистанции стрельбы на результаты охоты и способы увеличения эффективности стрельбы для снижения количества подранков. При обсуждении взаимосвязи гусей и птичьего гриппа рассмотрены вопросы: роль диких гусей в распространении птичьего гриппа; ситуация с птичьим

гриппом в Африке; современное состояние птичьего гриппа; состояние высокопатогенного штамма птичьего гриппа H5N1 в популяциях водоплавающих птиц.

На совещании прозвучали интересные доклады о поведении, гнездовой биологии, популяционных трендах, экологии, местообитаниях и фенотипических вариациях белолобого гуся. К этой же тематике относилось изучение миграционных путей белолобого гуся с применением спутниковых передатчиков, увеличения численности, в том числе расширение колоний гнездящихся белолобых гусей и белошеких казарок, изменения возрастного состава в популяциях гусей. Большое внимание на совещании было уделено рассмотрению воздействия изменений климата на популяции гусей, емкости и продуктивности приморских травяных лугов для обитания гусей, влиянию паразитов и заболеваний гусей, гнездящихся в Арктике. Наш доклад (совместно с Ю.Н. Минеевым) был посвящен экологии гнездования белолобого гуся в восточноевропейских тундрах. В нем были приведены новые данные о распространении, экологии размножения, численности и местах массового гнездования белолобого гуся.

В вечерние часы параллельно проводились заседания по некоторым редким видам гусей: пiskuльке, краснозобой казарке, короткоклювому гуменнику, серому гусю и черной казарке. На этих заседаниях обсуждались и планировались дальнейшие исследования по изучению генотипов, миграциям, влиянию охранных мероприятий, ежегодных трендов популяций и реинтродукции некоторых видов. Материалы конференции будут опубликованы в одном из специальных выпусков журнала Wetlands International.

Информация, изложенная в докладах и постерах, свидетельствует о необходимости тесной кооперации ученых из различных стран по изучению различных аспектов биологии гусей. Прозвучавшие доклады о популяционных трендах, основных местах размножения гусей свидетельствуют о необходимости усиления контроля над охотой на местах зимовок, гнездования и миграционных путях. Совещание рекомендовало активно проводить разъяснительную и образовательную работу среди охотников и природопользователей. В значительной мере по вине этой категории лиц гибнут гуси, находящиеся под угрозой исчезновения. Было признано, что



Автобусная экскурсия в пойму Нижнего Рейна.



Панорама г. Гамбург с видом на собор Св. Михаэля (Михаэльскирхе). Вид с башни полуразрушенного собора Св. Николая (Николаенкирхе).

ежегодные совещания Рабочей группы по гусям Wetlands International являются организующими и необходимыми для координации исследований и поиска новых моментов в деле изучения гусеобразных птиц во всем мире. Хотелось бы отметить, что в настоящее время исследования по гусеобразным, в том числе по гусям, в нашей стране заметно отстают от подобных исследований в западных странах. Одним из самых положительных моментов работ западных ученых является комплексность исследований, позволяющая получать результаты, объясняющие различные биологические процессы в популяциях птиц. Особенно велик разрыв в исследованиях по генетике, экологии, поведению и миграции гусеобразных птиц. Основным интересом иностранцев к исследованиям российских специалистов большей частью связан с тем, что большинство популяций гусей, зимующих в странах Западной Европы, гнездится на территории России.

Приятно порадовало то, что Десятое совещание по гусям Wetlands International вызвало в Германии большой интерес и поддержку крупных правительственных и общественных организаций, благодаря чему стало возможным эффективное участие в конференции такого большого количества ученых из разных стран мира.

Программа пребывания в Ксантене была очень насыщенной. Заседания заканчивались около полуночи, после этого начинались постерные сессии. В один из вечеров состоялась экскурсия по городу. Мы осмотрели готический собор, который является одной из главных достопримечательностей города. Экскурсовод подробно рассказал о соборе, объяснил значение деталей, которые не замечает непосвященный человек. После посещения собора участники совещания были приглашены в городскую ратушу, где бургомистр устроил банкет в честь конференции и его участников. Рабочий день закончился постерной сессией.

После двух дней работы конференции состоялась экскурсия в места зимовок гусей в пойме Нижнего Рейна. Экскурсии сопутствовали похолодание и снежные заряды. Обед состоялся на биологической

станции Крайс Везель (г. Везель). В послеобеденное время были продолжены наблюдения за пролетом гусей на ночевку на о-в Бислихер. Во время работы конференции погода в Германии в основном была пасмурная и дождливая. Еще до начала конференции здесь погулял ураган «Кирилл», и последствия его буйства можно было увидеть в Ксантене – поваленные группы деревьев, оторванная от здания турбазы обшивка.

После окончания конференции, 31 января, мы с коллегами отправились в Гамбург к проф. Николаусу Энгелю, сотруднику Гамбургского университета, для обсуждения планов по изучению пискульки, освоению новых методик по кольцеванию и взятию проб для генетического анализа. На следующий день мы посетили зоологический факультет Гамбургского университета, где провели практически весь день. Свободное время посвятили изучению достопримечательностей. Гамбург – один из самых крупных и старых городов Германии, где проживает около 2 млн. чел. В годы второй мировой войны Гамбург был практически полностью разрушен бомбардировками «союзников». Бомбардировки носили название «Операция Гоморра». В послевоенное время Гамбург был отстроен заново. Так что здесь довольно трудно найти древние постройки, а из средневековых улиц осталась всего лишь одна. Во время походов по городу посетили знаменитый морской порт. Своими громадными размерами поразил туристический лайнер «Куин Мэри», находившийся в это время в порту. Осмотрели Собор Св. Михаэля (Михаэлькирхе), который является символом города. Вершина этого собора является самой высокой точкой Гамбурга – 150 м. От готического собора Св. Николая (Николаенкирхе), построенного в XII веке, после бомбардировок 1943 г. осталась лишь башня, несколько стен и подвал. В подвале находится музей вин, а на смотровую площадку башни (высота 147 м) для осмотра панорамы города вас поднимет лифт. Этот собор специально не стали восстанавливать и оставили в нападении потомкам. В центре города располагается очень красивое здание городской ратуши.



## ИСТОРИЯ



### ХРОНИКА СТАНОВЛЕНИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КОМИ ФИЛИАЛЕ АН СССР

к.б.н. О. Попова

Ровно 50 лет назад, 7 марта 1957 г. в Коми филиале АН СССР впервые прозвучало слово «радиобиология». Из Москвы только что возвратился работавший тогда в филиале д.б.н., профессор, заведующий отделом животноводства и зоологии П.Ф. Рокицкий. В Москве Петр Фомич принимал участие в координационном совещании Отделения биологических наук, посвященном современному состоянию биологии в стране. Информация, которую он привез, была исключительно важна. Совещание ставило перед биологами вопрос о переориентации сил на радиобиологическую тематику в связи с растущей угрозой глобального загрязнения биосферы Земли радиоактивными осадками, возникающими в результате массового испытания ядерного оружия. Специфика региона Республики Коми – особая подверженность северных широт выпадению радиоактивных осадков, а также наличие на ее территории природных



Петр Фомич Рокицкий, генетик, один из основателей радиологических исследований в Коми филиале АН СССР.

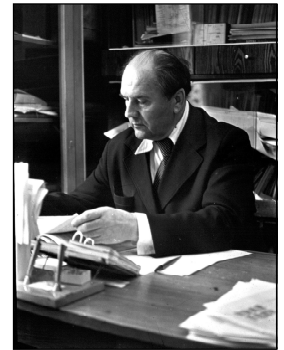
участков с повышенным естественным фоном радиации – подсказали ученому целесообразность включения биологов Коми филиала в разработку нового научного направления. Предложение нашло горячую поддержку в лице Председателя Президиума филиала П.П. Вавилова. Большой интерес к проблеме и готовность к немедленному ее разрешению проявил и аспирант отдела животноводства и зоологии В.И. Маслов.

День 7 марта 1957 г. можно с полным правом считать точкой отсчета зарождения в недрах нашей республики радиоэкологических исследований.

\* \* \*

### Слово о Всеволоде Ивановиче Маслове

В Институте биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН отметили 90-летие Всеволода Ивановича Маслова. Память об этом выдающемся ученом-радиоэкологе останется в сердцах многих специалистов в этой области науки. В этой связи хотелось бы отметить, что с именем Всеволода Ивановича связаны крупные достижения в области изучения миграции тяжелых естественных радионуклидов в окружающей среде. Под его руководством выполнены уникальные эксперименты по изучению действия повышенного радиационного фона на популяции растений и животных в природных условиях. Радиоэкологи старшего поколения хорошо помнят «северную радиоэкологию», которую олицетворяли специалисты под руководством В.И. Маслова. Всеволод Иванович обладал хорошими организаторскими способностями. Институт биологии не раз становился местом крупных форумов по радиоэкологии и радиобиологии. В.И. Маслов любил природу, знал ее, а их семейный очаг вместе с супругой Кларой Иосифовной не раз был местом доброжелательных встреч и научных дискуссий. В.И. Маслов воспитал прекрасную плеяду учеников и последователей. Его работы остаются и сейчас высокоцитируемыми. Всеволод Иванович Маслов навсегда останется в наших воспоминаниях как видный учёный, прекрасный организатор науки и человек высоких достоинств.



Всеволод Иванович Маслов, первый заведующий лабораторией радиоэкологии в Коми филиале АН СССР.

Академик Россельхозакадемии **Р.М. Алексахин**, директор Всероссийского научно-исследовательского Института сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии Россельхозакадемии, вице-президент Международного союза радиоэкологии

## СКОЛЬКО РАДИЯ БЫЛО ДОБЫТО НА «ВОДНОМ ПРОМЫСЛЕ»?

А. Кичигин

«Водный промысел» был и остается единственным в мире предприятием, где радий выделяли из подземных минерализованных вод. Этот факт уже обеспечивает ему особое место в истории мировой науки и техники. Кроме того, в Советском Союзе «Водный промысел» был практически единственным поставщиком этого редкого и дорогостоящего металла. Сфера применения радия была ограничена, однако ничем иным заменить его было невозможно – до конца 1940-х годов, когда с созданием ядерной энергетики появились и были введены в практику искусственные радиоизотопы, радий был единственным радионуклидным источником ионизирующего излучения. Мы попытались выяснить объемы выпуска радия на «Водном промысле».

### Радиоизотопный состав продукции «Водного промысла»

Известно, что в природных условиях встречаются четыре изотопа радия, из которых наибольшее практическое

значение имеет  $^{226}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 1600$  лет), член радиоактивного ряда урана. Именно этот радиоизотоп был открыт супругами Пьером и Марией Кюри в 1898 г. и назван «радий». Поэтому, когда разговор идет о радии, то, как правило, имеется в виду именно  $^{226}\text{Ra}$ . Но в природе в значительном количестве имеется другой изотоп радия –  $^{228}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 5.75$  года), член радиоактивного ряда тория. Отто Ганн, открывший этот радиоизотоп в 1907 г., назвал его «мезоторий»<sup>1</sup>. Эффективных методов разделения этих изотопов радия нет. Так как урановых минералов, полностью свободных от примеси тория, в природе не существует, то в любом свежеполученном радиевом препарате кроме  $^{226}\text{Ra}$  в том или ином количестве присутствует  $^{228}\text{Ra}$ . Из-за короткого периода полураспада, удельная активность  $^{228}\text{Ra}$  в 276 раз выше, чем  $^{226}\text{Ra}$ . Поэтому даже небольшое его присутствие значительно увеличивает активность радиевого препарата. Если примесь мезотория к  $^{226}\text{Ra}$  в массовом отношении составит всего 0.36 %, то

на его долю придется половина всех радиоактивных распадов.

В начале 1930-х гг. в воде Ухтинского месторождения радиоактивных вод содержание мезотория было 0.3-0.5 % [7], что обеспечивало от 45 до 58 % удельной активности воды. В пробах воды, отобранных в скважине № 1 «Казенная» в 1927 и 1928 гг., содержание  $^{226}\text{Ra}$  составляло  $7.48 \cdot 10^{-9}$  г/л, а  $^{228}\text{Ra} - 2.1 \cdot 10^{-11}$  г/л [1]. Таким образом, массовая доля  $^{228}\text{Ra}$  была 0.28 %, соответственно удельная активность  $^{226}\text{Ra}$  была 274 Бк/л, а  $^{228}\text{Ra} - 212$  Бк/л. Из-за высокого содержания  $^{228}\text{Ra}$  препараты, получаемые на «Водном промысле» называли радий-мезоториевыми. В первые годы жизни такого препарата его активность быстро снижалась вследствие распада  $^{228}\text{Ra}$ . Только через 50 лет, когда в препарате оставался один  $^{226}\text{Ra}$ , его активность становилась стабильной. Эта особенность сужала область применения ухтинского радия. Например, его нельзя было использовать для изготовления радиоактивных эталонов.

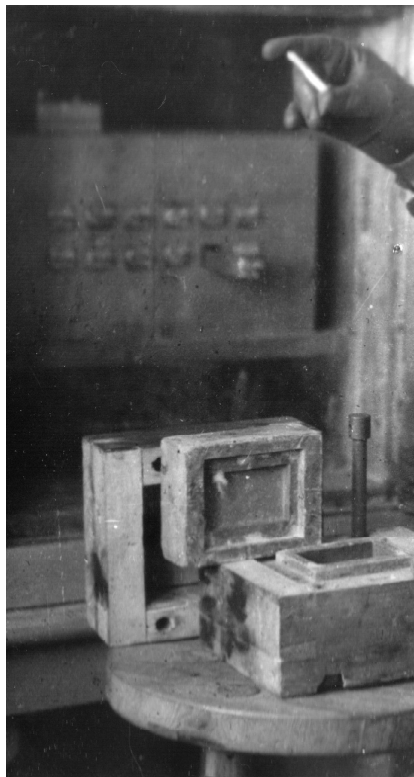
<sup>1</sup> В настоящее время это название не употребляется как устаревшее.

**Контроль содержания радия в продукции «Водного промысла»**

В настоящее время количество радионуклидов, в том числе радия, указывают в единицах активности – беккерелях (Бк): 1 Бк соответствует одному радиоактивному распаду в секунду. Однако в старых публикациях или в публикациях, рассчитанных на читателя, плохо знакомого с радиометрическими единицами, количество радия обычно приводят в единицах массы – граммах. Причем радий на весах никто не взвешивает. На практике приходится иметь дело со столь ничтожным количеством этого радионуклида, что весы, как инструмент количественного анализа, к нему не применимы. Поэтому еще в первые годы изучения явления радиоактивности были разработаны специальные способы измерения количества радиоактивных веществ.

Препараты радия являются мощными источниками гамма-излучения. Поэтому естественным было решение определять количество радия в препаратах путем сравнения интенсивности гамма-излучения от них с интенсивностью гамма-излучения от эталона с известным количеством радия. В 1910 г. Международный конгресс по радиологии и электричеству в Брюсселе постановил, что эталоном радия является чистый хлорид радия, точно взвешенный и запаянный в стеклянную трубку. В качестве единицы измерения количества радия введен миллиграмм-эквивалент радия («mg Ra»). Конгрессом был учрежден Комитет международного эталона радия в составе М. Кюри, Э. Резерфорда и С. Майера. Под наблюдением Комитета изготовлено два первичных эталона. Это была одна из немногих работ, когда радий взвешивали на весах. На основе данных эталонов по заказам государств изготовляли национальные эталоны, количество радия в котором определяли уже не взвешиванием, а сравнением интенсивности гамма-излучения. В 1928 г. СССР получил от Комитета два эталона радия, которые поместили на хранение во Всесоюзный институт метрологии и стандартизации. Был принят стандарт ОСТ ВКС 7159, который определял миллиграмм-эквивалент радия («мг-экв радия») как интенсивность гамма-излучения 1 мг радия основного эталона радия СССР [2, 5].

Вплоть до 1960-х годов для измерения ионизирующих излучений применяли приборы-электроскопы, рабо-



Продукция «Водного промысла» (Ухтинский комбинат за 15 лет (1929-1944 г.)) – Национальный архив Республики Коми. Фондохранилище № 2. Фонд 3728, опись № 1, дело № 1611, рис. 90).

тавшие на простом принципе. Если зарядить две подвешенные на диэлектрике полоски из металлической фольги, то под действием одноименного заряда они разойдутся. Ионизирующее излучение вызывает ионизацию воздуха, что, в свою очередь, приводит к нейтрализации заряда на полосках, и они сходятся<sup>2</sup>. Мощность дозы излучения пропорциональна скорости возвращения полосок в первоначальное положение. В электроскопе одна из полосок служила стрелкой, отклонение которой контролировали с помощью микроскопа. В приборах разной конструкции применяли алюминиевые, золотые полоски или металлизированные нити из кварца. Источником электрического заряда была потертая о сукно эбонитовая или стеклянная палочка, а в более совершенных моделях – батареи высокого напряжения. Существовали электроскопы для измерения альфа-, бета-, гамма-излучений и эманационные электроскопы для измерения радона. Перед измерением электроскоп необходимо было калибровать с помощью эталонного источника. Измерение мощности дозы гамма-излучения требовало не-

скольких минут, объемной активности радона – нескольких часов [2].

От препаратов радия исходит мощный поток гамма-лучей. Однако как <sup>226</sup>Ra, так и <sup>228</sup>Ra являются очень слабыми источниками гамма-излучения. Основную часть гамма-квантов порождает радиоактивный распад их дочерних радионуклидов: для <sup>226</sup>Ra это <sup>214</sup>Pb и <sup>214</sup>Bi, а для <sup>228</sup>Ra – <sup>228</sup>Th. Поэтому перед измерением содержания радия препарат необходимо было выдерживать некоторое время для накопления дочерних радионуклидов и достижения состояния векового равновесия. Это такое состояние, когда в единицу времени количество образовавшихся атомов какого-либо из радиозащитных радиоактивного ряда будет равно количеству распавшихся. Для <sup>226</sup>Ra и его дочерних радионуклидов состояние векового равновесия наступает примерно через месяц. Причем есть такой нюанс: в рядах распада как <sup>226</sup>Ra, так и <sup>228</sup>Ra есть изотопы радона – <sup>222</sup>Rn (T<sub>1/2</sub> = 3.824 сут.) и <sup>220</sup>Rn (T<sub>1/2</sub> = 55.3 сек., торон<sup>3</sup>) соответственно. Радон – инертный газ. Он легко покидает место образования, что приводит к нарушению радиоактивного равновесия. Поэтому при подготовке к измерению радиевые препараты необходимо было запаивать в ампулы. По имеющемуся справочному материалу [4] несложно рассчитать, что по мощности гамма-излучения 1000 мг <sup>226</sup>Ra в состоянии векового равновесия с дочерними продуктами эквивалентны 5 мг <sup>228</sup>Ra в тех же условиях.

Измерения количества готовой продукции на «Водном промысле» проводили таким способом. Кристаллы бромида радия, полученные в отделении бромидной кристаллизации – конечном участке радиевого производства, прокаливали в муфельной печи и запаивали в ампулы из особого сорта стекла со стандартной толщиной стенки. Для отвода статического электричества в ампулу впаивали платиновую проволочку. Ампулы со «свежим» радием были слабым источником излучения, их можно было без опаски держать в руках. Со временем в ампулах накапливались продукты радиоактивного распада <sup>226</sup>Ra и <sup>228</sup>Ra и удельная активность препарата возрастала в несколько раз. После месячной выдержки устанавливалось состояние векового равновесия материнских и дочерних радионуклидов, и ампулы с радиевой солью становились товарной продукцией. К этому времени они становились мощным источни-

<sup>2</sup> На этом же принципе работает хорошо всем известный школьный физический прибор электроскоп для изучения свойств электричества. Первые приборы для изучения свойств ионизирующих излучений были очень на них похожи.

<sup>3</sup> В настоящее время это название считается устаревшим, но остается в широком применении.

ком гамма-излучения. Измерение количества радия в готовой продукции проводили путем сравнения гамма-излучения от ампулы с радиевым препаратом и от эталонного источника в специально построенном деревянном «гамма-домике», входившем в состав Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ). Результаты измерения представляли в мг-экв радия (в документах писали «мг. экв. Ra» или просто «мг. экв.»).

Следует отметить, что по этим данным учета количества готовой продукции невозможно определить фактический вес полученного радия. Удельная активность радий-мезоториевого препарата выше, чем удельная активность препарата, содержащего чистый  $^{226}\text{Ra}$ . В препарате с 1000 мг-экв чистого  $^{226}\text{Ra}$  содержалось бы ровно 1000 мг этого радионуклида, тогда как в препарате 1000 мг-экв радия, полученного из воды скважины № 1 «Казенная» (274 Бк/л  $^{226}\text{Ra}$  и 212 Бк/л  $^{228}\text{Ra}$  [1]), содержалось бы 555.7 мг  $^{226}\text{Ra}$  и 1.6 мг  $^{228}\text{Ra}$ . Как следует из просмотренных нами документов, представление объема готовой продукции в мг-экв радия после 1936 г. было стандартным. Тем не менее, в некоторых отчетных документах указан выпуск  $^{226}\text{Ra}$  в миллиграммах («мг»). Внимательное изучение пояснительных записок к бухгалтерским отчетам за 1945 и 1946 гг. позволило предположить, как рассчитывали содержание  $^{226}\text{Ra}$  в готовой продукции, т.е. в запаянных и выдержанных ампулах. Для этого применяли особый показатель – «гамма-коэффициент», который показывал, какой процент гамма-излучения приходится на радионуклиды ряда  $^{226}\text{Ra}$ . В рассмотренном выше примере препарата, полученного из воды скважины № 1 «Казенная», гамма-коэффициент был бы равен 55.6 %. Согласно пояснительным запискам к бухгалтерским отчетам для продукции выпуска 1945 г. гамма-коэффициент был равен 56.6 %, а 1946 г. – 57.5 %. Для того, чтобы рассчитать гамма-коэффициент, необходимо было знать содержание  $^{226}\text{Ra}$  если не в готовой продукции, то хотя бы сырье. Если судить по некоторым документам, на «Водном промысле» существовала система учета содержания радия в материалах на всех этапах производства. Контролировали содержание радия в воде, поступающей на заводы по ее переработке, в воде, сбрасываемой этими заводами,

и в получаемом радиевом концентрате. Причем в отчетах указывали содержание  $^{226}\text{Ra}$  в этих материалах в миллиграммах. Несложно предположить, как измеряли количество этого радионуклида. Есть метод, позволяющий определить количество  $^{226}\text{Ra}$  в смеси с другими радионуклидами. Суть его заключается в следующем. Как упоминалось выше, при радиоактивном распаде  $^{226}\text{Ra}$  образуется дочерний радионуклид  $^{222}\text{Rn}$ , один из изотопов радона. Его легко отделить от других радионуклидов, собрать в отдельную емкость и определить его количество по уровню альфа-активности, затем по несложной формуле рассчитать количество материнского радионуклида. Этот метод был разработан еще в начале XX в. и применяется до настоящего времени. Во времена работы «Водного промысла» количество  $^{222}\text{Rn}$  измеряли с помощью эманационного электроскопа, который эталонировали по стандартному раствору радия. С помощью этого же прибора, несколько усложнив методику, можно определить количество другого изотопа радона  $^{220}\text{Rn}$  и рассчитать количество  $^{228}\text{Ra}$  [2]. Как следует из сохранившихся документов<sup>4</sup>, в ЦЗЛ этими методами владели. Зная содержание  $^{226}\text{Ra}$  в партиях радиевого сырья, можно рассчитать гамма-коэффициент, по которому далее рассчитать содержание  $^{226}\text{Ra}$  в изготовленной из него товарной продукции. Однако, повторимся, стандартным было представление количества продукции в мг-экв радия.

#### Объем производства радия на «Водном промысле»

В таблице представлены данные по годовому выпуску радия из изученных нами документов. Количество добытого радия представлено в ней в мг-экв радия, в миллиграммах и в беккерелях, современных радиометрических единицах. Как видим, в ней еще много пробелов. Дать исчерпывающий ответ на вынесенный в заголовке вопрос пока невозможно. Тем не менее, мы попытались хотя бы приблизительно оценить объем добычи радия на «Водном промысле» и дополнить таблицу расчетными данными. Данные о выпуске готовой продукции на «Водном промысле» в 1949-1951 гг. еще не найдены. Но в этот период промысел работал стабильно, поэтому эти «пробелы» заполнены методом интерполяции по данным за 1942-1948 гг. и за

1952 г. За 1936, 1937, 1945 и 1946 гг. есть данные по выпуску продукции и в мг-экв радия, и в миллиграммах. За остальные годы имеются данные, представленные либо в мг-экв радия, либо в миллиграммах.

Большую часть истории «Водного промысла» объем выпуска готовой продукции в отчетных документах представляли в мг-экв радия. Однако до 1937 г. его представляли в миллиграммах. Причина этого, возможно, в следующем. До 1934 г. на «Водном промысле» получали только радиевый концентрат. Радий из него выделяли на заводе Горно-химического треста «Редкие элементы» в Москве<sup>5</sup>. Этот завод начал работу в 1930 г. и первоначально работал на тюменской урановой руде, которая отличалась очень низким содержанием мезотория. Поэтому на этом предприятии вполне логичным было представлять выпуск готовой продукции в миллиграммах. В 1934 г. на «Водном промысле» вступил в строй завод по переработке радиевого концентрата и готовую продукцию стали получать на месте. Первоначально выпуск готовой продукции представляли в миллиграммах, по-видимому, по примеру московского завода. Кстати, примерно с этого времени завод полностью перешел на переработку радиевых концентратов с «Водного промысла». В 1936 и 1937 гг. выпуск готовой продукции на «Водном промысле» представляли и в мг-экв радия, и в миллиграммах, а с 1938 г. – только в мг-экв радия.

Для того, чтобы заполнить столбец таблицы, где представлены данные годового выпуска продукции в мг-экв радия, требуется установить, какой был гамма-коэффициент для препаратов выпуска 1931-1935 гг. Исходные данные для расчетов имеются. В фотоальбоме «Ухтинский комбинат за 15 лет (1929-1944 гг.)»<sup>6</sup> упоминается, что до 1944 г. было добыто 145000 мг-экв радия (очевидно, что это округленная цифра). Документально подтверждено, что за 1936-1944 гг. получено 133293.2 мг-экв радия. Следовательно, в 1931-1935 гг. получено примерно 11707 мг-экв радия. По документам в эти годы было добыто 7398 мг радия. Гамма-коэффициент, рассчитанный по этим цифрам, равен 63.5 %. Реальность этой величины можно проверить. У нас есть данные по выпуску продукции в 1936 и 1937 гг. и в мг-экв радия, и в миллиграммах. Рассчитан-

<sup>4</sup> Отчет о диспансеризации рабочих Завода концентратов 2-го промысла 2-го отделения Ухтпечлага НКВД в 1936 г. – Национальный архив Республики Коми. Фонд Р-1668, опись № 1, дело № 520, л. 190-202.

<sup>5</sup> Справка начальника Ухто-Печорского треста о промышленном освоении района за 1929-1937 г. – Национальный архив Республики Коми. Фондохранилище № 2. Фонд П-1, опись № 3, дело № 460, л. 1-50.

<sup>6</sup> Ухтинский комбинат за 15 лет (1929-1944 г.). – Национальный архив Республики Коми. Фондохранилище № 2. Фонд 3728, опись № 1, дело № 1611, л. 46.

Объем добычи радия на «Водном промысле»

Год выпуска	Количество радия в товарной продукции		Удельная активность радия в продукции**, Бк
	мг-экв Ra	мг	
1931	58.7 *	37.0 [1]	2.28·10 <sup>12</sup>
1932	271.4 *	171.0 [1]	1.08·10 <sup>13</sup>
1933	1833.3 *	1155.0 [1]	6.88·10 <sup>13</sup>
1934	5388.9 *	3395.0 [1]	2.08·10 <sup>14</sup>
1935	4190.5 *	2640.0 [1]	1.68·10 <sup>14</sup>
1936	7536.0 [2, 4, 5]	4986.0 [1]	2.88·10 <sup>14</sup>
1937	10790.0 [4]	7069.0 [1]	4.08·10 <sup>14</sup>
1938	11714.0 [4]	6682.8 *	4.38·10 <sup>14</sup>
1939	13799.0 [3]	7872.3 *	5.18·10 <sup>14</sup>
1940	18097.2 [6]	10324.5 *	6.78·10 <sup>14</sup>
1941	21541.0 [6]	12289.1 *	8.08·10 <sup>14</sup>
1942	16547.0 [7]	9440.1 *	6.18·10 <sup>14</sup>
1943	16517.0 [8]	9422.9 *	6.18·10 <sup>14</sup>
1944	16752.0 [9]	9557.0 *	6.28·10 <sup>14</sup>
1945	17312.3 [10, 11]	9794.0 [10, 11]	6.48·10 <sup>14</sup>
1946	16126.0 [11, 12]	9146.0 [11, 12]	6.08·10 <sup>14</sup>
1947	16954.9 [13]	9672.8 *	6.38·10 <sup>14</sup>
1948	14532.0 [14]	8290.5 *	5.48·10 <sup>14</sup>
1949	16500.0 *	9413.3 *	6.18·10 <sup>14</sup>
1950	16500.0 *	9413.3 *	То же
1951	16500.0 *	9413.3 *	» »
1952	17622.2 [15]	10053.5 *	6.58·10 <sup>14</sup>
1953	4236.3 [16]	2416.8 *	1.68·10 <sup>14</sup>
Всего	281319.8	162655.1	1.08·10 <sup>16</sup>

\* Расчетные данные.

\*\* Рассчитано по данным выпуска продукции в мг-экв Ra.

При подготовке таблицы использованы следующие источники данных (указанные источники № 2-16 хранятся в Архиве ОАО Ухтинский электрокерамический завод «Прогресс»):

- Справка начальника Ухто-Печорского треста о промышленном освоении района за 1929-1937 год. – (Национальный архив Республики Коми. Фондохранилище № 2. Фонд П-1, опись № 3, дело № 460, л. 27).
- К отчетной калькуляции 1936 года // Дело № 9. Материалы по Водному промыслу за 1936-1937 год. Л. 28.
- Протокол совещания балансовой комиссии по рассмотрению результатов хозяйственной деятельности ОЛП №10 (Водный промысел) по данным бухгалтерского отчета за 1939 год от 2 марта 1940 г. // Отчет за 1939 год по основной деятельности. Л. 2.
- Совещание балансовой комиссии по рассмотрению результатов хозяйственной деятельности ОЛП № 10 (Водный промысел) по данным бухгалтерского отчета за 1939 год от 2-го марта 1940 г. // Дело № 13 с. Отчет за 1939 год по основной деятельности.
- Форма № 7 пр. (к отчету за 1936 г.) «Калькуляция важнейших изделий (в рублях и копейках)» // Дело № 9. Материалы по Водному промыслу за 1936-1937 год. Л. 30.
- Срочный ежемесячный отчет о выполнении плана по основным показателям работы за 1941 год // Ухтижемлаг НКВД. ОЛП № 10. Бухгалтерский отчет за 1941 год. Л. 22.
- Объяснительная записка к бухгалтерскому отчету по основной деятельности за 1942 год // Годовой бухгалтерский отчет за 1943 год. Л. 1.
- Приложение к ф. № 6 «Себестоимость товарной продукции» // Годовой бухгалтерский отчет за 1943 год. Л. 61.
- Форма 7/3 «Отчетная калькуляция за 1944 год» // УК НКВД СССР, Водный промысел. Бухгалтерский отчет за 1944 год по основной деятельности. Л. 82.
- Объяснительная записка к бухгалтерскому отчету по основной деятельности за 1945 год // УК НКВД–ОЛП № 10. Основн. деят. Бухгалтерский отчет за 1945 год. Л. 106.
- Сравнительная таблица основных технологических показателей плана на 1946 год по Водному промыслу Ухтокомбината НКВД // Производственный план Водного промысла на 1946 год по эксплуатационной деятельности. Л. 7.
- Сравнительная таблица основных технологических показателей по Водному промыслу Ухтокомбината МВД // Дело № 5оп. Годовой план по Водному промыслу. Л. 5.
- Объяснительная записка к бухгалтерскому отчету Водного промысла Ухтокомбината МВД по основной деятельности за 1947 год // Отчет по основной деятельности за IV квартал 1947. Л. 76-81.
- Объяснительная записка к бухгалтерскому отчету Водного промысла Ухтокомбината МВД СССР по основной деятельности за 1948 год // ОЛП № 10 УК МВД. Приложение к бухгалтерскому отчету за 1948-й год. Л. 1-9.
- Результаты выполнения плана реализации пром. продукции и услуг за 1952 год // Годовой отчет по основной деятельности, объект № 226, за 1952 год. Л. 21.
- Акт о приеме и передаче завода № 226.

ные по этим данным гамма-коэффициенты равны 66.2 и 65.5 % соответственно, что весьма близко к расчетному гамма-коэффициенту для продукции 1931-1935 гг. Таким образом, мы заполнили фактическими и расчетными данными столбец таблицы, где представлены данные годового выпуска продукции в мг-экв радия. Сложив эти цифры, получим, что в 1931-1953 гг. из подземных радийсодержащих вод было добыто примерно 281320 мг-экв радия. В современных единицах активности это составит примерно 1.04·10<sup>16</sup> Бк. Столбец таблицы, где представлены данные годового выпуска продукции в миллиграммах, тоже заполнен фактическими и расчетными данными. Если в фактических данных у нас нет никаких сомнений, то расчетные данные очень приблизительны. Тем не менее, они позволяют оценить добычу радия в весовом выражении. В 1931-1953 гг. из подземных радийсодержащих вод было добыто примерно 163 г радия. Заметим, что в 1954 г., т.е. к моменту прекращения добычи радия из подземных радийсодержащих вод на «Водном промысле», мировой запас радия составлял приблизительно 2.5 кг [3]. Мировые цены на радий в 1940-1950 гг. держались на уровне 25000 долл. США за грамм [8].

ЛИТЕРАТУРА

- Баранов В.И., Курбатов И.Д. О содержании радиоэлементов в воде и ее отложениях казенной буровой скважины № 1 Ухтинского месторождения // Труды радиевого института. Л., 1933. Т. 2. С. 139-156.
- Богоявленский Л.Н. Краткий курс радиометрии. Л.-М.: Гос. науч.-техн. геол.-развед. изд-во, 1933. 64 с.
- Вдовенко В.М., Дубасов Ю.В. Аналитическая химия радия. Л.: Наука, 1973. 190 с.
- Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Квантовое излучение радиоактивных нуклидов. Справочник. М.: Атомиздат, 1977. 400 с.
- Деньгуз В.М., Смирнов В.Г. Единицы величин: словарь-справочник. М.: Изд-во стандартов, 1990. 240 с.
- Кичигин А.И., Таскаев А.И. «Водный промысел»: история производства радия в Республике Коми (1931–1956 гг.) // Вопросы истории естествознания и техники, 2004. № 4. С. 3-30.
- Торопов Ф.А. Геохимия Ухтинских радиоактивных вод // Недра советского Севера, 1933. № 1. С. 15-26. – (Указанное издание – производственно-технический журнал Ухто-Печорского треста, в июне 1933 г. вышел его единственный номер).
- Landa E.R. The first nuclear industry // Scientific American, 1982. Vol. 247, № 5. P. 154-163.



## К ИСТОРИИ ДОБЫЧИ РАДИЯ НА «ВОДНОМ ПРОМЫСЛЕ»

к.г.-м.н. **А. Иевлев**

главный специалист Министерства промышленности и энергетики РК  
E-mail: ugol.minprom@rkomi.ru, тел. (8212) 24 55 38

Научные интересы: *история и развитие горнорудной промышленности Республики Коми, экология горных производств, минералогия*

История существовавшего в 1931-1956 гг. радиевого производства в пос. Водный Ухтинского района вызывает обоснованный интерес исследователей [1, 4]. До 1947 г. сведения об этом предприятии регулярно появлялись в открытой печати [3]. Конечно, по понятным причинам секретности, в них отсутствовали реальные показатели добычи радия, говорилось лишь о процентах выполнения плана, трудовых починах и т.п. Но, наверно, следует сказать, что и о других видах производства в те времена редко публиковали фактические цифры, которые могли бы характеризовать какое-то конкретное предприятие. Как бы то ни было, открываемые в архивах новые сведения о «Водном промысле» проливают свет на некоторые аспекты деятельности этого уникального производства.

Совсем недавно в Коми республиканском архиве удалось найти в отчетах Ухтпечлага и Ухто-Печорского треста перед Коми обкомом ВКП(б) параметры радиевого производства за 1931-1945 гг. Выяснилось, что в указанный период было произведено 156 г радия [2]. Кроме того, в отчете начальника Ухтпечлага Я.М. Мороза за 1938 г., составленном, конечно, не им, а специалистами, работавшими тогда на промысле, сказано: «Внимание, которое привлекла скважина № 1 «Казенная», объясняется тем, что она давала фонтан этой воды 60 кубм в сутки, а это значит, что скважина выбрасывала ежегодно на поверхность почвы почти 0.2 грамма радия, т.е. с 1913 по 1929 г. выбросила не менее 2.5 грамм радия. Значение последней цифры станет ясным, если указать, что за 30 лет со времени открытия радия с 1899 по 1929 г. во всех странах вместе его было добыто не более 600 грамм»<sup>1</sup>. Для нас значение приведенных данных станет понятным, если все-таки уточнить, что за указанный 17-летний период скважина, по-видимому, выдала «на гора» 3.4 г радия. А это треть того объема, что считается захороненным в хвостохранилище [4]. Причем никакого радиевого производства еще не существовало.

Как правило, говорят об одном «Водном промысле». А, например, в протоколе заседания горно-технической комиссии «Водного промысла» от 28 июля 1938 г. указано, что таких промыслов было два. Причем, упомянуты 267 скважин, принадлежащих первому «Водному промыслу», и 17 скважин второго «Водного промысла»<sup>2</sup>. Среди них были как подготовленные к эксплуатации, так и эксплуатируемые, и выведенные из эксплуатации скважины. Причем последние находились, по-видимому, в заброшенном состоянии, так как в том же протоко-

ле отмечено: «На 1-м Водном промысле наблюдается систематическое понижение минерализации и активности воды в скважинах. Этот процесс происходит медленно и его можно заметить, рассматривая анализы воды за несколько лет. Ориентировочные данные следующие: снизили активность на 35-40 % – 2 скважины, на 25-30 % – 9 скважин, на 20-25 % – 8 скважин, на 15-20 % – 3 скважины, на 10-15 % – 13 скважин, на 5-10 % – 11 скважин, на 5 и меньше % – 15 скважин. Сохранили активность – 18 скважин. Повысили активность – 5 скважин... Геохимический состав воды тот же, т.е. устойчивый. Соотношение между элементами одно и то же. Происходит опреснение месторождения верхними водами. Поэтому необходимо заострить вопрос о ликвидации скважин (выведенных из эксплуатации – *Авт.*) и изоляции сланцев от верхних вод»<sup>3</sup>.

О двух «Водных промыслах» свидетельствует и «Список руководящих работников Ухто-Ижемского лагеря НКВД», составленный 9 августа 1938 г. В нем упомянуты: начальник первого «Водного промысла» Леонид Ильич Кузьмин, его помощник Нил Иванович Смирнов и начальник второго «Водного промысла» Иван Иванович Каулин<sup>4</sup>.

В современных исследованиях хотя и упоминается некий «радий-мезоторий», но, как правило, говорится о добыче просто радия из подземных вод. Однако выщелачивание, по данным специалистов, работавших в 30-е годы на «Водном промысле», являло собой комплексный процесс: «Химические исследования сланцев, в трещинах которых циркулирует минеральная вода, показали, что сланцы содержат в себе радий. В одной тонне породы по анализам химической лаборатории содержится 3 миллионных доли грамма... Вместе с радием из сланцев выщелачивается также другой радиоактивный элемент – мезоторий (по современным представлениям, мезоторий представляет собой короткоживущий изотоп радия. – *Авт.*). Его содержание составляет только 0.3 % веса радия, но ввиду более сильного излучения продуктов распада мезотория, препараты радия, полученные из ухтинских вод, имеют излучение на 50 % сильнее, чем чистый препарат радия, не содержащий мезотория. И только через 80 лет ухтинские препараты потеряют мезоторий вследствие его распада»<sup>5</sup>.

Таким образом, одна треть мощности излучения радиоактивных материалов «Водного промысла» была обязана короткоживущему (период полураспада около шести лет) изотопу радия (мезоторию), которого было, к тому же, мизерное количество. Поэтому резкое снижение радиоактивности, например, воды в ручьях, стекающих с хвостохранилища, говорит, в первую очередь, об «уходе» незначительной составляющей мезотория, а не долгоживущего радия. Тем более что указанные выше 80

<sup>1</sup> Коми РГА ОПДФ, ф. 1, оп. 3, дело 460, л. 22-23.

<sup>2</sup> Коми РГА ОПДФ, ф. 1, оп. 3, дело 459, л. 15.

<sup>3</sup> Коми РГА ОПДФ, ф. 1, оп. 3, дело 459, л. 14.

<sup>4</sup> Коми РГА ОПДФ, ф. 1, оп. 3, дело 459, л. 58-59.

<sup>5</sup> Коми РГА ОПДФ, ф. 1, оп. 3, дело 460, л. 24.

лет еще не прошли. Кроме того, в первые годы радиоактивная вода не доставляла никаких проблем при ее извлечении – она самоизливалась из пробуренных скважин. Затем из-за отбора больших объемов подземных вод напор упал, и пришлось применять специальные методы по извлечению воды (эрлифтинг, насосы). Но уже полвека отбора воды не происходит. Существует вероятность того, что в недрах месторождения идет восстановление первичных гидрогеологических условий, и старые скважины могут начать фонтанировать, если они были законсервированы ненадлежащим образом. Указанные выше проблемы говорят о сложности задач, с которыми мы столкнулись при ликвидации последствий радиевого производства на «Водном промысле». Решить эти задачи может лишь дополнительная, скрупулезная работа исследователей – в архивах, в полевых экспедициях, в научных лабораториях.

В заключение следует упомянуть еще две цифры, которые помогают осознать грандиозность существовавшего радиевого производства. Согласно подготовленной Ухтокомбинатом справке, капитальные затраты на добычу радиоактивной воды с 1929 по 1937 г.



Первая буровая.



Цех первой кристаллизации, 1944 г.

составили 22 201.3 тыс. руб.<sup>6</sup> Понять, много это или мало, можно только в сравнении. В той же справке указана другая цифра – стоимость угольной проблемы за тот же временной период. Нелишне будет напомнить, что к тому времени уже давали уголь Воркута и Еджыд-Кырта, велись активные поиски каменного топлива на громадной территории Печорского бассейна, работали тысячи заключенных и вольнонаемных работников. Так вот, в эту масштабную по задаче и охвату территории проблему было вложено 25469.1 тыс. руб. Немногим больше, чем в точку на карте под названием «Водный промысел».

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуковский В.М. Становление радиохимического производства в России // Вестн. УрО РАН, 2003. № 3(5). С. 58-71.
2. Иевлев А.А. Добыча радия на Водном промысле // Вестн. ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2006. № 10. С. 29-30.
3. Иевлев А.А. Когда еще не было секретов (к истории радиевого промысла в пос. Водный) // Там же. № 7. С. 19-22.
4. 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).

<sup>6</sup> Коми РГА ОПДФ, ф. 1, оп. 3, дело 459, л. 19.



ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ



ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК. ЧАСТЬ 1. АВТОРСКОЕ ПРАВО

к.б.н. И. Чадин

заместитель директора по научным вопросам

**Место авторского права в системе законов о результатах интеллектуальной деятельности**

Результаты деятельности научных сотрудников охватывают большинство объектов, обращение которых регулируется законами «Об авторском праве и смежных правах», «Патентным законом», «О товарных знаках, знаках обслуживания и наименованиях мест происхождения товаров», «О правовой охране программ для электронных вычислительных машин и баз данных». В настоящее время на подписании Президента находится IV часть Гражданского кодекса Российской Федерации, которая унифицирует и гармонизирует все вышеперечисленные законы и будет работать вместо них. Введение ее в действие планируется с 1 января 2008 г. Согласно проекту

четвертой части ГК РФ результатами интеллектуальной деятельности и приравненными к ним средствами индивидуализации юридических лиц, товаров, работ, услуг и предприятий, которым предоставляется правовая охрана (интеллектуальной собственностью), являются:

1. произведения науки, литературы и искусства;
2. программы для электронных вычислительных машин (программы для ЭВМ);
3. базы данных;
4. исполнения;
5. фонограммы;
6. сообщение в эфир или по кабелю радио- или телепередач (вещание организаций эфирного или кабельного вещания);
7. изобретения;

8. полезные модели;
9. промышленные образцы;
10. селекционные достижения;
11. топологии интегральных микросхем;
12. секреты производства (ноу-хау);
13. фирменные наименования;
14. товарные знаки и знаки обслуживания;
15. наименования мест происхождения товаров;
16. коммерческие обозначения.

Как минимум 11 из 16 перечисленных объектов могут быть результатом работы научных сотрудников.

Всю область права об интеллектуальной собственности принято делить на три области:

- Промышленная собственность
- Авторское право
- Коммерческая тайна.



**Промышленная собственность** – это право владельца, подтвержденное охранным документом в виде патента или свидетельства на исключительное использование объектов промышленной собственности. К объектам промышленной собственности относятся: изобретения, полезные модели, промышленные образцы, товарные знаки, знаки обслуживания, наименования места происхождения товаров, фирменные наименования, а также права про пресечению недобросовестной конкуренции.

**Авторское право** регулирует отношения, связанные с правами на литературные, драматические, музыкальные, хореографические произведения, аудиовизуальные произведения; произведения живописи, скульптуры, графики, дизайна, изобразительного искусства; произведения декоративно-прикладного и сценографического искусства, архитектуры, градостроительства и садово-паркового искусства; фотографические произведения; экологические, географические и другие карты, планы, эскизы и т.д.; программы для ЭВМ и базы данных; производные произведения (переводы, обработки, аннотации, инсценировки и т.д.). Сфера действия смежных прав относится к правам исполнителей (музыкантов, актеров, танцоров, режиссеров-постановщиков спектаклей, дирижеров и т.д.), производителей фонографии и организаций эфирного и кабельного вещания. К объектам смежных прав относятся: исполнение или постановка каких-либо произведений литературы и искусства; фонограммы, передачи, подготовленные для трансляции в эфире или по кабелю (радио-, теле- или кабельное вещание).

Не являются объектами авторских прав: официальные документы государственных органов и органов местного самоуправления, в том числе законы, другие правовые акты, судебные решения, иные материалы законодательного, административного и судебного характера, официальные документы международных организаций, а также их официальные переводы; государственные символы и знаки (флаги, гербы, ордена, денежные знаки и т.п.), а также символы и знаки муниципальных образований; произведения народного творчества; сообщения о событиях и фактах, имеющие исключительно информационный характер (сообщения о новостях дня, программы телепередач, расписания движения транспортных средств и т.п.).

**Коммерческая тайна** представляет собой конфиденциальную информацию, которая имеет действительную или потенциальную коммерческую ценность в силу неизвестности ее третьим лицам. К ней нет свободного доступа на законном основании, поэтому обладатель информации принимает меры к охране ее конфиденциальности.

#### История возникновения авторского права

Законы, регулирующие права авторов на произведения, начинают активно развиваться с революционными изменениями в технологии копирования и распространения этих произведений. Первая такая революция – изобретение книгопечатания – породила и первые законы об авторском праве.

Первой формой авторского права в средних веках были так называемые «привилегии»<sup>1</sup>. Привилегии выдавались монархом лично автору по просьбе последнего. Как правило, привилегии выдавались на художественные литературные произведения, и такая практика была редкой. Многие ученые и люди искусства придерживались той точки зрения, что их произведения являются не актом творчества; они являются лишь «проводниками» божественного знания, которое выражают посильным способом. Соответственно, заявлять права на свои произведения было бессмысленно и греховно. Первый закон об авторском праве<sup>2</sup> был принят в Англии в 1710 г. Новый закон ограничивал права книгоиздателей определенным сроком, с тем чтобы предотвратить монополию. Дальше книжка поступала в свободное обращение и ее могли печатать все желающие. Следующим принципиальным этапом в развитии авторского права явилось принятие в 1886 г. первого полномасштабного международного соглашения о защите авторских прав – Бернская Конвенция. Целью конвенции было обеспечить взаимное признание авторских прав различными государствами и установление международных норм для их защиты. Интересно отметить – США присоединились к Бернской Конвенции только век спустя – в 1988 г. В 1996 г. в Женеве представители 160 стран мира подписали документы о создании Всемирной Организации по защите Интеллектуальной Собственности (World Intellectual Property Organization, WIPO).

#### Особенности авторского права

Согласно действующему Российскому законодательству и международным нормам, права автора возникают в момент создания и не требуют обязательной формальной регистрации. Грозные надписи «Все права защищены. Нарушители преследуются по закону» в присутствии символа © вовсе не обязательны для возникновения права автора на произведение. Права автора делятся на личные и имущественные.

К личным правам относятся:

- право признаваться автором произведения (право авторства);
- право использовать или разрешать использовать произведение под настоящим именем автора, псевдонимом либо без обозначения имени, то есть анонимно (право на имя);
- право обнародовать или разрешать обнародовать произведение в любой форме (право на обнародование), включая право на отзыв;
- право на защиту произведения, включая его название, от всякого искажения или иного посягательства, способного нанести ущерб чести и достоинству автора (право на защиту репутации автора).

Личные (неимущественные) авторские права действуют бессрочно. В России они могут принадлежать только физическому лицу и являются неотчуждаемыми, т.е., их нельзя передать другому лицу. В англоязычных источниках неимущественные авторские права обозначаются термином *moral rights*, который буквально переводится как моральные права, но в русскоязычных источниках термин моральные права обычно в этом значении не используется.

В свою очередь, имущественные авторские права включают в себя право:

- воспроизводить произведение (право на воспроизведение);
- распространять экземпляры произведения любым способом: продавать, сдавать в прокат и так далее (право на распространение);
- импортировать экземпляры произведения в целях распространения, включая экземпляры, изготовленные с разрешения обладателя исключительных авторских прав (право на импорт);
- публично показывать произведение (право на публичный показ);
- публично исполнять произведение (право на публичное исполнение);

<sup>1</sup> Для тех, кто заинтересуется тем, что представляла из себя такая «привилегия» приводим ссылку на перевод одной из «привилегий», выданных королем Франции Генрихом VIII: [http://lib.ru/INOOLD/LABE/labe1\\_6.txt](http://lib.ru/INOOLD/LABE/labe1_6.txt).

<sup>2</sup> В англосаксонской традиции вместо юридического понятия «авторское право» используется термин «copyright», смысл которого можно перевести как «право запретить копирование».

- сообщать произведение (включая показ, исполнение или передачу в эфир) для всеобщего сведения путем передачи в эфир и (или) последующей передачи в эфир (право на передачу в эфир);

- сообщать произведение (включая показ, исполнение или передачу в эфир) для всеобщего сведения по кабелю, проводам или с помощью иных аналогичных средств (право на сообщение для всеобщего сведения по кабелю);

- перевести произведение (право на перевод);

- переделывать, аранжировать или другим образом перерабатывать произведение (право на переработку);

- сообщать произведение таким образом, при котором любое лицо может иметь доступ к нему в интерактивном режиме из любого места и в любое время по своему выбору (право на доведение до всеобщего сведения).

На имущественные авторские права законодательно устанавливается срок защиты. С 26 июля 2004 г. в РФ он составляет время жизни автора и 70 лет после его смерти (за исключением отдельных особо оговоренных случаев). По прошествии этого срока произведение становится общественным достоянием. Имущественные права на произведение не связаны с правом собственности на материальный объект, в котором произведение выражено. Приобретение книги не делает вас собственником имущественных прав на произведение, вы становитесь обладателем только этого экземпляра книги.

Следует отметить, что имущественные права могут передаваться другим лицам (т.е., являются отчуждаемыми). Договор о передаче части или всех имущественных прав называется авторским договором. Такой договор должен предусматривать список тех из вышеперечисленных имущественных авторских прав, которые передаются; срок и территорию, на которые передается право; размер вознаграждения и/или порядок его определения (причем правительству РФ поручено устанавливать минимальные ставки авторского вознаграждения), порядок и сроки его выплаты. Так называемое «лицензионное соглашение» фактически является авторским договором, так как программы для ЭВМ охраняются, как и литературные произведения, на основе авторского права. Лицензионный договор заключают при передаче разрешения

на использование патента. Эта особенность имущественных прав позволила определить понятие «служебное произведение». Согласно действующему законодательству, «служебным произведением» признается созданное автором в рамках трудового договора и своих служебных обязанностей произведение литературы, искусства или науки. При этом личные неимущественные права автора остаются за работником, а исключительные имущественные права передаются работодателю. Или если цитировать Закон<sup>3</sup>: «Авторское право на произведение, созданное в порядке выполнения служебных обязанностей или служебного задания работодателя (служебное произведение), принадлежит автору служебного произведения. Исключительные права на использование служебного произведения принадлежат лицу, с которым автор состоит в трудовых отношениях (работодателю), если в договоре между ним и автором не предусмотрено иное. Размер авторского вознаграждения за каждый вид использования служебного произведения и порядок его выплаты устанавливаются договором между автором и работодателем. Работодатель вправе при любом использовании служебного произведения указывать свое наименование либо требовать такого указания. На создание в порядке выполнения служебных обязанностей или служебного задания работодателя энциклопедий, энциклопедических словарей, периодических и продолжающихся сборников научных трудов, газет, журналов и других периодических изданий (пункт 2 статьи 11 настоящего Закона) положения настоящей статьи не распространяются».

Другой важной особенностью авторских прав является то, что они защищают только форму произведения. Авторское право не распространяется на идеи, методы, процессы, системы, способы, концепции, принципы, открытия, факты.

Как было указано выше, в настоящее время готовится новый законодательный акт – четвертая часть Гражданского кодекса. В проекте этого документа права работодателя на служебные произведения сужены: «Работодатель вправе использовать служебное произведение способами, обусловленными целью служебного задания, и в вытекающих из задания пределах, а также обнародовать такое произведение, если в договоре между ним и работником не предусмотре-

но иное. Право автора использовать служебное произведение способом, не обусловленным целью задания, а также хотя бы и способом, обусловленным целью задания, но за пределами, вытекающими из задания работодателя, не ограничивается».

В настоящей статье мы не коснулись вопросов, связанных с особенностями применения авторского права в условиях информационной революции, связанной с бурным развитием Интернета. Эти вопросы заслуживают отдельной публикации. Задачей данной публикации было разъяснение фундаментальных фактов:

- авторское право возникает в момент создания произведения и не требует специальной регистрации;

- авторские права делятся на личные и имущественные. Личные права могут принадлежать только физическому лицу, не могут быть переданы и охраняются бессрочно. Имущественные права отчуждаемы и охраняются ограниченный срок;

- авторские права защищают конкретную форму, в которой выражено произведение. Они не распространяются на идеи, лежащие в основе произведения. Нельзя получить авторские права на открытый вами закон природы;

- служебным произведением являются произведения, созданные по заданию работодателя либо в рамках служебных обязанностей. Исключительные имущественные права на служебное произведение принадлежат работодателю.

При подготовке материала были использованы следующие источники:

Патентный закон Российской Федерации от 23 сентября 1992 г. № 3517-1 (с изменениями на 02.02.2006) // <http://www.fips.ru/npdoc/zakons.htm>.

Закон РФ от 9 июля 1993 г. N 5351-1 «Об авторском праве и смежных правах» (с изменениями от 19 июля 1995 г., 20 июля 2004 г.) // <http://www.fips.ru/npdoc/zakons.htm>.

Закон Российской Федерации «О товарных знаках, знаках обслуживания и наименованиях мест происхождения товаров» // <http://www.fips.ru/npdoc/zakons.htm>.

Закон о правовой охране программ для электронных вычислительных машин и баз данных // <http://www.fips.ru/npdoc/zakons.htm>.

Проект 4 части Гражданского кодекса РФ // [http://info.nic.ru/st/13/out\\_1218.shtml#547](http://info.nic.ru/st/13/out_1218.shtml#547).

[http://ru.wikipedia.org/wiki/Авторское\\_право](http://ru.wikipedia.org/wiki/Авторское_право).

<sup>3</sup> Закон РФ от 9 июля 1993 г. № 5351-1 «Об авторском праве и смежных правах» (с изменениями от 19 июля 1995 г., 20 июля 2004 г.)

Окончание. Начало на задней обложке.

богаты видами семейства розоцветные, лютиковые, астровые, мятликовые, осоковые. Значительным разнообразием видов также отмечаются папоротники. Для большинства типов еловых лесов характерно наличие мохового яруса из зеленых, сфагновых мхов и печеночников.

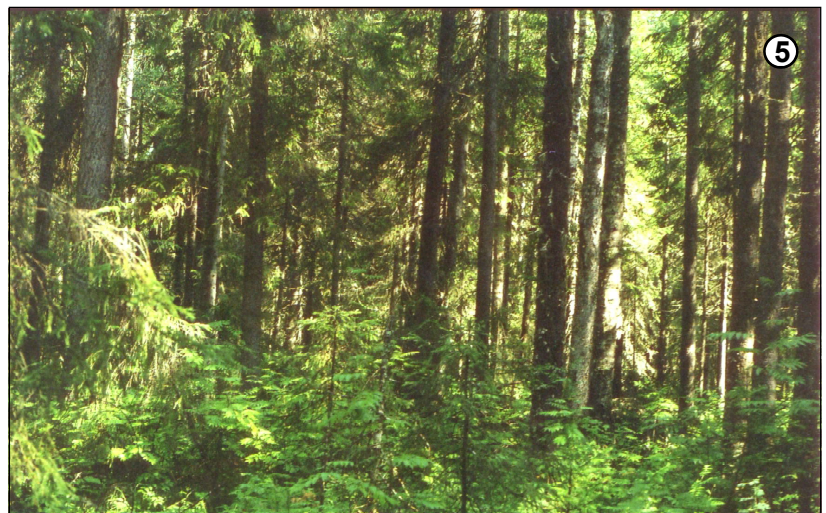
Запасы древесины в ельниках средней тайги составляют 1.08 млрд. м<sup>3</sup>, в том числе в лесах, предназначенных для рубок главного пользования — 795 млн. м<sup>3</sup>. Примерно 91 % ее объема сосредоточено в спелых и перестойных насаждениях и составляют основу эксплуатационного фонда республики. В этом фонде 80 % запасов древесины приходится на деловую древесину. В ельниках средней тайги заготавливаются пиловочник, баланс, фанерный кряж, рудстойка, стройлес, на долю которых приходится около 95 % деловой древесины. Возраст рубки главного пользования в еловых насаждениях IV класса бонитета и выше установлен 100-120 лет, в насаждениях V класса бонитета — 120-140 лет.

Запасы дополнительного сырья, представляющие большой интерес для лесохимической и парфюмерной промышленности, сельского хозяйства, древесно-плитного производства, в спелых и перестойных ельниках средней тайги составляют 571 млн. тонн, в том числе пней и корней — 39.2, ветвей и сучьев — 23.0, коры — 11.2, древесной зелени — 26.6 %.

Значительные площади (около 1 млн. га) коренных ельников средней тайги отнесены к защитным лесам I группы. Это, прежде всего, массивы хвойных лесов Печоро-Ильчского биосферного заповедника и национального парка «Югыд ва». Коренные ельники заповедных территорий — это резерваты, они очень важны как места высокого биологического разнообразия растений и животных.

д.б.н. **К. Бобкова**

фото 1, 5 **А. Пагова**



**ВЕСТНИК ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ 2007 № 3 (113)**

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 29.03.2007. Тираж 220. Заказ № 07(07).

Распространяется бесплатно.