



PARUS

# ВЕСТНИК

Института биологии  
Коми НЦ УрО РАН

Издается  
с 1996 г.

№ 8 (106)

## В н о м е р е

### СТАТЬИ

- 2 Закономерности реакции *Chlorella vulgaris* Beijer на воздействие кадмием и модификация его токсического эффекта кофеином и бутионинсульфоксимином. **Т. Евсеева, Е. Белых, Т. Майстренко**
- 7 Биологический круговорот веществ во вторичном лиственно-хвойном насаждении средней тайги. **Т. Пристова**
- 12 Состояние пигментного аппарата растений живучки ползучей (*Ajuga reptans* L.) в связи с адаптацией к световым условиям произрастания. **Т. Головкин, О. Дымова**
- 17 Особенности накопления и миграции полициклических ароматических углеводов в почвах техногенных ландшафтов. **В. Безносиков, Б. Кондратенко, Д. Габов**

### ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

- 22 Воспроизводство и использование рыбных ресурсов в Республике Коми. **Ю. Шубин**

### ИСТОРИЯ

- 25 Применение радия в медицинских целях на Ухтинском радиевом промысле в 30-40-х годах XX века. **А. Кичигин**

### ЗАПОВЕДАНО СОХРАНИТЬ

- 32 «Параськины озера – водный памятник природы». **В. Шубина, Н. Соколова, М. Туманов**

### ПРОБЛЕМЫ ДНЯ

- 34 Практическое занятие № 9: Действия населения в трудных жизненных ситуациях. **В. Юхнин**

### 36 ПОЧТА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Главный редактор:** к.б.н. А.И. Таскаев

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

**Ответственный секретарь:** И.В. Рапота

**Редакционная коллегия:** к.б.н. Т.И. Евсеева, к.б.н. В.В. Елсаков, д.б.н. С.В. Загирова, к.х.н. Б.М. Кондратенко, к.б.н. С.К. Кочанов, к.б.н. Е.Г. Кузнецова, к.б.н. В.И. Пономарев, к.б.н. Б.Ю. Тетерюк, к.б.н. Е.В. Шамрикова, к.б.н. Т.П. Шубина

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕАКЦИИ *CHLORELLA VULGARIS* BEIJER  
НА ВОЗДЕЙСТВИЕ КАДМИЕМ И МОДИФИКАЦИЯ ЕГО ТОКСИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА  
КОФЕИНОМ И БУТИОНИНСУЛЬФОКСИМИНОМ**



к.б.н. **Т. Евсева**  
с.н.с. отдела радиозологии



к.б.н. **Е. Белых**  
н.с. этого же отдела



к.б.н. **Т. Майстренко**  
н.с. этого же отдела

E-mail: [tevseeva@ib.komisc.ru](mailto:tevseeva@ib.komisc.ru), тел. (8212) 43 04 78

Научные интересы: *цитогенетика растений, радиобиология, экологическая токсикология*

Проведенные за последнее время исследования показали, что ответная реакция клеток растений на воздействие тяжелых металлов включает цепь последовательных событий и параллельно протекающих процессов, направленных на детоксикацию металлов и устранение вызванных ими повреждений. Выявлены и изучены на молекулярном уровне определенные механизмы, посредством которых элементы этой группы индуцируют токсический и мутагенный эффекты. Однако ряд аспектов проблемы действия металлов на растения остается до конца не решенным. До сих пор существуют альтернативные точки зрения даже на характер зависимости токсического эффекта металлов от их концентрации и времени воздействия. В одних работах [3, 7, 17, 25] постулируется линейная зависимость «концентрация металла – эффект», в других [1, 15] обсуждается нелинейность этой зависимости. Причем и в том, и в другом случае количества экспериментальных точек явно недостаточно, чтобы составить ясное представление о форме наблюдаемой зависимости в области низкой интенсивности воздействия.

Спорным является вопрос об относительной роли процессов восстановления повреждений ДНК и различных систем детоксикации в снижении повреждающего действия на клетки низких концентраций металлов. Анализ информации по данной теме свидетельствует, что в экспериментах чаще используют высокие дозовые нагрузки, существенно отличающиеся от реально встречающихся в окружающей среде. Например, обзор [21] 85 работ, в которых изучали действие Cd на растения, показал, что лишь в 9 % исследований применяли концентрации  $\leq 1$  мкМ, тогда как содержание этого металла в водных вытяжках из почв слабо- и среднезагрязненных территорий изменяется от 0.32 до 1 мкМ. Отсюда очевидно, что даже в случае хорошо изученного токсиканта – кадмия, существует недостаток информации об эффектах его действия при кон-

центрациях, характерных для окружающей среды, что усложняет оценку его опасности для такого важного компонента биосферы, как растения. Поэтому задача нашего исследования заключалась в определении формы зависимости уровня токсического эффекта от концентрации Cd, а также оценке роли глутатионзависимого пути и не связанных с ним процессов восстановления повреждений ДНК в снижении токсического эффекта металла.

В качестве объекта исследований выбрана одноклеточная зеленая водоросль *Chlorella vulgaris* Beijer, с использованием которой другими авторами получена уникальная информация о мутагенных и летальных эффектах неорганических и органических соединений в модельных растворах [24], компонентов природных и промышленных вод [8]. Широкий ареал распространения, присутствие как в водоемах, так и почвах сделало хлореллу удобным объектом биологического мониторинга состояния природных и аграрных экологических систем [12]. Жизненный цикл хлореллы подробно описан в работе [2]. Для оценки токсичности Cd применяли аттестованную (свидетельство № 01.19.231/2003 об аттестации в соответствии с ГОСТ Р 8.563-96) «Методику определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водорослей хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer)».

Культуру водоросли выращивали на 50 %-ной среде Тамийя, из которой был исключен комплексобразователь ЭДТА. Для протококковых водорослей, к которым относится хлорелла, эта питательная среда считается [2] наиболее пригодной. Для поддержания экспоненциальной стадии роста [2] водоросль ежедневно пересевали на свежую питательную среду и наращивали в течение суток в специальном культиваторе [5] при постоянных температуре ( $36.0 \pm 0.5$  °C), освещенности (3700 люкс) и

содержании CO<sub>2</sub> (0.03 %), что соответствует оптимальным условиям жизнедеятельности Chlorella [2]. Затем суспензию фильтровали через четыре слоя марли и разбавляли 50 %-ной средой Тамийя до оптической плотности 0.140±0.005. Измерение оптической плотности культуры проводили в стандартной кювете (толщиной 10 мм) на фотометре КФК-3 при длине волны 670 нм.

Для оценки токсического эффекта по 10 мл полученной описанным выше способом суспензии водоросли заседали в 240 мл дистиллированной воды (интактный контроль), растворов кофеина (0.02 мМ) или бутионинсульфоксимиона (0.02 мМ). Все пробы, разлитые в стеклянные химические стаканы, выдерживали 4 ч при температуре 24 °С и освещенности 3.9-4.0 тыс. люкс от ламп Phillips TLD-36W/840.

Эти пробы использовали для приготовления контрольного и экспериментальных образцов. Изучали раздельное действие Cd и совместное с кофеином либо бутионинсульфоксимином (BSO). Для приготовления проб, содержащих определенные концентрации металла, в суспензии хлореллы вводили автоматическим микродозатором соответствующую аликвоту из матричного раствора нитрата Cd с концентрацией по катиону 0.89 мМ. Затем из приготовленных описанным способом контрольной и каждой экспериментальной пробы (с рН 6.5-7.0) автоматическим дозатором брали аликвоты по 6 мл и переносили в стандартные кюветы (шесть повторностей на вариант опыта). В каждой такой кювете исходно содержалось 154000±26000 клеток водоросли/мл. Оценку плотности культуры водоросли проводили с использованием камеры Горяева по методике Владимировой, Семененко [2].

Кюветы для наращивания хлореллы на 24 ч помещали в культиваторы [5] с автоматически вращающимся кюветодержателем. Температура (36±0.5 °С), освещенность (1400 люкс) и содержание CO<sub>2</sub> (0.03 %) поддерживались постоянными в течение всего эксперимента. В каждом культиваторе находилось по шесть кювет с суспензией водоросли в дистиллированной воде (интактный контроль) и 12 кювет с экспериментальными образцами. При завершении опыта измеряли оптическую плотность суспензии водоросли. По отклонению величины конечной оптической плотности опытных вариантов от контрольного значения оценивали токсичность проб:

$$\Delta D = D_{оп.} - D_{конт.},$$

где ΔD – инкремент (разница между значением оптической плотности опытного и контрольного образцов суспензии водоросли); D<sub>оп.</sub> и D<sub>конт.</sub> – конечная (через 24 ч) оптическая плотность соответственно опытного и контрольного образцов.

Для оценки по приведенной формуле степени снижения прироста биомассы хлореллы (ΔD) при действии определенного ингибитора совместно с Cd использовали в качестве контрольного (D<sub>конт.</sub>) значение оптической плотности суспензии водоросли после 24 ч размножения в растворе с одним только кофеином либо BSO. Реактивы: Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> – ч., фир-

мы В/О «Изотоп»; кофеин (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) – 99 %, «Sigma»; DL-бутионин-(S,R)-сульфоксимион (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>S) – 98 %, «Sigma». Для приготовления среды Тамийя использованы реактивы квалификации х.ч., фирмы ЗАО «Вектон».

В отличие от проведенных ранее другими авторами исследований мы спланировали эксперимент таким образом, чтобы наиболее детально исследовать зависимость в области низких значений концентраций, делая шаг между ними по возможности минимальным. Даже без специальных математических методов исследования зависимостей очевидно, что изученный диапазон концентраций делится на три участка (см. рисунок), в пределах которых реакция хлореллы на воздействие Cd принципиально различается.

В первом диапазоне (0.09·10<sup>-3</sup>-0.09 мкМ) не наблюдается достоверного изменения прироста биомассы водоросли по отношению к контролю (табл. 1). Следует обратить внимание, что на всем протяжении рассматриваемого участка наблюдается значительный размах варьирования величин оптической плотности. Увеличение дисперсии индивидуальных

Таблица 1  
Результаты оценки токсичности Cd по изменению оптической плотности суспензии клеток хлореллы

Концентрация Cd, мкМ	Инкремент оптической плотности суспензии хлореллы через 24 ч размножения
I дозозависимый диапазон (0.002±0.007)	
0.0009	0.003±0.041
0.00050	-0.007±0.028
0.00070	0.013±0.017
0.00180	0.004±0.024
0.00200	0.002±0.029
0.00600	-0.002±0.014
0.00670	0.001±0.009
0.00700	0.011±0.030
0.00900	0.001±0.016
0.01100	0.011±0.007
0.01300	-0.001±0.027
0.01400	0.008±0.039
0.02200	-0.003±0.027
0.02700	0.002±0.013
0.03600	-0.007±0.012
0.04500	-0.007±0.018
0.07000	0.012±0.020
0.09000	-0.008±0.016
II дозозависимый диапазон (-0.020±0.003)	
0.13000	-0.021±0.018 <sup>a</sup>
0.18000	-0.017±0.001 <sup>b</sup>
0.27000	-0.018±0.016 <sup>a</sup>
0.36000	-0.023±0.011 <sup>a</sup>
0.50000	-0.022±0.007 <sup>b</sup>
0.90000	-0.022±0.009 <sup>b</sup>
III диапазон	
1.30000	-0.056±0.010 <sup>b</sup>
1.40000	-0.073±0.012 <sup>b</sup>
2.20000	-0.071±0.004 <sup>b</sup>
5.30000	-0.083±0.004 <sup>b</sup>
9.00000	-0.122±0.002 <sup>b</sup>
18.0000	-0.125±0.001 <sup>b</sup>
53.0000	-0.129±0.001 <sup>b</sup>

Примечание. Здесь и далее в скобках указано среднее значение инкремента оптической плотности суспензии клеток хлореллы для соответствующего диапазона. Отличие от контроля достоверно при p < 0.05 (а), <0.01 (б), <0.001 (в).

частот нарушений является одним из признаков [9] воздействия низких доз факторов как химической (металлы, пестициды, оксиданты и т.д.), так и физической ( $\gamma$ -излучение) природы [1, 9, 10]. Неравномерность распределения ионов по клеткам, многоступенчатый характер их сорбции на поверхности клеточных стенок, поступления в цитозоль и взаимодействия с молекулами-мишенями, а также избирательность таких взаимодействий приводят к тому, что клетки испытывают разное по силе воздействие, степень их поражения оказывается разной, часть клеток остается неповрежденной. Причиной увеличения размаха варьирования регистрируемых показателей являются также неодинаковая чувствительность клеток, обусловленная их индивидуальными особенностями, и дифференциальная устойчивость находящихся на разных стадиях деления клеток [6]. Влияние указанных факторов приводит к существенной гетерогенности популяции по степени поврежденности клеток, что сильнее сказывается на их функционировании именно в диапазоне низкой интенсивности воздействия, при которой вклад восстановительных систем в ответную реакцию является определяющим [4].

В пределах второго диапазона (от 0.13 до 0.90 мкМ) регистрируется достоверно высокий, но остающийся на неизменном уровне токсический эффект: значения оптической плотности суспензии клеток хлореллы после действия концентраций Cd, принадлежащих к данному диапазону, статистически значимо не различаются между собой. Повышение концентрации Cd в растворе до 1.3 мкМ и более приводит к линейному ( $R^2 = 90.75 \pm 0.88 \%$ ;  $F = 29.43$ ;  $p_f = 0.01$ ) снижению ( $b = -0.053 \pm 0.006$ ) прироста биомассы хлореллы. При концентрациях 9-53 мкМ степень ингибирования деления клеток практически не изменяется, достигая  $97.7 \pm 1.2 \%$ .

Наличие дозозависимых диапазонов можно объяснить функционированием двух взаимодополняющих систем: 1) вне- и внутриклеточной детоксикации, 2) восстановления индуцированных повреждений клеточных структур. В современной научной литературе важную роль в выведении Cd из метаболизма клеток отводят металлсвязывающим белкам, дополнительный синтез которых начинается спустя несколько минут после поступления этого металла в цитозоль. Однако проведенные до настоящего времени исследования изменения содержания фитохелатинов и металлтионеинов в клетках растений связаны с изучением остротоксического воздействия Cd. Эти исследования, важные с точки зрения изучения механизмов устойчивости клеток к высоким концентрациям металла, не дают представления о том, какую роль играет указанная система детоксикации в выживании растений в условиях окружающей среды, когда биологические объекты испытывают хроническое воздействие низких (<1 мкМ) концентраций тяжелых металлов, в частности Cd. Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим результаты оценки скорости размножения хлореллы в растворах, содержащих те же, что и в предыдущем эксперименте, концентрации Cd, но с

добавлением BSO, ингибитора  $\gamma$ -глутамилцистеин-синтетазы ( $\gamma$ -ECS) [18] – ключевого фермента синтеза глутатиона [13], который служит основным субстратом для образования фитохелатинов.

Экспериментально была выбрана такая концентрация (0.02 мМ) BSO, которая не подавляет размножение хлореллы, но ингибирует [13, 18] сверхэкспрессию  $\gamma$ -ECS, необходимой для дополнительного синтеза фитохелатинов или глутатиона, который может расходоваться как антиоксидант или субстрат для синтеза фитохелатинов. Результаты исследований (табл. 2, см. рисунок) показали, что при совместном влиянии Cd и BSO оптическая плотность суспензии клеток хлореллы через 24 ч размножения достоверно не отличалась от наблюдаемой в случае действия одного Cd в диапазоне концентраций  $0.09 \cdot 10^{-3}$ -0.71 мкМ. При 0.9 мкМ и более высоком содержании иона металла в растворе в присутствии BSO степень угнетения размножения водоросли была статистически значимо ( $p < 0.05$ ) больше регистрируемой без введения в суспензию ингибитора  $\gamma$ -ECS. Из представленных результатов следует, что повышенный синтез фитохелатинов играет важную роль в детоксикации таких количеств Cd, которые могут встречаться на сильно загрязненных металлом локальных участках. Поэтому следует признать, что роль этого механизма детоксикации Cd в реальной ситуации важна не более чем остальные известные пути выведения металла из метаболизма растений.

Безусловно, можно возразить нашей трактовке представленных результатов. Предположим, что эндогенного глутатиона и/или синтезируемых на его основе фитохелатинов хватает для того, чтобы связывать поступивший в цитозоль Cd, как считают R. Vugeli-Lange и G.J. Wagner [23], вычислившие,

Таблица 2

Результаты оценки токсичности Cd в присутствии 0.02 мМ бутионинсульфоксимида по изменению оптической плотности суспензии клеток хлореллы

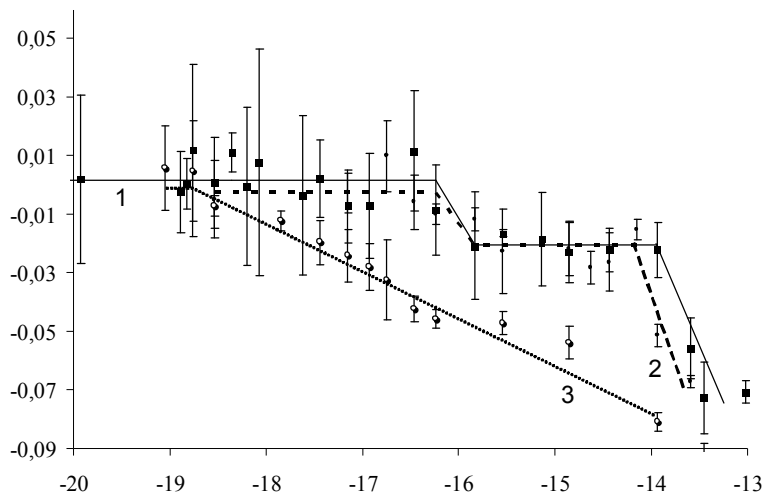
Концентрация Cd, мкМ	Инкремент оптической плотности суспензии хлореллы через 24 ч размножения
I дозозависимый диапазон (-0.003±0.008)	
0.009	-0.005±0.013
0.040	-0.003±0.007
0.050	0.010±0.012
0.070	-0.004±0.009
0.090	-0.009±0.003
II дозозависимый диапазон (-0.021±0.006)	
0.130	-0.012±0.004 <sup>a</sup>
0.180	-0.022±0.014 <sup>a</sup>
0.360	-0.022±0.009 <sup>a</sup>
0.450	-0.028±0.006 <sup>a</sup>
0.500	-0.026±0.010 <sup>a</sup>
0.710	-0.015±0.004 <sup>a</sup>
III диапазон	
0.900	-0.051±0.004 <sup>b</sup>
1.300	-0.068±0.002 <sup>b</sup>
1.400	-0.093±0.004 <sup>b</sup>
2.200	-0.119±0.006 <sup>b</sup>
5.300	-0.107±0.002 <sup>b</sup>
9.000	-0.123±0.002 <sup>b</sup>
18.00	-0.138±0.002 <sup>b</sup>
53.00	-0.109±0.001 <sup>b</sup>

что конститутивно присутствующего в клетках листьев *Nicotiana rustica* глутатиона может быть достаточно для связывания Cd при поступлении в течение семи дней из раствора с постоянно поддерживаемой на уровне 5 мкМ концентрацией. Если принять эти расчеты, то при используемых нами концентрациях и времени воздействия исходно присутствующего глутатиона тем более должно хватать для выведения Cd из метаболизма растений. В то же время, наблюдаемый в наших условиях токсический эффект проявлен уже при 0.13 мкМ Cd как в присутствии ингибитора синтеза  $\gamma$ -ECS (и, как следствие, глутатиона), так и без BSO. Тогда не ясно, почему введение одного Cd в концентрации 0.13 мкМ не вызвало образования в клетках дополнительного количества глутатиона, который, согласно существующим концепциям, мог бы и должен снизить токсическое воздействие кадмия.

Кроме того, результаты наших исследований показывают, что поддержание выживаемости хлореллы на одном и том же не отличающемся от контроля (первый дозозависимый участок) или пониженном (второй диапазон плато), но неизменном уровне при увеличении до определенных пределов содержания Cd в растворе не связано с повышением концентрации глутатиона и/или фитохелатинов в клетках. Действительно, форма зависимости «концентрация кадмия – токсический эффект» не изменяется в присутствии BSO. Границы первого дозозависимого участка находится в тех же пределах, что и при действии одного Cd: от концентрации 0.009 до 0.09 мкМ, а второго – при повышении содержания Cd в растворе от 0.13 мкМ до 0.71 (вместо 0.9 в случае действия одного Cd). Таким образом, на основе проведенных экспериментов становится ясно, что глутатион и синтезируемые на его основе фитохелатины не играют важной роли ни в детоксикации низких (менее 0.9 мкМ) концентраций Cd, ни в определении закономерностей ответной реакции хлореллы на воздействие указанного элемента.

Мы предположили, что важную роль в снижении токсического действия Cd на клетки могут играть процессы восстановления повреждений ДНК, поскольку известно [14, 16], что низкие (не являющиеся токсичными) концентрации металлов снижают эффективность репарации.

Для выявления роли процессов восстановления повреждений ДНК в снижении токсического действия Cd оценивали прирост биомассы водоросли в присутствии кофеина. На клетках растений и животных показано, что в микромолярных концентрациях кофеин не приводит [19, 22] к образованию супероксидных анионов, не вызывает деградации ДНК и может увеличивать выживаемость клеток. При изучении эффектов высоких (5 мМ и более) концентраций кофеина установлена [19, 22] его способность алкилировать основания и вызывать де-



Изменения оптической плотности суспензии асинхронно делящихся клеток хлореллы при различных концентрациях Cd (1) в присутствии BSO (2) или кофеина (3).  
По оси абсцисс: натуральный логарифм концентрации Cd, М;  
По оси ординат: инкремент оптической плотности суспензии клеток водоросли после 24 ч размножения.

градацию ДНК, что приводит к накоплению в клетках циклического аденозинмонофосфата и, как следствие, индукции апоптоза. Модифицирующее действие кофеина на процессы восстановления повреждений ДНК, в том числе у *Chlorella vulgaris*, связывают [20] с его способностью ингибировать репарационный и репликативный синтез ДНК.

Основываясь на приведенных выше данных, в ходе предварительных экспериментов была выбрана концентрация (0.02 мМ) кофеина, которая не замедляет размножение хлореллы за 24 ч по сравнению с интактным контролем, но может повлиять на процессы восстановления повреждений ДНК [20], индуцированных Cd прямо или опосредованно. Как видно из представленных (табл. 3) данных, достоверный токсический эффект кадмий в присутствии кофеина вызывает уже при концентрации 0.009 мкМ. При этом отсутствует (см. рисунок) второй дозозависимый участок: повышение концентрации металла сверх 0.009 мкМ приводит к монотонному ( $R^2 = 0.72 \pm 0.01$ ;  $F = 22.87$ ;  $p = 0.001$ ) снижению

Таблица 3

Результаты оценки токсичности Cd в присутствии 0.02 мМ кофеина по изменению оптической плотности суспензии клеток хлореллы

Концентрация Cd, мкМ	Инкремент оптической плотности суспензии хлореллы через 24 ч размножения
0.005	0.006±0.014
0.007	0.005±0.017
0.009	-0.007±0.004 <sup>a</sup>
0.018	-0.009±0.005 <sup>b</sup>
0.027	-0.014±0.011 <sup>a</sup>
0.036	-0.014±0.003 <sup>b</sup>
0.045	-0.028±0.008 <sup>b</sup>
0.534	-0.032±0.014 <sup>b</sup>
0.071	-0.042±0.004 <sup>b</sup>
0.090	-0.046±0.003 <sup>b</sup>
0.178	-0.047±0.004 <sup>b</sup>
0.356	-0.054±0.006 <sup>b</sup>
0.900	-0.081±0.003 <sup>b</sup>

прироста биомассы водоросли. Это означает, что Cd в концентрации 0.009 мкМ индуцирует потенциальные повреждения ДНК, которые восстанавливаются без дополнительного воздействия кофеина. Важно отметить, что указанная концентрация Cd характерна для слабозагрязненных этим металлом территорий, а также соответствует официально установленному ее предельно допустимому значению (0.001 мг/л) для питьевой воды.

Подводя итог сказанному, можно сделать следующие выводы:

1. Форма зависимости «концентрация – токсический эффект» при действии Cd на хлореллу нелинейна и характеризуется тремя участками, различающимися уровнем повреждений. В первом диапазоне 0.09-0.1<sup>-3</sup>-0.09 мкМ скорость размножения клеток хлореллы не отличается достоверно от контрольной. Во втором диапазоне (0.13-0.90 мкМ) наблюдается достоверно повышенный, но неизменный уровень токсического эффекта. Дальнейшее увеличение содержания Cd в растворе приводит к монотонному снижению прироста биомассы водоросли.

2. В снижении токсического эффекта низких (менее 0.9 мкМ) концентраций Cd процессы восстановления повреждений ДНК играют более важную роль, чем глутатионзависимый путь детоксикации металла.

3. Ингибирование дополнительного синтеза глутатиона L-бутионин-S,R-сульфоксимином (0.02 мМ) повышает чувствительность хлореллы к действию высоких концентраций Cd (0.9 мкМ и более), которые в условиях раздельного действия снижают прирост биомассы водоросли за 24 ч на 25-99 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурлакова Е.Б. Эффект сверхмалых доз // Вестн. РАН, 1994. Т. 64, № 5. С. 425-431.

2. Владимирова М.Г., Семенов В.Е. Интенсивная культура одноклеточных водорослей. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 60 с.

3. Генотоксический эффект хлористого кадмия в различных тест-системах / М.Г. Пешева, С.Г. Чанкова, И.В. Аврамова и др. // Генетика, 1997. Т. 33, № 2. С. 183-188.

4. Гераськин С.А. Концепция биологического действия малых доз ионизирующего излучения на клетки // Радиацион. биол. Радиозкол., 1995. Т. 35, вып. 5. С. 571-579.

5. Григорьев Ю.С., Андреев А.А. Устройство для выращивания микроводорослей. Патент № 2165973.

6. Гудков И.Н., Гродзинский Д.М. Механизмы радиостойчивости растений. Киев: Наукова думка, 1976. С. 110-137.

7. Довгалюк А.И., Калиняк Т.Б., Блюм Я.Б. Цитогенетические эффекты солей токсичных металлов на клетки апикальной меристемы проростков *Allium cepa* L. // Цитология и генетика, 2001. Т. 2. С. 3-10.

8. Жмур Н.С., Орлова Т.Л. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водоросли. М., 2001. 44 с. – (Федеральный реестр. ФР. 1.39.2001.00284).

9. Нугис В.Ю. Методология оценки доз по аберрациям хромосом в лимфоцитах периферической крови при хроническом радиационном воздействии

// Медицинская радиология и радиационная безопасность, 1996. Т. 41, № 3. С. 63-67.

10. Поликарпов Г.Г., Цыцугина В.Г. Закономерности распределения аберраций хромосом по клеткам гидробионтов при действии ионизирующего излучения и химических мутагенов среды // Радиацион. биол. Радиозкол., 1993. Т. 33, вып. 2. С. 205-213.

11. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5. 1315 03. М., 2003. – (Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации)

12. Соколов М.С., Филипчук О.Д., Цаценко Л.В. Биогеоэкологические критерии экологического нормирования // Сельскохозяйственная биология, 1998. № 3. С. 3-24.

13. Cobbett C.S. Phytochelatin biosynthesis and function in heavy metal detoxification // Current opinion in plant biology, 2000. Vol. 3. P. 211-216.

14. Dally H., Hartwig A. Induction and repair inhibition of oxidative DNA damage by nickel(II) and cadmium(II) in mammalian cells // Carcinogenesis, 1997. Vol. 18. P. 1021-1026.

15. Detection of genotoxic effects of heavy metal contaminated soils with plant bioassays / S. Knasmüller, E. Gottman, H. Steinkellner et al. // Mutation Res., 1998. Vol. 420. P. 37-48.

16. Differential effects of toxic metal compounds on the activities of Fpg and XPA, two zinc finger proteins involved in DNA repair / M. Asmuss, L.H. Mullenders, A. Eker et al. // Carcinogenesis, 2000. Vol. 21. P. 2097-2104.

17. Fiskesjö G. The Allium test – an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions // Mutation Res., 1988. Vol. 197. P. 243-260.

18. Griffith O.W., Meister A. Potent and specific inhibition of glutathione synthesis by buthionine sulfoximine (S-n-butyl homocysteine sulfoximine) // J. Biol. Chem., 1979. Vol. 254, № 16. P. 7558-7560.

19. Jafari M, Rabbani A. Dose and time dependent effects of caffeine on superoxide release, cell survival and DNA fragmentation of alveolar macrophages from rat lung // Toxicol., 2000 Vol. 149, № 2-3. P. 101-108.

20. Pelayo H.R., Lastres P., De la Torre C. Replication and G<sub>2</sub> checkpoints: their response to caffeine // Planta, 2001. Vol. 212. P. 444-453.

21. Sanita' di Toppi L., Gabbrielli R. Response to cadmium in higher plants // Environm. Exp. Bot., 1999. Vol. 41. P. 105-130.

22. Sato S., Tabata S., Hotta Y. Changes in intracellular cAMP level and activities of adenylylase and phosphodiesterase during meiosis of lily microspores // Cell Struct. Funct. 1992. Vol. 17, № 6. P. 335-339.

23. Vugeli-Lange R., Wagner G.J. Relationship between cadmium, glutathione and cadmium-binding peptides (phytochelatin) in leaves of intact tobacco seedlings // Plant Sci., 1996. Vol. 114. P. 11-18.

24. Wong M.H. Toxic effects of cobalt and zinc to *Chlorella pyrenoidosa* (26) in soft and hard water // Microbiosis, 1980. Vol. 28 P. 19-25.

25. Zhang Y., Xiao H. Antagonistic effect of calcium zinc and selenium against cadmium induced chromosomal aberrations and micronuclei in root cells of *Hordeum vulgare* // Mutation Res., 1998. Vol. 420, № 1-3. P. 1-6. ❖



**БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ  
ВО ВТОРИЧНОМ ЛИСТВЕННО-ХВОЙНОМ НАСАЖДЕНИИ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ**

к.б.н. **Т. Пристова**  
н.с. отдела лесобиологических проблем Севера  
E-mail: [pristova@ib.komisc.ru](mailto:pristova@ib.komisc.ru), тел. (8212) 24 50 03

Научные интересы: *биологический круговорот азота и зольных элементов*

**Б**иологический круговорот химических элементов является одной из важнейших функциональных характеристик лесных экосистем. Антропогенные преобразования лесных экосистем в результате хозяйственной деятельности человека приводят к изменению характера и основных параметров биологического круговорота. Изучение цикла круговорота азота и зольных элементов в экосистемах, подвергшихся антропогенному воздействию, позволяет определить особенности биокруговорота в производных лиственных лесах на определенной стадии сукцессии, направленность процессов почвообразования, изменения структуры растительности в ходе постантропогенного развития.

Рубка леса с последующей огневой подсочкой является существенным антропогенным воздействием, нарушающим уже устоявшиеся в течение длительного времени взаимосвязи между фитоценозом и почвой. Благодаря смене хвойных лесов лиственными, на фоне значительного уменьшения емкости возрастает интенсивность и скорость биологического круговорота. Положительное влияние лиственных пород на биокруговорот и улучшение почвы известно давно и подтверждается многими исследователями [13, 17, 18]. В настоящее время исследования биологического круговорота во вторичных лиственных насаждениях подзоны средней тайги малочисленны [4, 9, 13]. В лиственных насаждениях Республики Коми исследования охватывают лишь некоторые этапы биологического круговорота [20].

Цель нашей работы состояла в изучении биологического круговорота и водной миграции азота и зольных элементов в средневозрастном лиственно-хвойном насаждении, возникшем после вырубке ельника черничного.

Исследования проведены в подзоне средней тайги (Ляльский лесозоологический стационар Института биологии Коми НЦ УрО РАН) во вторичном 45-летнем лиственно-хвойном насаждении разнотравно-черничного типа, возникшем на вырубке ельника

черничного и после пожара 47-летней давности (табл. 1). Площадь поперечного сечения деревьев насаждения составляет 29.7 м<sup>2</sup>/га. Почва на исследуемом участке – подзол иллювиально-железистый малогумусный. Почвообразующие породы представлены двучленами – флювиогляциальными песками, подстилаемыми моренными суглинками, содержащими на глубине более 110 см карбонатные включения. Исследуемый фитоценоз отличается видовым разнообразием и насчитывает 50 видов растений, в том числе 38 видов – растения травяно-кустарничкового и мохового ярусов. Данное насаждение сформировалось путем естественного лесовозобновления и в настоящее время не испытывает дополнительного антропогенного воздействия. Оно располагается на большом расстоянии от источников промышленного загрязнения, железной и автомобильной дорог. Лесохозяйственных мероприятий на этой территории не проводится.

Фитомассу и прирост надземной части древесных растений определяли методом модельных деревьев [11, 19]. Проанализировано 26 модельных деревьев. Для определения массы и прироста корней древесных растений, кустарничков и трав применяли метод монолитов [12]. Учет массы и прироста растений напочвенного покрова проводился методом укосов на площадках размером 400 см<sup>2</sup> в 20-кратной повторности. Подстилку отбирали металлическим шаблоном площадью 78.5 см<sup>2</sup> в 40-кратной повторности или площадью 878.9 см<sup>2</sup> в 20-кратной повторности. Количество опада древесного яруса определяли опадоулавливателями размером 100×100 см в 20-

кратной повторности. Скорость разложения растительного опада определялась методом «изоляции», по потере массы опада в течение года.

Для сбора дождевых осадков и их количественного учета использовались осадкоулавливатели в 5–10-кратных повторностях. Лизиметры системы Е.И. Шиловой [21] площадью 30–40 см устанавливали под почвенными горизонтами А0, А2, В<sub>1</sub> и В1. В водах определяли рН, НСО<sub>3</sub><sup>2-</sup> – потенциометрически, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – фотометрически, Сl<sup>-</sup> – меркурометрически, К<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> – методом пламенной фотометрии на спектрометре SP-90А (Великобритания), Са, Mg, Mn, Fe и Zn – на атомно-адсорбционном спектрофотометре фирмы Hitachi (Япония), С<sub>орг</sub> – бихроматно-потенциометрически на измерителе ХПК III-05. В растительных и почвенных образцах определяли следующие элементы – Са, К, Si, Mg, P, Mn, Al, Fe и Na – методом зольного анализа и рентгено-флюоресцентным методом на VRA-33 (Германия), N и S – методом газовой хроматографии на автоматическом анализаторе азота ANA-1500 фирмы Карло Эрбо (Италия).

Биологический круговорот минеральных элементов в производных лиственных молодняках и средневозрастных лиственно-хвойных насаждениях более интенсивен, чем в хвойных фитоценозах. Процесс биокруговорота в лиственных лесах отличается высоким уровнем потребления кальция. В биомассе осинников может происходить превалирование кальция над всеми остальными минеральными элементами. Производные леса отличаются от хвойных более высокой скоростью разложения опада и в свя-

Таблица 1  
**Лесоводственно-таксационная характеристика древостоя**

Состав древостоя	Полнота	Порода	Количество деревьев, шт-га <sup>-1</sup>	Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Запас, м <sup>3</sup> -га <sup>-1</sup>
53Ос40Б4С3Е	1.03	Береза	965	45	12.9	16.0	109
		Осина	535	46	17.8	20.0	142
		Сосна	40	45	17.2	17.0	10
		Ель	135	40	9.9	7.4	9
		Всего	1675				

Примечание. Состав древостоя рассчитан по запасу древесины.

зи с этим меньшей мощностью подстилки [13, 17]. Общий запас органической массы в исследуемом лиственнично-хвойном фитоценозе составляет 169.5 т/га, в том числе древостоя – 167.2 т/га (табл. 2). Соотношение компонентов, образующих фитомассу древостоя, следующее: на долю древесины стволов приходится 63.1, ветвей – 8.2, листьев (хвои) – 3.5, ствольной коры – 7.1, корней – 18.1 %. Фитодетрит образует массу 51.3 т·га<sup>-1</sup> и состоит из отмерших деревьев, сухих сучьев растущих деревьев (28.4 %) и лесной подстилки (71.6 %). Исследуемое насаждение находится в стадии интенсивного накопления органического вещества. Величина его прироста составляет 14.2 т/га. В течение года с опадом и отпадом возвращается 7.7 т/га органического вещества, большая часть которого представлена опадом и отпадом древесных растений (94 %). Таким образом, истинный прирост органического вещества составляет 6.4 т·га<sup>-1</sup> в год, что значительно выше, чем в средневозрастных, спелых хвойных и хвойно-ли-

ственных фитоценозах средней тайги Республики Коми, где этот показатель составляет от 0.3 до 3.9 т/га в год [2, 3, 8, 16].

Результаты химического анализа содержания азота и зольных элементов различных органов древесных растений показывают (табл. 3), что наиболее высоким содержанием минеральных элементов отличаются ассимилирующие органы, затем следуют корни и ветви, самой низкзольной является древесина ствола. Сосна, ель и береза характеризуются азотно-кальциево-калиевым, осина – кальциево-азотно-калиевым типом химизма. Химический состав опавших листьев и хвои отличается более низким содержанием азота и зольных элементов, чем растущих. Растения напочвенного покрова отличаются по химическому составу в соответствии с их видовыми особенностями. Кустарничкам (брусника, черника и линнея) свойственен азотно-кальциево-калиевый тип накопления минеральных элементов и высокое содержание Мп (особенно чернике). Довольно индиви-

дуален химический состав хвоща лесного, который отличается высоким содержанием кремния (Si > K > N). Мхи характеризуются низкой зольностью и сочетанием элементов N > K > Ca. Травянистые растения по химическому составу условно можно разделить на группы с преобладанием калия и с преобладанием азота. В первой группе выделяются растения с сочетанием элементов K > N > Ca (*Maianthemum bifolium*, *Trientalis europaea*, *Fragaria vesca*, *Oxalis acetosella*, *Rubus saxatilis*, *Prunella vulgaris*, *Ranunculus prorepens*, *Pyrola media*, *Veronica chamaedrys*, *Melampyrum sylvaticum*, *Solidago virgaurea*, *Geranium sylvaticum*, *Angelica sylvestris*) и K > Si > N (*Luzula pilosa*, *Agrostis tenuis*, *Juncus filiformis*). Для химического состава большинства видов, относящихся ко второй группе характерно сочетание элементов N > K > Ca (*Hieracium umbellatum*, *Vicia sylvatica*, *Chamerion angustifolium*). Содержание азота в травянистых растениях колеблется от 1.68 до 3.61 %, а зольных элементов – от 6.27 до 10.35 %.

Для характеристики биологического круговорота углерода, азота и зольных элементов использованы понятия, предложенные А.И. Перельманом [14] и Л.А. Гришиной [7] – емкость, интенсивность и скорость биологического круговорота. Емкость биологического круговорота в исследуемом лиственнично-хвойном насаждении составляет 1627 кг/га азота и зольных элементов (табл. 4). Основная масса минеральных элементов накапливается в фитомассе древостоя – 1497 кг/га. В древесине накапливается 26.8, корнях – 22.5, ветвях – 17.6, листьях и хвое – 16.0, коре – 12.7 и растениях напочвенного покрова – 4.4 %. Наибольшей емкостью накопления в фитомассе отличаются кальций, азот, калий и кремний.

Интенсивность биологического круговорота исследуемого насаждения составляет 295 кг/га элементов минерального питания в год, при этом надземной частью древостоя потребляется 210 кг/га. Основная роль в формировании прироста принадлежит ассимилирующим органам, которые вовлекают в круговорот около 69 % элементов, потребляемых древостоем на прирост. Растения напочвенного покрова ежегодно выносят из почвы на прирост 49 кг/га азота и зольных элементов, ведущая роль в этом принадлежит травам – 41.4 кг/га. Среди элементов минерального питания наиболее интенсивно в биологический круговорот вовлекаются Ca, N, K, Si, P и Mg. Ряд накопления минеральных элементов в приросте фитомассы ли-

Таблица 2

**Структура органической массы хвойно-лиственного и лиственно-хвойного фитоценозов, т·га<sup>-1</sup> абсолютно сухого вещества**

Компонент фитомассы	Фитомасса	Прирост*	Опад, отпад**
Береза	80.86	5.32	3.09
древесина	50.82	1.69	0.25
кора	6.64	0.01	0.01
ветви	5.59	0.36	0.28
листья	1.39	1.39	1.39
корни	16.42	1.87	1.16
Осина	70.93	6.89	3.06
древесина	47.59	3.55	0.19
кора	4.56	0.04	0.04
ветви	5.63	0.23	0.13
листья	2.35	2.35	2.35
корни	10.8	0.72	0.35
Ель	8.87	0.69	0.30
древесина	2.61	0.22	0.02
кора	0.48	0.03	0.01
ветви	1.91	0.12	0.04
хвоя	1.97	0.16	0.12
корни	1.90	0.16	0.11
Сосна	6.54	0.29	0.42
древесина	4.37	0.07	0.04
кора	0.26	0.01	0.03
ветви	0.60	0.05	0.10
хвоя	0.21	0.06	0.20
корни	1.10	0.10	0.05
Кустарнички	0.86	0.17	0.13
надземная часть	0.22	0.06	0.03
корни	0.64	0.11	0.10
Травы	0.97	0.69	0.64
надземная часть	0.38	0.38	0.34
корни	0.59	0.31	0.30
Мхи	0.43	0.12	0.09
Всего	169.46	14.17	7.73
Фитодетрит	51.31	–	–
сухостой и сухие ветви	14.55	–	–
подстилка	36.76	–	–
Итого	220.77	14.17	7.73

\* Среднее за пять лет.

\*\* Среднее за три года.



Таблица 3

Химический состав древесных растений (% абсолютно сухого вещества)

Компонент фитомассы	N	Ca	K	Si	Mg	P	Mn	Al	Fe	Na
Береза										
Листья	2.25	0.78	0.84	0.28	0.48	0.27	0.11	0.030	0.008	0.010
Ветви	0.52	0.50	0.20	0.16	0.13	0.10	0.03	0.020	0.003	0.007
Древесина	0.09	0.11	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.006	0.005	0.003
Кора	0.40	0.35	0.10	0.11	0.07	0.04	0.03	0.014	0.003	0.007
Корни	0.17	0.04	0.05	0.005	0.02	0.01	0.004	0.002	0.001	0.003
крупные (>20 мм)	0.49	0.19	0.17	0.03	0.07	0.06	0.02	0.082	0.104	0.004
средние (1-20 мм)	0.67	0.21	0.17	0.12	0.07	0.07	0.02	0.124	0.242	0.005
Осина										
Листья	1.07	1.21	0.94	0.82	0.33	0.18	0.04	0.026	0.005	0.037
Ветви	0.74	1.09	0.37	0.20	0.20	0.05	0.01	0.013	0.006	0.010
Древесина	0.10	0.15	0.08	0.07	0.03	0.01	0.003	0.010	0.006	0.003
Кора	0.54	1.03	0.43	0.22	0.17	0.06	0.02	0.015	0.005	0.007
Корни	0.55	0.64	0.26	0.09	0.07	0.04	0.01	0.014	0.028	0.011
Сосна										
Хвоя	1.41	0.64	0.46	0.15	0.10	0.17	0.06	0.088	0.012	0.012
Ветви	0.54	0.07	0.006	0.01	0.01	0.01	0.002	0.004	0.001	0.001
Древесина	0.03	0.08	0.03	0.02	0.02	0.01	0.004	0.006	0.002	0.002
Шишки	0.63	0.97	0.26	0.14	0.09	0.06	0.04	0.039	-	0.004
Корни	0.13	0.06	0.06	0.01	0.02	0.01	0.006	0.006	0.001	0.001
Ель										
Хвоя, год жизни										
первый	1.01	0.56	0.86	0.20	0.16	0.26	0.07	0.018	0.003	0.013
второй	1.02	0.99	0.64	0.32	0.15	0.23	0.12	0.023	0.005	0.013
третий	0.96	1.10	0.49	0.44	0.15	0.23	0.14	0.031	0.007	0.012
четвертый	0.86	1.24	0.48	0.45	0.12	0.22	0.16	0.048	0.005	0.008
пятый	0.88	1.31	0.44	0.53	0.12	0.21	0.18	0.052	0.005	0.008
шестой	0.85	1.63	0.42	0.52	0.12	0.20	0.20	0.066	0.005	0.008
седьмой	0.82	1.81	0.40	0.62	0.13	0.21	0.19	0.057	0.009	0.010
восьмой	0.78	1.79	0.40	0.60	0.12	0.20	0.18	0.055	0.011	0.016
девятый	0.77	1.63	0.38	0.61	0.12	0.19	0.15	0.066	0.011	0.008
Ветви	0.50	0.47	0.19	0.03	0.08	0.06	0.03	0.020	0.006	0.006
Древесина	0.21	0.23	0.07	0.16	0.11	0.03	0.24	0.030	0.019	0.007
Корни										
>20 мм	0.43	0.35	0.15	0.11	0.05	0.07	0.02	0.051	0.100	0.007
1-20 мм	0.60	0.30	0.15	0.04	0.03	0.05	0.03	0.063	0.030	0.003

ственно-хвойного насаждения – кальциево-азотно-калиевого типа. Скорость биологического круговорота определяется соотношением количества минеральных элементов в подстилке и их содержанием в приросте и для исследуемого насаждения составляет 4.5 года (табл. 4). За этот период времени большая часть минеральных

элементов поглощается растениями, проходит все трансформации и возвращается обратно в почву. Для сосняков средней тайги скорость оборота азота и зольных элементов значительно ниже – 9-16 лет, ельников – 9-10 лет [2, 3]. Это свидетельствует о том, что в насаждении с участием в составе древостоя лиственных пород скорость

биологического круговорота в 2-4 раза выше, чем в хвойных. Основные элементы органогены Na, K, P, Ca, Mg и N отличаются наибольшей скоростью оборота. Для кремния и марганца характерно более длительное пребывание в цикле круговорота. Скорость оборота алюминия и железа исчисляется десятками лет, так как эти эле-

Таблица 4

Потоки химических элементов в лиственно-хвойном насаждении

Показатель	N	Ca	K	Si	Mg	P	Mn	Al	Fe	Na	Всего
Емкость биологического круговорота, кг/га	476.1	501.0	229.3	157.4	97.6	51.8	30.1	30.3	43.8	9.4	1626.6
Интенсивность биологического круговорота, кг/га в год	93.1	94.0	38.1	27.1	11.6	12.3	7.3	4.8	5.8	1.0	295.1
Скорость оборота химических элементов, год	5.6	2.3	1.7	8.6	3.5	2.0	7.8	20.1	14.3	1.0	4.5
Запас химических элементов, кг/га в год											
опад	80.6	79.3	29.6	21.3	8.2	10.3	6.4	3.6	4.3	0.7	244.3
подстилка	518.2	213.2	66.2	235.2	40.4	25.7	58.8	95.6	84.6	2.0	1339.9
истинный прирост	12.5	14.7	8.5	5.8	3.4	2.0	1.0	1.2	1.5	0.3	50.9
Высвобождение химических элементов из опада, кг/га в год	38.4	42.0	10.7	кэ	1.51	5.83	4.86	кэ	кэ	-	103.3
Поступление химических элементов с атмосферными осадками и выщелачивание из крон деревьев, кг/га в год	5.5	11.1	12.3	2.7	3.1	0.9	0.3	0.01	0.2	4.6	40.7
Вывнос химических элементов с почвенными водами, кг/га в год	1.1	8.7	2.5	5.6	2.3	0.2	0.01	0.01	2.8	0.1	23.3
Скорость разложения опада, % в год	47.6	53.0	36.2	кэ	18.4	56.6	75.9	кэ	кэ	-	53.9

Примечание. Проверк – нет данных, кэ – концентрация элемента в опаде после разложения не уменьшается.

менты потребляются растениями в небольших количествах.

Помимо трех представленных параметров биологического круговорота, для лесных экосистем не менее важны такие показатели, как возврат минеральных элементов с растительным опадом, скорость разложения надземного опада, количество минеральных элементов, аккумулируемых в подстилке, поступление и вынос веществ с атмосферными осадками и почвенными водами [17]. Возврат минеральных элементов с годичным опадом и отпадом составляет 244 кг/га. В хвойных фитоценозах на территории Республики Коми с опадом возвращается значительно меньше азота и зольных элементов – от 79 до 115 кг/га в год [3, 16]. В лиственно-хвойных насаждениях в условиях Карелии возврат минеральных элементов с опадом составляет 128.6-181.4 кг-га<sup>-1</sup> (Казимиров, Морозова, Куликова, 1978). Такое различие обусловлено интенсивным отпадом сосны из состава древостоя и высоким содержанием азота и зольных элементов в опаде осины – 109 кг/га в год (53 % общего их количества в опаде и отпаде древесного яруса). В отличие от распределения элементов по показателям емкости и интенсивности биологического круговорота ряд накопления минеральных элементов в опаде – азотно-кальциево-калиевый (табл. 4). Количество высвобождающихся за год из опада элементов составляет 39.3 % потребляемого насаждением.

В течение года 103 кг/га минеральных элементов, поступающих с опадом, переходят в подстилку, в том числе 68 % с опадом осины и березы. Около половины азота и зольных элементов, поступивших с опадом за год, высвобождается, остальное концентрируется в подстилке. Формирование подстилки в исследуемом насаждении связано со скоростью разложения опада, которая в пределах исследуемого насаждения варьирует от 13 до 71 % в год в зависимости от видовой принадлежности компонента опада. Для 50-летних среднетаежных березняков разнотравного типа в условиях Карелии диапазон показателя интенсивности разложения растительного опада шире – от 9 до 79 % в год [6]. По убыванию скорости разложения компоненты опада располагаются следующим образом: бодяк разнолистный > майник > костяника > герань лесная > ятрышник > золотая розга > седмичник > черника > листья березы > листья осины > злаки > хвоя сосны > ветки > шишки > мхи. Различия в скорости разложения отдельных видов растений обусловлено величиной соотношения

C/N в растительных образцах. Установлено, что между показателями скорости разложения и C/N существует тесная отрицательная связь ( $r = -0.7 \div -0.9$ ), причем для травянистых растений она сильнее, чем для компонентов древесного опада. Исключение составляет кукушкин лен: по значению C/N он занимает промежуточное положение между компонентами опада древесного яруса и опадом кустарничков. Однако опыты показывают, что скорость его разложения в два раза ниже, чем у листьев березы. Это связано с наличием в тканях мхов полифенольных комплексов, которые ослабляют минерализацию клетчатки [1]. Согласно нашим исследованиям, количественные показатели процесса минерализации опада довольно четко дифференцируются по принадлежности вида растительного опада к той или иной жизненной форме. Например, содержание химических элементов в опаде листьев березы укладывается в следующий ряд: N > Ca > K > Mg > P > Si > Mn > Fe > Al, через год разложения он качественно меняется: Ca > N > Si > K > P > Al > Fe > Mn > Mg. В листьях осины изменения в количестве отдельных элементов имеют иной характер – до разложения: Ca > N > K > Si > P > Mg > Mn, после: Ca > Si > N > K > P > Fe > Al > Mg > Mn. Для разнотравья изменения следующие – до разложения: K > N > Ca > Mg > P > Si > Mn > Al > Fe, после: Si > Ca > N > Al > Fe > K > P > Mg > Mn.

Общий запас минеральных элементов в подстилке в среднем составляет 1340 кг/га (табл. 4). Для лиственно-хвойных насаждений средней тайги, сходных по составу древостоя и типу почвы, в условиях Карелии количество минеральных элементов, аккумулируемых в органогенном горизонте, находится примерно в этих же пределах – 1104-1826.6 кг/га [9]. Распределение запасов минеральных элементов в подстилке кальциево-азотно-калиевое: Ca > N > K > Si > Mg > P > Fe > Al > Mn > Na. Количество кальция и кремния в органогенном горизонте составляет 50 % общего содержания зольных элементов, что на 25 % меньше, чем в березово-еловых насаждениях Карелии [9]. Несмотря на то, что подстилка формируется из растительного материала, богатого биофильными элементами, ее минеральный состав определяется элементами, доминирующими в опаде после его разложения – Si, Al и Fe, и тем самым приближает ее к минеральному составу почвы. Показатель соотношения C/N в подстилке, равный 29, указывает на относительно высокую интенсивность ее разложения. Однако, степень минера-

лизации азота низкая, что способствует его аккумуляции в горизонте A0.

Лесные экосистемы не относятся к абсолютно замкнутым, так как происходит постоянный приток минеральных элементов, особенно серы, из атмосферы с осадками и их вынос за пределы биогеоценоза в процессе водной миграции [15]. Если учесть, что круговорот минеральных веществ в лесу состоит из нескольких подциклов различной длины, то самый короткий цикл характерен для элементов, вымываемых дождем из листьев и из экскрементов насекомых, поедающих листья, поскольку эти элементы могут сразу же использоваться [10]. По нашим оценкам, в течение года с атмосферными осадками, а также за счет вымывания из крон деревьев на поверхность почвы в исследуемом насаждении поступает в среднем 41 кг/га азота и зольных элементов, из них 88 % элементов поступает в теплое полугодие. Поступление минеральных элементов в биологический круговорот с кроновыми водами отличается калиево-кальциево-азотным типом химизма. Это обусловлено тем, что калий, как достаточно подвижный элемент, легко выщелачивается из листьев в результате катионного обмена и смыва пыли с поверхности крон. Для дождевых осадков, прошедших сквозь кроны еловых древостоев, характерно превалирование кальция [5]. Атмосферные осадки играют определенную роль в пополнении запаса элементов минерального питания в почве исследуемого насаждения. Так, с кроновыми водами поступает 32 % потребляемого фитоценозом калия, 27 – магния, 12 – кальция. Количество натрия, поступающего с осадками, в 4.6 раза превышает уровень его потребления растительностью. Ежегодно за пределы лесных экосистем выносятся определенное количество элементов. Это происходит за счет процессов водной миграции. По нашим оценкам, этот вынос составляет 23 кг/га минеральных элементов в год (57 % элементов, поступивших с атмосферными осадками). Среди элементов, мигрирующих за пределы цикла круговорота лиственно-хвойного биогеоценоза, 16 % приходится на N, P и K и 36 % на Si и Fe – элементы, содержание которых в почве значительно превышает потребность в них растений.

Таким образом, емкость биологического круговорота средневозрастного лиственно-хвойного насаждения разнотравно-черничного типа составляет 1566 кг/га. Высокой емкостью накопления характеризуются кальций,

## ЮБИЛЕЙ

28 августа исполняется 75 лет доктору биологических наук, ведущему научному сотруднику лаборатории биологии почв и проблем природовосстановления отдела почвоведения Института биологии Коми НЦ УрО РАН **Инне Борисовне Арчевой**.

Инна Борисовна родилась в г. Кутаиси Грузинской ССР в семье военнослужащего. В 1949 г. она окончила среднюю школу в г. Ленинград и поступила в Ленинградский государственный университет на биолого-почвенный факультет, который с отличием закончила в 1954 г. После окончания университета И.Б. Арчевой была распределена на работу в г. Архангельск на Стационар Академии наук СССР, где она начала свою трудовую деятельность в должности научного сотрудника. Начиная с 1957 г. и по сей день Инна Борисовна работает в Институте биологии Коми НЦ УрО РАН.

В 1968 г. Инна Борисовна защитила кандидатскую диссертацию по теме «Почвы основных микрокомплексов Воркутинской тундры и особенности их гумуса»; в 1995 г. — докторскую диссертацию по теме «Экологические особенности почвообразования и схема биологической рекультивации на Крайнем Севере России».

Основные научные направления, разрабатываемые И.Б. Арчевой, связаны с глубоким изучением органического вещества (гумуса) почв тундровой и таежной зон, генезиса почв, проблем экологии, антропогенной (техногенной) эволюции почв Севера, их освоения и восстановления. И.Б. Арчевой впервые исследовала воздействие промораживания на почвенное органическое вещество. Результаты ее исследований обобщены в монографии «Гумусообразование на севере Европейской территории СССР» (1985).

Инна Борисовна активно участвовала в разработке ряда научно-исследовательских тем, организовывала и проводила полевые маршрутные и стационарные работы в восточно-европейской и западно-азиатской частях тундровой зоны. Результатом исследований явилась разработка географически адаптированной системы земледелия (и растениеводства), основанной на использовании метода залужения — создания многолетних агроценозов в зоне тундры. Этот метод был внедрен в практику Заполярных хозяйств, где в 70-80-е гг. было создано несколько тысяч гектаров сеяных лугов. Мониторинг сеяных лугов, проводимый в течение практически пятидесяти лет, показал, что при минимальном уходе сеяные луга в тундровой зоне способны сохранять высокую продуктивность без коренного улучшения и пересева в течение более 40 лет.

Большое внимание в последние 10-12 лет Инна Борисовна уделяет разработке общих экологических проблем, связанных с расширяющимся техногенным воздействием на природную среду Крайнего Севера. Она является одним из организаторов исследований по проблеме восстановления нарушенных ландшафтов, рационального природопользования и природовосстановления. На основе изучения целинных почв Крайнего Севера Инна Борисовна разработала и обосновала концепцию и двухэтапную систему практических мер по ускорению природовосстановления с учетом специфики климатических условий, высокой степени уязвимости природных экосистем к техногенным воздействиям, их низкого самовосстановительного потенциала. Сутью предложенной системы является создание нового плодородного слоя, предотвращение развития почвенной эрозии посевом многолетних видов трав с последующим ускорением восстановления растительного сообщества и разрушенной экосистемы в целом. Предложенная схема природовосстановления успешно используется при составлении ТЭО (технично-экономических обоснований), проектов рекультивации на Севере.

И.Б. Арчевой активно внедряет результаты научных исследований в практику. По ее инициативе и при ее участии был подготовлен Указ Главы Республики Коми по созданию при Институте биологии Коми НЦ УрО РАН «Республиканского центра по рекультивации нарушенных земель», который с 1999 г. осуществляет свою практическую деятельность в области природовосстановления на территории Республики Коми. Под непосредственным руководством И.Б. Арчевой разработана биотехнология утилизации гидролизного лигнина. Продукт утилизации — биологически активное органо-минеральное удобрение (V класса опасности) — активно используется как для рекультивации, так и для сельскохозяйственных целей (на Ямале, в Ухтинском, Усинском, Сыктывдинском районах).

Инна Борисовна не только регулярно выступает с докладами на различных научных конференциях, но и проводит активную организационную работу. По ее инициативе и при большом личном участии в Сыктывкаре и Санкт-Петербурге проведены пять международных конференций «Освоение Севера и проблемы природовосстановления» с изданием материалов, очередная конференция будет проведена в октябре 2006 г.

И.Б. Арчевой — специалист высокой квалификации, она щедро делится своим опытом и знаниями с молодыми специалистами, не жалея ни сил и ни времени. Инна Борисовна систематически читает курсы лекций в Сыктывкарском лесном институте, руководит аспирантами. Она автор более 120 научных работ, ответственный редактор и соавтор девяти монографий. Инна Борисовна имеет три патента по разработке технологии на получение органического удобрения из гидролизного лигнина, а также по рекультивации отдаленных территорий Крайнего Севера оптимизированным способом.

*Дорогая Инна Борисовна!*

*Коллектив Института биологии, отдел почвоведения сердечно поздравляют Вас с юбилейной датой!  
Горячо желаем Вам крепкого здоровья, счастья, благополучия и новых творческих успехов!*



С Н.С. Котелиной (слева) и И.С. Хантимером на залуженном участке в воркутинской тундре. 1978 г.

Окончание. Начало на с. 10

азот, калий и кремний. Интенсивность биологического круговорота лиственно-хвойного насаждения в 1.7 раза выше, чем в ельнике черничном, и составляет 176 кг/га в год. Скорость биологического круговорота составляет в среднем 4.5 года, что в 2-4 раза выше, чем в исходных ельниках, при этом наибольшей скоростью оборота отличаются натрий, калий, фосфор и кальций. Ежегодно с опадом в подстилку поступает 244.3 кг/га азота и зольных элементов, что составляет 79 % потребляемого на прирост. С осадками, за счет выщелачивания из крон древесной растительности и из атмосферы в почву дополнительно поступает около 41 кг/га минеральных элементов в год. Вынос элементов за пределы корнеобитаемого слоя с почвенными водами составляет 57 % поступившего с осадками. Особенностью биологического круговорота исследуемого насаждения является то, что порубочные остатки сжигались, поэтому минеральные элементы поступили в почву в основном не в процессе естественной минерализации, а с золой и углями. Согласно классификации Л.Е. Родина и Н.И. Базилевич [17], лиственно-хвойное насаждение средней тайги, как и ельники, относятся к азотному бореальному классу типов биологического круговорота, который характеризуется сильной заторможенностью, средними зольностью и продуктивностью. Смена лесной растительности елового сообщества на лиственно-хвойное в процессе сплошных рубок привела к изменению типа химизма биологического круговорота

элементов с азотно-кальциевого на кальциево-азотный.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аристовская Т.В.* Микробиология подзолистых почв. М.-Л.: Наука, 1965. 183 с.
2. *Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность лесов // Леса Республики Коми. М., 1998. С. 40-54.
3. *Бобкова К.С.* Биологический круговорот азота и зольных элементов в сосновых биогеоценозах // Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1993. С. 127-148.
4. *Вакуров А.Д., Полякова А.Ф.* Круговорот азота и минеральных элементов в 35-летнем осиннике // Круговорот химических веществ в лесу. М.: Наука, 1982. С. 44-54.
5. Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков / *Л.О. Карпачевский, Т.А. Зубкова, Т. Пройслер* и др. // Лесоведение, 1998. № 1. С. 50-59.
6. *Германова Н.И.* Разложение опада как показатель интенсивности круговорота элементов в лесных насаждениях Южной Карелии // Лесоведение, 2000. №3. С. 30-35.
7. *Гришина Л.А.* Биологический круговорот и его роль в почвообразовании. М.: Изд-во МГУ, 1974. 99 с.
8. *Забоева И.В.* Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. С. 131-147.
9. *Казимиров Н.И., Морозова Р.М., Куликова В.Н.* Органическая масса и потоки веществ в березняках средней тайги. Л.: Наука, 1978. 216 с.
10. *Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.* Физиология древесных растений. М., 1974. 421 с.
11. *Молчанов А.А., Смирнов В.В.* Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 99 с.
12. *Орлов А.Я.* Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение, 1967. № 1. С. 64-70.
13. *Паршевников А.Л.* Круговорот азота и зольных элементов в связи со сменой пород в лесах средней тайги // Типы леса и почвы северной части Вологодской области. М.-Л., 1962. С. 196-209. – (Тр. ин-та леса и древесины СО АН СССР; Т. 52.).
14. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Гос. изд-во географ. литры, 1966. 496 с.
15. *Пономарева В.В., Рожнова Т.А., Сотникова Н.С.* Современные процессы миграции-аккумуляции химических элементов в профилях подзолистых почв (пизиметрические наблюдения) // Почвы Карелии и пути повышения их плодородия. Петрозаводск, 1971. С. 17-31.
16. Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера // *И.Б. Арчегова, Т.Г. Заблоцкая, А.В. Кононенко* и др. Л.: Наука, 1975. 129 с.
17. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности земного шара. М.-Л.: Наука, 1965. С. 40-147.
18. *Смолянинов И.И.* Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов. М., 1969. 192 с.
19. *Уткин А.И.* Биологическая продуктивность лесов // Лесоведение и лесоводство. М.: Наука, 1975. Т. 1. С. 9-190.
20. *Фролова Л.Н.* Особенности почвообразования в еловых лесах в связи со сменой пород в условиях Коми АССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 1965. 18 с.
21. *Шилова Е.И.* Метод получения почвенного раствора в природных условиях // Почвоведение, 1955. № 11.



**СОСТОЯНИЕ ПИГМЕНТНОГО АППАРАТА РАСТЕНИЙ ЖИВУЧКИ ПОЛЗУЧЕЙ (AJUGA REPTANS L.) В СВЯЗИ С АДАПТАЦИЕЙ К СВЕТОВЫМ УСЛОВИЯМ ПРОИЗРАСТАНИЯ**



д.б.н. **Т. Головко**  
 зав. лабораторией  
 экологической физиологии растений  
 E-mail: [t\\_golovko@ib.komisc.ru](mailto:t_golovko@ib.komisc.ru)  
 тел. (8212) 24 96 87

Научные интересы: физиология и экология растений, продукционный процесс, CO<sub>2</sub>-газообмен



к.б.н. **О. Дымова**  
 с.н.с. этой же лаборатории  
 E-mail: [dymova@ib.komisc.ru](mailto:dymova@ib.komisc.ru)  
 тел. (8212) 24 96 87

Научные интересы: физиология и экология растений, адаптация, фотосинтетический аппарат

Свет функционально необходим для фотосинтезирующих организмов, трансформирующих и запасающих энергию солнечной радиации в химических связях органического вещества. Вместе с тем, свет является агрессивным фактором, способным вызывать фотодинамическое разрушение фо-

тосинтетического аппарата [11, 14]. Избыточное поглощение световой энергии может приводить к повреждению пигмент-белковых комплексов тилакоидных мембран в результате образования активных форм кислорода. Наиболее чувствителен к фотоповреждению пигмент-белковый комплекс ФС 2 [14].

В эволюции у растений сформировалось несколько линий защиты от светового стресса на структурно-функциональном и молекулярно-генетическом уровнях. Особую роль в защите реакционных центров играют каротиноиды хлоропластов. Они способны эффективно тушить триплетное состояние хлорофилла и свободные радикалы, возникающие при освещении [12]. Три каротиноида, участвующие в виолаксантинном цикле (ВКЦ), осуществляют регуляцию светового потока в пигмент-белковых комплексах [4, 13]. Ксантофиллы, локализованные в светособирающем комплексе (ССК) всех фотосинтезирующих организмов, участвуют в светосборе и защите от фотоингибирования [13]. Главная функция в защите фотосинтетического аппарата от повреждений высокой интенсивностью света принадлежит зеаксантину, который образуется при деэпоксидации виолаксантина через интермедиат антераксантина. Полагают, что зеаксантин осуществляет превращение избытка поглощенной энергии в тепло, предотвращая перенос энергии возбуждения в реакционный центр [11, 12]. Потери энергии поглощенных квантов света в виде теплового излучения и/или в реакциях тушения возбужденного состояния хлорофилла относят к нефотохимическому тушению флуоресценции (NPQ). Отмечено пропорциональное изменение NPQ и содержания зеаксантина [15]. Однако в некоторых случаях не обнаружена корреляция между накоплением зеаксантина и NPQ [9].

Ранее нами были показаны изменения анатомо-морфологических и физиолого-биохимических параметров листьев теневосливого растения живучки ползучей (*Ajuga reptans* L.) при адаптации к световому режиму [1]. У световых растений, произрастающих на открытой делянке, повышалась удельная поверхностная плотность листовых пластинок (в 2.3 раза) и максимальная скорость видимого фотосинтеза в расчете на единицу листовой поверхности (на 20-30 %), снижались содержание зеленых пигментов (в 1.3-1.4 раза) и соотношение хлорофиллы/каротиноиды. Изучение световой зависимости CO<sub>2</sub>-газообмена листьев теневых растений, произрастающих под пологом леса, выявило подавление видимого фотосинтеза при ФАР свыше 100 Вт/м<sup>2</sup>. В отдельных случаях такую же реакцию наблюдали у растений на делянке.

Учитывая тот факт, что при более чем двукратном увеличении удельной поверхностной плотности листьев (УППЛ) скорость видимого фотосинтеза листьев световых растений живучки повышалась незначительно, мы предположили активацию защитных механизмов, обеспечивающих диссипацию избытка поглощенной энергии. Целью работы было сравнительное изучение пигментного аппарата и оценка состояния деэпоксидации пигментов ксантофиллового цикла в листьях световых и теневых растений живучки ползучей.

Теневые растения произрастали под пологом елово-осинового разнотравного леса, где освещенность в период максимального развития листы (июль) составляла 5-10 % от полной. Световые растения

получали путем трансплантации из леса в коллекционный питомник на открытую делянку, как описано ранее [1]. Опыты проводили 11-12 августа 2004 г. на следующий год после пересадки растений. В экспериментах использовали функционально зрелые летнезеленые листья, появившиеся и сформировавшиеся в текущем сезоне. Пробы листьев отбирали с 20-25 типичных растений четыре раза в течение суток.

Фотосинтетические пигменты экстрагировали из свежего растительного материала (150-200 мг) кипящим 100 %-ным ацетоном. Содержание хлорофиллов и каротиноидов определяли спектрофотометрически на приборе UV-1700 (Shimadzu, Япония) в ацетоновой вытяжке при длинах волн 662 и 644 нм (хлорофиллы) и 470 нм (каротиноиды). Долю хлорофиллов в ССК рассчитывали, приняв, что практически весь хлорофилл *b* находится в ССК, а соотношение хлорофиллов *a* и *b* в этом комплексе составляет 1.2. Антоцианы экстрагировали из листьев 1 %-ным раствором соляной кислоты при 45 °С в течение 20 мин. и определяли спектрофотометрически при 510 нм.

Часть листовых пластинок высушивали между листами фильтровальной бумаги в полной темноте при комнатной температуре и хранили в морозильной камере при -80 °С. Разделение пигментов проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с обращенной фазой (Jasco, Япония). Листовые пластинки размельчали в растворителе А (ацетонитрил:метанол:вода в соотношении 72:8:1) и центрифугировали при 12000 g в течение 5 мин. Супернатант отфильтровывали и наносили 100 мкл на колонку Nucleosil C18 с размером частиц 5 мкм, 250×40 мм (Teknokroma, Испания). Пигменты элюировали изократически в течение 40 мин. системой растворителей А и В (метанол:этилацетат в соотношении 68:32) со скоростью 2 мл/мин.

Состояние деэпоксидации (DEPS) рассчитывали как соотношение

$$(Z+0.5An)/(V+An+Z), \quad (1)$$

где *Z* – зеаксантин, *An* – антераксантин и *V* – виолаксантин. Коэффициент 0.5 указывает, что *An* содержит эпокси-группу в одном из двух β-ионовых колец.

Все измерения проводили в четырех-шести биологических и трех аналитических повторностях. В таблицах и на рисунках приведены средние арифметические величины со стандартным отклонением. Достоверность различий между вариантами оценивали по *t*-критерию Стьюдента.

Получена суточная динамика содержания хлорофиллов, каротиноидов и антоцианов в летнезеленых листьях растений живучки ползучей, произрастающей под пологом леса и на открытой делянке (рис. 1). Анализ данных показал, что в расчете на сухую массу листьев теневых растений отличались от световых существенно более высоким содержанием фотосинтетических пигментов и антоцианов. По сумме хлорофиллов *a* и *b* теневые листья превышали световые в 2.5-3.0 раза, а по содержанию ка-

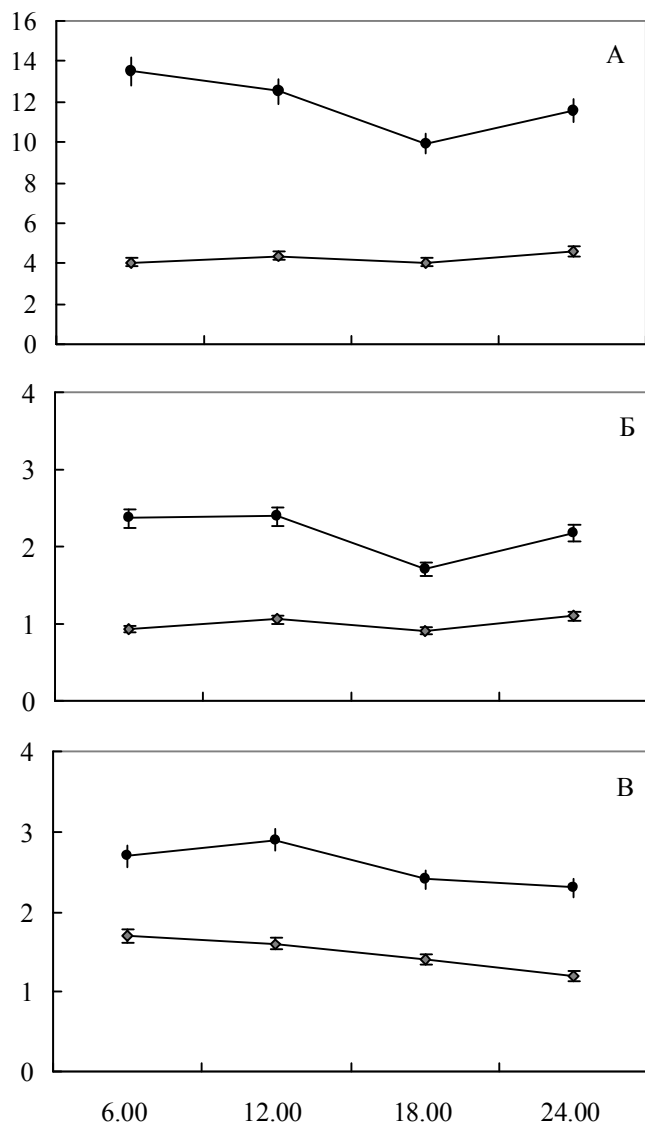


Рис. 1. Концентрации (мг/г сухой массы) хлорофиллов *a+b* (А), каротиноидов (Б) и антоцианов (В) в листьях теневых (1) и световых (2) растений *Ajuga reptans* L. Здесь и далее: по горизонталю указано время суток (ч).

ротиноидов – примерно вдвое. Концентрация антоцианов в листьях теневых растений была в среднем в полтора раза выше, чем в световых. У теневых растений выявлены суточные изменения в содержании пигментов. В утренние и дневные часы концентрация хлорофиллов в листьях была на 20-25, а каротиноидов – на 28 % выше, чем в вечернее время.

Различия между вариантами по содержанию хлорофиллов сохранялись и при расчете содержания пигментов на единицу площади листьев (табл. 1). Уменьшение разницы между сравниваемыми величинами является следствием двукратного превышения УППЛ световых листьев по сравнению с теневыми (табл. 2). Выявлены суточные изменения показателя в листьях обоих вариантов, наименьшая его величина отмечена в полдень.

У листьев теневых растений проявлялась тенденция к уменьшению соотношения хл *a/b* и повышению доли хлорофиллов, принадлежащих ССК. У световых растений достоверно ниже соотношение

зеленых и желтых пигментов, что свидетельствует об относительно более высоком содержании каротиноидов в фонде фотосинтетических пигментов. Данные хроматографического определения пигментов иллюстрируют изменения относительного содержания компонентов пигментного аппарата листьев световых и теневых растений (рис. 2). У листьев световых растений в спектре каротиноидов присутствовали антраксантин и зеаксантин. При этом доля зеаксантина возрастала к вечеру, а доля антраксантина была выше утром. В листьях теневых растений зеаксантин и антраксантин обнаружены в следовых количествах. Доля  $\beta$ -каротина и лютеина была выше у листьев световых растений, тогда как в листьях теневых растений накапливалось больше неоксантина.

Оценка состояния де-эпоксидации виолаксантина по соотношению (1) показывает, что де-эпоксирированное состояние пигментов ксантофиллового цикла у световых растений было существенно (на порядок) выше, чем у теневых растений (рис. 3). Хотя уровень деэпоксидации пигментов ВКЦ световых растений сохранялся сравнительно высоким на протяжении суток, максимальные значения были отмечены в послеполуденные часы.

Условия среды, в первую очередь свет, оказывают сильное влияние на функциональную активность растений, что отражается на их пигментном аппарате. Содержание и соотношение пигментов определяется многими внешними и внутренними факторами, действие которых интегрируется в активности двух процессов – биосинтеза и деградации пигментов. Наши данные показывают (рис. 1), что содержание пигментов у растений, произрастающих на делянке, ниже по сравнению с растениями, обитающими под пологом леса. При этом уровень накопления зеленых и желтых пигментов не меняется в течение суток, что указывает на сбалансированность скоростей их образования *de novo* и деградации.

У растений под пологом леса выявлены суточные изменения содержания фотосинтетических пигментов: в послеполуденные часы их концентрация в листьях была достоверно ниже, чем утром. Известно, что в листьях, в зависимости от вида и условий произрастания, за сутки обновляется 5-10 % хлорофилла [6]. Уменьшение содержания зеленых и желтых пигментов в листьях теневых растений может быть связано с эндогенной ритмикой физиологических процессов и/или обусловлено внешними факторами. Вероятно, солнечная радиация утренних и полуденных часов, богатых инфракрасными и красными лучами [7], обладает большей эффективностью в биосинтезе зеленых пигментов, особенно хлорофилла *a*, и каротиноидов. Сопоставление суточных изменений содержания пигментов в листьях теневых растений с интенсивностью их фотосинтеза (данные не приведены) показало, что максимальные количества хлорофиллов и каротиноидов в дневные часы соответствовали наибольшей скорости ассимиляции  $\text{CO}_2$  (2-3  $\text{мгCO}_2/\text{дм}^2\text{ч}$ ) при естественной освещенности.

Таблица 1

Содержание пигментов в листьях  
теневых (верхняя строка) и световых (нижняя строка)  
растений *Ajuga reptans* L., мг/дм<sup>2</sup> (n = 5)

Время суток, ч	Хлорофиллы			Каротиноиды
	a	b	a+b	
6.00	2.45 ± 0.06	0.94 ± 0.06	3.39 ± 0.18	0.62 ± 0.03
	1.71 ± 0.09*	0.61 ± 0.05*	2.32 ± 0.13*	0.54 ± 0.03
12.00	1.93 ± 0.09	0.72 ± 0.07	2.65 ± 0.15	0.49 ± 0.02
	1.43 ± 0.05*	0.46 ± 0.02*	1.89 ± 0.09*	0.43 ± 0.01
18.00	2.19 ± 0.09	0.92 ± 0.04	3.11 ± 0.10	0.54 ± 0.03
	1.62 ± 0.09*	0.61 ± 0.04*	2.23 ± 0.13*	0.50 ± 0.02
24.00	2.29 ± 0.08	0.85 ± 0.03	3.14 ± 0.05	0.59 ± 0.02
	2.10 ± 0.15	0.66 ± 0.09	2.76 ± 0.23	0.66 ± 0.09

\* Здесь и далее: различия между вариантами достоверны при p ≤ 0.05.

При адаптации к высокой освещенности у листьев живучки, наряду с уменьшением общего содержания фотосинтетических пигментов, наблюдается типичная для C<sub>3</sub>-видов редукция ССК, о чем свидетельствует снижение доли хлорофиллов, ему принадлежащих (табл. 2). Судя по соотношению хлорофиллы/каротиноиды, у световых растений обнаружено более высокое относительное содержание желтых пигментов. Другими словами, пул каротиноидов на полном свету уменьшался в меньшей степени, чем пул зеленых пигментов. Среди каротиноидов протекторную функцию при адаптации фотосинтетического аппарата растений к избыточной радиации выполняют ксантофиллы. При длительной адаптации к условиям высокой освещенности растения характеризуются большим пулом ксантофиллов и образованием зеаксантина [8, 10]. Де-эпоксидация на свету включает превращение эпоксиксантофилла (виолаксантина) в безэпоксидный зеаксантин, а также изменения в содержании интермедиата антераксантина (5,6-моноэпоксизеаксантина).

Известно, что зеаксантин накапливается на свету и образуется из «активного» фонда виолаксантина. Доступность виолаксантина для де-эпоксидации тем выше, чем более восстановлен пул пластохинонов. Согласно данным Стржалка с соавт. [5], трансформация виолаксантина в зеаксантин происходит в липидном матриксе. Показано [3], что при высокой инсоляции у летневегетирующих растений (*Urtica dioica*, *Ranunculus acris*) повышалось образование зеаксантина и его содержание достигало 60 % пула ксантофиллов виолаксантинового цикла. Травянистые многолетники способны преобразовывать до 85 % пула пигментов ксантофиллового цикла в зеаксантин на свету. Зеаксантин способен перехватывать от возбужденного хлорофилла избыточную энергию и рассеивать ее в виде тепла еще до передачи в реакционный центр [11]. Механизм, с помощью которого зеаксантин рассеивает излишек энергии, до сих пор точно не установлен. Выказано предположение, что зеаксантин опосредованно влияет на процессы диссипации энергии, так как способствует аллостерическим изменениям в пигмент-белковых комплексах и, тем самым, увеличивает нефотохимическое тушение флуоресценции [16]. Однако данные о вовлечении этого цикла при адаптации теневыносливых растений к избыточной радиации в литературе практически отсутствуют.

Наши результаты показывают, что у теневыносливого растения живучки ползучей при адаптации к полному солнечному свету происходило значительное повышение содержания де-эпоксидации компонентов ксантофиллового цикла. Полный свет индуцировал превращение виолаксантина в зеаксантин (через антераксантин). Листья световых растений, выращенных на

открытой делянке, обладают высокой способностью диссипировать избыток поглощенной световой энергии. Можно полагать, что диссипация энергии в ксантофилловом цикле играет существенную роль в защите фотосинтетического аппарата теневыносливых растений, адаптированных на полном свету. Этим, по-видимому, объясняется также установленный нами ранее [1] факт сравнительно небольшого (на 20-30 %) превышения скорости фотосинтеза выращенных на делянке растений над лесными при насыщающей интенсивности света.

Нами выявлено, что содержание нефотосинтетических пигментов – антоцианов, которые поглощают свет в области 500-590 нм, было выше у теневых растений по сравнению со световыми. Известно, что антоцианы влияют на световой внутриклеточный режим и способствуют более производительному использованию солнечной радиации в неблагоприятных условиях. По мнению Клоза и Дэвидсона [26], накопление в листьях *Eucalyptus nitens* антоцианов является проявлением долговременной «стратегии» саженцев при адаптации к условиям, вызывающим фотоингибирование (длительное подтопление, низкая освещенность). Несмотря на то, что в литературе отмечается роль антоцианов в защите клеток от губительного ультрафиолетового излучения, гипотеза об участии антоцианов в защите ювенильных листьев *Syzygium* от УФ-излучения не нашла подтверждения [17]. Мы полагаем, что повышенное содержание антоциановых пигментов в листьях лесных растений живучки связано с

Таблица 2

Параметры фотосинтетического аппарата листьев  
теневых (верхняя строка) и световых (нижняя строка)  
растений *Ajuga reptans* L., (n = 5)

Время суток, ч	Параметр			
	I	II	III	IV
6.00	0.28 ± 0.01	2.6 ± 0.1	61	5.5 ± 0.1
	0.57 ± 0.01*	2.8 ± 0.1	58	4.3 ± 0.1*
12.00	0.21 ± 0.01	2.7 ± 0.1	60	5.4 ± 0.1
	0.42 ± 0.01*	3.1 ± 0.1*	54	4.4 ± 0.1*
18.00	0.25 ± 0.01	2.4 ± 0.1	65	5.8 ± 0.2
	0.55 ± 0.01*	2.7 ± 0.1	60	4.4 ± 0.1*
24.00	0.26 ± 0.01	2.7 ± 0.2	60	5.3 ± 0.1
	0.59 ± 0.01*	2.8 ± 0.2	53	4.2 ± 0.2*

Примечание. I – удельная поверхностная плотность листьев, г/дм<sup>2</sup>, II – соотношение хлорофиллов a/b, III – доля (%) хлорофиллов в светособирающем комплексе, IV – соотношение хлорофиллов и каротиноидов.

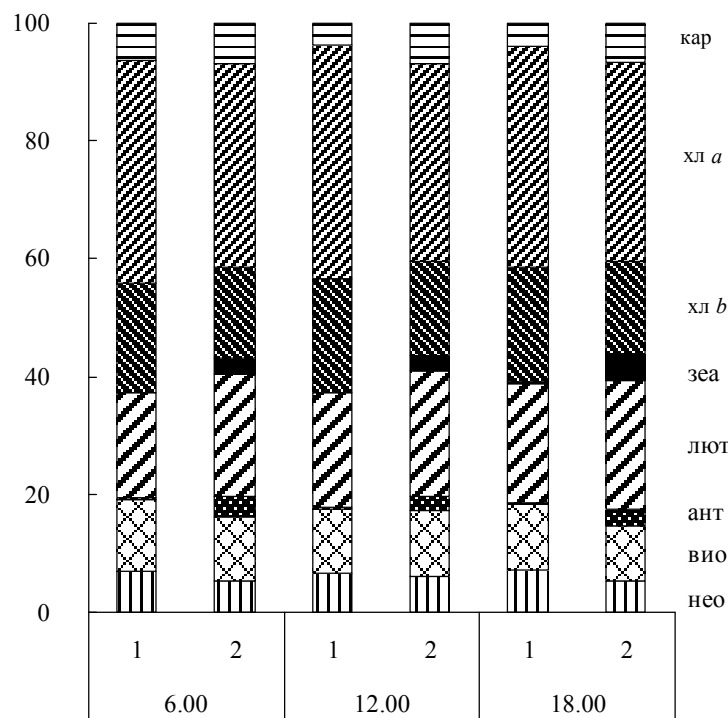


Рис. 2. Доля (%) неоксантина (нео), виолакантина (вио), антракантина (ант), лютеина (лют), зеаксантина (зеа), хлорофиллов а (хл а) и b (хл b) и β-каротина (кар) в общем фонде фотосинтетических пигментов в листьях теневых (1) и световых (2) растений *Ajuga reptans* L.

их защитной функцией от солнечных бликов. Это согласуется с гипотезой о том, что антоцианы обеспечивают защиту теневых хлоропластов от ярких вспышек света, проникающих под полог. Тот факт, что при выращивании живучки на делянке не наблюдали повышенного накопления антоцианов в листьях, можно объяснить индукцией других, более совершенных защитных механизмов. Наши данные показывают, что одним из таких механизмов является активация ксантофиллового цикла, обес-

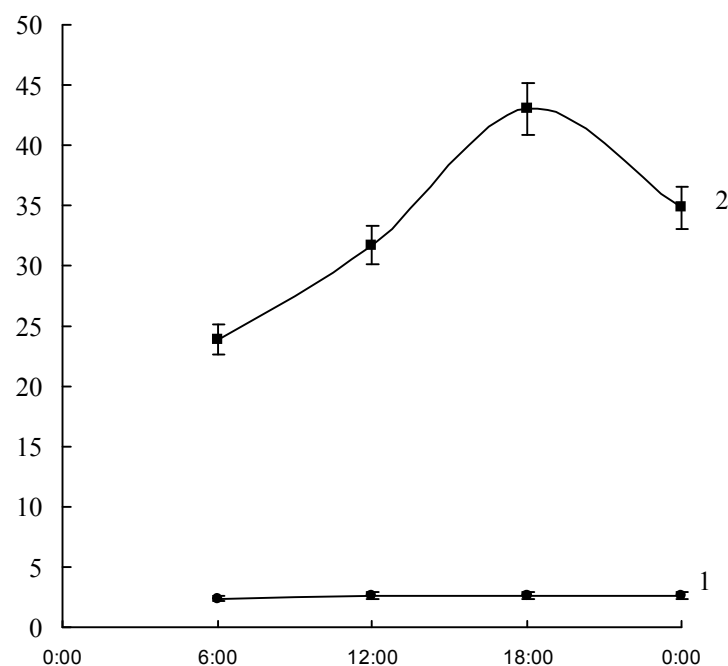


Рис. 3. Состояние дезоксидации виолакантина (%) в листьях теневых (1) и световых (2) растений *Ajuga reptans* L.

печивающего диссипацию избыточной энергии в виде тепла.

Таким образом, нами выявлены адаптивные реакции теневыносливого растения живучки ползучей на уровне пигментного аппарата. При воздействии избыточной радиации в листьях снижалось содержание зеленых пигментов, уменьшалась доля хлорофиллов, принадлежащих светособирающему комплексу, и повышалась дезоксидация пигментов ксантофиллового цикла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дымова О.В., Головки Т.К. Адаптация к свету фотосинтетического аппарата теневыносливых растений (на примере *Ajuga reptans* L.) // Физиология растений, 1998. Т. 45, № 4. С. 521-528.
2. Клоз Д., Дэвидсон Н. Длительное подтопление: минеральное питание, газообмен, пигменты и фотосинтез у саженцев *Eucalyptus nitens* // Там же, 2003. Т. 50, № 6. С. 938-942.
3. Особенности пигментного аппарата пластид и фотосинтеза в листьях эфемероидов и летневегетирующих растений в связи с проблемой фотоингибирования / Т.Г. Маслова, Н.С. Мамушина, Е.К. Зубкова и др. // Там же. № 1. С. 59-64.
4. Развитие представлений о функционировании виолакантинового цикла в фотосинтезе / Т.Г. Маслова, И.А. Попова, Г.А. Корнюшенко и др. // Там же, 1996. Т. 43, № 3. С. 437-449.
5. Стржалка К., Костецка-Гугала А., Латовски Д. Каротиноиды растений и стрессовое воздействие окружающей среды: роль модуляции физических свойств мембран каротиноидами // Там же, 2003. Т. 50, № 2. С. 188-193.
6. Шлык А.А. Метаболизм хлорофилла в зеленом растении. Минск: Наука и техника, 1965. 396 с.
7. Шульгин И.А. Растение и солнце. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 251 с.
8. Acclimation of leaf carotenoid composition and ascorbate levels to gradients in the light environments within an australian rainforest / B.A. Logan, D.H. Barker, B. Demming-Adams et al. // Plant cell environm., 1996. Vol. 19. P. 1083-1090.
9. Accumulation of zeaxanthin in abscisic acid-deficient mutants of *Arabidopsis* does not affect chlorophyll fluorescence quenching or sensitivity to photoinhibition *in vivo* / V. Hurry, J.M. Anderson, W.S. Chow et al. // Plant Physiol., 1997. Vol. 113, № 2. P. 639-648.
10. Characterization of acclimation of *Hordeum vulgare* to high irradiation based on different responses of photosynthetic activity and pigment composition / I. Kurasova, M. Cajanek, J. Kalina et al. // Photosynth. Res., 2002. Vol. 72, № 1. P. 71-83.
11. Demmig-Adams B., Adams III W.W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress // Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 1992. Vol. 43. P. 599-626.
12. Gilmore A.M. Mechanistic Aspects of xanthophyll cycle-dependent photoprotection in higher plant chloroplasts and leaves // Physiol. Plant., 1997. Vol. 99. P. 197-209.
13. Latowski D., Grzyb J., Strzalcka K. The xanthophyll cycle – molecular mechanism and



physiological significance // *Acta Physiol. Plant*, 2004. Vol. 26, № 2. P. 197-212.

14. Long S.P., Humphries S., Falkowski P.G. Photoinhibition of photosynthesis in nature // *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 1994. Vol. 45. P. 633-662.

15. Photoinhibition and zeaxanthin formation in intact leaves. A possible role of the xanthophyll cycle in the dissipation of excess light / B. Demmig, K. Winter, A. Kruger et al. // *Plant Physiol.*, 1987. Vol. 84. P. 218-224.

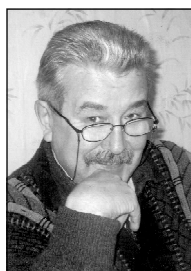
16. Ruban A.V., Horton P. The xanthophyll cycle modulates the kinetics of nonphotochemical energy dissipation in isolated light-harvesting complexes, intact chloroplasts, and leaves of spinach // *Ibid*, 1999. Vol. 119, № 2. P. 531-542.

17. Woodall G.S., Stewart G.R. Do anthocyanins play a role in UV protection of the red juvenile leaves of *Syzygium* // *J. Exp. Bot.*, 1998. Vol. 49, № 325. P. 1447-1450. ❖

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВАХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

Почва – главный компонент ландшафта, депонирующий полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Значительные количества ПАУ попадают в почву в результате хозяйственной деятельности. Исходными продуктами для их образования служат нефть, нефтепродукты, угли, горючие газы, используемые в качестве химического сырья или горючего на промышленных предприятиях и транспорте [8, 11-13]. При сгорании или термической обработке перечисленных веществ образуются многоядерные арены. Степень влияния производственной деятельности на уровень загрязнения канцерогенными углеводородами зависит, прежде всего, от температурного режима технологического процесса [7, 12]. Набор этих углеводородов довольно обширен и во многом повторяет набор природных ПАУ. Актуальными задачами изучения ПАУ в техногенезе являются разработка критериев, позволяющих различать их природное и техногенное происхождение, исследования парагенетических ассоциаций, связанные с различными источниками, и закономерности поведения в природно-техногенных системах [3].

По данным инвентаризации источников ПАУ, проведенной для оценки величины поступления бенз[а]пирена в природную среду, глобальная эмиссия этого углеводорода составляет около 5000 т в год: доля процессов, связанных с сжиганием угля, составляет 60, производством кокса – 20, сжиганием древесины – 4, открытым сжиганием леса и сельскохозяйственных культур – 8, выбросами транспорта – 1 и сжиганием нефти и газа – лишь 0.15 % [6]. Массовое появление в окружающей среде техногенных ПАУ произошло на стыке XIX-XX вв. и было обусловлено бурным развитием в этот период тяжелой промышленности. Отмечающееся в последние годы снижение эмиссии ПАУ происходит как в



д.с.-х.н. **В. Безносиков**  
зав. лабораторией химии и экологии почв  
E-mail: [beznosikov@ib.komisc.ru](mailto:beznosikov@ib.komisc.ru)  
тел. (8212) 24 51 15

Научные интересы:  
*экология и химия почв*



к.х.н. **Б. Кондратенко**  
зав. экоаналитической лабораторией  
E-mail: [kondratenok@ib.komisc.ru](mailto:kondratenok@ib.komisc.ru)  
тел. (8212) 24 50 12

Научные интересы: *аналитическая химия органических соединений, хроматографические методы анализа объектов окружающей среды*



к.б.н. **Д. Габов**  
н.с. лаборатории химии и экологии почв  
E-mail: [gabov@ib.komisc.ru](mailto:gabov@ib.komisc.ru)  
тел. (8212) 24 51 15

Научные интересы: *полициклические ароматические углеводороды в природных объектах*

результате уменьшения использования угля в пользу природного газа, нефтепродуктов, ядерного топлива, так и за счет мер, ограничивающих промышленные выбросы и особенно открытое сжигание.

Углеводороды, продуцируемые в результате работы промышленных предприятий, образуют техногенные ореолы различной плотности [14]. По некоторым данным [1, 7], диффузия загрязнения атмосферы способствует распространению канцерогенных ПАУ на значительное расстояние (до 10 км) за пределы территории предприятий органического синтеза. Наибольшие концентрации бенз[а]пирена в снеге и почве отмечались на расстоянии 1 км от предприятий, а по мере удаления от источников загрязнения их содержание снижалось. По данным А.И. Шилиной [9] до 10 % бенз[а]пирена выпадает на подстилающую поверхность в радиусе ближайших 30 км от предприятий. Основная же часть его (до 80 %) перемещается вместе с тонкодисперсными аэрозолями воздуха на расстояние свыше 100 км от источника загрязнения. Максимальная дальность переноса бенз(а)пирена, по данным того же автора, составляет 2000 км. Данные Ю.И. Пиковского [4] позволяют говорить о важной роли промышленных центров и городов в формировании глобального фона полиядерных ароматических углеводородов.

Наиболее характерными соединениями для природных процессов, связанных с низкотемпературным преобразованием органического вещества, являются преимущественно ката-конденсированные углеводороды с угловым присоединением бензольных колец (фенантрен, хризен и др.) [2, 5]. Исключением в этой группе ката-аннелированных структур является пери-конденсированная молекула перилена, образование которой очень характерно для некоторых природных процессов. Количественное содержа-

ние, распределение и степень замещенности этих ПАУ в почвенном профиле зависят от биологической активности почв, интенсивности гумусообразования и темпов минерализации органического вещества, характера иллювиальных процессов, наличия геохимических радиальных барьеров, возраста почв и позиции почвенной разности в латеральном почвенно-геохимическом сопряжении. Для антропогенных процессов, связанных с высокотемпературным пиролизом органического сырья, наиболее характерны 4-7-ядерные орто- и пери-конденсированные структуры, часто незамещенные или с небольшим количеством заместителей (пирены, бенз-, дибенз- и нафтопирены, бензперилены, флуорантены и т.п.). Их количество в почвах в первую очередь отражает региональный и глобальный уровень загрязнения природной среды.

Состав ПАУ в почвах и их распределение по генетическим горизонтам может оказаться чувствительным к изменению экологического состояния почвы, они могут быть индикаторами деградации и восстановления техногенно-нарушенных почв [5]. Соотношение содержания природных и антропогенных ПАУ для почв может являться показателем степени их антропогенного изменения. Резкое уменьшение такого показателя должно свидетельствовать о росте вклада антропогенных источников. Кроме этого, определенные молекулы ПАУ (например, фенантрен, флуорантен, пирен и др.), участвуя в антропогенных или природных процессах, могут выступать в качестве реперов того или иного индустриального влияния на биосферу.

Цель исследования – выявить закономерности накопления и особенности миграции ПАУ в аэротехногенных подзолистых и болотно-подзолистых почвах европейского северо-востока России.

Исследования проведены на подверженных аэротехногенному воздействию торфянисто-подзолисто-глебоватых почвах средней и северной тайги. Источники эмиссии в средней тайге – целлюлозно-бумажный комбинат, в северной – сажевый завод. Аэротехногенные участки расположены на расстоянии 200-300 м от источников эмиссии. В основу

определения ПАУ в почвах положена аттестованная в соответствии с ГОСТ Р 8.563-96 методика М 03-04-2002 – методика выполнения измерения массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, донных отложений и твердых отходов методом ВЭЖХ с использованием анализатора жидкости «Флюорат 02» в качестве флуориметрического детектора. Погрешность измерения ПАУ в почвах для вероятной вероятности  $P = 0.95$  составляет 35 % для диапазона измерений от 5 до 40 нг/г включительно и 25 % для диапазона от 40 до 2000 нг/г включительно.

Экстракцию проводили при комнатной температуре хлористым метиленом с УЗ-обработкой экстракционной системы на УЗ-ванне Branson 5510 (США) (мощность 469 Вт, рабочая частота 42 кГц). В работе для экстракции углеводов из почвы использовали хлористый метилен (квалификация «ос.ч.»). В составах элюентных смесей использовали н-гексан (квалификация «ос.ч.»), и бензол (квалификация «ч.д.а.»). Чистоту контролировали по отсутствию пиков на хроматограмме холстой пробы.

Пробу почвы массой 1 г помещали в коническую колбу с притертой

пробкой вместимостью 100 см<sup>3</sup> и дважды экстрагировали хлористым метиленом (20 см<sup>3</sup> + 20 см<sup>3</sup>). УЗ-обработку экстракционной смеси проводили только на первом этапе (первая экстракция) в течение 15 минут. Полученные экстракты объединяли и высушивали в токе воздуха до объема 1-2 см<sup>3</sup>, к остатку приливали 3-5 см<sup>3</sup> н-гексана и вновь высушивали до объема 1-2 см<sup>3</sup> (но не досуха!). Разделение экстрактов проводили методом колоночной хроматографии для удаления примесей, мешающих определению ПАУ. Для разделения фракций использовали оксид алюминия II–III степени активности по Брокману (фирма «Нева Реактив») и силикагель II–III степени активности по Брокману (Silica gel 60 for column chromatography, фирма «Fluka», размер частиц 0.063-0.200 мм).

Качественное и количественное определение содержания ПАУ в почвах осуществляли методом обращенно-фазовой ВЭЖХ в градиентном режиме и спектрофлуориметрическом детектировании («Флюорат-02-Панорама», фирма «Люмэкс», Россия). Хроматографирование выполняли при температуре 25 °С на колонке фирмы «Supelco» Supelcosil™ LC-PAH 5 мкм (25 см×2.1 мм). В качестве подвижной фазы использовали градиент ацетонитрил–вода. Пробу объемом 10 мкл вводили с помощью крана-дозатора. Идентификацию ПАУ проводили по временам удерживания и сравнения спектров флуоресценции выходящих из колонки компонентов со спектрами стандартных ПАУ. Количественный анализ ПАУ проводили методом внешнего стандарта.

При осуществлении мониторинга дифференцированный учет техногенных составляющих ПАУ в почвах антропогенно-нарушенных ландшафтов, особенности их накопления и миграции обеспечивают правильное представление о трансформации природной среды в процессе хозяйственной деятельности человека. Накопление ПАУ в почвах обусловлено их осаждением с атмосферными осадками на подстилающую поверхность и разложением органического вещества в почвах.

*Снежный покров.* Количественный и качественный состав ПАУ (табл. 1) в снежном

Таблица 1  
Массовая доля полициклических ароматических углеводов в выбросах производств и накопление их в снежном покрове в зоне действия целлюлозно-бумажного комбината (верхняя строка) и сажевого завода (нижняя строка)

Соединение	Выбросы, нг/г	Снежный покров, мкг/м <sup>2</sup>
Фенантрен	590.0±270.0 (27.0)	13.0±6.0
	16.0±10.0 (57.0)	6.0±2.7
Антрацен	23.0±15.0 (1.0)	0.26±0.17
	0.40±0.26 (1.0)	0.23±0.15
Флуорантен	700.0±300.0 (32.0)	2.9±1.9
	6.0±4.0 (22.0)	3.9±2.5
Пирен	800.0±400.0 (38.0)	2.4±1.5
	3.6±2.3 (13.0)	5.2±3.4
Бенз(а)антрацен	8.0±5.0 (0.4)	0.40±0.26
	0	0.14±0.09
Хризен	17.0±11.0 (0.8)	0.8±0.5
	2.0±1.3 (7.0)	0.19±0.12
Бенз(б)флуорантен	13.0±9.0 (0.6)	0
	0	0
Бенз(к)флуорантен	3.5±2.2 (0.2)	0.18±0.12
	0	0.09±0.06
Бенз(а)пирен	10.0±7.0 (0.5)	0.18±0.12
	0	0.18±0.12
Дибенз(а, h)антрацен	0	0
	0	0
Бенз(ghi)перилен	0	0
	0	0
Индено(1,2,3-сd)пирен	0	0
	0	0
Сумма	2164.5	20.12
	28.0	15.93

Примечание: в скобках указана массовая доля соединения в их сумме.

покрове аэротехногенных участков средней и северной тайги позволяет оценить их массовую долю в газопылевых выбросах конкретных предприятий. Аэротехногенное воздействие на исследуемые территории обусловлено выбросами целлюлозно-бумажного комбината (средняя тайга) и сажевого завода (северная тайга). Степень техногенного воздействия оценивали на основе сопоставления уровней поступления ПАУ на подстилающую поверхность аэротехногенных и фоновых ландшафтов. В газопылевых выбросах этих предприятий содержится значительное количество полиароматических углеводородов, что определяет их повышенное накопление в снежном покрове и особенно в санитарно-защитных зонах. Следует отметить, что качественный состав ПАУ атмосферных осадков фоновых и техногенных территорий практически одинаков (рис. 1): коэффициенты корреляции для сажевого завода –  $r = 0.82$ , целлюлозно-бумажного комбината –  $r = 0.99$  ( $n = 8$ ,  $P = 0.95$ ). Модули поступления ПАУ в импактных зонах предприятий превышают фоновые значения для целлюлозно-бумажного комбината в 4.9 раза, для сажевого завода – 3.3 раза. Доля легких ПАУ (фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен) выше фоновых в 2.9-6.5 раза. Следует отметить, что доля тяжелых ПАУ в снежном покрове как фоновых, так и техногенно-нарушенных территорий минимальна. Для техногенно-нарушенных территорий качественный состав низкомолекулярных ПАУ в атмосферных осадках и почвах коррелирует между собой ( $r = 0.79-0.83$ ,  $n = 8$ ,  $P = 0.95$ ), что свидетельствует о значительном воздействии легких ПАУ газопылевых выбросов на их содержание в почве импактной зоны. При этом запасы ПАУ в почве превышают на два порядка их среднегодовое поступление с атмосферными осадками, что подтверждает преимущественно почвенное происхождение полиаренов даже в условиях техногенеза. Следовательно, накопление полиаренов в почвах связано с превращением органических веществ в почвах, а также с региональным техногенным загрязнением атмосферы и привносом ПАУ с атмосферными осадками.

**Лизиметрические воды.** Состав ПАУ лизиметрических вод органических и минеральных горизонтов почв фоновых и техногенных территорий идентичен и представлен низкомолекулярными ароматическими структу-

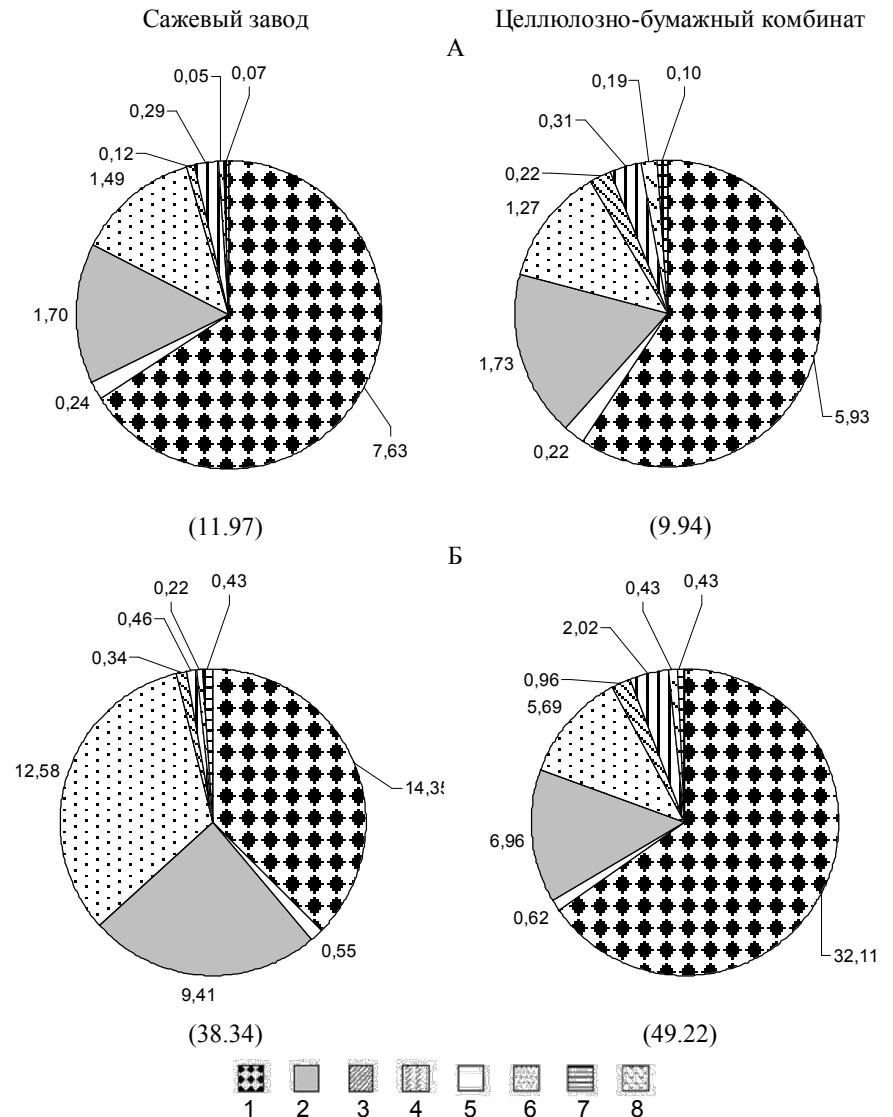


Рис. 1. Накопление (мкг/м<sup>2</sup>) фенатрена (1), флуорантена (2), бенз(а)антрацена (3), бенз(к)флуорантена (4), антрацена (5), пирена (6), хризена (7) и бенз(а)пирена (8) из атмосферных осадков на фоновом (А) и аэротехногенном (Б) участках. В скобках указана сумма данных соединений.

рами: пиреном, фенантреном, флуорантеном, антраценом (табл. 2). Доля тяжелых ПАУ в их сумме составляет

1-2 %. Содержание ПАУ в лизиметрических водах из органических и минеральных горизонтов превышает фоно-

Таблица 2  
Вымывание полициклических ароматических углеводородов из техногенной торфянисто-подзолисто-глеевой почвы с лизиметрическими водами в зоне действия целлюлозно-бумажного комбината (А) и сажевого завода (Б), мкг/(м<sup>2</sup>-год)

Соединение	Горизонт				
	А		Б		
	О	A <sub>2</sub> hg	О	A <sub>2</sub> hg	A <sub>2</sub> Bg
Фенантрен	6.0±2.7	10.0±4.0	1.6±1.1	1.0±0.7	2.4±1.6
Антрацен	0.6±0.4	0.38±0.25	0.06±0.04	0.06±0.04	0.5±0.3
Флуорантен	2.0±1.3	2.2±1.4	1.2±0.8	1.4±0.9	0.9±0.6
Пирен	1.8±1.2	1.4±0.9	2.1±1.3	1.5±1.0	0.9±0.6
Бенз(а)антрацен	0.5±0.3	0.39±0.25	0.29±0.19	0.41±0.27	0.13±0.08
Хризен	0.6±0.4	0.40±0.26	0.21±0.14	0.30±0.19	0.18±0.12
Бенз(б)флуорантен	0	0	0	0	0
Бенз(к)флуорантен	0.08±0.05	0.040±0.026	0.030±0.019	0.14±0.09	0
Бенз(а)пирен	0.09±0.06	0.05±0.03	0.06±0.04	0.28±0.18	0
Дибенз(а, h)антрацен	0	0	0	0	0
Бенз(ghi)перилен	0	0	0	0	0
Индено(1,2,3-cd)пирен	0	0	0	0	0
Сумма	11.67	14.86	5.55	5.09	5.01

Таблица 3

**Баланс полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в системе атмосферные осадки – (торфянисто-подзолисто-глееватая почва) – лизиметрические воды техногенного ландшафта, мкг/м<sup>2</sup> (%)**

ПАУ	Поступает с осадками	Вымывается из органогенного горизонта	Прирост ПАУ в результате атмосферного привноса	Запасы ПАУ в органогенном горизонте
Сажевый завод				
Фенантрен	14.0±6.0 (37)	1.6±1.1 (30)	12.4 (39)	220±80 (15)
Флуорантен	9.0±4.0 (25)	1.2±0.8 (21)	7.8 (25)	300±110 (20)
Пирен	13.0±6.0 (33)	2.1±1.3 (37)	10.9 (32)	210±70 (14)
Остальные ПАУ	2.0±1.3 (5)	0.7±0.4 (12)	1.3 (4)	760±270 (51)
Сумма	38.0 (100)	5.6 (100)	32.4 (100)	1490 (100)
Целлюлозно-бумажный комбинат				
Фенантрен	32.0±14.0 (65)	6.0±4.0 (52)	26.0 (70)	440±110 (13)
Флуорантен	7.0±5.0 (14)	2.0±1.3 (17)	5.0 (13)	510±130 (15)
Пирен	6.0±4.0 (12)	1.8±1.2 (15)	4.2 (10)	400±100 (12)
Остальные ПАУ	4.5±2.9 (9)	1.8±1.2 (16)	2.7 (7)	2100±700 (61)
Сумма	49.5 (100)	11.6 (100)	37.9 (100)	3450 (100)

вые уровни в 1.5-2.0 раза. При этом массовая доля ПАУ, вымываемая с лизиметрическими водами за годичный цикл, достигает 0.9 % от их запасов в почве. Это доказывает, что органогенные горизонты почвы способны аккумулировать значительные количества ПАУ даже в условиях повышенной антропогенной нагрузки. Профильное изменение содержания в лизиметрических водах ( $\omega_3$ ) легких полиаренов и их массовой доли в соответствующих горизонтах почвы ( $\omega_4$ ) хорошо коррелируют между собой (для сажевого завода  $r_{\omega_3-\omega_4} = 0.79$  для горизонта О,  $r_{\omega_3-\omega_4} = 0.84$  для горизонта А<sub>2</sub>,  $r_{\omega_3-\omega_4} = 0.94$  для горизонта А<sub>2</sub>В,  $n = 6$ ,  $P = 0.95$ ). Таким образом, в техногенно-нарушенных почвах миграции подвержены также наиболее растворимые низкомолекулярные ПАУ.

**Почвы.** Атмосферный привнос полиаренов оказывает более значительное влияние на формирование состава ПАУ техногенных почв в сравнении с фоновыми. Общие качественные закономерности формирования состава ПАУ в системе атмосферные осадки – почва – лизиметрические воды (табл. 3) аналогичны фоновым ландшафтам. Прирост ПАУ в почвах импактной зоны целлюлозно-бумажного комбината происходит преимущественно за счет поступления с осадками фенантрена, флуорантена и пирена, доля которых в сумме ПАУ составила 93 %. В зоне действия сажевого завода аналогичный прирост ПАУ составил 96 %. Таким образом, основное техногенное воздействие на экосистемы обусловлено легкими полиаренами.

Абсолютные количества полиаренов в техногенных ланд-

шафтах в несколько раз превышают фоновые. Для зоны действия целлюлозно-бумажного комбината (средняя тайга) максимальные кратности превышения уровней поступления в атмосферных осадках и почвах отмечались для хризена, в зоне действия сажевого завода (северная тайга) – фенантрена и пирена. Уменьшение кратности превышения содержания ПАУ над фоновыми в лизиметрических водах свидетельствует о преобладающей аккумуляции ПАУ в органогенном и в меньшей степени в иллювиальном горизонтах (табл. 4). Количественные характеристики накопления и распределения ПАУ по профилю почв техногенных ландшафтов имеют схожий характер с фоновыми почвами (табл. 5).

Массовая доля суммы ПАУ в техногенных почвах северной тайги ниже, чем в техногенных почвах средней тайги, что обусловлено как разной интенсивностью эмиссии полиаренов на поверхность почв в этих зонах, так и неодинаковым накоплением природных ПАУ вследствие разных биоклиматических условий.

Таблица 4

**Превышение содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в техногенных объектах над фоновыми в северной (верхняя строка) и средней тайге (нижняя строка)**

ПАУ	Снежный покров	Лизиметрическая вода	Органогенный горизонт
3-ядерные	2.1	1.1	1.6
	4.1	1.4	1.8
4-ядерные	4.6	1.5	5.3
	4.8	1.3	2.7
5-ядерные	5.4	–	4.2
	3.0	–	1.9
6-ядерные	–	–	3.1
	–	–	0.6

Примечание: прочерк – не обнаружено.

Для всех техногенных почв характерен элювиально-аккумулятивный тип профильного распределения ПАУ. Максимальное содержание ПАУ приурочено к органогенным горизонтам и достигает 92.7 % в средней и 86.5 % в северной тайге от профильного их накопления. В северотаежных почвах происходит незначительное накопление ПАУ вследствие низкой интенсивности поступления углеводородов от техногенных источников. В профиле торфянисто-подзолисто-глееватой почвы максимальная массовая доля суммы ПАУ в органогенном горизонте составляет 149.3 нг/г. Значительную техногенную нагрузку почвы испытывают в средней тайге от целлюлозно-бумажного комбината. Накопление ПАУ в органогенном горизонте в торфянисто-подзолисто-глееватой почве техногенных территорий составляет 490.8 нг/г, что в 1.9 раз выше, чем в соответствующей фоновой почве. Общее содержание ПАУ по профилю увеличивается в 1.8 раза. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в импактных зонах аккумуляция ПАУ происходит в основном за счет педогенеза, однако доля накопления ПАУ в результате техногенного привноса также увеличивается. Массовая доля ПАУ в иллювиальных горизонтах ниже в северотаежных техногенных почвах, чем в среднетаежных. Элювиально-аккумулятивные коэффициенты варьируют в диапазонах значений от 0.19-0.56 в северной тайге до 0.24-0.78 в средней тайге.

Анализ качественного и количественного состава ПАУ почв техногенных ландшафтов выявил сходные закономерности вертикальной дифференциации ПАУ в техногенно-трансформированных и фоновых почвах (рис. 2). В профилях почв, формирующихся в условиях интенсивной техногенной нагрузки (сажевый завод, целлюлозно-бумажный комбинат) и фоновых аналогах, наблюдается резкая приповерхностная аккумуляция как легких, так и тяжелых ПАУ. В составе ПАУ минеральных горизонтов преобладают фенантрен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен. В органогенных горизонтах при азротехногенном воздействии суммарная массовая доля 5-6-ядерных ароматических структур практически не превышает фоновые уровни. Отмечен более высокий уровень массовой доли суммы 3-4-ядерных полиаре-

нов по сравнению с фоновыми аналогами: для северотаежных глееподзолистых – в 3.3, торфянисто-подзолисто-глееватых – 2.9, среднетаежных торфянисто-подзолисто-глееватых почв – 2.5 раза.

Степень биогеохимической трансформации техногенных ПАУ в почвах можно выразить через соотношение сумм присутствующих в почве ПАУ биогенного и техногенного происхождения – биогеохимический потенциал трансформации ПАУ (БПТ) [10]. Сопоставление БПТ в пределах пространственных рядов почв позволяет оценить устойчивость почвенных экосистем, тенденции их изменений. Если БПТ почв пространственно-разобщенных участков не обнаруживают существенных различий, то можно сделать вывод о стабильности состояния почвенных экосистем и относительной сбалансированности их биогеохимических циклов. Величины этого показателя свидетельствует о том, что почвенная система перегружена техногенными ПАУ (БПТ <1) или что в почве идут процессы самоочищения от органических загрязнителей (БПТ >1). Анализ качественного состава ПАУ в почвах фоновых и техногенных ландшафтов и атмосферных осадках показал, что техногенные ПАУ – это в основном 4-ядерные структуры (флуорантен, пирен, бенз[а]антрацен, хризен), а биогенные – 3-, 5- и 6-ядерные структуры. Для фоновых территорий в средней и северной тайге характерны достаточно высокие значения БПТ (1.35 и 2.55 соответственно), что свидетельствует о ненарушенности и сбалансированности в них биогеохимических циклов ПАУ. В техногенных почвах эти значения существенно уменьшаются (0.73 и 1.20 соответственно), что может служить критерием оценки техногенного воздействия на почвенные экосистемы.

Таким образом, на основании комплексного изучения химического состава атмосферных осадков, лизиметрических вод и почв показано, что накопление ПАУ в органических горизонтах почв происходит главным образом в результате трансформации органического вещества и под влиянием аэротехногенного загрязнения. Установлено, что с атмосферными осадками поступают в основном низкомолекулярные ПАУ, высокомолекулярные ПАУ образуются в основном в результате процессов трансформации органического вещества почв. Почвообразовательные процессы в аэротехногенно-загрязненных почвах протека-

Таблица 5  
**Массовая доля суммы полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах техногенных ландшафтов в средней (верхняя строка) и северной (нижняя строка) тайге**

Горизонт	Массовая доля, нг/г (% суммы ПАУ)	K <sub>за</sub>
O	490.8 (92.7)	42.9
A <sub>2</sub> hg	149.3 (86.5)	16.1
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> g	3.6 (0.7)	0.31
B <sub>1</sub> g	3.9 (2.3)	0.42
B <sub>2</sub> g	8.8 (1.7)	0.77
B <sub>3</sub> g	5.2 (3.0)	0.56
B <sub>4</sub> g	9.0 (1.7)	0.78
B <sub>5</sub> g	3.1 (1.8)	0.33
B <sub>6</sub> g	2.8 (0.6)	0.24
Cg	1.7 (1.0)	0.19
Cg	11.4 (2.2)	1.00
Сумма ПАУ	9.3 (5.4)	1.00
	529.5	
	172.5	

Примечание: K<sub>за</sub> (элювиально-аккумулятивный коэффициент) – отношение содержания ПАУ в горизонте и почвообразующей породе.

ют в условиях интенсивного поступления и аккумуляции низкомолекулярных 3-4-ядерных ПАУ от техногенных источников. На основании проведенных исследований для оценки аккумуля-

ции ПАУ в результате естественных процессов трансформации органического вещества и при техногенном загрязнении почв предложен диагностический критерий (количественное соотношение сумм 3-, 5- и 6- и 4-ядерных ПАУ), который может быть использован при проведении почвенно-экологического мониторинга как ненарушенных, так и техногенных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галиулин Р.В., Башкин В.Н. Особенности поведения стойких органических загрязнителей в системе атмосферные выпадения–растение–почва // *Агрохимия*, 1999. № 12. С. 69-77.
2. Геннадиев А.Н., Шурубор Е.И., Козин И.С. Техногенные и биогенные полициклические ароматические углеводороды в почвах охраняемых территорий дельты Волги // *Биологические науки*, 1992. № 1. С. 133-142.
3. Некоторые аспекты геохимии полициклических ароматических углеводородов / В.Н. Флоровская, Ю.И. Пиковский, Т.А. Теплицкая и др. // *Геохимия ландшафтов и география почв*. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 71-83.

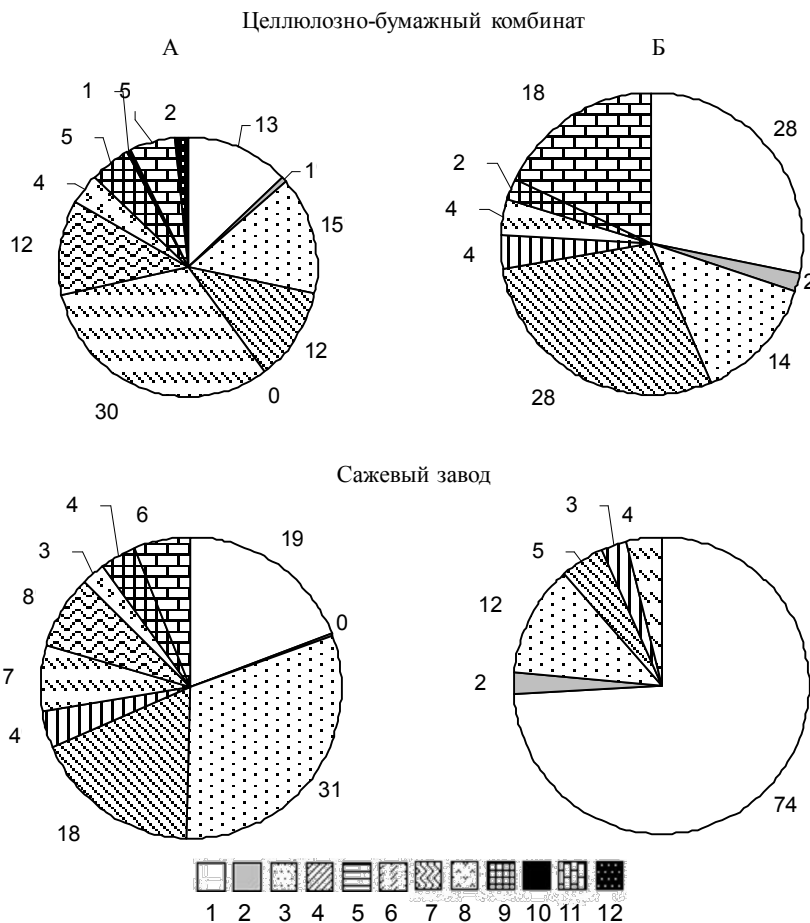


Рис. 2. Доля (%) фенатрена (1), антрацена (2), флуорантена (3), пирена (4), бенз(а)антрацена (5), хризена (6), бенз(б)флуорантена (7), бенз(к)флуорантена (8), бенз(а)рирена (9), дибенз(а,һ)антрацена (10), бенз(ghi)перилена (11) и индено(1,2,3-сd)пирена (12) в органических (А) и иллювиальных (Б) горизонтах аэротехногенно-загрязненных почв (% суммы указанных соединений).

4. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993. 208 с

5. Полициклические ароматические углеводороды в почвах фоновых территорий и природный педогенез / А.Н. Геннадиев, И.С. Дельвиц, Н.С. Касимов и др. // Мониторинг фонового загрязнения природных сред, 1989. Вып. 5. С. 149-161.

6. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 224 с.

7. Циркуляция полициклических ароматических углеводородов в среде, окружающей предприятия органического синтеза / И.И. Беляев, Е.П. Ракушина, М.П. Грачева и др. // Кан-

церогенные вещества в окружающей среде. М.: Гидрометеиздат, 1979. С. 19-21.

8. Шабал Л.М., Хесина А.Я., Смирнов Г.А. Выхлопные газы автомобилей как основной источник загрязнения атмосферы городов канцерогенными углеводородами // Канцерогенные вещества в окружающей среде. М.: Гидрометеиздат. 1979. С. 29-34.

9. Шилина А.И. Миграция бенз(а)-пирена в окружающей среде // Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1982. С. 238-241.

10. Шурубор Е.И. Эколого-индикационное значение полициклических ароматических углеводородов в почвах нижнего Поволжья: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. М., 1991. 16 с.

11. Carrasco F., Bredin N., Heitz M. Gaseous contaminant emissions as affected by burning scrap tires in cement manufacturing // J. Environm. Quality, 2002. Vol. 31. P. 1484-1490.

12. Glasier G.F., Filfil R., Pacey P.D. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons coincident with pyrolytic carbon deposition // Carbon, 2001. Vol. 39, № 4. P. 497-506.

13. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and estrogenic compounds in experimental flue gas streams / W. Muthumbi, P. De Boever, J.G. Pieters et al. // J. Environm. Quality, 2003. Vol. 32. P. 417-422.

14. Soil-to-root transfer and translocation of polycyclic aromatic hydrocarbons by vegetables grown on industrial contaminated soils / J. Fismes, C. Perrin-Ganier, P. Empereur-Bissonnet et al. // Ibid, 2002. Vol. 31. P. 1649-1656. ❖



## ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ



### ВОСПРОИЗВОДСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЫБНЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

к.б.н. Ю. Шубин

главный специалист, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Коми

E-mail: shubin@mshp.parma.ru, тел. (8212) 28 83 44

Республика Коми обладает ресурсами ценнейших видов промысловых рыб и имеет столетние традиции рыболовства. В промышленные центры России ежегодно в начале XX века вывозилось более 5000 тонн рыбы (семга, омуль, сиг, стерлядь, нельма, ряпушка). В начале 1990-х годов суммарный объем выловленной и выращенной в республике рыбы, сдаваемой в торговую сеть, достигал 1000 тонн в год, в том числе рыболовные предприятия производили до 400 тонн карпа, форели и бестера. В начале XXI в. на рынки республики поставлялось не более 70 тонн выловленной рыбы. Суммарный годовой объем выращенной товарной рыбы не превышал 20 тонн. Таким образом, в XXI век республика вошла, имея объем собственной рыбной продукции на внутреннем рынке меньше 100 тонн (не более 0.5 % всего объема потребляемой населением). Очевидными причинами снижения продукции рыболовства и рыболовства в республике стали отсутствие обоснованной государственной политики в области использования возобновимых природных ресурсов (в том числе рыбных) и значительное сокращение запасов рыбы, вызванное переловом и ухудшением среды обитания рыб.

С целью возрождения рыбохозяйственного комплекса была создана рабочая группа для подготовки целевой республиканской программы «Воспроизводство промысловых рыб и воссоздание рыболовства в Республике Коми на 2001-2005 гг.» (распоряжение Главы Республики Коми № 506 от 17 апреля 2000 г.). В ее разработке приняли участие специалисты на-

учных учреждений и научно-производственных организаций, сотрудники органов рыбоохраны, проектных институтов, фирм по переработке рыбы, различных министерств и ведомств из Сыктывкара, Архангельска, Петрозаводска, Северодвинска, Ухты, Сосногорска и Мурманска при методической помощи специалистов из Финляндии. Координировал работы Институт биологии Коми НЦ УрО РАН.

На итоговом совещании рабочей группы (2 июля 2001 г.) проект программы был одобрен и затем отправлен в министерства и ведомства на согласование в установленном порядке. В том же году в рамках первоочередных мероприятий по развитию рыбной отрасли Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Коми (МСХП РК) провело апробацию биотехники выращивания нового для республики объекта бассейнового рыболовства – форели породы камплопс и разработало рыболовно-биологическое обоснование товарного выращивания 400 тонн форели на сбросовых водах Сосногорской ТЭЦ. Были обследованы озера Усть-Цилемского района и определен участок для сбора икры пеляди, разработаны направления реформирования рыбодобывающих предприятий, методические поддержаны работы по зарыблению отработанных карьеров в Усть-Вымском районе.

В январе 2002 г. выполнение программы было приостановлено, однако работа в рыбохозяйственной сфере республики не была прервана. В течение 2002 г. в МСХП РК проводилась корректировка положений программы. Внесенные изменения приве-

ли к резкому сокращению затратной части республиканского бюджета. В результате правительство РК представило в Госсовет РК новый «экономный» проект программы на 2003-2005 гг., который был принят Законом РК № 118-РЗ от 09.12.2002 г. с финансированием из республиканского бюджета в размере 20.56 млн. руб.

В рамках программы удалось выполнить все основные задачи. Создано государственное учреждение Республики Коми «Коми республиканский центр рыбного хозяйства» для выполнения мероприятий, связанных с искусственным воспроизводством рыбных ресурсов и аквакультурой. Решены основные организационные вопросы функционирования первого и единственного в республике рыбопроизводственного участка, способного обеспечивать молодь ценных видов рыб как товарные хозяйства, так и сырьевую базу промышленного, спортивного и любительского рыболовства.

В процессе реализации программы удалось сократить расходы республиканского бюджета на значимые мероприятия в сфере рыболовства. За счет внебюджетных инвестиций созданы и оснащены транспортом, орудиями лова и морозильным оборудованием новые рыбодобывающие предприятия, в том числе ООО «Рыбак Печоры». Это предприятие обеспечивало в 2003-2005 гг. основной объем (от 70 до 95 %) реализации товарной рыбы, добытой в республике. В планах предприятия – в 2007-2010 г. увеличить добычу рыбы до 200-250 тонн (в 4-5 раз к уровню 2003 г.). Кроме того, в нижнем течении Печоры на территории Республики Коми с 2003 г. вылов рыбы осуществляют три новых рыбодобывающих предприятия. Общий объем заявок от пользователей на промышленный и лицензионный лов рыбы за три последних года увеличился с 90 до 280 тонн. В 2005 г. впервые за десять последних лет объем сдачи отловленной рыбы в торговую сеть республики превысил 110 тонн. Внебюджетные инвестиции в рыболовство и рыбоводство в 2003-2005 гг. превысили 8 млн. руб. Государственная поддержка – субсидии на реализованную на территории Республики Коми продукцию рыболовства и рыбоводства составили 2.3 млн. руб.

Рыбоводные хозяйства, культивирующие форель, основаны в 2005 г. в Княжпогостском и Сыктывдинском (Нювчимское водохранилище) районах республики и на территории муниципального района «Сосногорск». Уже за один (2005) год суммарный «урожай» товарной рыбы составил 25.5 тонн. Согласно рыбоводно-биологическим обоснованиям общее производство рыбы при выходе на проектную мощность к 2010 г. запланировано на уровне 580 тонн в год. Активизировался и процесс создания хозяйств, предоставляющих услуги по спортивному и любительскому лову рыбы. Такие хозяйства организованы на территориях муниципальных районов «Княжпогостский», «Усть-Вымский» и «Усть-Цилемский».

Следует отметить, что в промышленных масштабах воспроизводство рыбных ресурсов развернуто впервые в республике со времен интродукции стерляди и сибирского осетра в Печору в 50-х годах прошлого века. В 2003-2004 гг. мероприятия, предусмотренные в области искусственного воспроизводства рыб, выполнены лишь на 9 % из-за недостаточного финансирования этого направления работ (167 тыс. руб.). В то же время, приведение коллественных показателей программы в 2005 г. в соответствие с Законом «О республиканском бюджете Республики Коми в 2005 г.» и завершение монтажа дополнительного рыбоводного оборудования в рыбопитомнике Сосногорской ТЭЦ позволили полностью выполнить намеченные объемы работ в области искусственного воспроизводства (см. таблицу). В 2006 г. не менее 400 тыс. шт. молоди сига и пеляди выпущены в Печору на промысловой акватории в пределах Усть-Цилемского района; в среднем течении р. Вымь (республиканский заказник «Вымский») расселено 40 тыс. шт. молоди европейского хариуса навеской до 100 мг. В 2002 г. Институт биологии Коми НЦ УрО РАН обосновал и начал работу по формированию первого в России маточного стада европейского хариуса. В 2007 г. планируется получить первую молодь (до 100 тыс. шт.) от маточного стада для зарыбления водотоков бассейна Ижмы.

Работы по восстановлению запасов европейского хариуса в бассейнах Ижмы (р. Ухта) и Выми за счет искусственного воспроизводства будут продолжены. Эффективность мероприятий по воспроизводству хариуса будет оцениваться по результатам долговременного мониторинга, который будет организован на акватории систематического проведения рыбоводных работ. Кроме того, за счет внебюджетных средств в 2003-2006 гг. выращено 220000 шт. племенной молоди форели (камплоопс, Адлер, Рорфор) для товарных хозяйств Республики Коми.

Налажен постоянный контроль над паразитологической обстановкой по карантинным и особо опасным болезням рыб на основных промысловых участках республики. Все выполняемые рыбоводные мероприятия сопровождаются паразитологическим и ветеринарным обследованием. Составлены карты

**Планируемые (верхняя строка) и фактические (нижняя строка) объемы воспроизводства рыбных ресурсов в Республике Коми в 2005 г.**

Водный объект	Вид рыбы	Выпуск (реализация) молоди, шт.	Закладка икры на инкубацию, шт.
Река Печора	Европейский хариус	200 000	–
	Атлантический лосось (семга)	220 000	250 000
	Сиг	–	10 000
	–	–	0
	–	–	220 000
Озера, карьеры и водохранилища	Сиг, пелядь	–	500 000
	–	–	1 400 000
Всего	Форель	20 000	–
	–	12 000	130 000
	–	220 000	730 000
		232 000	2 280 000

Примечание: прочерк – мероприятия не планировались.

распределения опасных для рыб и человека паразитов в главных реках республики. Подготовлены нормативные документы, разработаны курсы по дисциплинам специальности «ихтиология и рыбоводство» на базе Сыктывкарского государственного университета. Проведена процедура согласования специальности в Минобразования и науки России.

Для осуществления республиканской политики в рыбохозяйственной сфере в 2001-2005 гг. приняты важные нормативные и правовые акты Республики Коми:

- Закон Республики Коми № 118-РЗ от 9 декабря 2002 г. в редакции Закона Республики Коми № 43-РЗ от 14.05.2005 г. «О целевой республиканской Программе «Воспроизводство промысловых рыб и воссоздание рыбоводства в Республике Коми (2003-2005 гг.)».

- Постановление Правительства Республики Коми № 146 от 25.07.2003 г. «О государственном учреждении Республики Коми «Коми республиканский центр рыбного хозяйства».

- Распоряжение Правительства Республики Коми № 166-р от 19.04.2004 г. в редакции распоряжения Правительства Республики Коми № 454-р от 12.12.2005 г. «О создании межведомственной комиссии по определению долей на вылов (добычу) водных биологических ресурсов, закрепляемых за заявителями для осуществления прибрежного рыболовства в Республике Коми»

- Приказы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми:

- Об утверждении правил рыболовства в Республике Коми (№ 71 от 03.04.2003 г.),

- Об утверждении инструкции о порядке представления территории (акватории), необходимой для осуществления пользования животным миром в Республике Коми (№ 128 от 22.04.2002 г. в ред. № 101 от 19.04.2004 г.)

- Об утверждении инструкции о порядке выдачи гражданам именных разовых разрешений на право лова ценных видов рыб, водных животных и растений в республике Коми (№ 155 от 01.07.2003 г.).

В связи с существенными изменениями в федеральном законодательстве в сфере управления водными биоресурсами, перераспределением полномочий между федеральным центром и субъектами федерации проводится дальнейшая работа по совершенствованию нормативной базы рыбохозяйственного комплекса и в республике. В части разработки перспективных рыбохозяйственных проектов сделаны лишь первые шаги. Выполнен первый этап подготовки инвестиционного проекта освоения водоема-охладителя Печорской ГРЭС. Проведена оценка гидрохимического состава, дана характеристика естественной кормовой базы рыб и современного состояния ихтиофауны. Подготовлены рыбохозяйственные обоснования организации промышленного, спортивного и любительского лова ценных видов рыб на территории муниципальных районов «Усть-Цилемский», «Ижемский», «Удорский» и городского округа «Усинск».

Несмотря на определенные успехи в развитии отрасли, остается ряд нерешенных проблем. Так, хроническое недофинансирование программы привело к снижению темпов реализации и невыполнению количественных показателей ряда значимых мероприятий; общие затраты на реализацию программы в 2003-2005 гг. составили около 42 % запланированного уровня. В результате несоответствия бюджетного финансирования, предусмотренного законами «О республиканском бюджете Республики Коми» (4.65 млн. руб.) и программой (14.01 млн. руб.) в 2003 и 2004 гг., количественные показатели по выпуску молоди рыб в водоемы республики не достигнуты. Рыбоводный цех на Сосногорской ТЭЦ не дооснащен технологическим оборудованием. Отсутствует система водоподдачи, обеспечивающая стабильный температурный и гидрохимический режим. В результате сохраняются риски гибели рыб при аномальных погодных явлениях. Имеющиеся мощности в г. Сосногорск уже сегодня недостаточны для удовлетворения заявок на производство посадочного материала для товарных хозяйств.

Сохраняется проблема квалификационного уровня персонала во всех без исключения государственных и научных учреждениях и коммерческих организациях рыбохозяйственного комплекса.

Состояние рыбных запасов, в первую очередь семги, ряпушки, омуля, других сиговых, явно не соответствует запросам населения и организаций. Объем заявок от организаций и местного населения на промышленный и любительский лов этих видов в республике к 2004 г. уже в четыре раза превышает объем выделяемой квоты. Незначительный объем выпускаемой молоди в естественные водоемы для увеличения сырьевой базы промышленного рыболовства не дает достаточных оснований для увеличения федеральной квоты для Республики Коми по ценным видам рыб (семга, ряпушка и другие сиговые). В 2006 г. с участием научных и рыбохозяйственных организаций намечена разработка проекта специализированного рыбоводного модуля (комплекса) для искусственного воспроизводства основных объектов промышленного лова в бассейне р. Печора на территории Республики Коми.

Перспективы развития товарного рыбоводства связаны с вовлечением теплых сбросовых вод генерирующих энергетических объектов (Печорская ГРЭС, Сосногорская ТЭЦ и Воркутинская ТЭЦ-2) в рыбохозяйственный оборот. В 2007-2008 гг. МСХП РК планирует при сотрудничестве с энергетическими и рыбоводными компаниями приступить к обоснованию рыбохозяйственного освоения сбросовой воды и привлечь внебюджетные инвестиции в разработку и реализацию проектов товарного рыбоводства на теплых водах. Одно из приоритетных направлений и в товарном рыбоводстве, и в искусственном воспроизводстве рыбных ресурсов – осетроводство.

До начала 2007 г. в МСХП РК будет подготовлена ведомственная программа (на период до 2010 г.) мероприятий по развитию аквакультуры – ожидаемого нового национального проекта России.



## ПРИМЕНЕНИЕ РАДИЯ В МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЯХ НА УХТИНСКОМ РАДИЕВОМ ПРОМЫСЛЕ В 30-40-Х ГОДАХ XX ВЕКА

А. Кичигин

Исследования на рубеже XIX и XX веков явления радиоактивности и особенно открытие Пьером и Марией Кюри радия получили широчайшую известность не только в научных кругах. Ожидалось, что загадочный металл, светящийся в темноте, испускающий всепроникающие лучи и самим фактом своего открытия опрокинувший за века устоявшуюся научную картину мироустройства, принесет огромную пользу человечеству. Первые же успехи в лучевой терапии рака привели к почти религиозной вере в лечебные свойства радия. А когда радий и его дочерние продукты были обнаружены в минеральных водах многих заслуженно прославленных европейских курортов, в общественном мнении радиоактивность стала ассоциировать с хорошим здоровьем.

Начало истории применения радия в бальнеологии связано с германским курортом Крейцнах (Bad Kreuznach), где фармацевт доктор Карл Ашофф (Dr. Karl Aschoff) в 1904 г. обнаружил соли радия в минеральных водах и начал эмпирическим путем искать наиболее эффективные методы лечения с их применением (о Карле Ашоффе – [36]). Весьма интересен был в этом отношении курорт Иоахимсталль (Joachimsthal, ныне г. Яхимов, Чехия), где с XVIII века существовал урановый рудник и где супругами Кюри был получен первый препарат радия. Урановый рудник, радиевый завод и построенный в 1912 г. отель Radium Palace с лечебницей практически составляли единый комплекс. Для лечения использовали радиоактивную воду, откачиваемую из передовых забоев рудника, и отходы радиевого завода [2]. Высокая радиоактивность минеральных вод была обнаружена на популярных российских курортах – Ессентуки и Пятигорск на Северном Кавказе и Белокуриха на Алтае [1, 8]. В 1910 г. в Санкт-Петербурге вышла обстоятельная монография доктора Д.Ф. Решетилло [28], где были обобщены как теоретические знания о явлении радиоактивности, так и практический опыт применения радия в лечебном деле. Примечательно, что академик Владимир Иванович Вернадский, обосновывая в 1913 г. перед Император-

ской Академией наук необходимость создания в России радиевой промышленности, делал акцент именно на медицинское применение радия [24].

### Ухтинский радиевый промысел

Развитие отечественной радиевой промышленности пошло необычным путем. Долгое время не было разведанных месторождений радиоактивных руд, пригодных для рентабельной добычи радия [24]. Зато неожиданно был открыт новый вид радиевого сырья. В 1926 г. экспедиция Геологического комитета обнаружила необычно высокую радиоактивность воды из скважины № 1 «Казенная» на территории Ухтинского нефтяного месторождения. Измерения доставленных проб воды показали наличие солей радия в концентрации, достаточной для промышленной добычи. Эта скважина была пробурена на казенные средства в 1912 г. «Северным нефтепромышленным товариществом по вере А.Г. Гансберг, А.П. Корнилов и К<sup>о</sup>». Однако вместо нефти из нее под большим напором пошла соленая вода с примесью природного газа. При скважине была устроена солеварня, а после развала нефтепромысла в 1919 г. она была заброшена и свободно фонтанировала. Следует пояснить, что <sup>226</sup>Ra является дочерним продуктом <sup>238</sup>U, поэтому в природе радий в значительном количестве содержится только в урановых минералах. Однако уникальные геохимические условия Среднего Тимана способствовали выщелачиванию радия из урансодержащих метаморфических сланцев и накоплению его растворимых соединений в пластовых водах [32]. Это открытие фактически привело к созданию нового направления в советской геологии – радиогеохимии подземных вод [6].

Эксплуатация открытого месторождения радийсодержащих вод началась в 1931 г. Ухто-Печорским исправительно-трудовым лагерем ОГПУ (Ухт-Печлаг) и продолжалась до 1953 г. Долгое время на месте нынешнего пос. Водный Республики Коми действовало уникальное предприятие, единственное в мире, где радий выделяли из подземных минерализован-

ных вод. Большую часть своей истории радиевый промысел находился в советской пенитенциарной системе, подчинялся разным ее структурам и сменил несколько названий. С 1932 г. радиевый промысел именуется промысел № 2 им. ОГПУ УхтПечлага, в 1938 г. получил название Отдельный лагерьный пункт № 10 УхтИжемлага, а в 1951 г. переименован в лаготделение № 10. В документах начала 1953 г. предприятие именовали как объект № 226 МВД СССР. Но с 1932 до 1953 г. было еще одно почти официальное название – Водный промысел. Подробнее об истории Водного промысла – [15].

### История применения радийсодержащих вод в медицинских целях

#### на Ухтинском радиевом промысле

Руководство ГУЛАГа, по-видимому, изначально предполагало использовать в медицинских целях радийсодержащие воды Ухтинского месторождения. Большие надежды давало то, что содержание радия в них было на порядок выше, чем во всех известных на то время отечественных и зарубежных источниках: Гейдельберг –  $14.1 \times 10^{-10}$ , Крейцнах –  $6.9 \cdot 10^{-10}$ , Ессентуки № 17 –  $0.05 \cdot 10^{-10}$  [33], а скважина № 1 «Казенная» на Водном промысле –  $76 \cdot 10^{-10}$  г Ра/л [3]. Поэтому к освоению месторождения привлекли Государственный центральный институт курортологии (ныне – Российский научный центр восстановительной медицины и курортологии, Москва). В качестве его представителя в штат санотдела Ухпечлага был зачислен врач Алексей Асинкритович Титаев, бывший ассистент кафедры физиологии животных 2-го Московского медицинского института, осужденный 13 июля 1930 г. коллегией ОГПУ на пять лет заключения по ст. 58 п. 4, 8, 11 [29, 30]. Начало применения вод для лечения больных датируется 1 мая 1932 г. [4]. Опытный курс лечения радийсодержащей водой прошло 28 пациентов, из них 15 человек страдали ревматизмом, трое имели кожные заболевания, семеро болели цингой, один невралгией и двое – невритами. Двое ревматиков пили радиоактивную воду,

остальных лечили ваннами. Результаты были признаны обнадеживающими: «Из 15 ревматиков совершенно выздоровело 4 чел., получили значительное улучшение 10 чел. и один выпился с улучшением. На трех из семи цинготных сказалось благоприятное действие радиоактивной воды. Общее состояние больных как во время курса лечения, так и после показало, что ванны и питье воды оказали на них только благоприятное действие, а именно, улучшение работы сердца, повышение аппетита, нормальный стул у страдавших запорами и в одном случае возбуждение половой функции» [4, л. 206-207]. К осени 1932 г. на Водном промысле было построено здание (фото 1) физиологической лаборатории (так называемая «физиолаборатория») с бальнеологическим стационаром на восемь коек [10, 31].

Одновременно физиологическое и терапевтическое действие образцов воды с Ухтинского месторождения изучали непосредственно в Государственном центральном институте курортологии [7]. После экспериментов на кроликах и собаках, а также наблюдениях за людьми был сделан вывод, что «... воды Ухты пополняют наш медицинский арсенал своеобразным и доселе неизученным фактором высокого терапевтического влияния» [33, с. 2].

В сентябре 1932 г. район Водного промысла посетила экспедиция Государственного центрального института курортологии в составе: врач-бальнеолог С.Н. Соколов и климатолог Вадковская. Оборудование физиолаборатории тогда было крайне примитивным: «Радиевая вода используется на месте в двух экспериментальных небольших ванницах по одной ванне в каждой, при чем ванницы расположены при скважинах и имеют небольшие стационарные отделения по четыре койки, всего восемь коек; одна из ванн – деревянная, другая – чугунная эмалированная. Нагрев воды производится весьма примитивно – в открытых котлах на улице, причем перенесенная ведрами из скважины вода нагревается на открытом огне до 70-80° и затем смешивается с холодной водой из бака до получения желаемой температуры» [23, л. 218-219]. В представленном отчете были отмечены «... следующие благоприятствующие развитию курорта в этом месте моменты: а) наличие песчаных плацдармов и сосновых лесов, б) красивый горный ландшафт, в) наличие горных рек, г) возможность получения достаточно количества питьевой, хорошего качества воды, д) отсутствие малярии, е) возможность организации огородного, свиноводческого, птицеводческого совхозов и молочных ферм, ж) возможность получения большого коли-

чества дичи, рыбы, грибов и ягод для питания больных» [23, л. 224]. Указано, что кроме радиоактивных вод в районе имеются иные бальнеологические ресурсы – богатые залежи сероводородных вод и большие массивы минерализованных торфов. Однако так же была отмечена труднодоступность района и суровость климата: «... высокая годовая влажность воздуха, низкая температура зимой, короткое лето, холодные летние ночи и пр. диктуют необходимость акклиматизации для приезжающих из средней и южной полосы Союза» [23, л. 224]. Поэтому заключение о возможности немедленной организации курорта на основе Водного промысла было отрицательным: «... ввиду полной неизученности сероводородных вод и торфов, а так же ввиду неразработанности вопроса об использовании эманаций радия и недостаточности изученности физиологического действия радиевых вод – необходимо считать нецелесообразным планировку и строительство курорта в данный момент» [23, л. 224]. Такой вывод вызвал раздражение руководства Ухтпечлага: «... институт курортологии в Москве, с которым были связаны через ГУЛАГ и на котором лежало руководство научно-исследовательской работой на промысле № 2 им. ОГПУ, зарекомендовал себя как учреждение мало заинтересованное в скорейшем практическом



Фото 1. Здания химлаборатории (на переднем плане) и физиолаборатории, начало 1930-х гг. (автор В.И. Баранов). Фотография предоставлена Н.А. Титаевой. Наталья Алексеевна Титаева – старший научный сотрудник геологического факультета Московского государственного университета, дочь основателя бальнеолечебницы на Водном промысле врача Алексея Асинкритовича Титаева. Автор фотографии – преподаватель Геологического факультета МГУ Владимир Ильич Баранов. В 1970 году, незадолго до смерти, он передал Н.А. Титаевой несколько фотографий, сделанные им на Водном промысле в 30-е годы, и продиктовал комментарии к ним.

разрешении этих вопросов» [4, л. 205]. На состоявшемся 22-24 сентября 1932 г. совещании УхтПечлага под председательством начальника ГУЛАГа М.Д. Бермана было принято решение «проработать вопрос об организации курорта на промысле № 2 и расширить работы по изучению физиологического действия радия на организм» [26, л. 60].

Институт курортологии предложил программу исследований по разработке методов лечения и по изучению биологического действия радиоактивных вод. Эти исследования велись в физлаборатории Водного промысла все время ее существования.

В 1934 г. у А.А. Титаева закончился срок заключения. Несмотря на весьма настойчивые просьбы, он отказался остаться на Водном промысле на правах вольнонаемного и вернулся в Москву. Заведующий кафедрой физиологии 2-го Московского медицинского института академик Л.С. Штерн приняла бывшего з/к на работу в прежней должности. На кафедре он в сотрудничестве с клиникой кожных болезней 1-го Московского медицинского института продолжил физиологические эксперименты на животных по действию ухтинских радийсодержащих вод и их концентратов. В 1936 г. А.А. Титаев по рекомендации Л.С. Штерн перешел в отдел возрастной физиологии Института охраны материнства и младенчества (впоследствии – Институт педиатрии АМН СССР), где до 1962 г. заведовал биохимической лабораторией (фото 2). То, что бывший з/к получил возможность работать в ведущих медицинских институтах, свидетельствует о смелости известного ученого-физиолога и общественного деятеля академика Лины Соломоновны Штерн (о ней [16]). В 1936 г. А.А. Титаев защитил кандидатскую диссертацию на тему «Проницаемость сердечной мышцы», а в 1943 г. – докторскую «Электрический потенциал некоторых внутренних органов». Умер Алексей Асинкритович в 1979 г. в возрасте 84 лет (личное сообщение дочери А.А. Титаева – ученого-радиогеохимика, профессора геологического факультета МГУ д.г.-м.н. Натальи Алексеевны Титаевой).

Согласно сохранившимся документам, в 1934-1938 гг. физлабораторией руководил А.А. Любушин, а в 1939-1941 гг. – О.А. Степун. К сожалению, об этих врачах нам пока практически ничего не известно.

В 1934 г. на Водном промысле введен в действие завод по переработке



Фото 2. Алексей Асинкритович Титаев. В лаборатории Института педиатрии АМН СССР, 1950-е гг. (фото предоставлено Н.А. Титаевой).

радиевых концентратов, где стали получать конечный продукт – кристаллический бромид радия. Таким образом, появилось производство с чрезвычайно опасными условиями труда и возникла острая необходимость в защите работников от лучевого поражения. Приказом по промыслу заведующему физлабораторией А.А. Любушину было предписано «...иметь особый надзор за состоянием здоровья работников и подвергать их ежемесячному медицинскому осмотру» [25]. С этого времени еще одной задачей физлаборатории стал контроль над условиями труда и диспансерное наблюдение работников завода по переработке радиевых концентратов (на заводах по переработке воды условия труда не считали радиационно-опасными вплоть до их ликвидации в 1953 г.).

Всесоюзной здравницей УхтПечлаг не стал. Известно, что лечение радийсодержащими водами в физлаборатории Водного промысла с 1932 по 1940 г. прошло около 1400 человек [14]. Как следует из отчетов, пациентами были как заключенные, так и члены семей вольнонаемных и начальствующего состава. По некоторым данным, 85 % всего добытого в мире радия было использовано в медицинских целях [5]. Точных сведений о том, когда физлаборатория прекратила работу, у нас нет. Предположительно, это произошло в 1941 г.

#### Методы лечения радийсодержащими водами на Ухтинском радиевом промысле

Радий и его соединения широко распространены в природе и являют-

ся одним из основных источников естественного радиоактивного фона. В природных условиях встречаются четыре изотопа радия, из которых наибольшее практическое значение имеют  $^{226}\text{Ra}$  из ураново-радиевого ряда ( $T_{1/2} = 1600$  лет) и  $^{228}\text{Ra}$  или мезоторий из ториевого ряда ( $T_{1/2} = 5.75$  года). Когда в публикациях и докладах упоминается радий, то подразумевается, прежде всего,  $^{226}\text{Ra}$ . Этот изотоп является дочерним продуктом  $^{238}\text{U}$ , поэтому в природе в значительных количествах встречается только в урановых минералах. Однако в радиоактивных рудах всегда присутствует  $^{232}\text{Th}$ , одним из дочерних продуктов которого является  $^{228}\text{Ra}$ . Поэтому в природном радии помимо  $^{226}\text{Ra}$  всегда содержится некоторое количество  $^{228}\text{Ra}$ . В ухтинских радиоактивных водах из-за присутствия тория в зоне их генезиса содержание  $^{228}\text{Ra}$  составляло 0.3-0.5 % общей массы радия [32]. В весовом выражении количество небольшое, но из-за короткого периода полураспада  $^{228}\text{Ra}$  обладает высокой удельной активностью – 45-58 % радиоактивности ухтинского радия было обусловлено присутствием этого радиоизотопа. Поэтому получаемые на Водном промысле препараты радия называли радий-мезоториевыми.

Радиоактивность вод Ухтинского месторождения обусловлена присутствием хлорида радия. В начале эксплуатации месторождения их удельная активность достигала 281 Бк/л (скважина № 1 «Казенная») [3], а в 40-е годы снизилась почти до 100 Бк/л [19]. По химическому составу они являются бессульфатными хлоридно-натриевыми кальциевыми рассолами. По радионуклидному составу воды Ухтинского месторождения радиоактивных вод принципиально отличаются от вод других эксплуатировавшихся в медицинских целях месторождений. В минеральных водах Ессентуков, Пятигорска и Белокурихи отсутствуют соли радия. Выщелачивание радия из вмещающих горных пород при их генезисе не происходило, но зато они насыщались изотопами инертного радиоактивного газа радона –  $^{222}\text{Rn}$  (радон,  $T_{1/2} = 3.824$  сут) и  $^{220}\text{Rn}$  (торон,  $T_{1/2} = 55.3$  секунд, альфа-излучатель), которые образуются при радиоактивном распаде  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Ra}$  соответственно. Радиоактивность радоновых вод после извлечения из недр сохраняется недолго из-за короткого периода полураспада изотопов радона и их дочерних продуктов. Поэтому использовать их нужно немедленно и на месте добычи.

Воды Ухтинского месторождения, содержащие долгоживущие  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Ra}$ , радиоактивными оставались неограниченно долго. Этот факт был отмечен в отчете Государственного центрального института курортологии: «Особое значение исследуемой минеральной воды заключается в возможности ее применения вне места нахождения источников – в физиолечебницах промышленных центров, в заводских больницах нашего Союза и за границей» [33, с. 2]. Позже, в 50-е годы, когда были накоплены значительные эмпирические и теоретические знания о лечебном применении радионуклидов, контакт пациента с долгоживущими радионуклидами был признан недопустимо опасным [35]. В радонотерапии – современном способе лечения с применением  $^{226}\text{Ra}$  – на пациента воздействуют только  $^{222}\text{Rn}$  и его короткоживущие дочерние радионуклиды [8].

Лечение в бальнеологическом стационаре физлаборатории Водного промысла проводили ваннами и компрессами с солями радия. Ванны с теплой минеральной водой – один из наиболее распространенных и наиболее древних методов бальнеологии. Еще в самом начале XX в. было установлено, что терапевтическая эффективность минеральных вод многих популярных европейских курортов обусловлена содержанием радона и солей радия. Согласно сохранившимся ежемесячным отчетам, в физлаборатории Водного промысла ванны в основном назначали больным с ревматизмом, пояснично-крестцовым радикулитом, воспалением седалищного нерва (ишиас) и заболеваниями женской половой сферы. Лечение проводили курсами из 12-18 ванн по 15 минут при температуре воды около  $35^\circ\text{C}$ . В редких случаях продолжительность курсов достигала 24 ванн, а время пребывания в ванне – до 20 минут. Лечебными факторами были действие солей, температура, излучение радия и его дочерних продуктов и, несомненно, освобождение от общих работ. Пациент после принятия ванны не вытирался, а обсыхал, от чего радиоактивные соли в течение нескольких дней оставались на теле. Через некоторое время кожа приобретала кирпично-красный оттенок из-за эритемы – кровенаполнения кожных

капилляров [18]. Первым такой способ пролонгирования действия радиоактивных солей применил в начале XX в. доктор К. Ашофф на курорте Крейцнах (Германия). Этот же прием был использован в Государственном центральном институте курортологии при проверке на людях терапевтического действия ухтинских радиосодержащих вод в 1932 г. [33]. Причиной эритемы был радиационный ожог, для возникновения которого необходима весьма высокая доза – не менее 3 Зв [9, 20]. По наблюдениям К. Ашоффа, радиоактивный осадок на поверхности кожи сохранялся несколько суток (цит.: по [33]) и полученная кожей доза могла быть значительной. В настоящее время столь высокая лучевая нагрузка на кожу, причем практически на всей поверхности тела, считается недопустимой из-за отдаленных последствий. Действующими санитарными правилами СП 2.6.1.758-99 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)» эквивалентная доза в коже для лиц из населения (т.е. не работающих профессионально с источниками ионизирующего излучения) ограничена величиной 50 мЗв/год. При современных радоновых ваннах доза на кожу составляет всего несколько мЗв за курс [8]. Но в 30-е гг. XX века легкое проходящее покраснение кожи, сопровождаемое шелушением и пигментацией, напоминающее банальный солнечный ожог, опасным не считалось. Пример одного из тяжелых клинических случаев из отчета врача А.А. Любушина по бальнеологическому стационару за апрель 1935 г.:

«10. Больной Ф. Вт. 25 лет, черно-рабочий. Поступил 15 февраля с жалобами на сильные боли в пояснице и в нижних конечностях. Больным себя считает с 1931 г. Лечился домашними средствами. В 1933 г. по прибытии на Крайний Север болезнь сильно обострилась и сделала всякое движение затруднительным и даже невозможным. Больной передвигается на костылях, опираясь на палку.

При осмотре найдено: больной сильно истощен, подкожный жировой слой отсутствует. Кожа и видимые слизистые бледны. Икрожные мышцы гипертонированы, больной ходит, опираясь на палку. Сгибание и разгибание сильно болезненны и совершаются с трудом. Со стороны нервной сис-

темы все в порядке. Вес больного при поступлении 49700 [г], пульс 70 [ударов в мин]. Кровяное давление до раб[оты] 87/63, после – 74/56 [мм рт. ст.].

Диагноз: хронический ревматизм<sup>1</sup>, резкое малокровие. Лечение: общие минеральные ванны N (прим. – количество) 18,  $t = 35^\circ\text{C}$ , время 15 через день. Железо, бромистая камфора. 26-II появились боли в верхних конечностях после 5 ванн. 12-III больной после 11 ванн начинает передвигаться самостоятельно.

Дополнительно назначен массаж нижних конечностей. 23-III больной выписан со значительным улучшением. Больной может самостоятельно передвигаться, переносит тяжести.  $t^\circ 36.2^\circ\text{C}$ , пульс 64, после работы 70. Кровяное давление до работы M 96/68, после раб[оты] M 102/68 [мм. рт. ст.]; вес 57000 [г]» [22, л. 25].

Точное время и место появления метода лечения радиоактивными компрессами нам не известно. В on-line музее «Oak Ridge Associated Universities» ([www.ornl.gov](http://www.ornl.gov), США) можно найти сведения о нескольких промышленно выпускавшихся для самолечения, предназначавшихся для самолечения. В 20-е годы XX в. в Лос-Анджелесе фирма «Radium Appliance Company» продавала «Radio-active Solar Pad» (дословно – «радиоактивная солнечная подушка»). Это пояс, содержащий препарат радия, который следовало носить на больном месте. Создатель пояса М.Л. Дегнен (Degnen M.L.) не был, по-видимому, обременен знаниями о явлении радиоактивности. В инструкции к этому изделию предписывалось перед применением поддерживать его на солнечном свете, а затем сразу приложить к телу. При этом «...подушка немедленно начнет освобождать энергию ... посылая животворящий поток через кровь и нервную систему...». Активность «Radio-active Solar Pad» была невысокой. В настоящее время на расстоянии 1 фут (30.48 см) мощность дозы лишь на 0.35-0.40 мкЗв/ч выше мощности дозы от естественного радиационного фона [38]. Возможно, что ранее активность была несколько выше, но со временем снизилась из-за радиоактивного распада  $^{228}\text{Ra}$ . Другое изделие, выпускавшийся в Иоахимстале, «Radioactive Compress Radiumchema», согласно этикетке на сохранившейся коробке

<sup>1</sup> Ревматизм – системное воспалительное заболевание соединительной ткани. Основной этиологический фактор – бета-гемолитический стрептококк группы А. В развитии заболевания высоко значение аутоиммунных процессов – антитела к полисахаридам клеточной стенки стрептококка группы А перекрестно реагируют с антигенами соединительной ткани заболевшего. Сопровождается поражениями сердца, сосудов, суставов, кожи, легких, почек, органов пищеварения и др. В цитируемом случае имеет место ревматический миозит, проявляющийся сильными болями в соответствующих мышечных группах. В современных методах лечения ревматизма применяют противовоспалительные и иммунодепрессивные препараты [27].

должно было содержать 0.1 мг радия. Если это соответствует действительности, то изделие должно было быть очень дорогим, а обращение с ним чрезвычайно опасным. На сертификате к нему, выданном Радиевым институтом в Париже, стоит подпись польского радиохимика Сони Котелл (Sonia Cotelte), работавшей с Марией Кюри и погибшей от лучевых поражений [37].

В физлаборатории Водного промысла компрессы назначали при экземе, дерматозах и ревматизме с локальными патологическими изменениями. Лечение компрессами начал А.А. Титаев в 1933 г. по собственному, эмпирически найденному методу. Для этого он применял соль, полученную выпариванием радийсодержащей воды. Влажная соль в количестве 50-200 г закладывалась между слоями марли, поверх марли – клеенка, вата и бинт. Компресс накладывался на 12 часов, курс лечения – 20 компрессов. Эритемы при таком режиме применения отмечено не было, но было сильное раздражающее действие высокой концентрации растворимых нерадиоактивных солей. Поэтому места аппликации предварительно смазывали вазелином. Проведено лечение 14 больных с улучшением в 12 случаях. Параллельно наблюдениям над больными ставили эксперименты на кроликах [13]. Врач А.И. Любушин, сменивший А.А. Титаева, первоначально также применял компрессы из выпаренных радийсодержащих солей. Они представляли собой полотняные подушечки, «в каждую засыпалось до 250 грамм соли так, чтобы она свободно в ней помещалась и удобно облегла больной сустав или к[акую-] н[ибудь] другую часть тела. Одновременно мы применяли экспозицию по 1 клгр. [кг] соли, распределенной по четырем подушечкам. Подушечки эти с вечера клались на больные места и прибинтовывались бинтом на 8-10 часов, т.е. на всю ночь» [18, л. 53]. Однако серьезным недостатком таких компрессов считали низкое содержание радия.

Другой метод лечения компрессами был разработан в 1934 г. в клинике кожных болезней 1-го Московского медицинского института (директор – проф. Г.И. Мещерский) при участии В. Сухарева, Е. Гурвич и Е. Одиной [12]. В качестве основы компресса использовали промежуточный продукт радиевого производства – радиевый концентрат, который получали обработкой радийсодержащей воды гип-

сом с хлоридом бария и последующего осаждения смеси нерастворимых сульфатов бария и радия [15]. В физлаборатории радиевый концентрат очищали от растворимых примесей и получали так называемый «активный барий» или «активный медицинский концентрат» [17]. Согласно методике клиники кожных болезней, компресс представлял собой подушечку из плотной ткани площадью 4×4 см, в которую набивали 4-5 г радиевого концентрата. Подушечку укрепляли пластырем на очаг поражения и оставляли в таком состоянии на 8-10 суток. Повторять наложение компресса на тот же участок следовало не ранее чем через 1.5-2.0 месяца. При распространенных участках поражения, площадью до 40 см<sup>2</sup>, накладывали несколько подушечек, однако продолжительность воздействия снижали до 6-7 дней. Не допускалось наложение компрессов такой площади на лицо, шею, область селезенки, печени и на пах [11].

Врач А.И. Любушин практиковал следующий способ лечения радиоактивными компрессами: из «активного медицинского концентрата» «... приготавливались подушечки весом 35-150 грамм и площадью 10×10 см и до 20×30 см, толщина активного слоя не должна превышать 2-3 мм. В случае необходимости облучать большую поверхность тела, можно накладывать сразу два таких компресса. Для того, чтобы активное вещество равномерно распределялось, подушечку прошивают вертикальными и продольными швами, чтобы таким образом она оказалась разделенной на квадратики 2×2 см. Такая подушечка, наложенная на больной участок тела, может оставаться долгое время не вызывая к[акого]л[ибо] раздражающего действия, но следует иметь в виду, что этот препарат активного бария значительно богаче радием, чем сама вода или выпаренная из нее соль, поэтому лечение концентратом должно проводиться под контролем медперсонала и только в стенах лечебного заведения. Обычно время экспозиции при лечении ревматических заболеваний назначают два-три дня, затем делают перерыв на два дня, во время которого подушечки с концентратом переносятся на другой участок тела или снимаются вовсе. Общая продолжительность экспозиции 12-15 дней» [18, л. 53-54].

Согласно отчету клиники кожных болезней 1-го Московского медицинского института, после 5-суточной ап-

пликации компресса из «активного медицинского концентрата» на коже появлялась слабая эритема с нечетко выраженными краями, а 10-суточная аппликация приводила к более резкой эритеме, проходящей через двое суток и оставляющей пигментированный участок с несильным шелушением [12]. Описанная эритема является признаком легкого радиационного ожога, для возникновения которого необходима весьма высокая доза локального облучения – от 3 Зв и выше в зависимости от мощности дозы [9, 20]. Подобная эритемная реакция наблюдается и при современных методах лечения с применением радоновых аппликаторов, когда доза облучения может достигать 30 Зв за курс. Эта величина значительно превышает установленный НРБ-99 предел эквивалентной дозы в коже для лиц из населения (50 мЗв/год). Поэтому применение радоновых аппликаторов допустимо только в тех случаях, когда иные методы терапии оказались малоэффективны. Следует отметить, что показаниями к применению радоновых аппликаторов являются некоторые формы экземы, псориаза и нейродермита, клинически выраженный болевой синдром неврологического и суставного происхождения, келлоидные рубцы и трофические язвы разной этиологии [8], т.е. практически те же заболевания, при которых назначали радиевые компрессы в физлаборатории Водного промысла. Как правило, лечение компрессами комбинировали с приемами ванн. Пример из отчета врача А.А. Любушина по баланеологическому стационару за март 1935 г.:

«4. Больная Х., 16 лет, поступила с жалобами на сильную ломоту и боли в ногах, делающими мучительными всякое передвижение. Больная сообщила, что болезнь началась в феврале с/г после того как она во время работы провалилась в реку и некоторое время после этого находилась в мокром платье и обуви в холодном помещении.

При осмотре найдено следующее: на поверхности обеих колен и голеней, как на сгибательной, так и разгибательной сторонах имеется несколько узлов, асимметрично расположенных величиной с волоцкий орех пластинчатой формы. t° 37.6, пульс перед работой 70, после 96 [ударов в мин]. Кровяное давление [перед работой] – 107/74, [после работы] – 110/78 [мм рт. ст.], дыхание [перед работой] – 20, [после работы] – 24.

Диагноз: узловатая эритема<sup>2</sup>. Лечение: 19-II общие минеральные ванны, t° 35, время 15 мин. 26-II после 3 ванн появились сильные боли в обоих коленных суставах и голених. 27-II на правое колено и голень положено 2 подушечки с препаратом активного бария общей площадью 40-10 сант. [10-40 см<sup>2</sup>]. 4-III эритемы на месте компрессов исчезли. Большая жалуется на несильные боли в голени. Подушечки с концентратом перенесены на другую ногу. 10-III концентрат снят и с этой ноги.

Самочувствие больной хорошее, боли в голених исчезли. 16-III последняя 12 ванна, 17-III больная выписана выздоровлением.

Пульс перед работой 70, после 80 [ударов в мин]. Кровяное давление [перед работой] – 100/60 [мм рт. ст.], [после работы] – 103/75, дыхание [перед работой] – 21, [после работы] – 27» [21, л. 17-18].

В 20-30-е годы XX века за рубежом был модным прием вовнутрь (per ore) природных радиоактивных вод или специально изготовленных радийсодержащих препаратов. Из последних наибольшую скандальную известность приобрел «Radithor» выпускавшийся «Bailey Radium Laboratories» (США). Производитель утверждал, что каждая бутылочка этого препарата содержала не менее 1 мл Ки <sup>226</sup>Ra и <sup>228</sup>Ra и был готов уплатить 1000 долларов тому, кто докажет обратное [39]. «Radithor» стал причиной смерти многих увлекавшихся им людей, в том числе и своего создателя Уильяма Байлея (William J.A. Bailey). Наибольший скандал возник со смертью Эбен МакБирней Баерса (Eben MacBurney Byers), известного американского бизнесмена, миллионера, спортсмена и плейбоя [40]. Этот метод лечения оказался чрезвычайно опасным, так как поступивший в организм радий депонировался в костях и становился постоянным источником внутреннего облучения. Следствием становилось развитие рака костей, а при высоком накоплении радия – некроз (омертвление) костной ткани. К счастью, Советский Союз отставал от других промышленно развитых стран в практике применения радиоактивных препаратов. Поэтому была возможность учета отрицательного зарубежного опы-

та. В физлаборатории Водного промысла лечение путем приема радийсодержащих вод не практиковали. Есть сведения только о двух случаях приема воды при отработке А.А. Титаевым методов лечения в 1932 г., в начале работы физлаборатории [4]. Однако не исключено, что многие работники Водного промысла пили добываемую радиоактивную воду в порядке самолечения. В частности этим объясняют смерть от рака в апреле 1952 г. Н.Ф. Бутенина, начальника Водного промысла в 1934-1935 гг. (личное сообщение Н.А. Титаевой).

### Заключение

К 50-м годам прошлого века некоторые методы лечения с применением радия были признаны опасными, в других – радий заменен короткоживущими радионуклидами или нерадиоактивными препаратами [35]. Основными недостатками методов лечения в физлаборатории Водного промысла являются отсутствие дозиметрического контроля и непосредственный контакт пациентов с долгоживущим радионуклидами <sup>226</sup>Ra и <sup>228</sup>Ra. Есть сведения, что в 1955 г. район Водного вновь посетила научная бригада Института курортологии во главе с инженером-гидрогеологом З.М. Карауловой [14]. На этот раз было дано отрицательное заключение о возможности лечебного применения ухтинских радийсодержащих вод, причина – высокое содержание в них солей радия [8].

Результаты бальнеологического применения ухтинских радийсодержащих вод опубличованы не были. Во время обороны Москвы в 1941 г. архивы госучреждений, в том числе Государственного центрального института курортологии, были уничтожены. Таким образом, среди специалистов память о медицинском применении ухтинских радийсодержащих вод и подвижнической работе врачей, волей или неволей оказавшихся в недрах ГУЛАГа, под началом некомпетентных в науке людей, оказалась утраченной.

Автор благодарен за помощь профессору геологического факультета Московского государственного университета д.г.-м.н. Наталье Алексеевне Титаевой (1930-2005 гг.).

Работа поддержана грантом РФНФ № 04-03-41301 а/С.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов В.И., Овчинников А.М. Методическое руководство по исследованию радиоактивности подземных вод. М.-Л.: Гос. изд-во геол. лит.-ры Комитета по делам геологии при СНК СССР, 1946. 43 с.
2. Башилов И.Я. Введение в технологию редких элементов. М.-Л.: Гос. хим.-технол. изд-во, 1932. С. 58.
3. Богоявленский Л.Н. Ухтинское месторождение радия // ДАН СССР, Сер. А., 1928. Вып. 14/15. С. 156.
4. В главное управление лагерями ОГПУ, тов. Берману (докладная записка). – (Национальный архив Республики Коми. Ф. Р-1668, оп. № 1, д. № 16, л. 204-207).
5. Вдовенко В.М., Дубасов Ю.В. Аналитическая химия радия. Л.: Наука, 1973. 190 с.
6. Вернадский В.И. Об исследовании на радий нефтяных месторождений Союза // Избранные сочинения. М: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 631-636.
7. Влияние ванн из растворов выпаренных ухтинских солей на ревматиков и ишиадиков. Д-р З.Е. Быховский. – (Национальный архив Республики Коми. Ф. Р-1668, оп. № 1, д. № 16, л. 208-210).
8. Гусаров И.И. Радонотерапия. М.: Медицина, 2000. 200 с. – (Библиотека практикующего врача).
9. Джелиф А.М. Биологическое действие радиации на кожу (ранние эффекты) // Радиация и кожа: Матер. симпоз. (Уинфорт, Великобритания, 1963). М.: Атомиздат, 1969. С. 22-32.
10. Из дислокации промысла № 2 им. ОГПУ на 15 октября 1932 г. – (Национальный архив Республики Коми. Ф. Р-1668, оп. № 1, д. № 146).
11. Инструкция по применению ухтинского концентрата с содержанием до 25 млгр радия на тонну при хронических дерматозах. – (Там же. Д. № 283, л. 96).
12. К вопросу изучения биологического действия и использования с терапевтической целью ухтинской руды. – (Там же. Л. 63-67).
13. К вопросу о характере действия и способе применения радиевых солевых компрессов при хроническом артрите. – (Там же. Л. 38-39).
14. Каминский А.И. Курортные богатства Ухтинского района Коми АССР // Изв. Коми филиала ВГО, 1959. Вып. 5. С. 67-72.
15. Кичигин А.И., Таскаев А.И. «Водный промысел»: история производ-

<sup>2</sup> Эритема узловатая – глубокий дермо-гиподермальный васкулит, протекающий в острой или хронической формах. Развивается чаще у молодых женщин как токсико-аллергическая реакция. Одним из предрасполагающих факторов является длительное воздействие холода. Клиническая картина острой формы характеризуется появлением в толще кожи разгибательных поверхностей голених, реже на бедрах и предплечьях, симметрично расположенных, болезненных, плотных узлов полушаровидной формы, размером от одного до нескольких сантиметров. В настоящее время лечение узловатой эритемы проводят антибиотиками широкого профиля, препаратами кальция, витаминами С и Р, местно – согревающие компрессы [34].

ства радия в Республике Коми (1931-1956 гг.) // *Вопр. истории естествознания и техники*, 2004. № 4. С. 3-30.

16. *Лукьянова И.* Звезда по имени Штерн. – (Online-версия журнала «Вестник», США, Вашингтон – [www.vestnik.com/issues/2002/0724/win/lukjanova](http://www.vestnik.com/issues/2002/0724/win/lukjanova)).

17. *Любушин А.А.* Лечебное значение активного серноокислого бария, приготовленного из Ухтинских минеральных вод. – (Национальный архив Республики Коми. Ф. Р-1668, оп. № 1, д. № 362, л. 7-8).

18. *Любушин А.А.* Ревматизм и его лечение ухтинскими минеральными водами (1937). – (Там же. Д. № 520, л. 43-62).

19. Объяснительная записка к бухгалтерскому отчету Водного промысла Ухткомбината МВД СССР по основной деятельности за 1948 г. – (Архив ОАО Ухтинский электрокерамический завод «Прогресс»).

20. *Осанов Д.П.* Дозиметрия и радиационная биофизика кожи. М.: Энергоатомиздат, 1983. 152 с.

21. Отчет по бальнеологическому стационару физиологической лаборатории за март 1935 г. – (Национальный архив Республики Коми. Ф. Р-1668, оп. № 1, дело № 362, л. 16-20).

22. Отчет по бальнеологическому стационару физиологической лаборатории за апрель 1935 г. – (Там же. Л. 23-26).

23. Отчет экспедиции Государственного центрального института курортологии в Ухтинский район осенью

1932 г. Д-р С.Н. Соколов. – (Там же. Д. № 16, л. 211-224).

24. *Погодин С.А., Либман Э.П.* Как добыли советский радий. М.: Атомиздат, 1977. 248 с.

25. Приказание по промыслу № 2 имени ОГПУ, УхтПечлаг Н.К.В.Д.: от 24 мая 1935 г. – (Архив ОАО Ухтинский электрокерамический завод «Прогресс»).

26. Протокол совещания по вопросам производственной работы УхтПечлага от 22-24 сентября 1932. – (Национальный архив Республики Коми. Фонд Р-1668, опись № 1, дело № 22).

27. Ревматизм / *А.И. Нестеров* и др. // Большая медицинская энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1986. Т. 22. С. 68-91.

28. *Решетилло Д.Ф.* Радий и его применение для лечения болезней кожи, злокачественных новообразований и некоторых болезней внутренних органов. – СПб: Изд-во журн. «Практическая медицина», 1910. – 189 с. – (Руководство для практических врачей).

29. Список з/к, работающих при управлении Упитлаг ОГПУ (Чибью). – (Национальный архив Республики Коми. Ф. Р-1668, оп. № 1, д. № 141).

30. Список сотрудников санотдела на 1 мая 1932 года. – (Там же).

31. *Тутаев А.А.* Годовой отчет о работе за 1933 г. – (Там же. Д. № 283, л. 15-17).

32. *Торопов Ф.А.* Геохимия ухтинских радиоактивных вод // *Недра советского Севера*, 1933. № 1. С. 15-26 – (Производственно-технический журнал

Ухто-Печорского треста. В июне 1933 г. вышел его единственный номер).

33. Ухтинские минеральные радиевые воды. Ухто-Печерский трест, 1933. 70 с. – (Хранится в библиотеке Коми НЦ УрО РАН на правах рукописи).

34. *Шапошников О.К.* Эритема узловая // Большая медицинская энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1986. Т. 28. С. 325-326.

35. *Щелотьева Е.С.* Лечебное применение альфа-излучающих радиоактивных изотопов (альфа-терапия) // *Мед. радиология*, 1957. Вып. 3. С. 62-77.

36. Aschoff, Karl Heinrich / *Lexikon Kreuznacher Persolichkeiten*. – (Online-энциклопедия г. Крейцнах, ФРГ – [www.stadt-bad-kreuznach.de/kulturfreizeit/museen/kreuznacher\\_persolichkeiten/kh\\_persolichkeiten\\_a\\_z/kreuznacher\\_persolichkeiten\\_aschoff](http://www.stadt-bad-kreuznach.de/kulturfreizeit/museen/kreuznacher_persolichkeiten/kh_persolichkeiten_a_z/kreuznacher_persolichkeiten_aschoff)).

37. Box for radiumchema radioactive compress (ca. 1930) – (Online-музей «Oak Ridge Associated Universities», США – [www.orau.org/ptp/collection/quackcures/radchema](http://www.orau.org/ptp/collection/quackcures/radchema)).

38. Degnen's standard radioactive solar pad (1915-1930) – (Online-музей «Oak Ridge Associated Universities», США – [www.orau.org/ptp/collection/quackcures/degnen](http://www.orau.org/ptp/collection/quackcures/degnen)).

39. Radithor (ca. 1928). (Там же – [www.orau.org/ptp/collection/quackcures/radithor](http://www.orau.org/ptp/collection/quackcures/radithor)).

40. *Rowland R.E.* Radium in humans: a review of U.S. studies. – Argonne (Illinois, USA), 1994. 246 p. – (Argonne National Laboratory).

## НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

**Тамаре Яковлевне Ашихминой**

с награждением

дипломом участника конкурса «Рациональное природопользование и охрана окружающей среды — стратегия устойчивого развития России в XXI веке» (Москва, 2006 г.);

дипломом победителя конкурса на лучшую научную работу преподавателей в 2005 г. по методическому направлению.

**Людмиле Ивановне Домрачевой**

с награждением

дипломом участника конкурса «Рациональное природопользование и охрана окружающей среды — стратегия устойчивого развития России в XXI веке» (Москва, 2006 г.)







«ПАРАСЬКИНЫ ОЗЕРА» – ВОДНЫЙ ПАМЯТНИК ПРИРОДЫ

В 50 км к югу от г. Ухта, в бассейне р. Тобысь (приток р. Ухта) есть уникальный уголок природы с изумительными карстовыми озерами. Он объединяет более 20 великолепных озер, которые сообщаются между собой подземными реками. Природа здесь трудилась веками, собрав на сравнительно небольшом участке земли воедино красивейшие озера, известковые карстовые разломы и воронки (фото 1, 2), различные по размерам и формам: конусообразные, чашеобразные, блюдцеобразные. В народе эти озера известны как «Параськины озера» и свое название они получили по имени женщины-охотницы Парасковьи Кирилловны Михайловой, прожившей здесь более четырех десятков лет. Район этих озер в 1989 г. получил статус памятника природы «Параськины озера» республиканского значения и вошел в сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Республики Коми [2]. Согласно статусу для сохранения уникальных природных объектов в естественном состоянии для научных, культурно-просветительских и рекреационных целей на его территории запрещается всякого рода хозяйственная деятельность, устройство свалок, использование транспорта за пределами существующих дорог, уничтожение и повреждение почвозащитной растительности, рубка леса, распашка земель.

В 2005 г. Институт биологии Коми НЦ УрО РАН провел инвентаризацию биологических ресурсов самого древнего и самого крупного (размером 4.8 га) из всех карстовых озер этого района – оз. Большое Параськино. Так окрестили его строители газопровода, стоявшие лагерем на его живописном берегу. Чтобы изучить, какие растения и животные населяют это озеро, как они распределяются по зонам, по грунтам, глубинам, надо было выяснить условия жизни его обитателей. По данным Комирыбвода, средняя глубина озера составляет 11 м, однако есть места глубиной до 22 м; ширина озера – 170, длина – 367 м. Берега низкие, поросшие кустарником, елью, березой. Среди прибрежно-водных растений установлены хвощи, осоки, сабельник, вех ядовитый, болотница. Дно в литоральной (в прибрежье) зоне песчано-илистое, торфянистое, с запахом сероводорода, редко отмечена галька, грунт в сублиторали – вязкий ил. Вода



к.б.н. **В. Шубина**  
с.н.с. лаборатории ихтиологии  
и гидробиологии  
E-mail: [vshubina@ib.komisc.ru](mailto:vshubina@ib.komisc.ru)  
тел. (8212) 43 63 84

Научные интересы: *бентос, гидробиоценозы, питание рыб*



**Н. Соколова**  
ведущий инженер  
этой же лаборатории  
E-mail: [sokolova@ib.komisc.ru](mailto:sokolova@ib.komisc.ru)

Научные интересы: *бентос, питание рыб*



**М. Туманов**  
м.н.с. этой же лаборатории  
E-mail: [tumanov@ib.komisc.ru](mailto:tumanov@ib.komisc.ru)

Научные интересы: *фауна, экология и охрана рыб*

желтоватая, ее активная реакция – от нейтральной до слабощелочной (рН 7.0-8.3). По данным экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН, минерализация воды оз. Большое Параськино составляет 291.5 мг/дм<sup>3</sup> и отличается высоким содержанием (мг/дм<sup>3</sup>) сульфатов (162), кальция (32.5), магния (10), концентрация кремния соответствует 8.9, железа – 47 мг/дм<sup>3</sup> [4].

Обитатели дна (бентос) подразделяются на фито- и зообентос. В литературе имеется немного сведений о фитобентосе Параськиных озер [4]. Среди донных водорослей оз. Большое Параськино до вида определены представители только семейства Fragilariaceae (Kütz.), в составе которого установлены роды диатомовых водорослей: *Fragilaria* (зарегистрировано 12 видов), *Synedra* (представлен 10 видами и разновидностями). Доминантом является олигосапроб *Fragilaria brevistriata*, субдоминантом – водоросль β-мезосапроб *Fragilaria pinna-ta*. Невысокое обилие имеют водоросли родов *Nitzschia*, *Navicula* и *Cymbella*. В наших сборах бентоса единично присутствовали ностоки (тип Cyanophyta, синезеленые).

Материалом для изучения донных гидробионтов оз. Большое Параськино послужили пробы бентоса, собранные в июне и сентябре 2005 г. в литоральной зоне – в 2-10 м от берега на глубине 1.0-2.0 м, и пищевые пробы окуня. На дне озера обитает 15 групп беспозвоночных (табл. 1).

Бентосные животные оз. Большое Параськино разнообразны. Тут и водяные черви (круглые, малощетинковые, пиявки), всевозможные моллюски, тело которых заключено в раковину. Тут и многочисленные мелкие (до 1 мм) низшие ракообразные – ос-

тракоды, копеподы, кладоцеры, и более крупные (до 1.5-2.0 см длиной) высшие ракообразные (из отряда амфипод, которые в водоемах республики встречаются крайне редко) – бокоплавцы. Тут и водные клещи и, наконец, водные насекомые и их личинки (стрекозы, поденки, веснянки, вислокрылки, ручейники, двукрылые). Насекомые озера составляют по количеству половину всех остальных беспозвоночных, вместе взятых. Одни из них живут, слегка зарываясь в ил или песок, другие ползают по дну, третьи плавают среди растительности или заселяют древесные остатки, деревья, свалившиеся в воду.





Фото 1. Известковая карстовая воронка, заполненная водой.

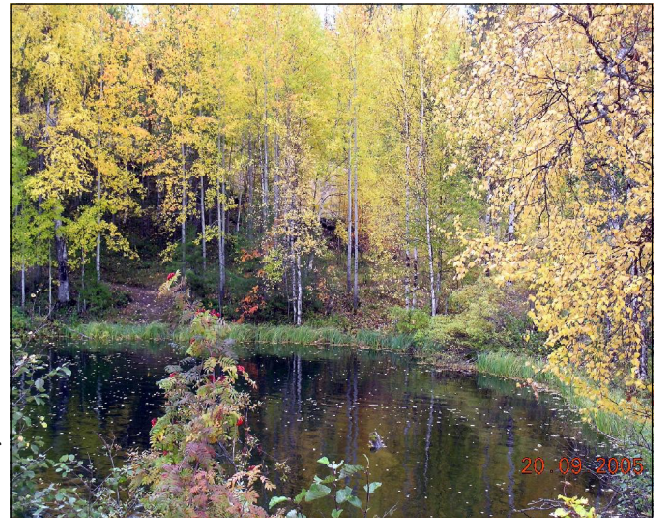


Фото 2. «Осенняя пора – очей очарованье» на оз. Большое Параськино.

фото М. Туманова

Постоянными обитателями дна являются нематоды, олигохеты (*Aulodrilus plurisetus*, *Stylaria foscularis*, *S. lacustris*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Tubifex tubifex*, *T. ignotus*, *Cognettia*, *Nais pseudobtusa*, *N. pardalis*, *Piguetiella blanci*, *Specaria josinae*), моллюски (*Sphaerium westerlandi*, *Cincinna depressa*, *C. frigida*, *Henslowiana lilljeborgi*, *H. henslowana*, *Amesoda transversalis*, *Anisus albus*, *A. contortus*, *A. scaldiana*, *Lacustrina dilatata*, *Euglesa borealis*, *Euglesa* sp), остракоды, кладоцеры, копеподы, личинки поденки и хирономид. По численности на всех типах грунта летом доминируют личинки хирономид и кладоцеры, к осени (20.09) повышается количество моллюсков, их численность достигает 2.14 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Основу биомассы бентоса составляют моллюски, на долю которых летом и осенью приходится 85 и 69 % соответственно. В число субдоминант по биомассе летом входят личинки хирономид (табл. 1), а осенью – поденки (доминирует *Ephemera lineata*) и ручейники (*Phryganea bipunctata*, *Mystacides azurea*). Средний показатель летней биомассы бентоса оз. Большое Параськино составляет 132 кг/га.

Обитающие на дне озера гидробионты формируются в биоценозы, приспособленные к условиям жизни на разных грунтах и глубинах. В зависимости от характера грунта и глубины количество групп донных беспозвоночных в этих сообществах сходно, однако численность и биомасса бентических организмов заметно различаются. Наименьшие количественные показатели численности и биомассы донного населения зарегистрированы в прибрежье (в 3 м от берега) на илистых грунтах с наличием грубого детрита. Присутствие даже небольших вкраплений гальки на песчано-илистых грунтах обуславливает максимальную численность (17.8 тыс. экз./м<sup>2</sup>) донных беспозвоночных. По количеству создаваемой летней биомассы бентоса (31 г/м<sup>2</sup>) в оз.

Большое Параськино наиболее продуктивен илистый грунт с наличием торфа:

Грунт, глубина, удаление от берега	Количество групп бентоса	Численность, тыс.экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>
Песок с детритом и илом, глубина. 1.0 м, в 2 м от берега	11	1.0	9.46
Песок, галька, детрит, ил, глубина 1.0 м, в 6 м от берега	12	17.8	7.51
Ил с детритом, мелкий песок, глубина 1.5 м, в 3 м от берега	13	0.6	5.01
Ил, мелкий песок, торф, глубина 2.0 м, в 10 м от берега	10	8.3	30.94

Гидробиологические исследования показали, что «Параськины озера» – водный объект, представляющий большой научный интерес. Здесь обитают уникальные виды беспозвоночных. Среди донных беспозвоночных обнаружен представитель древней фауны, единственный вид амфипод *Gammarus lacustris*, заселяющий водоемы Республики Коми, где он известен лишь из водоемов области первого пост-

Таблица 1

**Зообентос оз. Большое Параськино (глубина 1.0-2.0 м; грунт – песчано-илистый с наличием торфа, редко галька, 20.06.2005 г.)**

Группа беспозвоночных	Средняя численность, экз./м <sup>2</sup> (%)	Средняя биомасса, мг/м <sup>2</sup> (%)
Nematoda	452.4 (6.5)	4.58 (<0.1)
Oligochaeta	439.9 (6.3)	28.01 (0.2)
Hirudinea	2.1 (<0.1)	2.49 (<0.1)
Mollusca	350.7 (5.0)	11301.49 (85.4)
Cladocera	1402.7 (20.1)	16.85 (0.1)
Ostracoda	547.0 (7.9)	15.71 (0.1)
Copepoda	373.5 (5.4)	3.34 (<0.1)
Amphipoda	10.4 (0.1)	98.77 (0.8)
Hydracarina	56.0 (0.8)	13.59 (0.1)
Odonata, lv.	2.1 (<0.1)	38.18 (0.3)
Ephemeroptera, lv.	39.4 (0.6)	46.07 (0.4)
Megaloptera, lv.	10.4 (0.1)	162.27 (1.2)
Trichoptera, lv.	6.2 (0.1)	20.75 (0.2)
Ceratopogonidae, lv.	8.3 (0.1)	6.85 (0.1)
Chironomidae, lv.	3089.7 (44.4)	1420.55 (10.8)
Chironomidae, pp.	178.4 (2.6)	51.88 (0.3)
Vсero	6969.2 (100.0)	13231.38 (100.0)

Состав пищи окуня оз. Большое Параськино\*  
(19.06.2005 г.)

Компонент пищи	Средняя величина показателя в одном желудочно-кишечном тракте	
	количество, экз. (%)	масса, мг (%)
Hydracarina**	165.6 (41.4)	1.66 (0.1)
Trichoptera, lv	0.2 (0.1)	0.24 (<0.1)
Chironomidae, lv	0.2 (<0.1)	0.14 (<0.1)
Chironomidae, pp	233.8 (58.5)	719.86 (64.9)
Рыбные остатки	0.2 (<0.1)	389.20 (35.0)
Всего	400.0 (100.0)	1111.10 (100.0)

\* Зараженность кишечника паразитическими червями составила 80 %.  
\*\* По всей вероятности, это паразиты личинок хирономид.

максимального оледенения и его перигляциальной зоны. Этот рачок рассматривается как ледниковый реликт [1]. Отмечается в оз. Большое Параськино богатое видовое разнообразие моллюсков, среди которых зарегистрированы редко встречаемые в Европе виды *Cincinna frigida*, *Lacustrina dilatata* [5]. В составе олигохет установлен вид *Stylaria fossularis*, крайне редко регистрируемый в водах европейской части России, но распространенный в Восточной и Южной Азии, Северной Америке и Западной Европе [3, 5].

В составе пищи окуня, единственного вида рыб оз. Большое Параськино (а были времена, когда здесь, по данным ихтиологов, кроме окуня ловили налима, плотву и даже хариуса; но человек постарался и эти виды рыб выловил подчистую) установлено всего четыре компонента (табл. 2). По численности в пищевом комке доминируют куколки хирономид и клещи, но представители последней группы беспозвоночных, по всей вероятности, – это паразиты хирономид. Основу биомассы содержимого кишечника составляют куколки хирономид, значительна и доля рыбной пищи.

Необходимо разработать программу комплексных мероприятий, обеспечивающих чистоту вод Параськиных озер и принять самые решительные меры по охране природы и воспроизводству их биологических ресурсов. «Параськины озера» – это «природный музей», где должны сохраняться и оберегаться ценные виды животных и растений. Совершенно ясно, что в наших интересах сохранить разнообразие организмов, которое создавалось в процессе многовековой эволюции.

Авторы благодарны Ю.В. Лешко и М.А. Батуриной за определение моллюсков и олигохет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зверева О.С. Особенности биологии главных рек Коми АССР. Л.: Наука, 1969. 279 с.
2. Кадастр охраняемых природных территорий Республики Коми / Р.Н. Алексеева, Т.М. Безносова, В.П. Гладков и др.; отв. редакторы А.И. Таскаев, Н.И. Тиомнин. Сыктывкар, 1993. Ч. 1. 190 с.
3. Чекановская О.В. Водные малоштитковые черви фауны СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 411 с.
4. Шабалина Ю.Н. Семейство Fragilariaceae (Kütz) D.T. в карстовом озере – памятнике природы (Ухтинский район, Республика Коми) // Проблемы особо охраняемых природных территорий европейского Севера (к 10-летию национального парка «Югыд ва»): Матер. науч.-практ. конф. Сыктывкар, 2004. С. 176-178.
5. Limnofauna Europaea. Stuttgart, 1978. 532 S.



ПРОБЛЕМЫ ДНЯ



ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9:  
ДЕЙСТВИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ТРУДНЫХ ЖИЗНЕННЫХ СИТУАЦИЯХ

В. Юхнин

главный специалист по вопросам ГО и ЧС Коми НЦ УрО РАН

Лес ошибок не прощает

Приходит лето, и мы все дружно ринемся в леса и на болота собирать дары природы – грибы и ягоды. Кто-то серьезно и основательно готовится к походу в лес, а кое-кто к этому делу подходит самоуверенно и легкомысленно, не принимая во внимание, что грибника в лесу охватывает неконтролируемый азарт. При этом мы никак не хотим учиться на чужих ошибках и предпочитаем совершать свои. В жизни это называется «наступать на одни и те же грабли». Обычная на первый взгляд поездка в лес может обернуться настоящей трагедией. Это истина проверенная временем и горьким опытом. Ежегодно спасатели Респуб-



лики Коми до 100 раз выезжают на поиски заблудившихся в лесу и не всегда принимаемые меры дают желаемый результат.

Какие же надо знать «секреты», чтобы обезопасить себя от неприятностей в лесу?

1. Если Вы собрались в лес, обязательно возьмите с собой компас, часы, спички, нож, легкую запасную одежду. Неплохо иметь мобильный телефон с заряженными элементами питания. Спички и одежду упакуйте в полиэтилен, чтобы они не промокли в случае дождя. По возможности наденьте яркую одежду, чтобы в случае поисков вас легко было заметить в лесу. Также не забудьте назвать род-

ным и близким место, где именно вы будете собирать ягоды и грибы.

2. Прежде чем войти в лес, выясните, где находятся основные ориентиры: реки, ручьи, дороги, населенные пункты. При поездке в лес группой более опытный из вас должен рассказать всем об этих ориентирах и назначить контрольное время возвращения.

3. Будьте внимательны. Обратите внимание на направление дороги и запомните направление вашего движения, в какой стороне светит солнце, откуда дует ветер. Это может понадобиться при выходе из леса. Никогда не входите в чащу при сильном тумане.

4. Если вы все-таки заблудились – ни в коем случае не отчаивайтесь!

Знайте, что если вы к назначенному времени не вышли из леса, то при любых условиях будет организован поиск, и помощь обязательно придёт. Много отдохните и сделайте несколько попыток движения в разные стороны, но не идите в одном направлении больше 15 минут. После каждой попытки непременно возвращайтесь на место, откуда начали свой путь. Самое удачное место для ожидания помощи – просеки и тропы, поэтому желательно не уходить от этих ориентиров далеко в лес.

5. Если же вас застало в лесу темное время суток – не поддавайтесь панике. По возможности выберите сухое место, желательно открытое и возвышенное, и разведите костёр. В ночное время отблески костра можно заметить за 6-8 километров. Свет карманного фонарика виден за полтора километра. В тихое вечернее время прислушайтесь: движение автомашины по шоссе можно услышать на расстоянии 1-2 километров, по грунтовке – за километр. Ружейный выстрел слышен на расстоянии 2-4 километров, разговор – 250-ти метров, а громкий крик до 1.5 километров.

Эти нехитрые знания помогут с честью выдержать выпавшие на вас испытания. Выполнять их надо и в том случае, если вы идёте в знакомый лес или планируете пробыть в лесу непродолжительное время.

#### Чем опасен угарный газ?

Отравиться угарным газом можно в частном доме с печным отоплением, в личной дачной бане при неправильной топке, дома при использовании неисправного газового оборудования и отсутствии хорошей тяги, при работе бензиновых двигателей, при пожаре и т.д.

Угарный газ (окись углерода, оксид углерода, CO) – продукт неполного сгорания органических веществ, высокотоксичный газ, без цвета, часто имеющий запах гари. Приводит к острому кислородному голоданию.

Отравление может быть постепенным или молниеносным. Это зависит от концентрации газа в воздухе, длительности его воздействия и индивидуальной чувствительности человека.

Признаки отравления:

- а) при легкой степени:
  - появление ощущения тяжести и пульсации в голове;
  - боль в области висков и лба, потемнение и мелькание в глазах, шум в ушах;
  - покраснение кожных покровов, учащенное сердцебиение, оглушенность, дрожь, слабость, тошнота и рвота.

- б) при более тяжелой степени:
  - нарастающая мышечная слабость, учащение пульса, расширение зрачков, поверхностное дыхание, головокружение;
  - путаное сознание, сонливость, затем – потеря сознания;
  - непроизвольное опорожнение кишечника и мочевого пузыря;
  - появление синюшности на лице, возможно – розовых пятен. При поверхностном дыхании, глухом сердцебиении, начале судорог возможно наступление смерти.

Первая помощь пострадавшим:
 

- вынести на свежий воздух и положить на спину горизонтально;
- при любой погоде – расстегнуть одежду и открыть грудную клетку;
- напоить горячим чаем или кофе;
- охладить лицо и грудь холодной водой, охлажденной тряпкой, льдом или снегом.

Если пострадавший не приходит в себя:

- любым способом вызвать раздражение в носу (пером, веточкой, табаком, горчицей, нашатырным спиртом), т.е. заставить потерпевшего чихать;
- полезно проводить растирания груди до появления дыхания (варежкой, шарфом и другими предметами);
- провести искусственное дыхание;
- направить пострадавшего в лечебное учреждение.

#### Правила передвижения по улице в гололед

С наступлением зимы сотни жителей обращаются к врачам по поводу получения травм, полученных на скользкой дороге. Какие же возможности избежать травмы?

Необходимо подобрать мало скользкую обувь с подошвой на микропористой основе.

Перед выходом из дома попробуйте приклеить к каблук лейкопластырем кусок поролона.

Можно наклеить лейкопластырь на сухую подошву и каблук (крест накрест или лесенкой), а перед выходом наступить в песок.

Хорошо помогает в гололед, если натереть подошву наждачной бумагой.

В гололед необходимо передвигаться осторожно, ступая на всю подошву. Ноги при ходьбе должны быть слегка расслаблены, руки свободны.

Если вы поскользнулись, сразу присядьте, чтобы снизить высоту падения. Сгруппируйтесь, чтобы исключить падение навзничь. В момент касания земли перекатитесь, чтобы смягчить силу удара.

#### Безопасность

##### на замерзших водоемах

Основными причинами, по которым люди оказываются в ледяной воде являются:

- пренебрежение правилами безопасности, выход на лед не смотря на предупреждения;
- принятие алкогольных напитков любителями рыбалки;
- незнание правил безопасного поведения на водоемах в зимний период.

Помните:

- наиболее прочен чистый, прозрачный лед. Мутный лед ненадежен;
- на участках, запорошенных снегом, лед тонкий и некрепкий;
- в местах, где в водоем впадают ручьи, речки, обычно образуется наиболее тонкий лед;
- для одиночных пешеходов лед считается прочным при толщине не менее 7 см, а для групп людей - 12 см;
- не рекомендуется передвигаться по льду при плохой видимости – в туман, метель, сильный снегопад.

Если вы провалились под лед:

Не барахтайтесь беспорядочно и не наваливайтесь всей тяжестью тела на кромку льда.

Постарайтесь избавиться от тяжелых вещей.

Постарайтесь опереться локтем на лед и лечь горизонтально (выбираться необходимо в ту сторону, откуда вы шли). Проще выбраться на крепкий лед, втыкая нож или другой острый предмет, имеющийся под рукой.

Из узкой полыньи надо «выкручиваться», перекатываясь с живота на спину и одновременно выползая на лед.

В большой полынье взбираться на лед необходимо в том месте, где произошло падение.

В реке с сильным течением избегайте навалную сторону (ту, в которую уходит вода), чтобы не оказываться втянутым под лед. Выбираться из полыньи следует против течения.

Постарайтесь выкатиться на лед и без резких движений, не вставая, переместитесь подальше от опасного места (ползите в ту сторону, откуда вы шли).

На твердом льду встаньте и постарайтесь быстро добраться до жилья. Пребывание в ледяной воде в течение 10-15 минут опасно для жизни.

Спасая провалившегося под лед, протяните ему палку, веревку. Вытащив пострадавшего, надо немедленно переодеть его в сухую одежду, дать съесть несколько кусочков сахара, заставить активно двигаться, развести жаркий костер.



## НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

От всей души поздравляем академика  
**Николая Павловича Юшкина**  
с высокой правительственной наградой —  
орденом «За заслуги перед Отечеством» III степени за большой  
вклад в развитие науки и многолетнюю плодотворную работу.

*(Указ президента Российской Федерации № 878 от 9 августа 2006 г.)*



## ПОЧТА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



Российская академия наук  
Уральское отделение  
**Институт экологических проблем Севера**  
(ИЭПС УрО РАН)

163061, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, 23

Директору Института биологии  
Коми НЦ УрО РАН  
к.б.н. **А.И. Таскаеву**

Глубокоуважаемый Анатолий Иванович!

Выражаем глубокую благодарность зав. лабораторией вашего Института д.б.н. Модесту Михайловичу Долгину за неоценимую помощь в проведении всероссийской конференции с международным участием «Академическая наука и ее роль в развитии производительных сил в северных регионах России».

Надеемся, что в дальнейшем научно-организационное и научно-исследовательское сотрудничество между нашими организациями будет неуклонно расширяться, в том числе и на основе проведения совместных симпозиумов и экспедиций, разработки проектов по изучению природы Европейского Севера.

С уважением,  
директор Института, д.г.-м.н

Ю.Г. Кутинов



## НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

Доктору биологических наук, профессору **Вячеславу Пименовичу Мишурову** с присвоением Почетного звания «Заслуженный деятель науки Российской Федерации»

Желаем дальнейших творческих успехов!

*(Указ президента Российской Федерации № 878 от 9 августа 2006 г.)*