



# ВЕСТНИК

Института биологии  
Коми НЦ УрО РАН

№ 7  
(129)

## В номере

### СТАТЬИ

- Головко Т., Гармаш Е., Скугорева С.** Тяжелые металлы в окружающей среде и растительных организмах ..... 2
- Безносиков В., Лодыгин Е., Кондратенок Б.** Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах Печорского и Усинского районов Республики Коми ..... 7
- Тентюков М.** Изменение биогеохимической активности тундровых кустарников в условиях аэротехногенного загрязнения ..... 12
- Пономарев В.** Физиолого-биохимические адаптации рыб к условиям Севера (на примере процессов пищеварения) ..... 18
- Петров А., Быховец Н.** Биотопические комплексы мелких млекопитающих долины р. Море-ю (Большеземельская тундра) ..... 22
- Кочанов С., Петров А.** Проблемы инвентаризации краснокнижных видов наземных позвоночных комплексного заказника «Удорский» ..... 28
- Быховец Н.** Структурно-функциональные особенности развития коры надпочечника в онтогенезе млекопитающих ..... 31

### УЧЕНЫЙ СОВЕТ

- Петр Петрович Вавилов ..... 35
- Зайнуллина Г.** Интродукция кормовых растений в Республике Коми ..... 37
- Табаленкова Г.** Роль П.П. Вавилова в развитии физиологических исследований на Севере ..... 39

Издается  
с 1996 г.

**Главный редактор:** к.б.н. А.И. Таскаев  
**Зам. главного редактора:** д.б.н. С.В. Дегтева  
**Ответственный секретарь:** И.В. Рапота  
**Редакционная коллегия:** д.б.н. М.М. Долгин, д.б.н. Т.И. Евсеева,  
к.б.н. В.В. Елсаков, д.б.н. С.В. Загирова, к.б.н. К.С. Зайнуллина,  
к.х.н. Б.М. Кондратенок, к.б.н. Е.Г. Кузнецова, к.б.н. С.П. Маслова,  
к.б.н. Е.А. Порошин, к.э.н. Е.Ю. Сундуков, к.б.н. И.Ф. Чадин,  
к.б.н. Т.П. Шубина

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗМАХ<sup>1</sup>**

**В** условиях возрастающего антропогенного загрязнения окружающей среды проблема тяжелых металлов (ТМ) становится все более актуальной. Изучение эффектов взаимодействия металлов с биомолекулами представляет большой теоретический и практический интерес, затрагивает экономическую и социальную сферы (медицина, экотоксикология, производство сельскохозяйственной продукции, утилизация отходов и др.). Несмотря на имеющиеся в литературе многочисленные обзоры и сводки по ТМ, механизмы их фитотоксичности остаются до конца не выясненными. К ТМ условно относят химические элементы, обладающие свойствами металлов или металлоидов, с относительной атомной массой свыше 50 или удельной плотностью >6 г/см<sup>3</sup>. В большинстве случаев поллютанты содержат мышьяк, кадмий, кобальт, хром, медь, ртуть, свинец, никель, цинк. Важно отметить, что целый ряд химических элементов, относящихся к группе ТМ, например, кобальт, медь, марганец, молибден, селен, цинк, никель в очень небольших концентрациях необходимы для нормальной жизнедеятельности растений как микроэлементы. Микроэлементы участвуют в ключевых метаболических процессах, активируют многие ферменты или в составе металлоэнзимов осуществляют перенос электронов в энергосопрягающих мембранах хлоропластов и митохондрий. Другие ТМ (кадмий, свинец, ртуть, мышьяк) растениям не нужны и проявляют фитотоксичность. Токсичным считается уровень ТМ в почвах, при котором наблюдается торможение роста и развития, снижение продуктивности растений на 10-20 %. Кадмий, свинец, ртуть представляют наибольшую потенциальную токсичность для животных и человека, так как обладают высоким кумулятивным эффектом. Кадмий мобилен в растениях, накапливается не только в корнях и листьях, но и в зерне [1, 4].

Потенциально опасные для человека пищевые цепи начинаются в основном с загрязненной растительной продукции. Для оценки ее загрязнения ТМ разработаны и утверждены нормативы Сан-



проф., д.б.н. **Т. Головкин**  
зав. лабораторией экологической физиологии растений  
E-mail:  
[t\\_golovko@ib.komisc.ru](mailto:t_golovko@ib.komisc.ru)

Научные интересы: *физиология и экология растений*



к.б.н. **Е. Гармаш**  
с.н.с. этой же лаборатории  
E-mail: [garmash@ib.komisc.ru](mailto:garmash@ib.komisc.ru)

Научные интересы: *дыхание, температура, минеральное питание, тяжелые металлы, окислительный стресс*



к.б.н. **С. Скугорова**  
н.с. лаборатории биомониторинга (г. Киров)

Научные интересы: *загрязнение, тяжелые металлы, адаптация растений, биомониторинг*

ПиН. Согласно этому документу (СанПиН 2.3.2.1280-03) допустимый уровень содержания ртути в овощах составляет 0.02 мг/кг сырой массы. Наши опыты показали, что такое количество металла растения накапливают уже при сравнительно слабом загрязнении почвы (табл. 1). Употребление пищи, содержащей ТМ, приводит к нарушению работы почек, печени и других систем, включая репродуктивную.

Существует множество источников поступления ТМ в окружающую среду. Из природных источников наибольшее значение имеют выветривание горных пород и минералов, вулканическая деятельность, эрозия почв, высокие естественные уровни содержания ТМ. Мощный поток ТМ в среду связан с антропогенными факторами (горнорудная промышленность, энергетика, сжигание топлива и выбросы автотранспорта, производство и применение пластика, текстиля, удобрений, пестицидов) [17]. По имеющимся в литературе сведениям [15] интенсивность вовлечения в биохимический круговорот соединений ТМ из техногенных источников в среднем в 100 раз выше, чем из природных. Например, мировое производство ртути, одного из наиболее токсичных и подвижных ТМ, в настоящее время достигает 10 тыс. т [6, 9]. Из них только 20 % используется в промышленности, остальное количество попадает в окружающую среду. Около 3 тыс. т ртути выбрасывается в атмосферу при сжигании ископаемого топлива. Парадоксально, что именно деятельность *Homo sapiens* (человека разумного) приводит к загрязнению атмосферы, гидросферы, литосферы и фитосферы.

Наибольший техногенный пресс испытывают наземные экосистемы. Естественные уровни содержания ТМ в почвах сильно колеблются в зависимости от концентрации в материнских породах, рельефа, климата. Например, концентрация кадмия варьирует в пределах 0.01-0.50, никеля – 1-200, а свинца – 5-10 мг/кг [4, 5]. В зонах сильного загрязнения содержание ТМ в почвах выше в десятки и сотни раз. Полученные нами данные о содержании тяжелых металлов в почвах и дикорастущих растениях на

<sup>1</sup> Статья подготовлена по материалам пленарного доклада на Всероссийской научной конференции «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Пущино-2008, январь).

мониторинговых участках, расположенных в зоне Киров–Кирово-Чепецкой промышленной агломерации, свидетельствуют о том, что в большинстве случаев валовое содержание кобальта, никеля, ртути и других металлов превышало их кларки и ПДК. При этом основную часть составляли необходимые растениям элементы. Однако суммарное содержание ТМ было сравнительно высоким, особенно на участках, расположенных вблизи химического комбината.

В почве ионы металлов могут удерживаться за счет сорбции и осаждения. До определенного предела почва способна связывать токсичные элементы, переводя их в малоподвижное состояние (рис. 1). Основную роль при этом играет гумусированность и дисперсность почвы, рН почвенного раствора. Почвенные коллоиды заряжены отрицательно. В них присутствуют гидроксильные группы и электронные пары кислорода, а также карбоксильные и фенольные группы органических веществ. Положительно заряженные ионы металлов притягиваются коллоидными частицами почв. Подвижность металлов возрастает при низких значениях рН, так как протоны водорода имеют более высокое сродство к отрицательно заряженным почвенным коллоидам и конкурируют с ионами металлов за сайты.

Органическое вещество почвы снижает подвижность металлов путем связывания их с фульво- и гуминовыми кислотами. В целом, более глинистые и/или гумусированные почвы с высоким рН связы-

вают больше ионов металлов и дольше их удерживают. Свойства почвы и состав почвенного раствора определяют динамическое равновесие между металлами в почвенном растворе и твердой фазе почвы. Поэтому между концентрацией ТМ в почвах и содержанием их в растениях прямая связь чаще всего отсутствует. Это затрудняет экологическую экспертизу. Растения способны поглощать металлы из почвы, ила, воды и воздуха. Мхи и лишайники, например, аккумулируют металлы из воздуха всей поверхностью. Эти растения – хорошие индикаторы преимущественно атмосферных поллютантов. В сильно загрязненных экосистемах, где низок уровень биоразнообразия, мхи и лишайники исчезают первыми.

Особый интерес представляют исследования взаимодействия металлов с высшими сосудистыми растениями. Доступность металлов для растений зависит от формы металла и вида растения. В почве более подвижны кадмий, цинк, менее мобильны медь, свинец, которые образуют комплексы с фульвокислотами. Очень велики генотипические различия растений; по отношению к поступлению, накоплению и детоксикации металлов различаются не только виды, популяции, но и сорта. В норме концентрации для разных металлов в биомассе растений могут отличаться на несколько порядков. Так, например, содержание золота составляет ты-

Валовое содержание ртути в кормовых и овощных растениях, мг/кг сухой массы

Таблица 1

Культура			Вариант		
			Контроль	10 ПДК	25 ПДК
Пелюшка	15-дневные	корни	3.4 ± 0.3	399 ± 41**	1116 ± 89**
		побеги	6.6 ± 0.6	45.0 ± 0.1***	108 ± 9**
	40-дневные	корни	4.6 ± 0.2	289 ± 4***	1180 ± 110**
		побеги	4.0 ± 0.6	9.2 ± 1.3*	21 ± 3*
		листья	2.4 ± 0.1	2.8 ± 0.2	7.3 ± 0.1***
		стебли	1.8 ± 0.1	3.4 ± 0.1**	11 ± 1**
Кресс-салат	20-дневные	корни	2.2 ± 0.3	43 ± 1.8***	257 ± 8***
		листья	1.60 ± 0.04	3.8 ± 0.1*	16 ± 3*
		стебли	1.9 ± 0.3	2.1 ± 0.6	5.2 ± 0.2**
	30-дневные	корни	17 ± 1	245 ± 5***	1670 ± 36***
		листья	25 ± 1	15 ± 2*	62 ± 7*
		стебли	20 ± 1	14 ± 2*	24 ± 1*
Салат	корни	14 ± 1	65 ± 3**	–	
	побеги	4.4 ± 0.1	10.1 ± 0.5**	–	
Редис, сорт 18 дней	корни	5.2 ± 0.7	48 ± 1***	312 ± 17**	
	корнеплоды	1.9 ± 0.1	7 ± 0.1***	18 ± 2**	
	листья	2.4 ± 0.1	16 ± 1**	28 ± 2**	
	стебли	2.1 ± 0.4	4.5 ± 0.7*	4.8 ± 0.1**	
Софит	корни	5.0 ± 0.1	10.7 ± 0.2***	498 ± 30**	
	корнеплоды	1.62 ± 0.03	6.50 ± 0.03***	26 ± 4**	
	листья	2.4 ± 0.1	8.1 ± 0.6**	33 ± 3**	
Французский завт рак	корни	1.5 ± 0.1	4.90 ± 0.02***	26 ± 2**	
	корни	2.2 ± 0.1	22 ± 3**	210 ± 9***	
	листья	1.1 ± 0.2	2.5 ± 0.1**	9.0 ± 2.5*	
	стебли	1.90 ± 0.02	4.0 ± 0.1***	9.1 ± 0.5**	

Здесь и далее: Различия между опытом и контролем достоверны при: \* p ≤ 0.05; \*\* p ≤ 0.01; \*\*\* p ≤ 0.001. Прочерк – отсутствие растений из-за ингибирования прорастания семян при действии ртути (II).

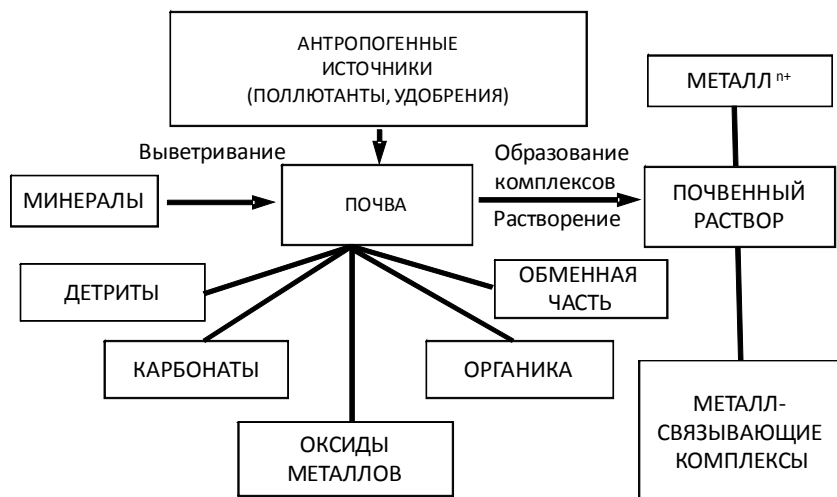


Рис. 1. Роль почвы в связывании тяжелых металлов.

сячные доли мкг/г, а магния и железа достигает сотен мкг/г. Эти элементы требуются растениям в больших количествах. Более 80 % магния сосредоточено в хлорофилле, он участвует в стабилизации структуры рибосом, активации ряда ключевых ферментов фотосинтеза и дыхания. Железо выполняет ряд важных функций: входит в каталитическую группу многих редокс-систем, катализирует начальные этапы синтеза хлорофилла. Молибден входит в состав фермента нитрогеназы, участвующей в биологической азотфиксации. При дефиците Мо клубеньки не функционируют, приобретают серую окраску. Никель стали рассматривать как необходимый элемент совсем недавно, когда выяснилось, что он участвует в мобилизации азота при прорастании семени и является компонентом двух ферментов – уреазы и гидрогеназы [16].

Избыточное содержание даже необходимых микроэлементов токсично для растений. Это выражается в снижении роста и накопления биомассы. Механизмы фитотоксичности металлов остаются до конца не выясненными (рис. 2). Под действием ТМ на листьях появляются хлоротические пятна, ус-

коряется их старение. Считается, что ТМ связываются с функционально важными доменами биомолекул и инактивируют их; ингибируют и инактивируют ферменты; стимулируют образование активных форм кислорода (АФК) и свободных радикалов – молекул, содержащих по меньшей мере один неспаренный электрон [13]. АФК атакуют все виды биомолекул, способны повреждать нуклеиновые кислоты, белки, липиды, аминокислоты; сильно воздействуют на мембраны, вызывая перекисное окисление липидов, инактивацию мембрано-связанных белков-ферментов и рецепторов. Помимо плазмалеммы атаке подвергаются также мембраны хлоропластов и митохондрий, цитоскелет клетки, нарушается синтез АТФ. В нормальных условиях антиоксидантные системы клетки нейтрализуют АФК и активные радикалы, а метаболические системы быстро репарируют возникающие повреждения. Под действием ТМ клеточные системы не справляются со своими функциями, что может привести к дезорганизации и гибели клетки.

Устойчивость растений к загрязнению обусловлена несколькими механизмами, включающими селективное поглощение ионов, их иммобилизацию и/или выведение из метаболизма путем отложения в различных органах, изменение метаболизма, включение альтернативных путей, а также удаление ионов из растений путем вымывания через листья, корневые выделения, сбрасывание листьев и т.п. В целом, механизмы металлоустойчивости можно объединить в следующие группы: 1) предотвращение проникновения ионов в клетку; 2) внутриклеточные механизмы толерантности; 3) образование комплексов [3]. Большую роль в процессах детоксикации играет образование комплексов ТМ с низкомолекулярными белками – *металлотIONEИНАМИ*,

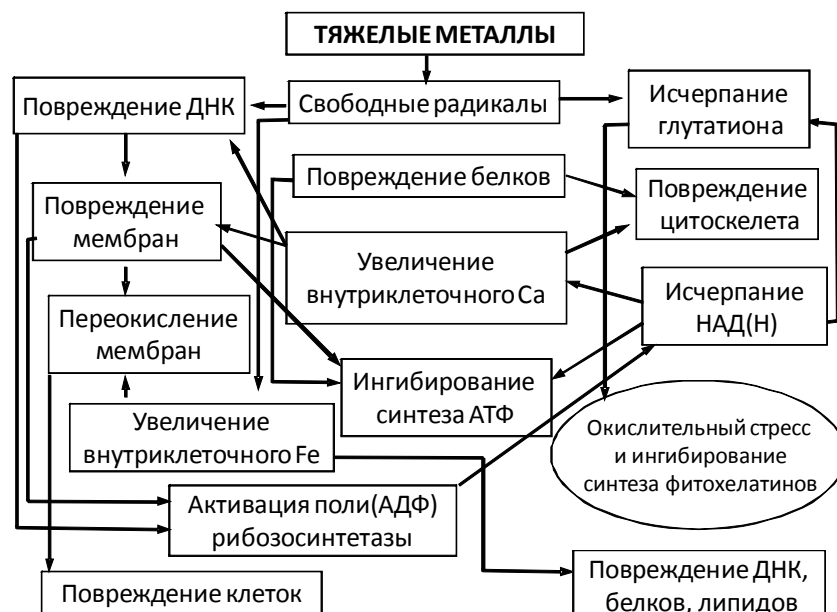


Рис. 2. Механизмы фитотоксичности тяжелых металлов.

которые характеризуются низкой молекулярной массой (от 10 до 70 кДа) и высоким содержанием аминокислоты цистеина (до 30 %) [18]. Некоторые исследователи выделяют *фитохелатины*, состоящие из линейных цепей глутаминовой кислоты и цистеина с глицином на конце [7, 19]. Фитохелатины связывают ионы ТМ в виде тиолатных комплексов. У многих видов растений в присутствии ТМ выявлен повышенный обмен органических кислот, которые также способны образовывать комплексы с ТМ. Комплексы цитрата, малата, фитата, оксалата с кадмием, цинком и другими ТМ были обнаружены в вакуолях [7]. *Фитоферретины* представляют собой транзитную форму запасания железа. Они образуются преимущественно в клетках корней, семенах. Некоторые бобовые растения способ-

ны накапливать в семенах значительное количество железа [18].

Анализ событий, наблюдаемых в растительных клетках, стрессированных тяжелыми металлами (рис. 3), показывает, что уже при переносе ионов ТМ через плазмемную мембрану SH-группы белков-переносчиков могут связывать часть ионов, выполняя барьерные функции. В цитозоли ионы ТМ образуют комплексы с глутамином (фитохелатины), которые затем транспортируются в вакуоль. Ионы некоторых ТМ взаимодействуют с генами, имеющими металл-регулируемые элементы в области промотора. Синтезируются низкомолекулярные белки, сходные с белками теплового шока, которые могут функционировать как шапероны. Молекулярные шапероны – белки, связывающие и стабилизирующие конформационную структуру других нестабильных белков. Ионы ТМ способны повреждать клетки растений, инактивируя ферменты и структурные белки путем воздействия на их металлчувствительные группы (гистидильные и сульфидгидрильные). Поэтому связывание ионов ТМ и защита структуры белков позволяют снизить токсичность ТМ. Нами показано значительное изменение структуры белков ячменя при воздействии на растения кадмием и ртутью. Количество SH-групп, участвующих в детоксикации ТМ путем связывания ионов металлов, возрастало в несколько раз. Так, корни 25-дневных растений ячменя (сорт Новичок) при высокой концентрации  $CdSO_4$  в питательном растворе ( $100 \text{ мкМ/дм}^3$ ) на шестые сутки после обработки металлом содержали  $250 \text{ мг -SH/г}$  белка, что в пять раз выше, чем в контроле.

У большинства растений наибольшее содержание ТМ обнаружено в корнях. Корневые системы способны аккумулировать значительные количества ионов различных ТМ, создавая барьер для их проникновения в другие органы растений. При невысоких концентрациях в среде ТМ транспортируются по апопласту (клеточные стенки) и накапливаются в ризодерме и коре [8]. Пояски Каспари и плазмалемма клеток эндодермы задерживают ТМ. При увеличении концентрации токсиканта барьерная функция корней снижается. Так, например, корни овощных и кормовых культур содержали ртути в десятки раз больше, чем побеги и почва. При сильном загрязнении содержание ТМ в надземной части повышалось, несмотря на значительное концентрирование ионов ТМ в корнях (табл. 1). Нами также впервые показано влияние температурного режима выращивания на поступление ионов ТМ в надземную часть растений. Пониженные температуры инактивировали барьерную функцию корней ячменя в отношении ионов кадмия при их высокой концентрации в среде ( $100 \text{ мкМ/дм}^3$ ): скорость поступления металла в побеги увеличилась в четыре раза по сравнению с оптимальным температурным режимом.

У большинства растений наибольшее содержание ТМ обнаружено в корнях. Корневые системы способны аккумулировать значительные количества ионов различных ТМ, создавая барьер для их проникновения в другие органы растений. При невысоких концентрациях в среде ТМ транспортируются по апопласту (клеточные стенки) и накапливаются в ризодерме и коре [8]. Пояски Каспари и плазмалемма клеток эндодермы задерживают ТМ. При увеличении концентрации токсиканта барьерная функция корней снижается. Так, например, корни овощных и кормовых культур содержали ртути в десятки раз больше, чем побеги и почва. При сильном загрязнении содержание ТМ в надземной части повышалось, несмотря на значительное концентрирование ионов ТМ в корнях (табл. 1). Нами также впервые показано влияние температурного режима выращивания на поступление ионов ТМ в надземную часть растений. Пониженные температуры инактивировали барьерную функцию корней ячменя в отношении ионов кадмия при их высокой концентрации в среде ( $100 \text{ мкМ/дм}^3$ ): скорость поступления металла в побеги увеличилась в четыре раза по сравнению с оптимальным температурным режимом.

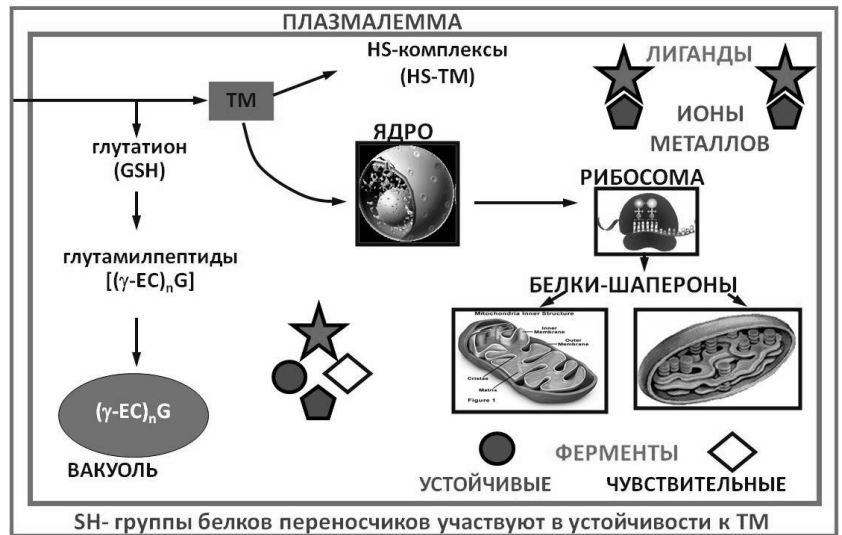


Рис. 3. Клеточные реакции на токсическое действие тяжелых металлов.

У некоторых видов определенную роль в защите от ТМ играют микоризы. Тонкие корни древесных во всех лесных экосистемах колонизируют грибы, гифы которых образуют микоризу. Корни многих травянистых также образуют симбиоз с грибами рода *Glomus* и некоторыми другими. Микориза улучшает почвенное питание растений, ограничивает поступление ТМ в корни растения-хозяина путем фильтрации и осаждения ионов ТМ. Устойчивость к металлам микоризных грибов видоспецифична [12]. Например, эктомикоризный гриб свинушка тонкая (*Paxillus involutus*) интенсивно аккумулирует цинк, что снижает содержание данного элемента в сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Другой гриб – телефора наземная (*Thelephora terrestris*) не обладает такой способностью, что ведет к накоплению ТМ. Механизмы толерантности грибов к ТМ сходны со стратегией высших растений: связывание слизи и изолирование в вакуоль.

Важную роль в устойчивости играют механизмы репарации и/или переключения метаболических путей. Дыхание является интегральным показателем, отражающим состояние метаболизма растений. Нами показано, что в умеренных количествах ТМ не изменяют или увеличивают дыхательную активность. Несмотря на торможение роста, интенсивность дыхания корней кормовых и овощных культур при загрязнении почвы солями ртути была выше по сравнению с контрольными на 20-40 %. Это связано с активацией обменных процессов, направленных на поддержание функциональной целостности и репарацию повреждений. Высокие дозы ТМ не только подавляли дыхание корней, но и индуцировали ток электронов по так называемому альтернативному (цианидустойчивому) пути. Доля альтернативного энергетически мало эффективного дыхания (АП) в корнях ячменя существенно возрастала при высоких дозах кадмия в питательном растворе. Мы связываем усиление АП с необходимостью поддержания высокой скорости цикла Кребса, обеспечивающего синтез участвующих в детоксикации ТМ органических кислот. Образующиеся при этом восстановительные эквиваленты ( $НАДН$  и  $ФАДН_2$ ) окисляются в электрон-транспортной цепи, локализован-

ной на внутренней мембране растительных митохондрий. В результате возникает опасность перевосстановления убихинона – подвижного переносчика электронов. Вовлечение альтернативного пути переноса электронов на кислород с участием альтернативной оксидазы снижает эту опасность. Хотя концентрации ТМ в листьях на порядок ниже, чем в корнях, фотосинтетический аппарат растений проявляет высокую чувствительность к их действию. В присутствии ртути и кадмия снижение содержания зеленых пигментов в листьях растений в зависимости от дозы ТМ достигало 30-50 %. Это обусловлено ингибированием ферментов синтеза хлорофиллов и усилением окислительной деструкции пигментов образующимися при стрессе активными формами кислорода. Об этом свидетельствует повышение содержания в растениях малонового диальдегида – продукта перекисного окисления липидов (ПОЛ). В опытах с растениями ячменя (сорт Новичок) нами было обнаружено, что активность ПОЛ усиливалась в 1.5 раза с повышением концентрации  $CdSO_4$  в среде (от 30 до 100 мкМ/дм<sup>3</sup>).

Большую роль в нейтрализации АФК играют антиоксидантные системы клетки. Нами выявлена активация ферментов, осуществляющих детоксикацию АФК и органических перекисей в корнях растений при действии умеренных доз ТМ (табл. 2). Высокие дозы ТМ ингибировали антиоксидантные ферменты, что приводило к необратимым изменениям в метаболизме и гибели растений. По характеристике зависимости концентрации металлов в растении от их содержания в окружающей среде различают растения эксклудеры, индикаторы, аккумуляторы и гипераккумуляторы [11].

Эксклудеры характеризуются низким поглощением ТМ при довольно высокой концентрации в окружающей среде. Они имеют разного рода барьеры, препятствующие поглощению ТМ, но когда концентрация ТМ в среде становится слишком высокой эти механизмы перестают справляться, вероятно, вследствие токсического действия ТМ на барьерные функции. Для подавления поглощения ТМ некоторые растения способны увеличивать рН ризосферы, что влияет на мобильность ионов ТМ. Например, толерантные к меди растения смолевки обыкновенной (*Silene cucubalus*) экскретируют в среду вещества, связывающие ионы меди [14]. Содержание металлов в тканях растений-индикаторов увеличивается прямо пропорционально повышению наружной концентрации ТМ. Образно выражаясь, такие виды являются «зеркалом» химических условий окружающей среды и ранее они использовались при поиске металлических руд. Со второй половины XX в. широкое применение получила фитоин-

дикация концентрации ТМ в среде. Способность растения давать информацию о содержании металлов в среде можно оценить по величине соотношения содержания элемента в данном растении к среднему содержанию этого элемента во всех других растениях, растущих в том же месте. С этой точки зрения лучшими фитоиндикаторами воздушного загрязнения являются мхи и лишайники, но они не эффективны для почвенного биомониторинга. Показано, что подходящим фитоиндикатором может служить всем известный одуванчик, травянистое растение из рода *Taraxacum* [2]. Его корневая система способна активно поглощать металлы из почвы, а листья – из загрязненной воздушной среды. Растения одуванчика из промышленных районов по сравнению с фоновыми (условно чистыми) содержали на 30-50 % больше кадмия и никеля. Для индикации загрязнения окружающей среды успешно используются древесные растения: хвойные (сосна, ель) и лиственные (дуб). У древесных отбирают для анализа на содержание ТМ кору, листья, верхушки побегов. Особые фитоиндикаторы – сосудистые водные растения и водоросли, их используют для оценки состояния водной среды. В последнее время для оценки биологических качеств почвы и ее загрязнения тяжелыми металлами начали применять микроорганизмы. Однако популяционные характеристики микроорганизмов и микробная активность подвержены большой изменчивости в ответ на разнообразные изменения внешней среды. Это существенно затрудняет интерпретацию результатов биомониторинга.

Растения-аккумуляторы характеризуются высоким накоплением ТМ при низкой концентрации в среде. Они способны изменять рН в непосредственной близости от корней путем выделения протонов. Протоны обмениваются на ионы металлов в почвенных коллоидах. В клетках таких растений присутствуют механизмы, способные осуществлять детоксикацию, что и позволяет растениям накапливать высокие концентрации ТМ. При высокой внешней концентрации поглощение ТМ снижается, вероятно, вследствие конкуренции ионов за сайты.

Гипераккумуляторы – растения, способные накапливать в тканях ТМ в концентрациях, существенно превышающих содержание в почве. В настоящее время известны виды – гипераккумуляторы Ni, Co, Mn и Cd. Многие из них принадлежат семейству Brassicaceae (Крестоцветные).

Фундаментальные свойства растений экстрагировать, поглощать и накапливать, иммобилизовать, стабилизировать и трансформировать различные поллютанты лежат в основе фиторемедиации

Таблица 2

Влияние ртути (II) на активность пероксидазы, мкг 0.01 н I<sub>2</sub>/г сырой массы

Культура	Подземная часть			Листья		
	Контроль	10 ПДК	25 ПДК	Контроль	10 ПДК	25 ПДК
Кресс-салат (20-дневные растения)	18.3 ± 0.5	33.8 ± 0.6***	19.4 ± 0.9	6.6 ± 0.4	6.8 ± 0.4	7.1 ± 0.4
Салат	5.6 ± 0.5	7.5 ± 0.1*	-	4.2 ± 0.4	5.5 ± 0.5	-
Редис, сорт						
18 дней	7.7 ± 0.1	7.2 ± 0.3	16.2 ± 0.4***	8.6 ± 0.3	8.3 ± 0.1	16.4 ± 0.6**
Французский завтрак	3.4 ± 0.2	4.3 ± 0.2*	6.0 ± 0.4**	6.3 ± 0.5	6.4 ± 0.6	8.89 ± 0.5*

загрязненных почв и отходов. Фиторемедиация может успешно использоваться для очистки и предотвращения эрозии почв, улучшения воздушной среды (зеленый пояс специально подобранных древесных видов растений), повышения качества воды (фильтрация, конструирование ветландов). Существует множество задач, для решения которых экономически целесообразно и экологически эффективно использование растений.

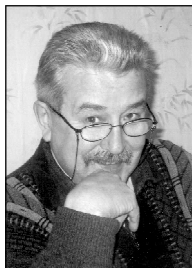
В заключение следует сказать, что за последние 10-15 лет достигнут значительный прогресс в изучении проблемы устойчивости и адаптации растений к загрязнению среды тяжелыми металлами. Однако актуальность проблемы ТМ не исчерпана. Дальнейшее развитие производства, рост населения планеты и потребление ресурсов, нарушение природных комплексов и загрязнение среды выдвигают в качестве важнейшей проблемы современности защиту и сохранение биоразнообразия. Поэтому важно расширение и углубление знаний об экологических адаптациях растений. Эти знания необходимы для фиторемедиации, биомониторинга и рационального использования природных ресурсов, а также разработки инновационных технологий, направленных на создание устойчивых к техногенному загрязнению культур и растительных сообществ.

**ЛИТЕРАТУРА**

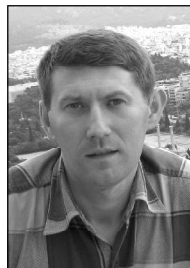
1. *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л., 1987. 142 с.
2. *Безель В.С., Жуйкова Т.В., Позолотина В.Н.* Структура ценопопуляций одуванчика и специфика накопления тяжелых металлов // *Экология*, 1998. № 5. С. 376-382.
3. *Витюцкий Н.П.* Микроэлементы и растения. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. 232 с.
4. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
5. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М., 1999. 763 с.
6. Ртуть: экологические аспекты применения (гигиенические критерии состояния окружающей среды). Женева, 1992. 127 с.

7. *Серегин И.В.* Фитохелатины и их роль в детоксикации кадмия у высших растений // *Усп. биол. химии*, 2001. Т. 41. С. 283-300.
8. *Серегин И.В., Иванов В.Б.* Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // *Физиология растений*, 2001. Т. 48. С. 606-630.
9. *Трахтенберг И.М., Коршун М.Н.* Ртуть и ее соединения в окружающей среде (гигиенические и экологические аспекты). Киев: Высшая школа, 1990. 232 с.
10. Устойчивость растений к тяжелым металлам / *А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.М. Казнина* и др. Петрозаводск, 2007. 172 с.
11. *Baker A.J.M.* Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals // *J. Plant Nutrition*, 1981. Vol. 3. P. 643-654.
12. *Colpaert J.V., Vandenkoornhuyse P.* Mycorrhizal fungi // *Metals in the environment: analysis by biodiversity* / Ed. M.N.V. Prasad, N.-Y.: Marcel Dekker Inc., 2001. P. 37-58.
13. *Dietz K.-J., Baier M., Krämer U.* Free radicals and reactive oxygen species as mediators of heavy metal toxicity in plants // *Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems* / Eds. M.N.V. Prasad, J. Hagemeyer. Berlin: Springer, 1999. P. 73-97.
14. *Greger M.* Metal availability and bioconcentration in plants // *Ibid.* P. 1-28.
15. *Pacyna J.M., Hanssen D.E.* Emission and long-range transport of trace elements in Europe // *Tellus*, 1984. Vol. 36. P. 163-178.
16. *Plant physiology* / Eds. L. Taiz, E. Zeiger. Sunderland (Massachusetts, USA): Sinauer Associates, Inc., Publ., 2002. 690 p.
17. *Prasad M.N.V.* Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants // *Environmental and experimental botany*, 1995. Vol. 35. P. 525-545.
18. *Prasad M.N.V.* Metallothioneins and metal binding complexes in plants // *Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems* / Eds. M.N.V. Prasad, J. Hagemeyer. Berlin: Springer, 1999. P. 51-72.
19. *Steffens J.C.* The heavy metal-binding peptides of plants // *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 1990. Vol. 41. P. 553-575. ❖

**ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ПОЧВАХ ПЕЧОРСКОГО И УСИНСКОГО РАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ**



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



**к.б.н. Е. Лодыгин**  
с.н.с. отдела почвоведения  
Научные интересы: *химия гумусовых веществ, физико-химические методы исследования, экология*



**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*

Глобальность экологических проблем, связанных с трансграничными переносами поллютантов, а также региональные и локальные источники загрязнения окружающей сре-

ды требуют новых подходов к оценке конкретной экологической ситуации, складывающейся в естественных экосистемах. Проблема деградации окружающей среды в значительной мере связана с отрицательным воздействи-

ем неорганических веществ, среди которых наибольшую экологическую опасность создают тяжелые металлы (ТМ) и их соединения. Тяжелые метал-

лы относятся к числу наиболее распространенных и опасных для биоты загрязнителей окружающей среды [6, 11].

При оценке загрязнения почв тяжелыми металлами по существующим нормативам требуется определение превышения массовой доли ТМ над ПДК (ОДК). В Российской Федерации утвержденный список предельно допустимых концентраций для тяжелых металлов в почвах ограничен (СанПиН 2.1.7.1287-03, МУ 2.1.7.730-99 и др.) и, по нашему мнению, не в полной мере отражает специфику разнообразия почвенного покрова региона. Во многих случаях разработанные нормативы для некоторых тяжелых металлов оказываются в логическом несоответствии с их фоновым содержанием в почвах. На такие ПДК, по нашему мнению, невозможно ориентироваться, поскольку верхний предел фонового содержания ТМ иногда бывает выше, чем ПДК [1]. При отсутствии ПДК (ОДК) по ТМ, при оценке загрязнения ими почв рекомендуют использовать региональное фоновое содержание [3]. Поэтому оценка естественного фона ТМ в почвах является актуальной задачей, решение которой позволит объективно определять их загрязнение и ввести ограничения как на промышленные, так и сельскохозяйственные технологии.

Объектами исследований послужили почвы Усинского и Печорского районов Республики Коми. Для ландшафтно-геохимической оценки фонового содержания тяжелых металлов в почвах сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН была проведена оцифровка Государственной почвенной карты Республики Коми масштаба 1:1 000 000 [2], на основе которой созданы систематический список почв, рассчитаны их площади, определены координаты проботбора. При отборе почвенных образцов использовали маршрутный метод, позволяющий учитывать закономерности формирования почвенного покрова в ландшафтах: в северной и крайне-северной тайге – от водораздела до геохимически подчиненных ландшафтов, в лесотундровой зоне – от плоско-бугристых, бугорковатых и пятнисто-бугорковатых комплексов. После отбора почвенных образцов и количественного анализа содержания ТМ в почвах была создана база данных содержания и минеральных поллютантов в почвах с использованием программы MO Access 2007 и на ее основе составлены соответствующие карто-схемы распределения исследованных компо-

нентов с использованием ГИС-технологий (лицензия Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Р/2007/0158/100/Л от 19 октября 2007 г.).

Химико-аналитические исследования образцов почв проводили в экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) Росстандарта России. Аттестат об аккредитации РОСС RU.0001.511257 от 3 июня 2003 г. Экстракцию ионов металлов из почвенных образцов проводили раствором азотной кислоты при нагревании на водяной бане [9]. Определение содержания кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия и марганца) выполняли атомно-эмиссионным методом с атомизацией в индуктивно-связанной аргонной плазме [8]. Содержание ртути определяли методом атомной абсорбции на ртутном спектрометре РА-915+ без предварительного разложения образца [7]. Оценку загрязнения проводили с использованием коэффициента концентрации химического вещества ( $K_c$ ), который определяли соотношением фактического содержания тяжелых металлов при предполагаемом их загрязнении ( $C_i$ ) в мкг/кг и регионального фонового ( $C_f$ ):  $K_c = C_i / C_f$ . Рассчитывали суммарный показатель загрязнения [4] как сумму коэффициентов концентраций ТМ и выражали формулой:  $Z_c = \sum (K_{c_i} + \dots + K_{c_n}) - (n - 1)$ , где  $n$  – число определяемых суммируемых веществ;  $K_{c_i}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения.

Территория районов занимает 60265.7 км<sup>2</sup> и состоит из равнинной и горной частей. Рельеф лесотундры плоско-увалисто-холмистый, местами со значительными пространствами низин и изрезанными моренными всхолмлениями, растительность представлена сочетанием ерниковых тундр, бугристых болот и островов еловых и березовых разреженных лесов, которые развиваются не только в долинах рек, но и по склонам холмов (преимущественно на песчаных почвах). Рельеф северной тайги – равнинный или полого-увалистый, более расчлененный вблизи рек. В растительном покрове господствуют еловые леса и верховые сфагновые болота, на борových террасах – лишайниковые и зеленомошные сосняки. На между-речьях, слабо дренированных пространствах преобладают заболоченные ельники, ближе к рекам и на бо-

лее расчлененных элементах рельефа доминируют зеленомошные и моховые ельники. Рельеф горной части характеризуется меридионально-вытянутыми грядами, разделенными долинами рек. На вершинах и склонах гор широко развиты каменные россыпи, полигональные и другие формы, связанные с процессами морозного выветривания. Растительность горной части Урала характеризуется в нижней части господством темнохвойных, а в верхней – лиственничных и березовых лесов. Выше располагается безлесный горно-тундровый пояс с крупнотравными нивальными луговинами. Нижняя граница гольцового пояса на Приполярном Урале находится примерно на высоте 800 м над ур. моря.

Почвообразующими породами в исследованных районах являются глинистые, суглинистые отложения, пески, супеси или двучлены – моренные суглинки, перекрытые пясками и супесями, сменяющимися вблизи рек флювиогляциальными песчаными участками. Почвообразование в горной части развивается в основном на суглинстом элювии и элюво-делювии кислых кристаллических пород. В равнинной части Печорского и Усинского районов Республики Коми (рис. 1) наиболее распространенными почвами являются болотно-подзолистые (32.0 %), болотные (24.6), глееподзолистые (18.7) и подзолы (11.8), в горной – тундровые (2.8 %), подзолистые (1.2), болотно-подзолистые (0.4), луговые дерновые (0.2) почвы. Накопление ТМ в почвенном покрове зависит, главным образом, от гранулометрического состава почвообразующих пород, рельефа территории, определяющего направление геохимического стока [5].

При составлении карто-схем содержания различных поллютантов в почвах были использованы среднеарифметические массовые доли этих компонентов в органогенных горизонтах. Данные показывают, что диапазон фоновых колебаний содержания тяжелых металлов близок для почв равнинных ландшафтов – болотно-подзолистых, болотных, тундровых поверхностно-глеевых и глееподзолистых. Это связано с единством почвообразующих пород, близким гранулометрическим составом почв на суглинках и единными закономерностями миграции ТМ в ландшафте. Аналогичные закономерности массовой доли ТМ отмечены в почвах, сформированных на древнеаллювиальных и водноледниковых песчаных отложениях (подзолы иллювиально-гумусовые) и на слабодренированных равнинных водоразде-



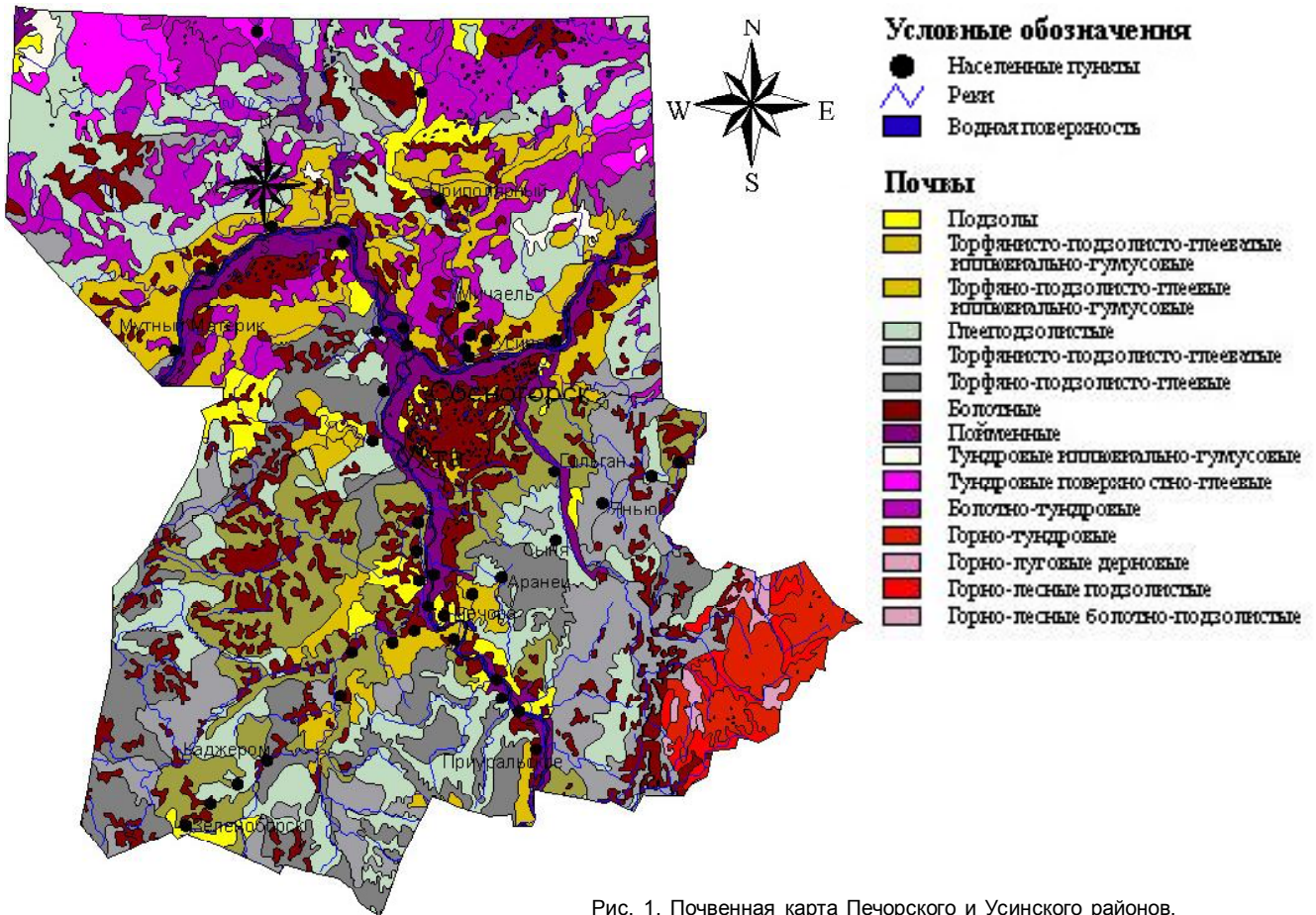


Рис. 1. Почвенная карта Печорского и Усинского районов.

лах увалов, флювиогляциальных террасах, покрытых песчаными отложениями (торфянисто-подзолистые иллювиально-гумусовые), но абсолютное содержание ТМ в этих почвах ниже, чем в почвах, образованных на суглинистых почвообразующих породах. В горной части накопление тяжелых металлов в почвах и их массовые доли среднеарифметических показателей варьируют, но статистически достоверно не различаются.

**Медь.** Наиболее распространенные формы в окружающей среде –  $Cu^{2+}$ . Степень токсичности – низкая-средняя. Токсические эффекты – избыток в пище приводит к нарушению деятельности печени, болезни Вильсона. Источники поступления в окружающую среду – металлические покрытия, медные трубы, добывающая промышленность. Фоновое содержание меди в подстилках и органических горизонтах почв, сформированных на суглинках равнинных территорий, колеблется от 6.5 мг/кг в торфянисто-подзолисто-глееватых до 11.7 мг/кг в тундровых поверхностно-глеевых оподзоленных почвах, на песчаных отложениях – от 1.7 мг/кг в тундровых иллювиально-гумусовых до 6.0 мг/кг в торфянисто-подзолисто-глееватых иллювиально-гумусовых почвах (рис. 2а).

Низкая массовая доля меди установлена в болотных (2.6 мг/кг), подзолах и пойменных почвах (3.8-3.9 мг/кг). В почвах горных ландшафтов выявлен рост в накоплении меди в органических горизонтах в следующей последовательности: подзолистые и болотно-подзолистые (6.0 мг/кг); тундровые глеевые (9.4 мг/кг) и луговые дерновые (10.5 мг/кг). Коэффициенты корреляции составляют  $r_{Cu-Ni} = 0.78$ ,  $r_{Cu-Zn} = 0.68$ , что отражает сходную направленность биохимических процессов при почвообразовании: аккумуляция в органических горизонтах, внутрипочвенная миграция, миграция в ландшафтах.

**Цинк.** Наиболее распространенные формы в окружающей среде –  $Zn^{2+}$ . Степень токсичности – низкая. Токсические эффекты – рвота при приеме больших доз. Источники поступления в окружающую среду – сплавы, металлические покрытия, металлургия, рудные воды. Содержание цинка в подстилках и органических горизонтах изучаемых почв равнинных территорий варьирует в диапазоне значений от 9 до 36 мг/кг, в горных – от 31 до 54 мг/кг. Степень обогащения цинком на суглинистых породах более высокая, чем на песчаных отложениях (рис. 2б). Статистическая обработка аналити-

ческого материала позволила выявить корреляционные зависимости между цинком и свинцом ( $r_{Zn-Cd} = 0.82$ ).

**Никель.** Наиболее распространенные формы в окружающей среде –  $Ni^{2+}$ . Степень токсичности – низкая. Токсические эффекты – предполагаемое канцерогенное действие. Источники поступления в окружающую среду – сплавы, металлические покрытия, отходящие газы в производстве никеля карбонильным методом разложения  $Ni(CO)_4$ , сжигание топлив. Распределение никеля неоднородно в пространстве (рис. 2в). Наибольшие абсолютные содержания никеля характерны для болотно-тундровых (15.2 мг/кг) и тундровых поверхностно-глеевых оподзоленных почв (12.0 мг/кг). Для почв, сформированных на древнеаллювиальных и водноледниковых песчаных отложениях (подзолы иллювиально-гумусовые) и на слабодренированных равнинных водоразделах увалов, флювиогляциальных террасах, покрытых песчаными отложениями (торфянисто-подзолистые иллювиально-гумусовые), характерно пониженное содержание никеля. В почвах горных экосистем интервал варьирования массовой доли никеля колеблется от 4 до 10 мг/кг. Корреляционная зависимость отмечена между ни-

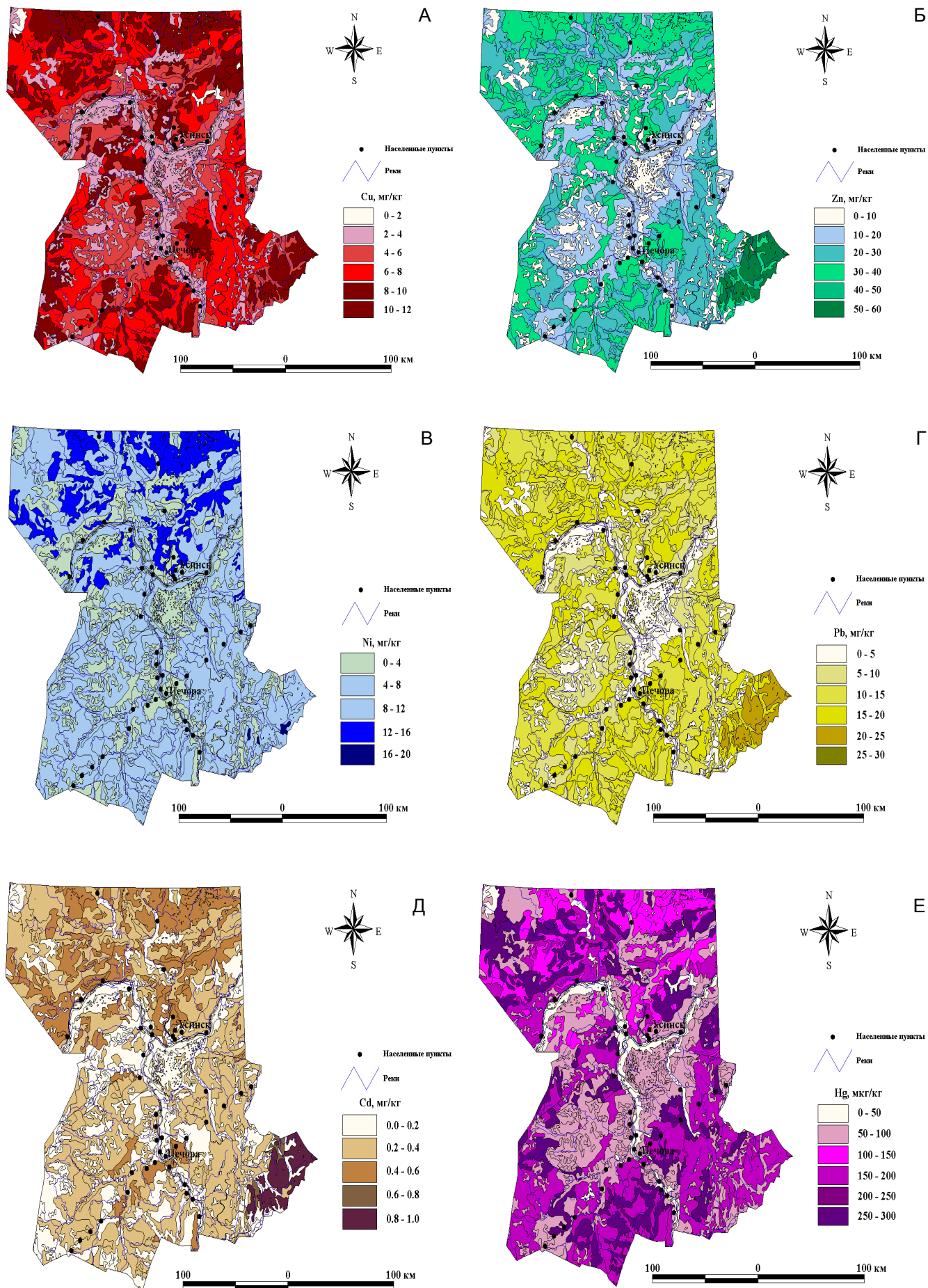
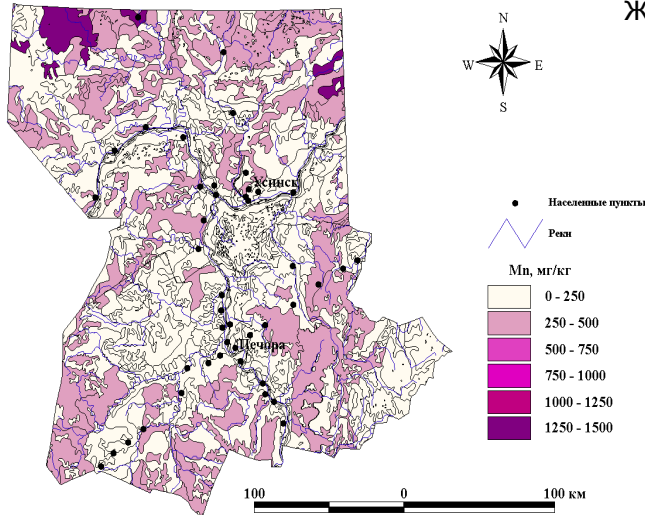


Рис. 2. Карто-схема распределения меди (А), цинка (Б), никеля (В), свинца (Г), кадмия (Д), ртути (Е) и марганца (Ж) в почвах.

келем и марганцем ( $r_{Ni-Mn} = 0.78$ ), никелем и медью ( $r_{Ni-Cu} = 0.78$ ).

**Свинец.** Наиболее распространенные формы в окружающей среде –  $Pb^{2+}$ . Степень токсичности – очень высокая. Токсические эффекты – анемия, почечная недостаточность, заболевания мозга, может заменять кальций в костях. Источники поступления в окружающую среду – свинцовые трубы, краски, антидетонационные добавки в бензин, металлургия. Содержание свинца в органогенных горизонтах изучаемых почв в равнинной части районов колеблется в пределах 2.8-17.5 мг/кг (рис. 2г). Максимальные массовые доли превышают минимальные в девять раз. Почвы, сформированные на песчаных отложениях, обеднены свинцом в сравнении с почвами, образованными на суглинистых почвообразующих породах. Низкое содержание свинца характерно для болотных и тундровых иллювиально-гумусовых почв. В горных почвах массовая доля свинца максимальна и составляет 18.5-25.2 мг/кг. Отмечена корреляционная зависимость свинца с цинком ( $r_{Pb-Zn} = 0.82$ ).

**Кадмий** представляет собой один из самых опасных токсикантов (токсичнее свинца). Кадмий опасен в любой форме. Доза в 30-40 мг смертельна. Наиболее распространенные формы в окружающей среде –  $Cd^{2+}$ . Степень токсичности – очень высокая. В природной среде кадмий встречается лишь в очень малых количествах, поэтому его отравляющее действие выявлено лишь недавно. Он содержится в мазуте и дизельном топливе, сплавах (в качестве присадки), гальванических покрытиях, кадмиевых пигментах (используемых в производстве лаков, эмалей, керамики), пластмассах (как стабилизатор), электрических батарейках, серебряно-кадмиевых аккумуляторах, сигаретном дыме и т.д. Токсические эффекты – появление белка в моче, почечнокаменная болезнь, гипертония, уменьшение гемоглобина в крови, накапливающийся яд, разрушение нервной системы. Содержание кадмия в органогенной части почвенного профиля в горных почвах сильно варьирует и составляет в исследованных рай-



онах 0.08-0.80 мг/кг (рис. 2д). В почвах содержание кадмия коррелирует с цинком ( $r_{Cd-Zn} = 0.77$ ).

**Ртуть.** Наиболее распространенные формы в окружающей среде –  $Hg^{2+}$ ,  $Hg_2^{2+}$ ,  $CH_3Hg^+$ . Степень токсичности – очень высокая. Токсические эффекты – параличи, судороги, тератологические эффекты, психические расстройства, слепота. Источники поступления в окружающую среду – ртутные батареи, лампы дневного света, краски, пестициды, электрохимическое производство хлора. Каким бы путем ртуть ни попала в воду, микроорганизмы метилируют ее и при этом всегда образуется метилртуть  $CH_3Hg^+$  или диметилртуть  $(CH_3)_2Hg$ . Выяснилось, что ее опасность огромна!  $(CH_3)_2Hg$  – жирорастворимое вещество, способное попадать в организм человека не только через пищевой

**Ж** тракт, но и через дыхательные пути и просто через кожу, проникая сквозь стенки клеток. Время жизни этого соединения в живой клетке составляет около 70 дней, в связи с чем происходит длительное токсическое воздействие. Максимальное содержание ртути в почвах равнинных ландшафтов характерно для торфянисто-подзолисто-глееватых и глееподзолистых почв и составляет 200-260 мкг/кг, минимальное – для тундровых иллювиально-гумусовых (38 мкг/кг) и подзолов (61 мкг/кг); для горных – повышенное накопление обнаружено в болотно-подзолистых и тундрово-глеевых (168-180 мкг/кг), минимальное – в лугово-дерновых и подзолистых глеевых (70-86 мкг/кг) почвах (рис. 2е).

**Марганец.** Наиболее распространенные формы в окружающей среде –  $Mn^{2+}$ . Степень токсичности – низкая. Токсические эффекты – в высоких локальных концентрациях разрушает центральную нервную систему. Источники поступления в окружающую среду – промышленные отходы, горнодобывающая промышленность, рудные воды. В исследуемых почвах содержание марганца в органогенных горизонтах (зона активной аккумуляции) колеблется от 13 мг/кг в тундровых иллювиально-гумусовых до 1400 мг/кг в тундровых поверхностно-глеевых оподзоленных (рис. 2ж). Накопление марган-

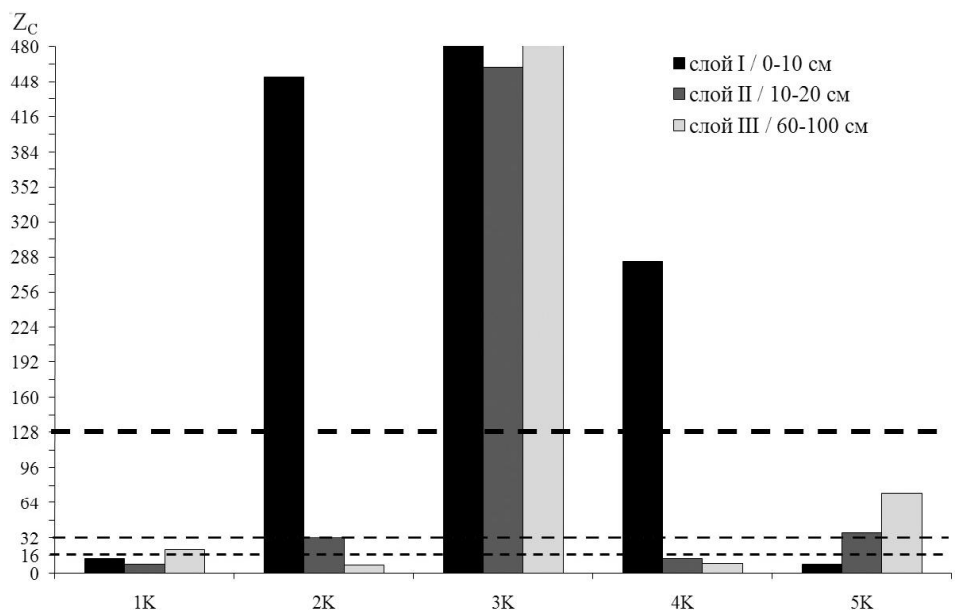


Рис. 3. Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) исследованных контрольных участков 1К-5К (насыпной песчаный грунт). Пунктиром указаны категории опасности. Объяснения в тексте.

ца в верхних горизонтах почв обусловлено содержанием его в опаде.

Полученные данные о фоновом содержании тяжелых металлов могут быть использованы при оценке загрязнения почв различными сельскохозяйственными и промышленными предприятиями, в том числе при добыче нефти, а также при проведении экологической экспертизы и разработке проектов ОВОС регионального уровня. Например, полученные данные свидетельствуют, что на нефтяном месторождении (рис. 3) по суммарному показателю загрязнения часть исследованных образцов грунтов контрольных участков 1К-5К соответствует требованиям МУ 2.1.7.730-99 [4] – категории «допустимая» ( $Z_c < 16$ ). Образцы III слоя участка 1К и II слоя участка 2К – категории «умеренно опасная» ( $Z_c = 16-32$ ), II слоя участков 2К и 5К, а также III слоя участка 5К – категории «опасная» ( $Z_c = 32-128$ ). Особое внимание следует обратить на образцы I слоя контрольных площадок 2К и 4К, а также всех слоев участка 3К, которые соответствуют требованиям МУ 2.1.7.730-99 [4] – категории «чрезвычайно опасная» ( $Z_c > 128$ ).

#### Выводы

1. Выполнена ландшафтно-геохимическая оценка фоновых содержания тяжелых металлов в почвах Усинского и Печорского районов Республики Коми. Фоновое содержание поллютантов определяется гранулометрическим составом почвообразующих пород и рельефом территории. Установлено, что аккумулятивные и элювиально-аккумулятивные ландшафты обогащаются практически всеми изу-

чаемыми поллютантами по сравнению с элювиальными территориями.

2. Выявлены парные корреляционные зависимости между отдельными элементами в почвах, что позволяет судить о сходной направленности трансформации ТМ при почвообразовании.

3. Накопление тяжелых металлов наиболее выражено в суглинистых породах, менее – в песчаных отложениях.

4. Создана база данных содержания тяжелых металлов в изученных почвах с использованием программы MO Access 2007 и на ее основе составлены соответствующие карто-схемы распределения исследованных компонентов с использованием ГИС-технологий.

5. Полученные результаты могут использоваться для объективной оценки воздействия тяжелых металлов на почвенный покров в зонах возможного загрязнения, а также при проведении экологической экспертизы и разработке проектов ОВОС регионального уровня.

Авторы выражают благодарность за выполнение количественного химического анализа тяжелых металлов в почвах сотрудникам экоаналитической лаборатории «Экоаналит».

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Оценка фонового содержания тяжелых металлов в поч-

вах европейского северо-востока России // Почвоведение, 2007. № 9. С. 1064-1070.

2. Красновишерск: Р-40 (М 1:1 000 000) / И.В. Забоева, В.Г. Казаков, Р.П. Михайлова и др. // Государственная почвенная карта СССР. М.: ГУГК, 1988.

3. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. М., 1995.

4. МУ 2.1.7.730-99. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания.

5. Перельман А.И. Геохимия биосферы. М.: Наука, 1973. 276 с.

6. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М., 1999. 768 с.

7. ПНД Ф 16.1:2.23-2000. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С.

8. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

9. РД 52.18.191-89. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почв атомно-абсорбционным анализом.

10. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы.

11. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири / В.Б. Ильин, А.И. Сысо, Н.Л. Байдина и др. // Почвоведение, 2003. № 5. С. 550-556. ❖



### ИЗМЕНЕНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ТУНДРОВЫХ КУСТАРНИКОВ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

к.г.н. **М. Тентюков**  
с.н.с. отдела радиэкологии  
тел. (8212) 43 63 01

Научные интересы: *геохимия атмосферы, геохимия ландшафтов*

**Н**а Ямале с конца 80-х годов прошлого столетия развернулось активное освоение газоконденсатных месторождений. Строились компрессорные станции, магистральные и внутрипромышленные трубопроводы, прокладывались дороги. Одновременно с формированием промышленной инфраструктуры возникли условия для появления атмосферного загрязнения, состав которого во многом обусловлен хозяйственной специализацией территории – добычей и транспортировкой газа, где

основной объем загрязняющих веществ связан с продуктами сжигания газа. Известно, что при подготовке к перекачке по внутрипромышленным трубопроводам часть не утилизируемого газа сгорает в факелах. Вследствие этого в атмосферу попадают двуокись серы и высокодисперсные частицы сажи. Кроме того, сопутствующие антропогенной деятельности тундровые пожары способствуют выбросам в атмосферу одновременно с сажей большого количества двуокиси азота. В то же время освоение природных ресурсов Ямала сопровождается появлением территорий, на которых полностью нарушен почвенно-растительный покров. Так, съемочные работы, проведенные ВСЕГИНГЕО в конце 70-х годов, зафиксировали только единичные молодые сплывы-оползни, а в 90-х годах их уже было зарегист-

рировано столько, что можно говорить о площадном распространении данного процесса [2]. При этом обнажающиеся подстилающие породы подвергаются активной дефляции с образованием арен выдувания. Для Ямала скорость ветра значительна в течение всего года, в среднем 5-9 м/с [11]. Поэтому увеличение площади территорий с ветровыми раздувами будет влиять на массу аэрозоля в приземной атмосфере за счет привноса минеральных частиц, захваченных с открытой поверхности восходящими турбулентными и конвективными потоками воздуха. Все это вместе взятое: и техногенные выбросы, образующиеся при газоподготовке, и запыление приземной атмосферы при дефляции тонкодисперсных почво-грунтов, формирует современное загрязнение атмосферы над полуостровом, которое, в свою очередь, может влиять на биогеохимическую активность растений и накопление в них металлов. Последнее является важным биогеохимическим индикаторным параметром при изучении состояния растений в зоне техногенеза [3].

Известно, что биогеохимическая индикация рассматривается как выявление отклонений концентраций химических элементов в животных и (или) растительных организмах относительно выбранного эталонного показателя [7]. Характеристические признаки этих отклонений имеют определенную информативность и свои пределы достоверности. Поэтому цель данной работы – рассмотреть особенности биогеохимической активности тундровой растительности и накопления ею тяжелых металлов в условиях атмосферного загрязнения и оценить информативность данного индикаторного параметра для мониторинговых технологий.

Объектами исследования служили кустарники *Salix glauca* (L.),  $n = 46$  и *Betula nana* (L.)<sup>1</sup>,  $n = 16$ , входящие в состав типичных фитоценозов в пределах Бованенковского газоконденсатного месторождения (северная подзона субарктической тундры), различающихся значениями показателя, характеризующего интенсивность биологического поглощения<sup>2</sup>. Определяли Zn, Cu, Pb, Co, Sn, Ni. Растения для анализов отбирали на участках со сходными условиями местообитания – плакоры, сформировавшиеся в условиях низменной полого-холмистой равнины с абсолютными отметками до 40 м. Все пробы собраны в первой половине августа. В среднюю пробу для каждого вида кустарника отбирали побеги текущего года с двух-пяти экземпляров растений. Материал высушивали, измельчали, озоление проводили при 450 °С. Основной вид обработки проб –

полуколичественный спектральный анализ (ПСА). Полученные результаты записывались в таблицы с указанием характеристических признаков объектов опробования, которые в виде цифровых индексов проставлялись для каждой пробы. Описанный этап систематизации анализов явился основой для последующей математической обработки. Она была выполнена с помощью программного комплекса «Ecolstat»<sup>3</sup>. По данным ПСА вычисляли медианное<sup>4</sup> содержание (Me), а дисперсию оценивали с помощью квартилей ( $Q_1$  и  $Q_3$ ). Для анализа распределений элементов строили гистограммы (рис. 1) в логарифмическом масштабе<sup>5</sup>. При оценке меры совпадения теоретической кривой логарифмически нормального распределения с фактическими данными применен критерий хи-квадрат.

При исследовании накопления металлов в растениях наряду с аналитическими методами (табл. 1) применялись и расчетные. Мы рассчитали ионные формы металлов в зависимости от pH среды в системе, содержащей в качестве лиганда  $\text{OH}^-$ . Принимается, что капли облаков по отношению к ядрам конденсации в виде труднорастворимого соединения являются насыщенными растворами. Это предположение позволяет привлечь теоретические данные по растворимости. Известно, что растворимость соединений определяет степень подвижности элементов, их способность к миграции и вследствие этого – химический состав капель облаков, находящихся в равновесии с минеральной фазой аэрозолей. Предполагается, что вне зависимости от природы труднорастворимых соединений металлов – карбонатов, сульфидов, силикатов, оксидов и др. – при взаимодействии этих соединений с жидкой фазой аэрозольной среды образуются гидратированные ионы металлов. Находясь в растворе, гидратированные ионы содержат в качестве центрального ядра аквакомплекс – соединение, в котором лигандом выступает вода  $[\text{Me}(\text{H}_2\text{O})_n]_m^+$ . Поэтому реальная концентрация гидратированных металлов в растворе будет складываться из суммарного количества всех его гидроксидных форм, входящих в состав комплексного иона. Например, для некоторых металлов<sup>6</sup> (Zn, Cu, Pb, Co, Ni, Sn,) общая концентрация комплексного иона металла ( $\Sigma[m]$ ) складывается из свободных катионов и гидроксидных форм, находящихся в равновесии с ними, и может быть представлена выражениями (табл. 2). Они отражают суммарное содержание ионных форм в растворе ( $C[m]$ ), которые в нем связаны соотношением:

<sup>1</sup> Названия проверены по сводке С.К. Черепанова [18]. Электронная версия сводки размещена на Web-сайте Института биологии Коми НЦ УрО РАН по адресу <http://ib.komisc.ru/pv/>, а также на ftp-сервере Института биологии – <ftp://ib.komisc.ru/pub/IBPrograms/AutoSystems/PV/>, описание работы с программой дано в [15].

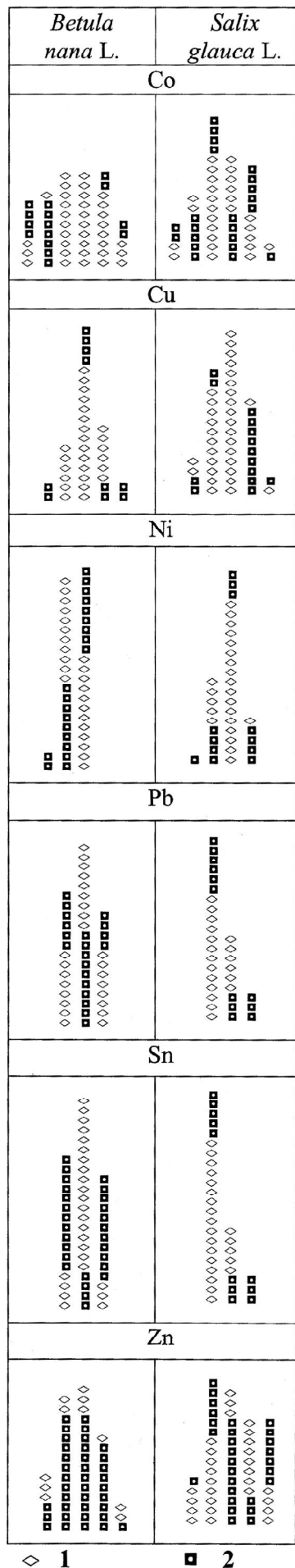
<sup>2</sup> Интенсивность поглощения характеризуется отношением количества элемента в золе растений к его количеству в почве или горной породе. Это отношение выражается коэффициентом биологического поглощения  $A_x$  [10].

<sup>3</sup> Программный комплекс «Ecolstat» разработал д.г.-м.н. Ю.А.Ткачев (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН), которому автор выражает свою признательность за предоставленную возможность обработки материалов с использованием «Ecolstat».

<sup>4</sup> *Свойства медианы.* Медиана – это средняя величина в ряду значений параметров, расположенных в порядке возрастания. На медиане практически не сказывается наличие аномальных проб, поскольку в центре всегда имеется достаточно проб с равным содержанием элемента. Среднее медианное не зависит от закона распределения элемента в выборке. Указанное свойство медианы особенно важно при проведении геохимического опробования, связанного с получением значительного числа проб, когда невозможно для них допустить наличие единого типа распределения, взятых к тому же в пределах большой площади. В указанном случае подсчет среднего медианного обеспечивает постоянство методики математической обработки геохимических данных.

<sup>5</sup> Логарифмическое распределение часто применяется для аппроксимации распределений многих биологических признаков [4].

<sup>6</sup> Присутствие этих металлов в приземном слое атмосферы Ямала, хоть и в небольших количествах, несомненно [8, 12, 13].



$$C_{[m]} = C_m \times \alpha_{[m]}, \tag{1}$$

где  $C_m$  – общая концентрация металла в растворе, моль/л;  $\alpha_{[m]}$  – доля конкретной ионной формы к общему содержанию металла в растворе.

Значения  $\alpha_{[m]}$  меняются от 0 до 1 и отражают теоретическую растворимость металла-комплексообразователя в зависимости от pH среды в системе, содержащей в качестве лиганда  $OH^-$ ; коэффициент связан с константами образования гидроксокомплексов  $\beta_i$  следующим уравнением [19]:

$$\alpha_{[m]} = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i [OH^-]^{n-1}}. \tag{2}$$

Был выполнен расчет мольных долей  $\alpha_{[m]}$  для указанных выше элементов. При их вычислении значения  $\beta_i$  брали из таблицы констант устойчивости комплексных ионов (табл. 2 [1]). Результаты расчетов представлены в виде графиков распределений мольных долей вероятных ионных форм металла-комплексообразователя, находящихся в равновесии с общей концентрацией металла в растворе (рис. 2).

Анализ содержания химических элементов в *Salix glauca* и *Betula nana* показал, что оба растения в пределах северной подзоны субарктических тундр характеризуются невысокими значениями коэффициента биологического поглощения ( $A_x < 1$ ), которые имеют небольшой диапазон колебаний (табл. 1). Оценка природных распределений по данным спектральных анализов (рис. 1) также не выявила существенных отличий. В большинстве случаев эмпирические распределения в обеих выборках не аппроксимируются логнормальным законом распределения. Только для Ni и Cu в

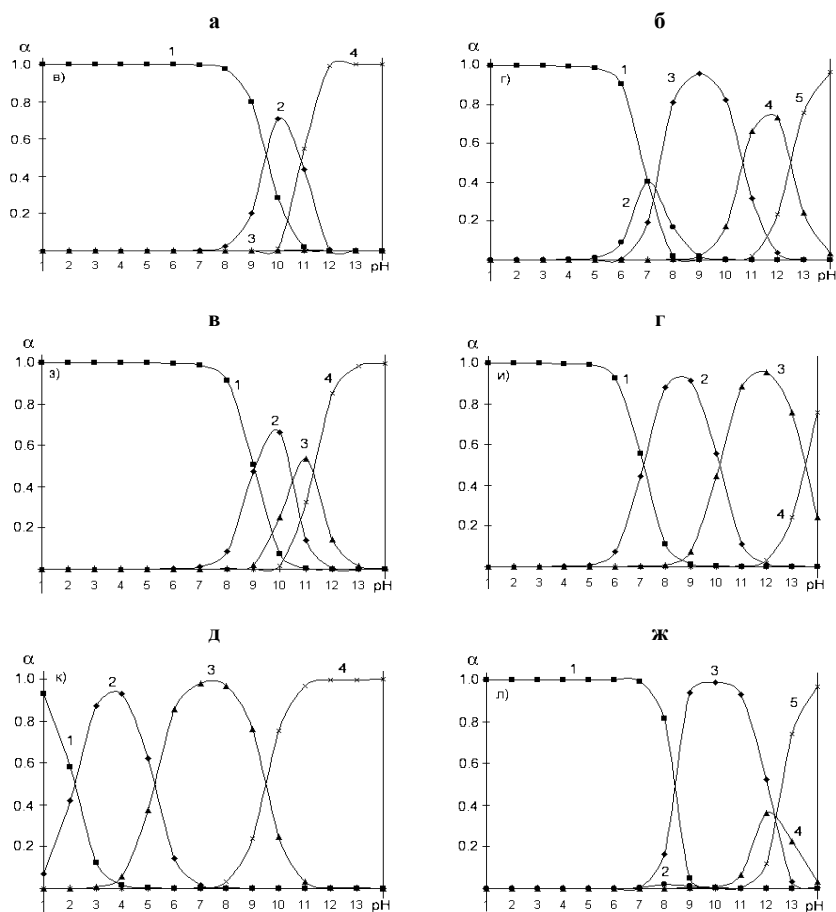


Рис. 2. Диаграммы состояния свободных катионов и гидратированных ионных форм металлов в зависимости от pH раствора в системе, содержащей в качестве лиганда  $OH^-$  (расшифровка буквенных обозначений и линий распределения мольных долей ( $\alpha$ ) даны в табл. 2).

Рис. 1. Теоретическое (1) и эмпирическое (2) распределение металлов в тундровых кустарниках (по данным спектрального анализа).

*Salix glauca*, для Zn в *Betula nana* можно видеть, что распределение близко к логнормальному, хотя и не вполне совпадает с теоретическим (рис. 1) на совмещенных гистограммах распределения (значения критерия хи-квадрата достаточно велики, чтобы однозначно интерпретировать логнормальным распределением). В связи с этим предполагается, что для растений, взятых в зоне техногенного воздействия, неоднородность выборки будет обусловлена в большей мере влиянием внешних факторов, нежели внутренних. Известно, что одним из путей поступления химических соединений в растение является обменная адсорбция с поверхностью растений, которая в условиях аэротехногенного загрязнения может вносить определенный вклад в биологический круговорот веществ и процессы метаболизма растений.

Рассчитанные концентрации возможных ионных форм позволяют заключить, что в области значений кислотности атмосферы (pH 4-6) для Co, Cu, Ni, Pb, Zn проявлены лишь свободные катионы [Me<sup>2+</sup>] (линия 1, рис. 2 а-г, ж). Следовательно, их концентрация не будет превышать значений, при которых возможно образование и выпадение гидроксидных форм. Это может иметь место при условии, что свободные катионы входят в состав аквакомплексов, поскольку только такая форма может обеспечить им относительную устойчивость в условиях атмосферы. В то же время устойчивость ионных форм [Me<sup>2+</sup>] в составе аквакомплексов в атмосфере и связанное с этим возможное наличие высоких концентраций металлов в кислых аэрозольных выпадениях должны были бы обеспечить в исследованных растениях концентрирование Co, Cu, Ni, Pb, Zn. Однако данные (табл. 1) не подтверждают сказанное. Вместе с тем, отдельные особенности в распределении ионных форм внутри указанной ассоциации элементов можно заметить. Так, концентрации Cu<sup>2+</sup> и Pb<sup>2+</sup> максимальны до pH 5, начало гидратообразования для них также совпадает (pH 5-6). В то же время из всех ионных форм Cu, находящихся в равновесии с Cu<sup>2+</sup>, для гидроксидного комплекса [Cu(OH)<sup>+</sup>] стабильность самая низкая (линии 2-5, рис. 2 б), что, возможно, связано с его более высокой растворимостью. Для свинца линии распределения гидроксидных ионных форм (линии 2-4, рис. 2 г) имеют хорошо выраженный 100 %-ный максимум. Поэтому следует ожидать, что при прочих равных условиях обменная активность меди, следовательно и концентрация будет выше, чем у свинца (табл. 1). Для олова значения высоких концентраций Sn<sup>2+</sup> и [Sn(OH)<sub>2</sub>]<sup>+</sup> сильно сдвинуты в кислую область (линии 1 и 2, рис. 2 д). При этом концентрация Sn<sup>2+</sup> максимальна при pH 1 и резко уменьшается в интервале pH 2-3. Заметные количества мономера

Таблица 1  
Содержание металлов (n·10<sup>-3</sup>) в тундровых кустарниках *Salix glauca* (верхняя строка) и *Betula nana* (нижняя строка)

Элемент	Показатель			
	Q <sub>1</sub>	Me	Q <sub>3</sub>	A <sub>x</sub>
Co	2.0	3.0	8.0	0.6
	1.5	То же	То же	То же
Cu	8.0	15.0	15.0	0.7
	25.0	30.0	30.0	0.8
Ni	6.0	8.0	8.0	0.6
	4.5	5.0	5.5	То же
Pb	0.8	1.0	1.0	0.3
	1.0	1.5	2.0	0.6
Sn	0.8	0.8	1.0	0.4
	1.0	1.5	2.0	0.5
Zn	75.0	150.0	250.0	0.9
	То же	То же	300.0	То же

Примечание: Q<sub>1</sub> и Q<sub>3</sub> – первый и третий квартили, Me – медиана, A<sub>x</sub> – коэффициент биологического поглощения.

[Sn(OH)<sub>2</sub>]<sup>+</sup> появляются при pH 1.5-2.0 и своего максимума достигают при pH 4. В слабокислой среде (pH 5-6) становится заметной концентрация [Sn(OH)<sub>2</sub>]<sup>+</sup>, с которой, возможно, и связано увеличенное содержание металла в исследованных растениях. Вместе с тем следует заметить, что олово не относится к биофильным элементам [6], поэтому его накопление в большей мере обусловлено атмосферными выпадениями. В целом, для олова отмечается последовательное образование метастабильных форм, где «переход» из одной формы в другую имеет хорошо выраженный 100 %-ный максимум в «своем» интервале значений pH.

В аэрозольной среде могут быть представлены почти все известные химические элементы [12]. Их ассоциации в атмосфере могут быть разнообразны по составу, но ограничены по числу возможных ионных форм, поскольку связаны с четкими геохимическими генерациями водной фазы аэрозолей (сильнокислая–кислая–слабокислая). Условия существования этих генераций контролируются pH среды и потенциал задающими процессами<sup>7</sup>. На Ямале в качестве одного из таких процессов выступает свободнорадикальное окисление диоксида серы. Высокие концентрации сульфат-иона, обнаруживаемые в атмосферных выпадениях [16], подтверждают это предположение. В условиях Ямала активность окис-

Таблица 2  
Общая концентрация комплексного иона (Σ<sub>[m]</sub>), отражающая суммарное содержание ионных форм металла в растворе

Σ <sub>[m]</sub>	Свободные катионы и гидроксидные формы металлов, находящиеся в равновесии с комплексным ионом					Буквенные обозначения на рис. 2
	1	2	3	4	5	
[Co(OH) <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	Co <sup>2+</sup>	Co(OH) <sup>+</sup>	Co(OH) <sub>2</sub> <sup>0</sup>	Co(OH) <sub>3</sub> <sup>-</sup>	–	в
[Cu(OH) <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Cu(OH) <sup>+</sup>	Cu(OH) <sub>2</sub> <sup>0</sup>	Cu(OH) <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cu(OH) <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	г
[Ni(OH) <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Ni(OH) <sup>+</sup>	Ni(OH) <sub>2</sub> <sup>0</sup>	Ni(OH) <sub>3</sub> <sup>-</sup>	–	з
[Pb(OH) <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Pb(OH) <sup>+</sup>	Pb(OH) <sub>2</sub> <sup>0</sup>	Pb(OH) <sub>3</sub> <sup>-</sup>	–	и
[Sn(OH) <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	Sn <sup>2+</sup>	Sn(OH) <sup>+</sup>	Sn(OH) <sub>2</sub> <sup>0</sup>	Sn(OH) <sub>3</sub> <sup>0</sup>	–	к
[Zn(OH) <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Zn(OH) <sup>+</sup>	Zn(OH) <sub>2</sub> <sup>0</sup>	Zn(OH) <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Zn(OH) <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	л

<sup>7</sup> Для атмосферы это преимущественно фотохимические и каталитические процессы [6].

Примечание: прочерк – данные отсутствуют. Цифры 1-5 обозначены линии на рис. 2.

ления диоксида серы в атмосфере обеспечивается каталитическими реакциями с участием металлов с переменной валентностью, в частности, железом [14]. Поэтому окисление техногенной серы сопровождается не только подкислением аэрозольных выпадений, но и увеличивает их минерализацию. Это обусловлено тем, что интенсивный рост концентрации сульфат-иона в облачных каплях ведет к образованию сульфатных комплексов, смещающих равновесие в системе «вода–минеральная частица» в сторону водной фазы с увеличением числа подвижных ионных форм металлов, за счет растворения труднорастворимых соединений этих металлов. Следовательно, формирование аэротехногенного загрязнения сопровождается появлением условий, обеспечивающих перевод малорастворимых соединений металлов в подвижные формы. Вследствие этого атмосферные выпадения обогащаются такими растворимыми формами металлов, появление которых вне аэротехногенного загрязнения маловероятно.

В настоящее время имеются данные, свидетельствующие о том, что концентрация кислотосодержащих соединений, включая и другие загрязняющие вещества, в сухих выпадениях на 15-20 % больше, чем во влажных [17]. Для Ямала годовая сумма осадков на севере составляет 229 мм (станция Тамбей), а на юге – 298 (станция Новый Порт) [11]. Следовательно, для Ямала, где годовая сумма осадков незначительна и сопоставима с таковыми для засушливых степных районов<sup>8</sup>, соотношение между влажными и сухими выпадениями будет смещаться в сторону сухих выпадений. В связи с этим вполне вероятно, что в районах промышленного освоения Ямала загрязнение растений в большей мере будет обусловлено сухими аэрозольными выпадениями, нежели атмосферными осадками в виде дождя.

Сухое осаждение определяется турбулентной диффузией и предполагает наличие направленного воздушного потока к поверхности [6]. Интенсивность его зависит от развития турбулентности в приземном слое атмосферы. В свою очередь, турбулентность в приземном слое определяется шероховатостью поверхности (кустарниковая, травяно-моховая, мелко-, крупнобугристая тундра), а также ветровым режимом и адиабатическим градиентом температур (убывание температуры с высотой). Последний показатель для Ямала, как и для всей тундровой зоны, отличается большими значениями в приземном слое. Причина тому – высокая интенсивность солнечной радиации, которая способствует сильному нагреванию деятельной поверхности (0.01-0.50 м), где температура воздуха может быть в 1.5-2.0 раза выше, чем на высоте 2 м [9]. В этих условиях при взаимодействии конвективных потоков с горизонтальной составляющей ветра – барических градиентов – в приземной атмосфере могут возникать конвективные турбулентные вихри с направлением воздушных потоков как вверх, так и к земной поверхности. В последнем случае в направле-

нии деятельного слоя будет формироваться устойчивый приток загрязняющих веществ и возникает высокая вероятность их осаждения из воздушного потока на поверхность растений.

#### Выводы

На Ямале главными источниками загрязнения атмосферы являются техногенные эмиссии, состав которых обусловлен промышленной специализацией региона – добыча и транспортировка газа, и дефляция поверхности, сопровождающаяся образованием ветровых раздувов и песчаных арен на участках с нарушенным растительным покровом. В итоге это увеличивает аэрозольную массу над Ямалом, которая, в свою очередь, из-за геохимической активности атмосферы трансформируется с увеличением доли подвижных компонентов за счет повышения растворимости труднорастворимых минеральных соединений металлов, входящих в состав теллурической пыли. Следует ожидать, что для Ямала, где годовая сумма выпадения осадков сопоставима с таковой для засушливых степных районов, соотношение между влажными и сухими осадками будет смещаться в сторону сухих выпадений. В результате возможна активизация обменной адсорбции с поверхностью растения и, как следствие, рост содержания подвижных форм металлов, появление которых вне аэротехногенного загрязнения было бы маловероятно. Вместе с тем исследование накопления металлов в *Salix glauca* и *Betula nana*, различающихся по биогеохимической активности, не выявило между ними существенных различий. Предполагается, что приток аэротехногенного вещества и его химическая активность таковы, что их совместное воздействие выравнивает различия биологического поглощения металлов у исследованных растений. Это снижает информативность биогеохимического показателя  $A_x$  при получении индикаторной оценки состояния тундровой растительности в условиях аэротехногенного загрязнения Ямала. Очевидно, что в рассмотренном случае биогеохимические исследования тундровой растительности следует дополнить сравнительным анализом изменчивости биологических параметров, связанных с морфометрическими и (или) анатомическими и (или) физиологическими и (или) биофизическими характеристиками у индикаторных растений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алимарин И.П., Ушаков Н.Н. Справочное пособие по аналитической химии. М.: Изд-во МГУ, 1977. 104 с.
2. Ананьева Г.В. Особенности инженерно-геокриологических условий северного отрезка проектируемой трассы железной дороги Обская–Бованенково // Итоги фундаментальных исследований криосферы Земли в Арктике и Субарктике: Матер. междунар. конф. (Пушино, 23-26 апреля, 1996). Новосибирск: СО Наука, 1997. С. 116-123.
3. Башкин В.Н., Касимов Н.С. Биогеохимия. М., 2004. 648 с.
4. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.

<sup>8</sup> Кустанай – 255 мм/год и Целиноград – 308 [9].



5. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

6. Кислотные дожди / Сост. Ю.А. Израэль и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 270 с.

7. *Криволюцкий Д.А., Тихомиров Ф.А., Федоров Е.А.* Биоиндикация и экологическое нормирование // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. М.: Наука, 1987. С. 18-27.

8. Микроэлементы в природных водах и атмосфере / *Т.Н. Жигаловская., Э.П. Махонько, А.И. Шилина* и др. // Труды Института экспериментальной метеорологии. М.: Гидрометеоиздат, 1974. Вып. 2(41). 183 с.

9. *Орлова В.В.* Климат СССР. Вып. 4. Западная Сибирь. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 356 с.

10. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М., 1999. 768 с.

11. Природа Ямала / Отв. ред. Л.Н. Добринский. Екатеринбург, 1995. 435 с.

12. *Савенко В.С.* Средний элементарный химический состав океанского аэрозоля // ДАН СССР, 1988. Т. 299, № 2. С. 465-467.

13. Состав индивидуальных аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы над морями западного

сектора российской Арктики / *В.П. Шевченко, Р. Ван-Грикен, Г. Ван-Малдерен* и др. // Докл. РАН, 1999. Т. 366, № 2. С. 242-247.

14. *Тентюков М.П.* Геохимический цикл железа в атмосфере над Ямалом и его влияние на содержание соединений железа в тундровых ландшафтах // Метеорология и гидрология, 2005. № 5. С. 37-43.

15. *Тентюков М.П., Подоров М.С.* Информационные системы для изучения региональной флоры сосудистых растений. Сыктывкар, 2002. 28 с. – (Сер. Автоматизация научных исследований / Коми НЦ УРО РАН; Вып. 140).

16. *Фотиев С.М.* Закономерности формирования ионно-солевого состава природных вод Ямала // Криосфера Земли, 1999. Т. III, № 2. С. 40-65.

17. *Хорват Л.* Кислотный дождь / Пер. с венг. под ред. Ю.Н. Михайловского. М., 1990. 80 с.

18. *Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.

19. *Яцимирский К.Б., Васильев В.П.* Константы нестойкости комплексных соединений. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 235 с. ❖

## НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

21 июля 2008 г. исполнилось 60 лет **Василию Васильевичу Мокиеву**, кандидату сельскохозяйственных наук, старшему научному сотруднику отдела почвоведения. В день Вашего 60-летия примите искренние поздравления.

Ваш трудный, но интересный жизненный путь как специалиста почвовед-мелиоратора начался около сорока лет назад. Вы прошли многочисленные ступени профессиональной карьеры: от младшего научного сотрудника Калмыцкой опытно-мелиоративной станции, начальника почвенного отряда филиала Северо-Западного института в Коми АССР, заведующего Сыктывкарским отделом мелиорации СевНИИГиМа, заведующего отделом земледелия и мелиорации НИПТИ АПК Республики Коми до старшего научного сотрудника отдела почвоведения Института биологии Коми НЦ УРО РАН.

Большой и неоценимый вклад внесены Вами в мелиоративную науку, охрану и рациональное использование почв, разработку приемов оптимизации водно-воздушного, теплового и пищевого режимов почв Севера. Мы знаем Вас как талантливого, исключительно трудолюбивого исследователя, фанатично преданного почвам и почвенной науке. Вы получили заслуженное признание в республике за разработку основ агро-мелиоративного улучшения плодородия почв.

Вы обладаете широтой взглядов, умением глубоко проникнуть в сущность самых сложных проблем. Для Вас характерны доброжелательность, объективность, высокая нравственность, принципиальность, бескомпромиссность, надежность, ответственное отношение к любой работе, все это достойно глубокого уважения. Ваша готовность поделиться своими знаниями привлекает к Вам и уже сложившихся квалифицированных специалистов, и подрастающее поколение. Василий Васильевич, Вы являетесь человеком огромного личного обаяния, душевной доброты, бескорыстия, неиссякаемой энергии и жизнерадостности.

*Дорогой Василий Васильевич, от всей души мы желаем Вам, прекрасному человеку, благополучия, долгих лет активного творчества на благо дальнейшего развития работ в области мелиоративного почвоведения, охране и рациональному использованию земель Республики Коми.*

*Большое спасибо Вам, Василий Васильевич!  
С Юбилеем Вас! Здоровья, оптимизма, долгих лет жизни.*



Коллеги-почвоведы



## ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ РЫБ К УСЛОВИЯМ СЕВЕРА (НА ПРИМЕРЕ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВАРЕНИЯ)

к.б.н. **В. Пономарев**

с.н.с. отдела экологии животных

E-mail: [ponomarev@ib.komisc.ru](mailto:ponomarev@ib.komisc.ru), тел. (8212) 24 57 72, 43 68 28

Научные интересы: *биоразнообразие водных экосистем, фауна рыб европейского Северо-Востока, экология, экологическая физиология рыб*

**П**роцесс расщепления биополимеров в пищеварительном тракте рыб является температурно зависимым. Температура воздействует как на интенсивность синтеза и деструкции пищеварительных гидролаз, так и непосредственно на ферменты или фермент-мембранные комплексы [7]. Для водоемов европейского Северо-Востока характерны чрезвычайно суровые температурные и гидрологические условия. Так, период открытой воды водоемов Полярного и Приполярного Урала продолжается лишь около четырех-пяти месяцев в году. В летнее время среднемесячная температура воды не превышает 10-12 °С. Эти обстоятельства предопределили необходимость формирования в организме рыб адаптивных механизмов, позволяющих их пищеварительной системе эффективно функционировать при преимущественно низких температурах. В цикле наших работ [2-6] охарактеризованы процессы пищеварения у рыб Севера, выявлены механизмы температурной компенсации гидролитических функций и рассмотрены перестройки характеристик пищеварительных гидролаз у различающихся по таксономии и экологии рыб водоемов Севера на примере ихтиофауны бассейна р. Печора.

Прежде всего, продемонстрированы определенные видовые различия в уровне активности ферментов, в ряде случаев коррелирующие со спектром питания рыб [2]. Действительно, максимальный уровень общей протеолитической активности слизистой желудка (у ерша) превосходит минимальный (у налима) в шесть раз. Аналогичные параметры для кишечных протеиназ различаются в восемь раз (сиг и язь). При этом активность протеолитических ферментов не позволяет обнаружить связь с особенностями питания рыб. В то же время уровень активности гидролаз, осуществляющих различные этапы расщепления полисахаридов, в значительной мере коррелирует с составом их пищи [2]. Действительно, уровень активности  $\alpha$ -амилазы у преимущественно фитофага гольяна выше, чем у хищников (щука, атлантический лосось) в шесть-

семь раз, а сахаразы соответственно в 5.5 раза. Особый интерес представляет то обстоятельство, что наибольшие видовые различия обнаружены для общей амилолитической активности (показатели у гольяна выше, чем у щуки и лосося в 80-90 раз). Этот факт может свидетельствовать о большей роли в реализации нутритивных адаптаций не  $\alpha$ -амилазы, а собственно кишечных ферментов, таких как  $\gamma$ -амилаза, мальтаза и, возможно, олигосахаридазы. Рыбы, потребляющие преимущественно бентосные организмы, обнаруживают близкие значения активности разноименных карбогидраз. Эти данные хорошо согласуются с результатами работ, выполненных на рыбах южных и умеренных широт [1, 9, 10, 13, 14]. При исследовании соотношения активности ферментов, осуществляющих полостное (П) и мембранное (М) пищеварение, установлено, что распределение активности гидролаз у рыб бассейна р. Печора не зависит от особенностей экологии питания [6]. Так, у гольяна коэффициент П/М общей амилолитической активности <1, в то время как для эврифагов преимущественно бентофагов или <1 (ерш, окунь), или >1 (сиг, хариус).

Таким образом, сопоставление уровня активности некоторых пищеварительных гидролаз у разных видов рыб свидетельствует об их значительной адаптированности к характеру питания. При этом выявлены видовые особенности гидролитических процессов в полости и слизистой кишечника, отражающие специфику реализации начальных этапов усвоения пищевых веществ у рыб высоких широт.

Характер обнаруженных сезонных изменений активности пищеварительных ферментов в значительной мере связан как с температурой среды обитания рыб, так и с температурой инкубационной смеси, что соответствует общим закономерностям [1]. Гидролиз пищевых субстратов при стандартной температуре 20 °С может проходить интенсивно не только в летний, но и в зимний период [5]. Общая протеолитическая активность слизистой кишечника у гольяна летом выше, чем зимой в 1.7 раза ( $p < 0.05$ ). Активность ще-

лочных протеиназ у налима, напротив, в 1.9 раза выше в холодное время года. Уровень ферментативной активности у подкаменщика, молоди атлантического лосося и хариуса на протяжении годового цикла изменяется слабо. При температуре, близкой природной, уровень активности гидролаз, как правило, максимален в летний период [5]. Ранее при исследовании рыб волжского бассейна была показана значительная сезонная вариабельность ферментативной активности у «мирных» рыб и незначительная – у хищников [1]. Анализ наших данных свидетельствует о том, что у рыб бассейна р. Печора независимо от характера питания в холодное время года сохраняется относительно высокий уровень активности пищеварительных гидролаз. При этом перестройки ферментативного аппарата имеют характер температурной компенсации. Межсезонная и межгодовая изменчивость характеристик ферментов связана с соответствующими изменениями соотношения активности полостных и мембранных гидролаз. Так, при 20 °С уровень общей амилолитической активности слизистой кишечника у гольяна выше, чем в полости: летом в 1.9, зимой в два раза [5]. У хариуса, напротив, активность полостных карбогидраз выше мембранных в 2.5 и 2.8 раза, у молоди лосося в 1.5 и 1.9 раза соответственно. Таким образом, в зимний период наблюдается некоторое усиление роли преобладающего механизма пищеварения (полостное или мембранное).

На примере хариуса показано, что характер сезонных изменений активности карбогидраз у неполовозрелых и половозрелых рыб сходных возрастных групп близок [4]. Так, при стандартной температуре 20 °С отмечены два максимума активности  $\alpha$ -амилазы в зимний и осенний периоды. При температуре инкубации, близкой природной, уровень активности  $\alpha$ -амилазы достигает наибольших величин осенью, снижаясь зимой в 1.3-1.4 раза. Уровень активности фермента всегда выше у половозрелых особей, причем после нереста и в середине лета статистически достоверно ( $p < 0.001$ ). При

этом важно отметить несовпадение максимума уровня общей амилолитической активности слизистой кишечника у неполовозрелых и половозрелых особей хариуса. Помимо этого, выявлены межгодовые изменения характера сезонной динамики общей амилолитической активности, сопровождающиеся смещением пиков ферментативной активности и появлением после нереста у половозрелых рыб при температуре инкубации, близкой природной, второго максимума активности.

Связь между особенностями питания рыб и уровнем ферментативной активности обнаружена также при анализе возрастной динамики активности разноименных пищеварительных ферментов [4]. При этом установлено, что с возрастом уровень активности карбогидраз у хариуса после некоторого повышения (до пяти лет) снижается. Противоположная тенденция характерна для полостных протеиназ. Так, уровень общей протеолитической активности полости кишечника минимален у трехгодовиков хариуса и выше у неполовозрелых двух-четырёхгодовиков в 1.5-1.6 раза, у половозрелых в 3.1-4.5 раза. Вместе с тем активность щелочных протеиназ, связанных со слизистой кишечника, близка у неполовозрелых рыб и заметно выше у половозрелых. При исследовании молоди лосося столь значительные возрастные изменения не найдены. Уровень активности карбогидраз у взрослых производителей атлантического лосося, напротив, в разные сезоны года достоверно ниже соответствующих параметров молоди ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.001$ ). Это подтверждает установленную ранее возможность перестройки характеристик мембранных гидролаз при возрастных изменениях типа питания [1].

Таким образом, установлено, что характер сезонной и возрастной динамики пищеварительных ферментов в наиболее общих чертах соответствует выявленным ранее закономерностям. Вместе с тем у рыб бассейна р. Печора наблюдаются значительно менее выраженные, чем в средних широтах [1], сезонные изменения уровня ферментативной активности, что обеспечивает эффективное функционирование гидролитических систем пищеварительного тракта рыб в холодноводных водоемах.

Как известно, температура влияет не только на интенсивность синтеза и деструкции гидролаз, но и на характеристики фермент-мембранных комп-

лексов [7, 8]. Ранее при анализе температурных адаптаций пищеварительных гидролаз у различных видов гомойотермных и пойкилотермных животных была продемонстрирована значительная зависимость  $t^0$ -функции одноименных ферментов от температуры среды обитания рыб в настоящем и далеком прошлом [9]. При изучении у рыб бассейна р. Печора температурной зависимости активности пищеварительных гидролаз отмечено, что как и у рыб других климатических зон [1], в большей степени проявляются различия кривых  $t^0$ -функции разноименных ферментов, чем видовые особенности одноименных гидролаз [2-4]. Вместе с тем нами выявлены различия, касающиеся зоны низких и физиологических температур, а также положения температурного оптимума, которые в ряде случаев коррелировали с экологией и филогенией рыб. Так, величина температурного оптимума  $\alpha$ -амилазы у ерша, гольца, окуня, подкаменщика, гольяна, налима и атлантического лосося соответствует 50 °С, у сига и хариуса 40-50 °С [2]. Эти данные свидетельствуют о сходной термостабильности молекул фермента у рыб разных видов. Однако в зоне низких и физиологических температур обнаружена значительная вариабельность показателей. Минимальная относительная активность  $\alpha$ -амилазы при 10 °С (у ерша) составляет 26 %, максимальная (у хариуса) 64 %. Интересно, что уровень активности  $\alpha$ -амилазы в температурном интервале 0-20 °С у молоди лосося различен, причем по этому показателю выделяются две группы рыб. Ферментативная активность у пестряток первой группы при температуре инкубации 20 °С составляет в летнее время  $1.90 \pm 0.21$  у.е., у рыб второй группы –  $0.59 \pm 0.11$  мг $\times$ г $^{-1}$  $\times$ мин $^{-1}$ . По-видимому, дифференциация молоди лосося обусловлена функционированием различных молекулярных форм  $\alpha$ -амилазы, которые могли сформироваться в связи со сменой в филогенезе атлантического лосося среды обитания.

Ранее было показано, что для хищных рыб бассейна р. Волга характерна чрезвычайно высокая относительная активность при низких температурах не только  $\alpha$ -амилазы, но и кислых протеиназ слизистой желудка [9]. При исследовании соответствующих показателей у рыб Севера подобные закономерности не обнаружены. Вместе с тем нами установлено, что у арктических и предгорных видов величина температурного оптимума кислых

протеиназ (40-50 °С) уступает таковой рыб равнинного бореального фаунистического комплекса (50-60 °С).

Сходная закономерность обнаружена и при исследовании влияния температуры на активность сахаразы. Термостабильность этого фермента оказалась наименьшей у арктических видов рыб – атлантического лосося и сига. При этом у производителей атлантического лосося выявлен наиболее высокий уровень относительной активности сахаразы в зоне низких и физиологических температур (при 10 °С – 55 %, у других видов рыб – лишь 13-29 %). Характер температурной зависимости гидролаз в целом устойчив и не претерпевает существенных изменений на протяжении годового цикла рыб. Вместе с тем выявлены перестройки температурных характеристик пищеварительных ферментов, имеющие компенсаторную направленность. Так, в зимний период отмечено смещение положения температурного оптимума сахаразы в сторону высоких температур у молоди атлантического лосося и в зону низких температур у гольяна. Эти данные хорошо согласуются с представлениями о возможности адаптивных сезонных сдвигов положения температурного оптимума гидролаз у рыб [15]. Для некоторых ферментов выявлена зависимость величины  $E_{\text{акт}}$  от типа питания рыб. Так, начальные этапы расщепления полисахаридов в четыре-восемь раз эффективнее у хищных рыб по сравнению с бентофагами [2]. При этом для большинства исследованных видов характерны изломы на графиках Арениуса, в ряде случаев свидетельствующие о повышении в 1.5-2.0 раза эффективности ферментативного процесса в зоне физиологических для анализируемого сезона температур.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что одним из путей компенсации отрицательного температурного воздействия на гидролитические функции пищеварительной системы рыб является адаптивная регуляция температурных характеристик пищеварительных ферментов, обеспечивающая оптимальное протекание процессов деградации пищевых субстратов в пищеварительном тракте рыб холодноводных рек.

Особый интерес и, вместе с тем, серьезную сложность исследования путей адаптации гидролитических функций у рыб представляет неспецифичность ответа пищеварительной системы на воздействие различных факторов среды [7]. В то же время

влияние этих факторов не изолировано, а напротив, сопряжено, взаимосвязано и взаимообусловлено. В связи с этим, на наш взгляд, целесообразнее рассматривать общие адаптации ферментных систем пищеварительного тракта рыб к условиям Севера, вычлняя, по мере возможности, доминирующий фактор. При рассмотрении общих закономерностей гидролитических процессов в желудочно-кишечном тракте у рыб разных видов, а также возрастных изменений активности пищеварительных гидролаз показано, что выявленные различия обусловлены преимущественно их нутритивными адаптациями [4]. Напротив, сопоставление  $t^{\circ}$ -функции, величин  $E_{акт.}$  и  $Q_{10}$  свидетельствует о существовании температурных адаптаций. В то же время сезонные изменения ферментативной активности, в значительной степени связанные как с сезонной и широтной динамикой температуры воды, так и с составом пищи, включая и тот, и другой феномен.

Материалы исследований показывают, что для рыб высоких широт характерно соответствие уровня активности гидролаз, осуществляющих разные этапы расщепления полисахаридов. Наибольшая активность карбогидраз обнаружена у рыб, в питании которых преобладают водоросли, наименьшая – у хищников. Напротив, рыбы, сходные по спектру питания, проявляют близкий уровень ферментативной активности. Так же, как и в других географических зонах, наиболее адаптируемыми являются карбогидразы, находящиеся в начале ферментной цепи деструкции полисахаридов. Однако на основании полученных данных можно предположить о большей роли в реализации нутритивных адаптаций не  $\alpha$ -амилазы, а собственно кишечных ферментов, в частности,  $\gamma$ -амилазы, мальтазы и олигосахаридаз. Кроме того, при изучении соотношения активности полостных и мембранных ферментов отмечено, что характер распределения активности разноименных пищеварительных гидролаз у печорских рыб отличается от такового у рыб бассейна р. Волга. В отличие от карбогидраз, уровень активности кислых и щелочных протеиназ рыб не коррелирует с характером и типом их питания. Тем не менее данные о существенном значении в расщеплении в пищеварительном тракте рыб белков процессов индуцированного аутолиза и симбионтного пищеварения [9] позволяют считать дока-

занной адаптированность к составу пищи протеолитических ферментов.

Весьма перспективным представлялось сопоставление полученных в идентичных методических условиях показателей уровня активности гидролаз у рыб разных климатических зон. Полученные нами результаты свидетельствуют, что уровень активности разноименных гидролаз у рыб независимо от местообитания достаточно близок. Обнаруженные в ряде случаев различия значений активности обусловлены преимущественно различиями спектра питания рыб разных экологических групп. Наиболее яркие особенности гидролитических процессов, которые могут рассматриваться как адаптивные, обнаружены при изучении сезонных изменений активности пищеварительных гидролаз рыб высоких широт. При этом весьма продуктивным оказалось параллельное изучение межсезонных сдвигов показателей при стандартной температуре инкубации и температуре, близкой природной.

Установлено, что у рыб бассейна р. Печора, в отличие от других географических зон, характер межсезонных изменений уровня активности пищеварительных ферментов не связан с экологией питания. Чрезвычайно важным представляется сохранение у всех рыб относительно высокой активности гидролаз в зимнее время. Более того, как у налима, проявляющего значительную активность зимой, так и у других рыб уровень активности разноименных ферментов во многих случаях близок в летний и зимний периоды, а в ряде случаев максимален в холодное время года. Специфический характер межсезонных изменений уровня ферментативной активности представляется для гидролаз, осуществляющих как мембранный, так и полостной гидролиз пищевых субстратов. Интересно, что в зимний период происходит усиление относительной роли доминирующего типа пищеварения. Добавим к этому, что выявленные у хариуса значительные межгодовые колебания уровня общей амилолитической активности, обусловленные климатическими особенностями года, связаны с изменениями соотношения активности полостных и мембранных ферментов. Амплитуда и направленность сезонных изменений интенсивности процессов пищеварения, отражающих специфику обитания рыб в условиях Севера, также зависят от степени и времени наступления поло-

вой зрелости, сроков нереста, наличия периодов выключенного экзогенного питания и особенностей роста рыб.

Характер возрастной динамики ферментативной активности у исследованных нами рыб, в общих чертах соответствуя выявленным ранее закономерностям, также имеет некоторые особенности. С одной стороны, возрастные изменения уровня активности разноименных ферментов, особенно осуществляющих начальные этапы гидролиза пищи, как правило, коррелируют с возрастными особенностями состава их пищи. Кроме того, сравнительное изучение показателей активности карбогидраз у молоди и производителей семги подтверждает известную из литературы [9] возможность перестройки характеристик гидролаз при резких изменениях в онтогенезе рыб типа питания. В то же время уровень активности карбогидраз у половозрелого хариуса во все периоды года превышает его значения у молоди. Это может быть связано с невозможностью достижения хариусом необходимого энергетического потенциала за короткий вегетационный период в арктических реках. Кроме того, с возрастом рыб происходит увеличение роли полостных ферментов [7].

Значительное внимание в цикле работ уделено анализу  $t^{\circ}$ -функции пищеварительных гидролаз. Установлено, что температурные характеристики ферментов проявляют как известный консерватизм, так и лабильность, повышающую эффективность гидролитических процессов у рыб из рек с суровым температурным режимом. Температурные кривые разноименных ферментов у рыб одних и тех же видов из бассейна р. Печора, аналогично исследованным в южных и умеренных широтах, различаются в большей степени, чем таковые одноименных гидролаз у разных видов рыб. При этом выявлены имеющие в ряде случаев выраженный адаптивный характер перестройки температурных характеристик пищеварительных ферментов у рыб, различающихся по району распространения, особенностям экологии и происхождения. Обнаруженные сдвиги показателей связаны преимущественно с величиной температурного оптимума, областью низких и физиологических температур и зоной постмаксимума на кривых температурной зависимости.

Особый интерес вызывает установленное сходство величин темпера-

турного оптимума  $\alpha$ -амилазы и, в то же время, наличие связи его положения для других изученных гидролаз с особенностями экологии рыб. Вместе с тем выявлены различия уровня относительной активности в зоне низких и физиологических температур  $t^\circ$ -функции кишечной  $\alpha$ -амилазы, а также общей амилалитической и общей протеолитической активности слизистой кишечника, коррелирующие с характером питания и особенностями филогении рыб. Весьма важными для эффективного функционирования пищеварительной системы в условиях Арктики представляются обнаруженные у некоторых рыб видовые, широтные и межсезонные смещения величин тем-

пературного оптимума и уровня относительной активности ряда гидролаз в зоне низких и физиологических температур.

Таким образом, уровень активности гидролитических ферментов, соответствующий потребностям организма рыб в пище и достаточный для эффективного пищеварения в условиях Севера, поддерживается не только за счет изменения интенсивности синтеза и деструкции гидролаз, но и путем регуляции их свойств, а также соотношения активности полостных и мембранных гидролаз.

Очевидно, существуют и различные молекулярные формы пищеварительных ферментов с разными темпе-

ратурными характеристиками. Об этом косвенно свидетельствуют результаты изучения влияния температуры на активность  $\alpha$ -амилазы и анализ данных по величине энергии активации этого фермента у молоди семги. Заметим при этом, что обнаруженные на графиках Аррениуса пищеварительных гидролаз рыб разных видов изломы соответствуют конформационным переходам белковых молекул ферментов из одной формы в другую. Кроме того, важно указать, что скачкообразные изменения величин  $E_{акт}$  в ряде случаев повышают эффективность ферментативного процесса у рыб при физиологической температуре окружающей среды в конкретный период года, а

## НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

Вся жизнь **Василия Ивановича Пономарева** неразрывно связана с Институтом биологии, где он проработал более 28 лет, начиная трудовой путь с должности простого лаборанта еще будучи студентом университета. В.И. Пономарев прошел многочисленные ступени карьерного роста, плодотворно работая в последнее десятилетие на руководящих должностях — ученый секретарь Института биологии, заместитель директора по научной работе, заведующий отделом экологии животных, ученый секретарь по международному научному сотрудничеству. На сегодняшний день Василий Иванович — состоявшийся ученый, работающий в области ихтиологии и экологии, а также успешный администратор.

Мы знаем В.И. Пономарева как талантливого, исключительно трудолюбивого исследователя, искренне преданного науке. Он получил заслуженное признание за исследование процессов пищеварения у различающихся по систематическому положению, происхождению и экологии рыб европейского Севера. Полученные им результаты способствовали более глубокому пониманию адаптивных возможностей пищеварительной системы рыб. Им выработан ряд рекомендаций, важных для разработки мероприятий, связанных с ведением в водоемах Севера интенсивного рыбного хозяйства. В настоящее время В.И. Пономарев вносит значительный вклад в изучение биологического разнообразия горно-таежных и тундровых водоемов Приполярного и Полярного Урала. Много сил и времени он отдает полевым исследованиям, умело руководя многочисленными экспедициями в труднодоступные горные местности. Результаты многолетних исследований отражены во множестве научных трудов, опубликованных в ведущих рецензируемых журналах нашей страны и за рубежом.

При непосредственном участии Василия Ивановича разрабатываются и реализуются международные исследовательские программы и проекты. В последние годы благодаря его усилиям на конкурсной основе получены крупные международные гранты, поддерживаются многочисленные контакты с зарубежными коллегами, институтами и другими учреждениями. Под его редакцией вышли из печати прекрасно изданные книги, богато оформленные изумительными фотографиями, сделанными им во время экспедиций. По инициативе и под непосредственным руководством В.И. Пономарева на базе Института проведены крупные международные и российские конференции, рабочие совещания.

*Примите искренние поздравления с 50-летием и самые наилучшие пожелания от коллектива Института биологии Коми научного центра УрО РАН! От души желаем Вам, дорогой Василий Иванович, крепкого здоровья, счастья, благополучия, поддержки и понимания со стороны коллег и близких Вам людей, дальнейших творческих успехов на благо развития науки России!*



иногда в зимнее время, в связи с чем могут рассматриваться как адаптивные. Следует особо подчеркнуть, что важнейшим свойством пищеварительной функции является адаптируемость к постоянно меняющимся условиям среды. В частности, пищеварительные ферменты адаптированы к характеру питания рыб и температурному режиму водоемов. Характеристики гидролаз, будучи связанными с особенностями экологии рыб, проявляют индивидуальную и видовую, а также возрастную и сезонную изменчивость. Принципиальное сходство основных закономерностей гидролитических процессов у далеких по району распространения, таксономии, филогенезу и экологии видов рыб хорошо согласуется с представлениями о единстве фундаментальных процессов в пищеварительной системе животных [8]. Именно на универсальности функциональных основ пищеварительных процессов базируется способность рыб к потреблению широчайшего спектра кормовых организмов, а также разнообразию ниш, занимаемых рыбами в водных экосистемах.

Помимо этого, установлено существование ряда особенностей функциональных характеристик пищеварительной системы, связанных со спецификой реализации процессов гидролиза пищевых субстратов в северных водоемах. Выявленные перестройки характеристик пищеварительных ферментов (особенно на уровне их активности) направлены на оптимизацию процессов пищеварения. При этом формирование нутритивных и температурных адаптаций пищеварительных гидролаз рыб происходит как пу-

тем изменения интенсивности синтеза и деструкции ферментов, так и за счет изменения их свойств, а также изменения функциональной нагрузки между разными типами пищеварения (полостным и мембранным). Особо следует отметить важную роль процессов мембранного пищеварения. Эти данные соответствуют классической концепции о гомеостатировании метаболизма эвритермных животных за счет трех основных механизмов биохимической адаптации: 1) изменения типа молекул, 2) изменения концентрации молекул, 3) адаптивной регуляции функции макромолекул [12].

Совокупность адаптивных перестроек исследованных характеристик различных ферментов обеспечивает компенсацию отрицательного воздействия температуры на функционирование пищеварительной системы, осуществляющей начальные этапы усвоения пищевых веществ, у рыб в условиях Севера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмина В.В. Физиолого-биохимические основы экзотрофии рыб. М.: Наука, 2005. 300 с.
2. Пономарев В.И. Влияние температуры и особенностей питания на характеристики  $\alpha$ -амилазы рыб Севера // Экология, 1992. № 5. С. 50-55.
3. Пономарев В.И. Влияние температуры на общую амилолитическую активность слизистой кишечника у некоторых видов рыб бассейна р. Печора // Вопр. ихтиологии, 1991. Т. 31, вып. 2. С. 292-299.
4. Пономарев В.И. Динамика активности пищеварительных ферментов в онтогенезе у хариуса и молоди семги // Онтогенез, 1995. Т. 26, № 5. С. 376-383.

5. Пономарев В.И. Межсезонные изменения уровня активности пищеварительных ферментов у рыб бассейна р. Печора // Вопр. ихтиологии, 1993. Т. 33, вып. 3. С. 401-406.

6. Пономарев В.И. Соотношение активности полостных и мембранных гидролаз у рыб Севера // Вопросы ихтиологии, 1993. Т. 33, вып. 5. С. 728-731.

7. Уголев А.М. Мембранное пищеварение. Полисубстратные процессы, организация и регуляция. Л.: Наука, 1972. 356 с.

8. Уголев А.М. Эволюция пищеварения и принципы эволюции функций: Элементы современного функционализма. Л.: Наука, 1985. 544 с.

9. Уголев А.М., Кузьмина В.В. Пищеварительные процессы и адаптации у рыб. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 238 с.

10. Barrington E.J. The alimentary canal and digestion // Physiology of fishes. N.-Y., 1957. Vol. 1. P. 109-161.

11. Godin J.G.J., Rangeley R.W. Living in the fast lane: effects of cost of locomotion on foraging behavior in juvenile Atlantic salmon // Anim. Behav., 1989. Vol. 37, № 6. P. 943-954.

12. Hochachka P.W., Somero G.N. Strategies of biochemical adaptations. Philadelphia, 1973. 654 p.

13. Kapoor B.G., Smith H., Verigla I.A. The alimentary canal and digestion in teleosts // Adv. Mar. Biol., 1975. Vol. 13. P. 109-239.

14. Phillips A.M. Nutrition, digestion and energy // Fish Physiol., N.-Y., 1969. Vol. 1. P. 391-432.

15. Temperature dependent characteristics of intestinal glycyl-L-leucine dipeptidase in boreal zone fish / A.G. Gelman, V.V. Kuz'mina, V. Drabkin et al. // Comp. Biochem. Physiol. B., 2003. Vol. 136. P. 323-329. ❖



### БИОТОПИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ДОЛИНЫ РЕКИ МОРЕ-Ю (БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКАЯ ТУНДРА)

к.б.н. **А. Петров**  
н.с. отдела экологии животных  
E-mail: [tpetrov@ib.komisc.ru](mailto:tpetrov@ib.komisc.ru)  
тел.: (8212) 43 10 07

Научные интересы: фауна и экология млекопитающих тайги и тундры

**Н. Быховец**  
м.н.с. этого же отдела

Научные интересы: мелкие млекопитающие, эндокринная система, гистология, патология, морфология



**М**елкие млекопитающие – представители отрядов Насекомоядные (Insectivora) и Грызуны (Rodentia) – составляют свыше трети видов териофауны и доминируют в населении млекопитающих восточноевропейских тундр. Значительные перепады в динамике биомассы, воздействие на почвы, растительность, численность и трофические связи хищников-миофагов определяют их

важную биоценотическую роль. Комплексы млекопитающих быстро реагируют на изменения в экосистемах и могут рассматриваться как индикаторы состояния природной среды.

Анализ изученности фауны мелких млекопитающих на европейском Севере показывает, что сведения о численности и соотношении этих видов, изложенные в многочисленных публикациях, ох-

ватывают довольно обширную территорию восточноевропейских тундр [13, 14, 18]. Благодаря этому были выявлены фауна и некоторые географические закономерности в распространении, обилии и территориальном размещении животных с юга на север и с запада на восток. Тем не менее, на рассматриваемом географическом пространстве сохранилось немало слабо исследованных районов, изучение которых позволяет более полно охарактеризовать фаунистическое своеобразие региона. В частности, менее изученными в фаунистическом отношении оказались территории центральных районов Большеземельской тундры – подзона мелкоерниковых тундр. «Лесной остров» в среднем течении р. Морею (Ненецкий автономный округ, Большеземельская тундра) представляет собой реликтовое еловое редколесье, отстоящее от северной границы лесотундры на 150 км к северу. Рекогносцировочные исследования животного мира в этом уникальном районе впервые провела В.В. Турьева с соавторами в 1976 г., зарегистрировав пять видов мелких млекопитающих [25]. Новые сведения по фауне и экологии мелких млекопитающих лесного острова были получены по прошествии более чем 20-летнего периода. Целью данной работы в этой связи является обобщение и сравнительный анализ результатов изучения фаунистического состава, территориального распределения и структуры биотопических комплексов мелких млекопитающих с позиций современной изученности териофауны и экологической специализации слагающих комплексы видов.

Материалом для настоящей статьи послужили результаты натурных исследований, выполненных при стационарных работах в августе 1998 г. в районе, расположенном в среднем течении р. Морею (65°50' с.ш.) и в районе 15 км западнее той же широты в 2002 г. Район характеризуется увалистым рельефом. Многочисленные излучины р. Морею вклиниваются в тундровые плато, образуя глубокие долины с крутыми склонами. Еловые леса с высотой древостоя до 7 м произрастают по склонам долины и на сопках отдельными сомкнутыми участками-куртинами. Общая протяженность их вдоль реки около 12 км и вдоль долины – до 2.0-2.5 км. Учеты численности мелких млекопитающих проводили в августе 1998 г. методом ловушко-линий. Использовали плашки системы Геро со стандартной приманкой и ловчие конусы. Конусы и давилки выставляли одновременно в пределах сходных выделенных биотопов. Отлов проводился в течение пяти суток, проверка – один раз в сутки. Конусы выставляли без заборчиков и специально отрытых канав в местах обитания животных: выборочно – у нор, кормовых столиков, уборных, на тропинках; вдоль линейных элементов микрорельефа антропогенного или естественного характера – близ уреза воды, в канавах стока, у кромки обрывов, торфяных полигонов, скальных пород, на тропах оленей, человека и в старых следах гусеничного транспорта. Все ловушки имели порядковый номер, что позволяло регистрировать места поимок животных и служило основой для дальнейшего количественно-

го анализа обилия и пространственной структуры населения мелких млекопитающих. Таким образом, выборка для анализа была сформирована по результатам учета животных различными методами – давилки типа Геро, ловчие конусы. Помимо собственно отловов проводили маршрутные обследования с визуальной регистрацией мелких млекопитающих и любых следов их жизнедеятельности.

В основу изучения структуры населения мелких млекопитающих был положен хронологический аспект [26]. Выбор биотопов на естественных территориях был приурочен к основным типам растительности в ряду зональных и интразональных элементов ландшафта. В ряду естественных станций обследовали поймы (лесо-луговой комплекс); тундры склоновые и на плакорах, лесные участки – склоновые и на плакорах. Относительную численность животных характеризовали в соответствии со шкалой доминирования, где каждая группа соответствует одному порядку чисел [7]: >10 % – многочисленные, 1.0-9.9 % – обычные, 0.1-0.9 % – редкие, <0.1 % – очень редкие виды. К числу фоновых относили многочисленные и обычные виды. Доминанты составляли 10 % и более общего обилия. Конкретизируя степень доминирования, использовали терминологию В.В. Кучерука с соавторами [4]: монодоминант – по доле каждого вида в уловах >80, абсолютный доминант – 50-79, доминант – 30-49, содоминант – 10-29, второстепенный – <10 %. Цифровой материал обрабатывали методом вариационной статистики с использованием статистических руководств [5, 11], методических рекомендаций в работах [16, 21, 28]. В основу расчетов брали среднюю арифметическую ошибку и ошибку средней арифметической. Достоверность отличий констатировали по критерию Стьюдента не менее чем при 95 % -ном уровне вероятности. Стандартные ошибки индексов обилия и доминирования рассчитывали исходя из предположения, что общее количество отловленных животных варьирует согласно закону нормального распределения.

При первых исследованиях животного мира в районе в 1976 г. зарегистрировано пять видов мелких млекопитающих: красная полевка (*Clethrionomys rutilus* Pallas, 1779), полевка-экономка (*Microtus oeconomus* Pallas, 1778), узкочерепная полевка (*Microtus gregalis* Pallas, 1779), сибирский лемминг (*Lemmus sibiricus* Kerr, 1792) и копытный лемминг (*Dicrostonyx torquatus* Pallas, 1779) [25]. Нами зарегистрированы два вида, не отмеченные ранее: водяная полевка (*Arvicola terrestris* Linnaeus, 1758) отлавливалась в ельнике на плакоре (визуально отмечена и в пойме реки), тундряная бурозубка (*Sorex tundrensis* Merriam, 1900) – в пойменном ельнике и ельнике на склонах сопки.

Анализируя материалы по видовому составу и обилию мелких млекопитающих на основе отношения видов к определенному фаунистическому комплексу [8, 10, 15, 24, 29], т.е. в рамках зонально-географического подхода, приходим к следующим результатам (см. таблицу). В исследуемом районе зарегистрировано семь видов мелких млекопитающих

Индекс доминирования (доля вида, %; *верхняя строка*) и численность (особей/100 ловушко-суток; *нижняя строка*) мелких млекопитающих в различных биотопах долины р. Море-ю

Биотоп									Всего		
пойма			лес			тундра			1976 г.	1998 г.	1976-1998 гг.
1976 г.	1998 г.	1976-1998 гг.	1976 г.	1998 г.	1976-1998 гг.	1976 г.	1998 г.	1976-1998 гг.			
Полевка красная											
0	18.0±5.43	9.57±3.04	24.2±5.44	22.5±4.67	23.24±3.54	0	0	0	10.1±2.47	17.9±3.12	14.05±2.03
0	2.1±0.69	1.24±0.41	1.7±0.43	3.2±0.75	2.27±0.39	0	0	0	0.77±0.19	2.26±0.43	1.34±0.21
Полевка узкочерепная											
29.5±6.88	18.0±5.43	23.4±4.35	11.3±4.02	58.8±5.5	38.03±4.07	30.2±7.0	71.4±9.86	43.75±6.2	22.1±3.4	47.0±4.06	34.7±2.75
4.3±1.18	2.1±0.70	3.0±0.64	0.8±0.3	8.5±1.18	3.7±0.5	1.7±0.48	7.0±1.74	2.9±0.54	1.69±0.29	5.9±0.68	3.3±0.32
Полевка-экономка											
68.2±7.02	60.0±6.93	63.83±4.96	64.5±6.01	15.0±3.99	36.62±4.04	25.6±6.65	0	17.19±4.72	54.4±4.08	27.8±3.65	41.0±2.84
10.0±1.73	7.1±1.24	8.28±1.02	4.44±0.69	2.2±0.62	3.57±0.49	1.5±0.44	0	1.14±0.34	4.15±0.45	3.5±0.53	3.9±0.35
Полевка водяная											
0	0	+	0	3.0	1.41	0	0	0	0	1.3	0.67
0	0		0	0.47	0.14	0	0	0	0	0.17	0.06
Лемминг сибирский											
0	0	0	0	0	0	11.6±4.89	14.3±7.64	12.5±4.13	3.36±1.48	1.9	2.7±0.93
0	0	0	0	0	0	0.7±0.29	1.4	0.83±0.29	0.26±0.12	0.25	0.25±0.09
Лемминг копытный											
2.3±2.25	0	1.06	0	0	0	33.0±7.15	14.0±7.64	26.56±5.52	10.1±2.47	1.9	6.0±1.37
0.33	0	0.14	0	0	0	1.87±0.49	1.4	1.76±0.42	0.8±0.19	0.25	0.57±0.14
Бурозубка тундряная											
0	4.0±2.77	2.13±1.5	0	1.3	0.7	0	0	0	0	1.9	1.0
0	0.5	0.28	0	0.18	0.07	0	0	0	0	0.25	0.1
Всего видов											
3	4	6	3	5	5	4	3	4	5	7	7
Всего особей											
44	50	94	62	80	142	43	21	64	149	151	300
Всего ловушко-суток											
300	425	725	900	555	1455	750	215	965	1950	1195	3145
Общее обилие на 100 ловушко-суток											
14.6±2.04	11.76±1.56	12.97±1.25	6.89±0.84	14.41±1.44	9.76±0.78	5.73±0.85	9.77±2.02	6.63±0.8	7.64±0.6	12.64±0.96	9.54±0.52

Примечание: показатели 1976 г. рассчитаны по данным из работы Турьевой, Воронина, Полежаева (1980) [25].

щих, из них шесть (85.7 % состава) представлены видами отряда грызунов. По количеству видов преобладают полевки родов серых полевок: два вида – полевка-экономка и узкочерепная полевка (28.50 %); остальные четыре вида относятся к разным родам. 14.28 % представлены тундряной бурозубкой – видом отряда насекомоядных рода бурозубок-землероек. Основу видового состава мелких млекопитающих представляют виды таежного фаунистического комплекса (42.85 %) – красная полевка, полевка-экономка и тундряная бурозубка. Группа видов, принадлежащих к тундровому фаунистическому комплексу – копытный и сибирский лемминги – занимает второе место (28.57 %). Тундровый подвид узкочерепной полевки (тундровая экологическая форма) характеризуется субарктическим распространением, однако на видовом уровне классифицирован как вид степного комплекса. Широко распространенный вид – водяная полевка (гидрофильная форма) обитает во многих природных зонах.

В общем количестве учтенных особей лишь 1.5 % (3 экз.) принадлежат к отряду насекомоядных,

98.5 % (287 экз.) к отряду грызунов; из них наиболее представительные серые полевки – узкочерепная и экономка – 77.3 % (227 экз.); лесные полевки (красная полевка) – 14 % (42 экз.), лемминги – сибирский (2.7 %, 8 экз.) и копытный (6.02 %, 18 экз.). Фоновых видов три. В число доминантов входят два вида – полевка-экономка (41%) и узкочерепная полевка (34.8 %); содоминанты – красная полевка (14 %). Все остальные – второстепенные (менее 10 %). Виды таежного комплекса – красная полевка, полевка-экономка и тундряная бурозубка – преобладают в фаунистическом составе (60 %) и населении – 55 %. Один вид степного фаунистического комплекса формирует лишь 14 % видового богатства, но благодаря высокой численности доминирует в населении, составляя 34.7 % общей численности особей в выборке. Среди типичных таежников доминируют по численности полевка-экономка (41 %) и красная полевка (14 %), что составляет 55 % численности всех учтенных особей и свыше 98 % численности видов таежного фаунистического комплекса.



Анализируя материалы с позиции фауногенетического подхода, т.е. объединяя виды, сходные по центрам происхождения, вне связей с природно-климатической зональностью, приходим к следующим результатам. Все виды из данного списка имеют палеарктическое происхождение, в том числе и те, современная граница которых выходит за пределы Палеарктики (красная полевка и полевка-экономка – арктобореальные виды голарктического распространения). Центр формирования типичных тундровиков – леммингов – находится в сибирской части их современного ареала. То же можно сказать и об узкочерепной полевке. Большинство видов таежного фаунистического комплекса – восточные палеаркты и транспалеаркты – также входят в сибирскую фаунистическую группу. Европейские виды имеют в основном западнопалеарктическое распространение. Для одного вида – полевки-экономки, классифицируемого как «транспалеаркт», родственные связи и центр происхождения не определены. В общем списке она составляет всего лишь около 14.3 %. Европейский вид – водяная полевка. Таким образом, по отношению к рассматриваемой выборке основную значимость представляют две выделяемые группы видов – европейского и сибирского фаунистических элементов. Детально очертить очаги фауногенетической общности и радиального распространения рассматриваемых видов на основании современных данных невозможно [2, 3, 12, 27]. В общем объеме материала фауны мелких млекопитающих виды сибирского происхождения, т.е. все, кроме полевки-экономки и водяной полевки, составляют 71 %; в структуре населения – 58.4 %. Такой высокий показатель обусловлен высоким долевым участием полевки-экономки (41 %).

Анализ результатов биотопического распределения животных, обобщенных за 1976 и 1998 гг., позволяет выявить следующие тенденции (см. таблицу). Увеличение видового разнообразия происходит в ряду пойменный лес (шесть видов) – плакорный ельник (пять видов) – тундра (четыре вида). Видовое сходство выше между лесными местообитаниями – пять общих видов, между тундрой и лесом – три. Непосредственная регистрация отсутствия или присутствия видов не является значимым показателем. Не зафиксированные в анализируемом объеме данных редкие и малочисленные виды могут обитать во всех обследованных местообитаниях при высоких уровнях численности. Так, например, в пойменных местообитаниях был отловлен один экземпляр типично тундрового вида – копытного лемминга, а водяная полевка (околоводный вид) отмечена визуально. Несмотря на двухгодичный период наших наблюдений, именно в данные годы наблюдалась низкая численность леммингов, тундряной буроzubки, красной полевки.

Основные изменения в биотопических комплексах отмечены в соотношении численности и долевого участия видов. Наибольшее видовое богатство

отмечено в пойменном лесу (шесть видов), общая численность животных самая высокая: выше, чем в лесу, в 1.33 раза и выше, чем в тундре, в 1.96 раза\*. По долевого участию полевка-экономка – абсолютный доминант (свыше 60 %), она же населяет эти местообитания с максимальной плотностью – в 2.3\* раза выше, чем в лесу и в 7.3\* раза, чем в тундре. По сравнению с лесом понижен индекс доминирования (в 2.42 раза\*, содоминант) и численности (в 1.8 раза\*) красной полевки и узкочерепной полевки (в 1.6 и 0.7 раза соответственно). Единичный экземпляр копытного лемминга добыт на гривке елового леса в пойме реки [25]. В плакорном лесу отмечено пять видов, среди которых доминанты узкочерепная полевка (38 %) и полевка-экономка (36 %), содоминант – красная полевка (23 %). Индексы доминирования и численности красной полевки в данном местообитании в сравнении с другими максимальны\*. Наибольшие отличия в фаунистическом составе, структуре доминирования и численности видов выявлены в тундровых местообитаниях. По сравнению с лесными резко снижает свою численность полевка-экономка, красная полевка не зарегистрирована. Только в тундрах отмечен сибирский лемминг. Соответственно и структура доминирования иная, чем в пойменном и плакорном лесу: узкочерепная полевка – доминант (43.7 %), содоминанты – копытный лемминг (26 %), полевка-экономка (17.2 %) и сибирский лемминг (12.5 %).

Всем видам мелких млекопитающих в тундровой зоне свойственны естественные резкие колебания, циклы численности. Яркие выраженные годы пиковой численности, спадов и относительных подъемов происходят в среднем раз в четыре года. Минимальные и максимальные показатели численности могут варьировать в десятки и сотни раз. Характер динамики численности фоновых видов может проявляться сходным образом, либо же фазы динамики численности разных видов могут не совпадать [18, 21]. Это в равной степени характерно как для фоновых видов, так и для видов-доминантов и особенно – для типичных субарктов. Варьирует и биотопическое распределение животных. В частности, лемминги при массовом размножении и пиках численности заселяют самый широкий спектр биотопов. В рамках настоящей статьи мы не ставили перед собой задачу объяснения причин или пусковых механизмов явления динамики численности, но объединили выборки за два года для преимущественной сравнительной ценности усредненных данных. Попытаемся выявить вклад частных характеристик обилия в суммарную картину биотопического распределения. Следует отметить, что годы полевых работ совпали с относительно высокими уровнями в численности полевки-экономки и узкочерепной полевки.

Полевка-экономка предпочитает преимущественно увлажненные местообитания околоводных пой-

\* Здесь и далее: различия по критерию Стьюдента достоверны более чем на 95 %-ном уровне вероятности.

менных и заболоченных территорий. Общая численность по району в 1976 г. по сравнению с 1998 г. была незначительно выше (4.2:3.5). При этом в пойме – в 1.4 раза выше, в лесу – в два раза выше\*, в тундре в 1976 г. не отмечена, а в 1998 г. – фоновый вид (1.5 особи/100 ловушко-суток).

Узкочерепная полевка – обитатель преимущественно более сухих возвышенных, в том числе и плакорных элементов ландшафта. Общая численность по району в 1998 г. по сравнению с 1976 г. была в 3.5 раза выше\*, в пойме – в два раза ниже\*, в тундре – выше в 5.3 раза\*, а в лесу – в 7.7 раза\*. Также как и полевка-экономка, узкочерепная полевка в сравниваемые годы во всех местообитаниях оставалась фоновым видом; исключение составляет только лес в 1976 г. (0.8 особи/100 ловушко-суток). Таким образом, прежде всего за счет вариаций обилия рассмотренных выше видов-доминантов в 1998 г. в тундре и в лесу общая численность мелких млекопитающих была выше в 1.7-2.0 раза\* и, напротив, в 1976 г. была выше, хотя и недостоверно, в пойме.

В практике зоогеографических исследований существует прием сопоставления распределения и обилия избранных пар видов, близких по экологии, но различающихся по своему происхождению. В частности для восточноевропейских тундр известно, что при продвижении с юго-запада на северо-восток в паре полевка-экономка–узкочерепная полевка происходит смена доминантов [17]. В Канинской, Малоземельской и на западе Большеземельской тундр полевка-экономка (транспалеаркт) преобладает в уловах, являясь в некоторые годы абсолютным доминантом в населении мелких млекопитающих. На востоке Большеземельской тундры среди рода серых полевок абсолютно доминирует узкочерепная полевка (сибирский фауногенетический элемент), полевка-экономка редка и малочисленна. Наши данные показывают, что долина р. Море-ю является зоной равного доминирования в комплексе мелких млекопитающих этих двух викарирующих видов. Далее к востоку (окрестности г. Воркута) при многолетних стационарных работах полевка-экономка добывалась в единичных экземплярах [6, 18].

Красная полевка (экологическая группировка – таежный вид). Общая численность в 1998 г. по сравнению с 1976 г. была выше почти в три раза\*, поскольку в 1998 г. обнаружена в двух обследованных лесных биотопах – в пойме и на плакоре. В 1976 г. учтена только в одном биотопе – плакорном лесу.

На основании изученности фауны региона тех лет считалось, что северная граница распространения этого вида совпадает с северной границей произрастания древесной растительности. Подчеркивалось, что на участках открытой тундры красная полевка не обитает и зарегистрирована лишь на территории «лесного острова» более чем в 100 км от северной границы леса [25]. К настоящему времени известно, что красная полевка – сибирский фауногенетический элемент, арктобореальный вид голарктического распространения. В подзоне северных

типичных тундр редка, однако в южных кустарниковых тундрах по общей доле в населении мелких млекопитающих является одним из доминантов (16 %) [18]. В южной лесотундре доля красной полевки в населении (47 %) максимальна для региона – европейского Северо-Востока [6]. По средним многолетним данным стационарных работ (окрестности г. Воркута) выявлена неравномерность степени биотопической приуроченности вида: она наиболее выражена в пойменном комплексе, а главное – в зональных тундрах. Сам факт необнаружения вида в необлесенных тундрах в непосредственной близости от границ «лесного острова» в 1976 и 1998 гг. характеризует вид как типично таежный по экологической специализации, а биотоп как оптимальный. Однако утверждать, что красная полевка не обитает в зональных тундрах на той же географической широте, нельзя. Так, например, в том же 1998 г. при учетах в окрестностях г. Воркута численность красной полевки в зональных кустарниковых тундрах составляла 2.75 особи/100 ловушко-суток (доля в населении 22 %). В 2002 г. мелких млекопитающих учитывали в долине р. Море-ю в 15 км к западу (вверх по течению реки) от елового леса на той же широте. Численность вида в плакорных тундрах составляла 7.4 особи/100 ловушко-суток. Следует также отметить, что годы работ совпали с общей низкой численностью всех остальных учтенных видов. Несмотря на двухгодичный период наших наблюдений, во время полевых работ наблюдалась низкая численность леммингов и тундряной бурозубки.

Как уже подчеркивалось, фазы динамики численности разных видов могут не совпадать. Естественную вариабельность обилия и связанное с этим распределение по биотопам оценить нельзя. О полном диапазоне изменчивости, обилии и связанного с этим распределения по биотопам можно судить на основе усредненных данных многолетних стационарных работ [18]. Эти данные позволяют утверждать, что видимых изменений в биотопических комплексах мелких млекопитающих района р. Море-ю за рассматриваемый более чем двадцатилетний период не произошло. Различия структурных параметров не выходят за рамки изменчивости естественной динамики.

Оба вида леммингов – представители тундрового фаунистического комплекса сибирского фаунистического элемента, биотопически приурочены преимущественно к тундрово-болотному ряду растительных сообществ, к зональным тундрам и болотам комплексного ряда. В подзоне южных тундр лемминги входят в категорию доминантов, составляя в среднем 20 % в населении мелких млекопитающих.

Тундряная бурозубка – политоппный и полизональный вид сибирского фаунистического элемента. Тяготеет к открытым и полукрытым биотопам и характеризуется относительно равномерным биотопическим распределением по сравнению с другими видами. По всем обследованным пунктам восточноевропейских тундр в целом тундряная бурозубка доминирует в населении мелких млекопита-

ющих (18.1 %) и, как монодоминант, в сообществах насекомоядных (97.1 %).

Водяная полевка – широко распространенный полизональный вид, европейский фаунистический элемент. Отмечена в границах северных (типичных) тундр, где редка [1]. В южных тундрах и лесотундре обычна, фоновый вид, второстепенный по доминированию (2.16 %).

Современный состав териофауны европейской тундры обусловлен, несомненно, историческими факторами. В климатические оптимумы голоцена леса произрастали вплоть до побережья Баренцева моря, зона тундры сохранялась на крайнем северо-востоке и на Урале. Вероятно, к северу смещался ареал многих современных бореальных видов мелких млекопитающих. По палеонтологическим данным, фауна и сообщества мелких млекопитающих на европейском северо-востоке России сформировались в послеледниковый период предположительно в позднем голоцене (после последнего суббореального потепления, сменившегося похолоданием), когда образовались ландшафтно-климатические зоны современного типа [19, 22]. Последнее похолодание – 1200-200 лет назад – сопоставляют с «малой ледниковой эпохой» XVI-XIX вв. На месте лесных формаций развиваются кустарниковая тундра и болота; отдельные «островки» леса остались в качестве реликтов на п-ове Канин, в Малоземельской и Большеземельской тундрах [20, 23]. При отступлении лесной зоны к югу расселение и продвижение видов тундрового териокомплекса должно было происходить с северо-восточного и уральского направлений. Об этом, в частности, свидетельствуют факты преобладания в фаунистическом составе на р. Море-ю тундровых видов и видов сибирского фауногенетического элемента.

Следует также отметить, что в районе долины р. Море-ю не были отмечены некоторые редкие и малочисленные лесные виды мелких млекопитающих, преимущественно европейского фауногенетического элемента, проникающие в кустарниковые тундры на уровне той же широты или чуть южнее – темная полевка (*Microtus agrestis* Linnaeus, 1761), рыжая полевка (*Clethrionomys glareolus* Schreber, 1780), лесная мышовка (*Sicista betulina* Pallas, 1778), обыкновенная бурузубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758). Этот список можно значительно расширить, если рассмотреть также лесные виды, не распространенные к северу далее подзоны лесотундры. То есть, «лесные острова» в тундре вряд ли можно рассматривать как специфические рефугиумы для таежных видов; тем не менее, они благоприятны для их существования, также как и интразональные элементы ландшафта.

Наиболее важный результат изучения териокомплексов прошлых и последующих лет – подтверждение заселения реликтового таежного леса узкочерепной полевкой – тундровой экологической формой вида степного фауногенетического комплекса. Вследствие этого по своему видовому составу и структуре биотопические комплексы мелких млекопитающих в долине р. Море-ю отличны как от

собственно зональных тундровых, так и от типично таежных.

#### Выводы

В фауне мелких млекопитающих долины р. Море-ю выражена комплексность и гетерогенность состава на фоне крайней бедности видовой разнообразия. На это указывает отсутствие видов-эндемиков, доминирование видов тундрового, таежного и степного фаунистических комплексов с преобладанием видов сибирской фаунистической группы. Наряду с комплексностью фаунистических элементов выражен смешанный состав разных экологически специализированных групп.

Хозяйственная деятельность человека в восточноевропейских тундрах, связанная прежде всего с разведкой и эксплуатацией нефти и газа, формирует комплекс факторов, изменяющих естественную среду обитания диких животных. Видимых изменений в биотопических комплексах мелких млекопитающих исследуемого района за рассматриваемый более чем двадцатилетний период не произошло. Выявленные различия структурных параметров не выходят за рамки изменчивости естественной динамики.

«Лесные острова» в тундре не являются местами сохранения реликтов млекопитающих термического оптимума голоцена, их вряд ли можно рассматривать как специфические рефугиумы для таежных видов; тем не менее они более оптимальны для их существования, также как и интразональные элементы ландшафта.

Биотопические комплексы в районе реликтового леса р. Море-ю формируют уникальное сообщество млекопитающих, отличное как от собственно тундрового, так и от типично таежного. Представляется весьма перспективным и важным их дальнейшее изучение с позиций организации и функционирования тундровых экосистем и сохранения биоразнообразия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балибасов В.П., Ермаков А.А. Распространение, численность и биотопическое распределение мелких грызунов в тундрах европейского северо-востока СССР // Экология редких, малоизученных и хозяйственно важных животных европейского северо-востока СССР. Сыктывкар, 1989. С. 84-89. – (Тр. Коми НЦ УрО АН СССР; № 100).
2. Воронов Г.А. География мелких млекопитающих южной тайги Приуралья, Средней Сибири и Дальнего Востока (антропогенная динамика фауны и населения). Пермь, 1993. 223 с.
3. Громов И.М., Ербаева М.А. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Зайцеобразные и грызуны. СПб., 1995. 522 с. – (Определители по фауне России, издаваемые ЗИН РАН; Вып. 167).
4. Группировки населения мелких млекопитающих и их территориальное размещение в восточной половине МНР / В.В. Кучерук, Н.В. Тупикова, Б.П. Доброхотов и др. // Современные проблемы зоогеографии. М.: Наука, 1980. С. 115-151.
5. Ивантер Э.В., Коросов А.Г. Основы биометрии: введение в статистический анализ биологических явлений и процессов. Петрозаводск, 1992. 168 с.

6. Колоскова Н.И. Эколого-фаунистический анализ мелких млекопитающих восточноевропейской лесотундры // Фауна и экология наземных позвоночных животных. М., 1981. С. 81-100.

7. Кузякин А.П. Зоогеография СССР // Биогеография. М., 1962. Т. 109, вып. 1. С. 3. – (Уч. зап. Моск. обл. пед. ин-та им. Н.К. Крупской).

8. Кулик И.Л. Сравнительный анализ фаунистических комплексов млекопитающих лесной части Северной Евразии // Териология. Новосибирск: Наука, 1974. Т. 2. С. 151-162.

9. Кучерук В.В. Количественный учет важнейших видов вредных грызунов и землероек // Методы учета численности и географического распределения наземных позвоночных. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 9-46.

10. Кучерук В.В. Степной фаунистический комплекс млекопитающих и его место в фауне Палеарктики // География населения наземных животных и методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 45-87.

11. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.

12. Мекаев Ю.А. Зоогеографические комплексы Евразии. Л.: Наука, 1987. 126 с.

13. Млекопитающие. Китообразные, хищные, ластоногие, парноногие / Н.М. Полежаев, ..., А.Н. Петров, А.Н. Пыстин и др. СПб.: Наука, 1998. 285 с. – (Фауна европейского северо-востока России. Млекопитающие; Т. II, ч. 2).

14. Млекопитающие. Насекомоядные, рукокрылые, зайцеобразные, грызуны / В.М. Ануфриев, ..., А.Н. Петров, Н.М. Полежаев и др. СПб.: Наука, 1994. 280 с. – (Фауна европейского северо-востока России. Млекопитающие; Т. II, ч. I).

15. Никольский Г.В. О биологической специфике фаунистических комплексов и значении ее анализа для зоогеографии // Зоол. журн., 1947. Т. 26, вып. 3. С. 221-230.

16. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.

17. Петров А.Н. Мелкие млекопитающие восточноевропейских тундр в условиях антропогенной трансформации ландшафтов. Эколого-фаунистические аспекты // Экологические аспекты сохранения видового разнообразия на европейском северо-вос-

токе России. Сыктывкар, 1996. С. 19-33. – (Тр. Коми НЦ УрО РАН; № 148).

18. Петров А.Н. Мелкие млекопитающие трансформированных и ненарушенных территорий восточноевропейских тундр // Вестн. Коми НЦ УрО РАН, 2002. Вып. 22 С. 48-71. – (Материалы Общего собрания Коми научного центра, посвящ. итогам научной и научно-организационной деятельности Коми НЦ УрО РАН за 2001 г.).

19. Пономарев Д.В. Млекопитающие позднего плейстоцена и голоцена европейского Северо-Востока: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Сыктывкар, 2001. 19 с.

20. Сергиенко В.Г. Флора полуострова Канин. Л.: Наука, 1986. 148 с.

21. Смирнов В.С. Методы учета численности млекопитающих. Свердловск, 1964. 87 с. – (Тр. Ин-та биол. УФАН СССР; Вып. 39).

22. Смирнов Н.Г. Разнообразие мелких млекопитающих Северного Урала в позднем плейстоцене и голоцене // Материалы и исследования по истории современной фауны Урала. Екатеринбург, 1996. С. 17-39.

23. Толмачев А.И., Токаревских С.А. Исследование района «Лесного острова» у реки Море-ю в Большешеземельской тундре // Бот. журн., 1968. Т. 5, № 4. С. 560-566.

24. Турикова Н.В., Комарова Л.В. Принципы и методы зоологического картографирования. М.: Изд-во МГУ, 1979. 192 с.

25. Турьева В.В., Воронин Р.В., Полежаев Н.М. Материалы по фауне наземных позвоночных лесного острова на реке Море-ю // Фауна Урала и европейского Севера. Свердловск, 1980. С. 27-35.

26. Чернов Ю. И. Природная зональность и животный мир суши. М., 1975. 222 с.

27. Шварц Е.А. Формирование фауны мелких грызунов и насекомоядных таежной Евразии // Фауна и экология грызунов. М., 1989. № 17. С. 115-143.

28. Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных животных. Свердловск, 1968. 387 с. – (Тр. УФАН СССР; Вып. 58).

29. Штегман Б.К. Основы орнитологического деления Палеарктики. М.-Л., 1938. 156 с. – (Фауна СССР. Птицы; Т. 1, вып. 2). ❖

## ПРОБЛЕМЫ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ КРАСНОКНИЖНЫХ ВИДОВ НАЗЕМНЫХ ПОЗВОНОЧНЫХ КОМПЛЕКСНОГО ЗАКАЗНИКА «УДОРСКИЙ»



к.б.н. С. Кочанов  
зав. лабораторией экологии наземных позвоночных  
E-mail: [kochanov@ib.komisc.ru](mailto:kochanov@ib.komisc.ru)  
тел. (8212) 43 10 07

Научные интересы: экология птиц



к.б.н. А. Петров  
н.с. отдела экологии животных  
E-mail: [tpetrov@ib.komisc.ru](mailto:tpetrov@ib.komisc.ru)  
тел.: (8212) 43 10 07

Научные интересы: фауна и экология млекопитающих тайги и тундры

Комплексный заказник «Удорский» был предложен для охраны Удорским райисполкомом, Коми НЦ УрО РАН, Минлесхозом Коми АССР (утвержден постановлением Коми АССР № 90 от 29 марта 1984 г.) [3, 4]. Территория заказника расположена в подзоне северной тайги евро-

пейского северо-востока России на равнинных ландшафтах тайги и западных отрогах Среднего Тимана. Общий облик фаунистических комплексов таежный с преобладанием в составе сообществ животных сибирских, европейских и широко распространенных в Палеарктике видов. Многие боре-

альные виды находятся здесь вблизи северных и крайнесеверных границ своего распространения. В северной части заказника значительную площадь занимают коренные еловые леса. В южной части заказника преобладают малонарушенные и нетронутые рубками леса междуречий.

Для настоящей работы использованы фондовые и опубликованные материалы, собранные в естественных и антропогенных ландшафтах тайги Республики Коми, включая долину рек Мезень и Вымь [1, 5, 7-10], обработаны данные Охотуправления Республики Коми по Удорскому району и опросные сведения, полученные от местного населения и охотоведов службы Госохотнадзора, а также результаты натурных полевых исследований, проведенных в июне-июле 2002 г. в районе заказника. Общая протяженность учетных маршрутов составила свыше 240 км, из них 195 км вдоль береговой линии рек Нижняя Пузла и Мезень, остальные – по различным типам лесных биотопов.

**Амфибии (Amphibia) и рептилии (Reptilia)**

Самые бедные в видовом отношении группы позвоночных животных в рассматриваемом районе представлены амфибиями (земноводные) и рептилиями (пресмыкающиеся). В таежной зоне Республики Коми распространены пять видов амфибий и пять видов рептилий. На территории заказника обитают всего лишь четыре вида. Один вид в связи с малой численностью внесен в список охраняемых животных Красной книги Республики Коми [5]:

Сибирский углозуб (*Salamandrella Keyserlingii* Dybovski, 1870). Классификация по категориям охраны – 3(R) – редкий вид, таксоны и популяции которого имеют малую численность и распространены на ограниченной территории (или) спорадически распространены на значительных территориях. Согласно палеонтологическим данным, европейские популяции углозуба – реликты его прежнего распространения [6]. Спорадичный характер территориального распределения делает находки этого вида весьма редкими. На характеризующей территории обитает предположительно: ареал вида охватывает территорию заказника, а северная граница ареала в регионе проходит в зоне тундры. Достоверно известное близлежащее местонахождение – среднее течение р. Мезень, дер. Засулье, Лешуконский район Архангельской области [11].

Места обитания – прибрежная полоса временных и небольших водоемов и мел-

ких водотоков междуречий в таежных лесах, на болотах, кустарниках, лугах. Углозуб ведет скрытый образ жизни. За исключением периода размножения взрослые особи всю жизнь проводят на суше в прибрежной полосе водоемов. Зимуют небольшими скоплениями в трухлявых валежниках, под корнями деревьев и кустарников, лесным опадом, в травяной подстилке и травяных кочках, в трещинах почвы. Это земноводное имеет уникальную способность переносить длительное замораживание, продолжительность зимовки может составлять более шести месяцев. На территории средней и северной подзон тайги Республики Коми углозуб распространен спорадично, малочислен и редок, однако локальная плотность может быть высокой, несмотря на северные окраины ареала.

Основной комплексный фактор, влияющий на состояние популяций вида – преобразование и разрушение местообитаний. Поскольку вид редок и распространен по территории очень компактно, опасность может представлять любое локальное преобразование или уничтожение биотопов. Механические нарушения почвенно-растительного покрова антропогенного характера (технологические площадки, коммуникационные линии, рубка леса, проезд транспорта) при больших объемах приводят к разрушению и ликвидации летних убежищ и зимовальных камер. Сибирский углозуб как земноводный хищник способен накапливать загрязнители в организме с высокой концентрацией – в несколько десятков раз, что приводит к возрастанию частоты генетических аномалий, изменению популяционной структуры, повышенной смертности, особенно на эмбриональной и личиночной стадиях. В

сильно загрязненных водоемах зародыши и личинки не развиваются.

На территории заказника сибирский углозуб практически не изучен. Необходимы специальные исследования для пополнения кадастровых характеристик вида с целью выявления ключевых местообитаний и их охраны. Рекомендуется пропаганда экологических знаний среди населения.

**Птицы (Aves)**

Для Удорского района характерно пребывание около 140 видов птиц, из которых в районе заказника, согласно литературным данным [5, 9, 10], в разные сезоны года можно встретить 12 охраняемых видов (см. таблицу). По результатам полевых исследований на территории заказника нами отмечено только два охраняемых вида птиц – орлан-белохвост и серый журавль. Орлан-белохвост зарегистрирован единораз в среднем течении р. Мезень в районе урочища «Ошка омлын», серый журавль – на болотах правобережья р. Мезень в районе «Роч керка» и болота «Ветсуж».

Из охраняемых видов птиц Удорского района наиболее уязвимыми по отношению к хозяйственной деятельности и фактору беспокойства со стороны человека можно выделить крупных хищных птиц – орлана-белохвоста, скопу, беркута и филина. Уязвимость этих видов обусловлена как возрастающими темпами хозяйственного освоения новых территорий, так и снижением численности основных объектов их питания (для беркута – тетеревиных, орлана-белохвоста и скопы – различные виды рыб), для филина – фактор беспокойства. Для большинства водоплавающих (лебедь-кликун) и околоводных (кулик-сорока, гаршнеп, дупель) видов основной угрозой является химическое загрязнение акваторий.

**Список птиц Удорского района, включенных в Красную книгу Республики Коми**

Вид	Статус
Лебедь-кликун – <i>Cygnus cygnus</i> L.	3(R)
Скопа – <i>Pandion haliaetus</i> L.	1(E)
Орлан-белохвост – <i>Haliaeetus albicilla</i> L.	1(E)
Беркут – <i>Aquila chrysaetos</i>	1(E)
Серый журавль – <i>Grus grus</i> L.	3(R)
Кулик-сорока – <i>Haematopus ostralegus</i> L.	3(R)
Гаршнеп – <i>Lymnocyptes minimus</i> (Вьгнн.)	4(I)
Дупель – <i>Gallinago media</i> Lath.	4(I)
Филин – <i>Bubo bubo</i> L.	2(V)
Белая сова – <i>Nyctea scandiaca</i> L.	4(I)
Бородатая неясыть – <i>Strix nebulosa</i> J.R.Forst.	2(V)
Длиннохвостая неясыть – <i>Strix uralensis</i> Pall.	2(V)

**Млекопитающие (Mammalia)**

В таежной зоне Республики Коми обитает более 55 видов млекопитающих. На характеризующей территории и прилегающих районах в разные сезоны года отмечается до 36 видов млекопитающих. Из млекопитающих, включенных в Красную книгу Республики Коми, на территории заказника предполагается обитание трех видов:

Енотовидная собака (*Nyctereutes procyonoides* Gray,

1834). Категория охраны – 4(I) – вид, неопределенный по статусу, таксоны и популяции которого имеют малую численность, но достаточных сведений об их состоянии в природе в настоящее время нет. Коренных хвойных лесов вид избегает, предпочитая населять мелколиственные и смешанные насаждения, вырубки, просеки, берега водоемов. Лимитирующим фактором его обитания в северных широтах является глубокоснежье, суровые и продолжительные зимы. По анкетным данным в верховьях Мезени отмечена в 1978 г. (бывший пос. Мичаичмонь, территория заказника) позже – лишь южнее (р-он поселков Криушево, Макарыб, 1986, 1991 гг.). Естественный ареал находится в Юго-Восточной Азии. В европейской части вид появился в результате искусственного расселения. Енотовидную собаку расселяли по европейскому Северу с 30-х годов прошлого века, а на территории Республики Коми – с 1954 г. Следует отметить, что, согласно современным научно-методическим принципам составления Красных книг, виды, интродуцированные в пределах территорий субъекта Российской Федерации с целью обогащения промысловой фауны, в региональные Красные книги не заносятся. Видимо, при последующем переиздании Красной книги Республики Коми данный вид из списка следует исключить.

Барсук (*Meles meles* Linnaeus, 1758). Категория охраны – 2(V) – вид с сокращающейся численностью, таксоны и популяции которого при дальнейшем воздействии факторов, снижающих численность, могут в короткие сроки попасть в исчезающие. Крупных массивов тайги барсук избегает, придерживается преимущественно опушек, перелесков, островных лесов. Важнейшие требования вида к местам обитания – благоприятные условия для норения, сухие, легко поддающиеся рытью песчаные и супесчаные почвы с глубоким уровнем грунтовых вод. Лимитирующие факторы – суровые условия обитания у северной границы ареала, заболоченность территорий и недостаток пригодных мест для норения. Граница ареала проходит приблизительно по верховьям р. Мезень. Известны случаи заходов барсука значительно севернее – на побережье Чешской губы [4]. По анкетным данным, ближайшие места встреч в верховьях Мезени выявлены несколько южнее границ заказника: населенные пункты Макарыб, Глотова.

Достоверных данных обитания барсука на территории заказника нет.

Европейская норка (*Mustela (Lutreola) lutreola* Linnaeus, 1761). Классификация по категории охраны – 1(E) – вид, находящийся под угрозой исчезновения, таксоны и популяции, численность особей которых уменьшится до критического уровня таким образом, что в ближайшее время они могут исчезнуть. Европейская норка – полуводный зверь, предпочитаемые места обитания – небольшие таежные речки и ручьи, особенно с непромерзающими участками, реке старицы и пойменные озера с захламленными берегами, поросшие кустарником. В верховьях р. Мезень встречается норка составляет в среднем 0.3 особи/10 км русла реки [7]. Численность вида во многих местах ареала снижается начиная с пятидесятых годов прошлого столетия. Предполагается, что наряду с причинами антропогенного характера, на сокращение численности вида влияет межвидовая конкуренция с акклиматизированной американской норкой (*Mustela (Lutreola) vison* Schreber, 1777). Следов обитания норки на территории заказника по результатам полевых исследований, проведенных в июне-июле 2002 г. вдоль береговой линии рек Нижняя Пузла и Мезень, не выявлено. Для анализа современного состояния запасов этих животных необходимы масштабные исследования в предзимний период по «белой тропе».

Принятие решений по выделению животных, приоритетных для охраны, требует применения точных количественных методов их выявления, оценки территориального распределения и численности. Проблема инвентаризации охраняемых видов обусловлена их редкостью, малочисленностью, а следовательно, и трудностью их обнаружения. В частности, земноводные и млекопитающие – животные с достаточно скрытым образом жизни. Основной метод выявления видового состава и численности млекопитающих – зимний маршрутный учет. Несмотря на то, что метод сам по себе достаточно трудоемок, он к тому же малоприменим для зимоспящих и полуводных зверей, к каковым относятся вышеперечисленные виды млекопитающих Красной книги. Для данной группы существуют комплексные методики, работы по которым основаны на регистрации следов жизнедеятельности, в том числе и в бесснежный период. Находки сибирского углозуба

практически возможны только в период размножения.

Инвентаризация охраняемых видов птиц требует охвата нескольких полевых сезонов. Так, для выявления мест остановок и интенсивности пролета транзитно-мигрирующих (малый лебедь, пискулька) или кочующих (белая сова) в зимнее время видов необходимы стационарные и маршрутные исследования как в весенний, так осенний и зимние периоды. Выявление видового состава и распределения по территории охраняемых видов сов нужно проводить в ранневесеннее время (март-апрель), в период их наибольшей «вокальной» активности. Для выявления мест обитания крупных дневных хищных птиц желательное проведение маршрутных исследований с мая по июль. Применение метода анкетирования ограничивается удаленностью заказника, отсутствием на его территории населенных пунктов и постоянного населения.

Таким образом, основная проблема инвентаризации краснокнижных видов наземных позвоночных – это проблема репрезентативности данных обнаружения и оценки численности животных. Для ее решения необходимо предусмотреть организацию и финансирование трудоемких полевых работ и натурных наблюдений, которые должны проводиться под контролем квалифицированных специалистов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфриев В.М., Бобрецов А.В. Амфибии и рептилии. СПб.: Наука, 1996. 130 с. – (Фауна европейского северо-востока России; Т. IV).
2. Кадастр охраняемых природных территорий Республики Коми / Р.Н. Алексеева, ..., А.А. Естафьев, Н.С. Котелина и др.; отв. ред. А.И. Таскаев, Н.И. Тимонин. Сыктывкар, 1993. Ч. I. 190 с.
3. Кадастр охраняемых природных территорий Республики Коми / Р.Н. Алексеева, В.П. Гладков, С.В. Дегтева; отв. ред. А.И. Таскаев, Н.И. Тимонин. Сыктывкар, 1995. Ч. II. 60 с.
4. Красная книга Архангельской области. Редкие и охраняемые виды растений и животных. Архангельск, 1995. 330 с.
5. Красная книга Республики Коми (редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных) / Под ред. А.И. Таскаева. Москва-Сыктывкар, 1998. 528 с.
6. Кузьмин С.Л. Земноводные бывшего СССР. М., 1999. 298 с.

7. Млекопитающие. Китообразные, хищные, ластоногие, парнопалые / *Н.М. Полежаев, ..., А.Н. Петров, А.Н. Пыстин* и др. СПб.: Наука, 1998. 285 с. – (Фауна европейского северо-востока России. Млекопитающие; Т. II, ч. 2).

8. Млекопитающие. Насекомоядные, рукокрылые, зайцеобразные,

грызуны / *В.М. Ануфриев, ..., А.Н. Петров, Н.М. Полежаев* и др. СПб.: Наука, 1994. 280 с. – (Фауна европейского северо-востока России. Млекопитающие; Т. II, ч. 1).

9. Птицы. Неворобьиные / *А.А. Естафьев, Ю.Н. Минеев, В.М. Ануфриев* и др. СПб.: Наука, 1999. 330 с. – (Фауна европейского северо-востока России; Т. I, ч. 2.)

10. Птицы. Неворобьиные / *А.А. Естафьев, Р.Н. Воронин, Ю.Н. Минеев* и др. СПб.: Наука, 1995. 320 с. – (Фауна европейского северо-востока России; Т. I, ч. 1.)

11. *Турьева В.В.* О распространении амфибий и рептилий в Коми АССР // *Вопр. герпетологии: Автореф. докл. IV Всесоюз. герпетол. конф. Л., 1977. С. 207-208.* ❖



**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КОРЫ НАДПОЧЕЧНИКА В ОНТОГЕНЕЗЕ МЛЕКОПИТАЮЩИХ**

**Н. Быховец**

м.н.с. отдела экологии животных  
E-mail: [tpetrov@ib.komisc.ru](mailto:tpetrov@ib.komisc.ru); тел. (8212) 43 10 07

Научные интересы: *мелкие млекопитающие, эндокринная система, гистология, патология, морфология*

**Н**а заре возникновения первичных позвоночных появляются две совершенно самостоятельные эндокринные ткани, имеющие разное происхождение и функцию – интерренальная, вырабатывающая стероидные гормоны, и хромаффинная (супраренальная), вырабатывающая катехоламины. Еще на ранних этапах эволюции эти две ткани упорно сближаются, что приводит к формированию единой железы. Очевидно, что это сближение имеет определенный биологический смысл. Наличие контроля стероидогенеза со стороны клеток хромаффинной ткани доказывает, например, работа [25], выполненная на культуре кортикальных и хромаффинных клеток надпочечника лягушки: синтез стероидов в кортикальных клетках при совместном культивировании оказался эффективнее, чем при раздельном.

У млекопитающих парный надпочечник всегда локализован вблизи передних полюсов почки. Отличительная черта млекопитающих – такая организация надпочечной железы, когда мозговой слой (хромаффинная ткань) окружен корковым [10] (рис. 1). В эмбриональном гистогенезе млекопитающих кора надпочечника развивается из целомического эпителия в виде утолщений, расположенных у основания брыжейки переднего полюса первичной почки; источник мозгового вещества – общий зачаток узлов симпатических нервов в брюшной аортальной области. Медуллярные клетки мигрируют в корковое вещество вдоль нервных элементов или по капиллярной сети, к этому времени хорошо сформированной [3, 23, 24].

Установлено, что эмбриональное развитие коры надпочечника контролируется рядом генов – SF1 (Steroidogenic Factor 1), DAX1, WT1 (Wilm’s tumor gene) и др. WT1 – ключевой ген для инициации развития коры. Отсутствие гена SF1 приводит к недоразвитию надпочечных желез и гонад; DAX1 является его возможным ингибитором. Нарушения во взаимодействии этих генов могут быть причиной различных гипоплазий. Некоторые биохимические нарушения могут вызвать врожденную ги-

перплазию надпочечника (congenital adrenal hyperplasia – САН). САН – аутомомный рецессивный ген. Обычно приводит к невозможности превращения холестерина в кортизол и/или альдостерон, а также недостаточности активности 21-гидроксилазы, ответственной за превращение 17-гидроксипрогестерона в 11-дезоксикортизол и прогестерона – в дезоксикортикостерон. В результате возрастает уровень АКТГ, что вызывает гиперплазию коры надпочечника и увеличение концентрации стероидных метаболитов, происходящее главным образом из-за блокирования биохимических процессов [23].

Гистогенез коры надпочечника у разных видов отличается крайней вариабельностью. В этом процессе выделяют семь стадий: 1) закладка первичных надпочечных желез, 2) вращение вегетативных элементов, образование первичной коры и скопленный хромаффинобластов, 3) разделение первичной коры на фетальную и дефинитивную, 4) рост дефинитивной коры и инволюция фетальной, 5) форми-

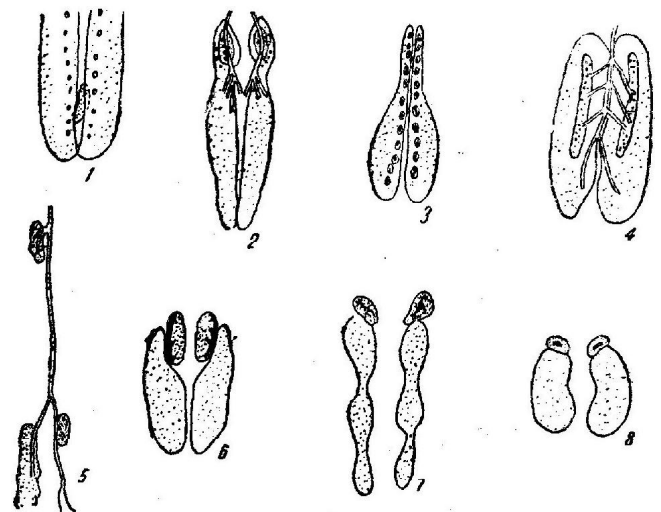


Рис. 1. Типы надпочечных желез у различных классов позвоночных: Elasmobranchii (1), Teleostei (2), Urodela (3), Anura (4), Ophidia (5), Lacertilia (6), Aves (7), Mammalia (8). Черным цветом обозначена хромаффинная, густыми точками – кортикальная ткань, редкими точками – почка (цит. по: [10]).

рование мозгового вещества и дифференцировка хромаффинобластов в зрелые А- и НА-клетки, 6) становление зональной дифференцировки коры, 7) дефинитивная надпочечная железа [3].

У мыши гистогенез надпочечника начинается с 11.5 дня эмбрионального развития [24]. На этой стадии развития кортикальные клетки выглядят как группа темных клеток, расположенная вблизи от гонад. Кортикальный зачаток вырастает между мезонефросом (первичной почкой) и аортой. На 12.5 день эмбриогенеза кортикальные клетки сближаются с медуллярными симпатобластами; капсула, окружающая кортикальные клетки и капилляры, формируется на 14-й день. К 15-му дню внутриутробного развития формирование капсулы и коры практически завершено. Развитие медуллы в надпочечнике мыши также начинается на 11.5 день эмбриогенеза, когда по обе стороны аорты видны два ряда симпатобластов. Затем они мигрируют в сторону кортикального зачатка, где их можно обнаружить уже на 12-й день. Через два дня симпатобласты уже вырастают внутрь надпочечника [20].

Надпочечники крысы не оформлены в орган до 15-го дня внутриутробного развития. По данным F. Mitani и соавторов [16], сегрегация коркового и мозгового вещества, а также начало формирования кортикальной зональности у крыс начинается примерно к моменту рождения. В надпочечниках новорожденных крыс содержится три слоя, из которых наружный напоминает клубочковую зону взрослого животного; пучковая и сетчатая зоны выражены слабее [6]. Сетчатая зона у крыс появляется только к концу второй недели жизни и приобретает дефинитивное строение к шестинедельному возрасту; именно в этом возрасте у крысят наступает функциональная зрелость надпочечников [15].

Органогенез надпочечника у полевок практически не изучен; по крайней мере, в доступной литературе нам удалось обнаружить лишь единичные сведения. Так, С.Р. Макарян и соавторы [7], изучив развитие надпочечника плоскогорной полевки *Microtus guentheri*, установили, что в эмбриональном периоде надпочечник состоит из двух частей – меньшей (маргинальной, подкапсулярной – будущей дефинитивной) и большей (зародышевой, или фетальной), а сегрегация коры и медуллы намечается лишь у новорожденных полевок. Медулла большая, занимает 2/3 органа. Кортикоциты местами ориентированы в ряды, тянущиеся вплоть до медуллы, в них отмечены ядра двух типов: большие, округлые, с просматривающейся структурой, и вдвое меньшие, плотные, неструктурированные. Среди кортикоцитов много митотирующих. Авторы отмечают, что у новорожденных полевок еще продолжается процесс вселения хромаффинобластов. В ювенильном возрасте гистоструктура органа сформирована не окончательно, хотя сегрегация на кору и медуллу уже завершена. Местами медулла вплотную подходит к капсуле. У половозрелых плоскогорных полевок структура надпочечника уже окончательно сформирована и характеризуется некоторыми видовыми особенностями – отсутствием клубочко-

вой зоны, зоны компрессии и др. По-видимому, органогенез надпочечника полевок протекает более сходно с этим процессом у крыс, нежели у мышей.

У плода человека к началу третьего месяца отмечен интенсивный рост зародышевой коры; данные по активности ферментов свидетельствуют о появлении функциональной активности. В семь-восемь недель уже отчетливо выделяются фетальная и дефинитивная кора. Дефинитивную кору формируют мелкие клетки, не имеющие четких границ; фетальная кора состоит из крупных ацидофильных клеток, размер которых почти в два раза больше, чем у клеток дефинитивной коры. С 6 по 20 неделю масса надпочечника увеличивается в 170 раз; у плода 12-13 недель их относительная масса максимальна. Увеличение массы происходит главным образом за счет фетальной коры, составляющей в этот период 87 % от массы надпочечника. В пять-шесть месяцев внутриутробного развития кора надпочечника достигает максимальных размеров, завершается дифференциация клеточных зон. Перед рождением или сразу после него фетальная кора подвергается инволюции, исчезая к концу первого года жизни или позже. Этот процесс сопровождается сильными кровоизлияниями (так называемыми экстравазатами) и некрозами. Параллельно с инволюцией фетальной коры в течение первого года жизни происходит морфологическая перестройка коры, заключающаяся в изменении зональной структуры. Наибольшего развития достигает пучковая зона, из клеток наружных отделов формируется клубочковая зона. Сетчатая зона отчетливо выявляется с трехлетнего возраста. Окончательно кортикальная зональность в надпочечнике человека формируется лишь в половозрелом возрасте [3, 23].

Развитие надпочечников у млекопитающих обладает заметными видовыми различиями. Так, у парнокопытных фетальная кора подвергается обратному развитию еще в первой половине пренатального онтогенеза; часть фетальной коры участвует в становлении пучково-сетчатой зоны дефинитивной коры, что связано с развитием в аденогипофизе базофильных клеток – аденокортикотропоцитов, и, вероятно, их тропным влиянием на профизорные и дефинитивные элементы коры надпочечника [1]. Наличие фетальной коры у грызунов трактуется в литературе неоднозначно – у одних и тех же видов некоторые авторы подтверждают ее наличие, некоторые – опровергают [5]. В надпочечнике некоторых грызунов существуют зоны, сходные с фетальной корой. Так, у мышей Х-зона формируется на 10-е сутки после рождения у самок и самцов; у последних она достигает максимального развития в возрасте трех недель и дегенерирует по мере достижения самцами половой зрелости – к пятой-шестой неделе. У самок Х-зона исчезает лишь после первой беременности [21]. Следует подчеркнуть, что у животных инволюция фетальной коры не сопровождается массовыми некрозами и экстравазатами, как в надпочечнике человека [5, 10].

Стероидная регуляция в эволюционном аспекте является весьма древним механизмом: стероидная



функция появилась в эволюции животных 2.5 млрд лет назад. Вероятно, на первых этапах стероиды выполняли роль феромонов (и эта роль до настоящего времени сохранилась у некоторых видов); в последующем эти вещества каким-то образом включились в организм животных [11]. Стериновая молекула, по выражению В.Б. Розена, представляет собой идеальный биоорганический каркас для расположения на нем различных функциональных групп и радикалов, определенное сочетание и топография которых обуславливают формирование большого числа природных, в том числе и гормональной, активностей различного типа [12].

В клетках коры надпочечника продуцируется целый спектр жизненно необходимых гормонов – кортикостероидов, которые состоят из 21 углеродного атома и являются производными прегнана и аллопрегнана. К настоящему времени известно около 100 таких соединений, однако лишь немногие из них биологически активны; их можно разделить на четыре группы: минералокортикоиды, глюкокортикоиды, андрогены и эстрогены [2]. Гормоны разных типов синтезируются в клетках разных зон коры надпочечника: минералокортикоиды – в клубочковой, глюкокортикоиды – в пучковой, а половые стероиды – в сетчатой. Впрочем, данные последних лет позволяют считать, что клетки разных зон коры в функциональном отношении различаются скорее относительно, чем абсолютно; клетки разных зон продуцируют все типы гормонов в различных пропорциях, а не какой-либо единственный стероид [17].

Биосинтез стероидов идет главным образом в надпочечниках, половых железах и плаценте. Стероидогенез состоит в метаболических превращениях молекулы холестерина, которые определяются включением атома кислорода в различные положения, в ступенчатом отщеплении боковой цепи и углеродного атома C-19, а также в гидрировании и дегидрировании (рис. 2). Превращение холестерина в гормональноактивное соединение включает две стадии. Первая – образование  $\Delta^5$ -3-оксистероида (прегненолона), который еще не является гормональноактивным. Вторая стадия состоит в окислении  $\Delta^5$ -3-оксистероида в  $\Delta^4$ -3-кетостероид, или прогестерон – ключевой промежуточный продукт для всех типов стероидных гормонов. Кортикостероиды образуются благодаря гидроксированию молекул прогестерона и прегненолона по 21, 17 и 11-му углеродному атому. Деление кортикостероидов по физиологическому действию на глюкокортикоиды и минералокортикоиды не является строгим: например, кортикостерон занимает в известном смысле промежуточное положение, так как являясь глюкокортикоидом, он обладает и минералокортикоидными свойствами [15].

Основная роль кортикостероидов состоит в регуляции обменных процессов. Попадая в кровь, гормоны избирательно накапливаются в клетках органов-мишеней, где заложены рецепторы – кислые белки, обладающие высоким химическим сродством и ограниченной емкостью к данному стероиду. Рецепторы к кортикостероидам обнаружены во многих тканях: печени, вилочковой железе (тимусе), мышцах, сердце, почках, легких, молочной железе, плаценте, желудке и поджелудочной железе, жировой ткани, фибробластах, семенниках, центральной и периферической нервной системе. Переход гормонов внутрь клетки является диффузным процессом, который зависит от концентрации свободных гормонов во внеклеточной жидкости. Однако существует точка зрения о наличии в клеточной мембране транспортной системы для глюкокортикоидов, обеспечивающей более быстрое, по сравнению с диффузным, проникновение гормонов внутрь клетки. Влияние кортикостероидов на синтез белка и нуклеиновых кислот является одним из основных механизмов, определяющих широкий диапазон эффектов этих гормонов в организме. Тем не менее существуют и экстраядерные воздействия кортикостероидов, которые определяются влиянием на структуру и функцию мембраны клетки и внутриклеточных мембран [13, 14].

Биологически активными минералокортикоидами в порядке убывания активности являются альдостерон, дезоксикортикостерон, 18-оксикортикостерон и 18-оксидезоксикортикостерон. Альдостерон способствует задержке в организме натрия и воды, стимулирует выделение калия, а также оказывает слабое глюкокортикоидное действие. Одно из важнейших условий жизни животных на суше – сохранение в тканях их организма строго определенного количества воды. Границы допустимых изменений концентраций жидкостей тела очень узки, поэтому

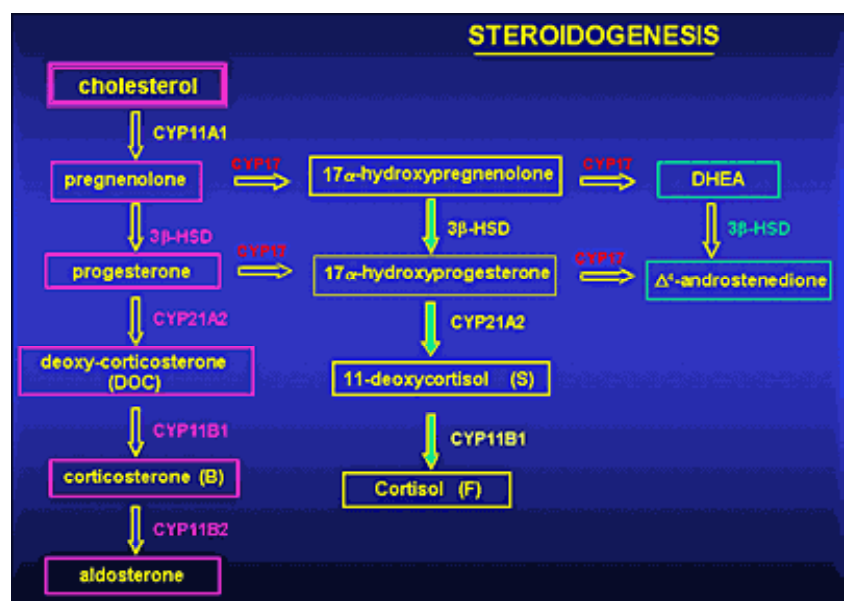


Рис. 2. Пути синтеза кортикостероидов [18]: 17 $\alpha$ -гидроксилаза/17,20-лиаза (CYP17), 3 $\beta$ -гидроксистероид-дегидрогеназа (3 $\beta$ -HSD), 21-гидроксилаза (CYP21A2), 11 $\beta$ -гидроксилаза (CYP11B1), альдостерон-синтаза, кортикостерон-18-метилкортикостерон-оксидаза/лиаза (CYP11B2).

животным необходимо было выработать специальные механизмы для регуляции ионного состава и осмотического баланса. Один из таких механизмов – стероидная система регуляции водно-солевого обмена [11]. Секретируемый надпочечниками альдостерон с кровотоком достигает почек, где проникает в эпителиальные клетки дистальных отделов канальцев и связывается со специфическим цитоплазматическим рецептором. Альдостеронрецепторный комплекс затем перемещается в ядро и связывается с рецепторами, вызывая стимуляцию мРНК и синтез соответствующего белка (фермента), который и осуществляет повышенное выделение калия и задержку натрия (обмен ионов натрия на калий в дистальных отделах канальцев). Секреция альдостерона в организме контролируется следующими факторами: 1) активностью ренин-ангиотензинной системы; 2) концентрацией ионов натрия и калия в сыворотке крови; 3) уровнем АКТГ; 4) простагландинами и кинин-калликреиновой системой [2].

Синтез гормонов глюкокортикоидного ряда происходит в клетках пучковой зоны, наиболее важным из которых у человека является кортизол, у грызунов – кортикостерон. Спектр действия глюкокортикоидов (в частности, кортикостерона) очень широк. Кортизол/кортикостерон действует на белковый и углеводный обмен как стимулятор катаболизма (известно, что это действие происходит на генном уровне – включая соответствующие гены, кортикостерон стимулирует синтез белков, посредством которых осуществляется, например, превращение белка в углеводы в печени и т.п.). Далее, эти гормоны играют ключевую роль в регуляции клеточного иммунитета, оказывая угнетающее действие на тимус, селезенку и другие органы лимфатической системы. При этом кортизол/кортикостерон подавляют синтез ДНК, а следовательно, и митотическую активность; угнетая образование клеток-киллеров, плазматических клеток, а также образование антител, они оказывают выраженное иммуносупрессивное действие [2]. В сетчатой зоне продуцируются андростероиды – андрогены и эстрогены (С-18 и С-19 половые гормоны).

Характер стероидогенеза определяется ферментными системами, активность которых зависит от АКТГ. Комплексообразование АКТГ с рецептором инициирует серию последовательных реакций и активирование цАМФ-зависимой протеинкиназы, которая в свою очередь приводит к фосфорилированию белков рибосом, образованию и повышению активности ферментов (холестеринаэстеразы, P450<sub>scc</sub> или десмолазы и др.), определяющих скорость стероидогенеза. В тканях надпочечника под влиянием АКТГ отмечается повышение синтеза ДНК и РНК, увеличиваются размеры клеток, объем ядер, гипертрофируются ядрышко и пластинчатый комплекс, возрастает число липидных клеток в цитоплазме митохондрий, увеличивается гладкая эндоплазматическая сеть, т.е. структуры, ответственные за синтез кортикостероидов [2].

Гормональное функционирование надпочечника начинается еще в антенатальном периоде [1, 3].

Эмбриональная кора надпочечника играет важную роль в метаболизме и развитии эмбриона; кортикальная регуляция необходима для функциональной дифференцировки эмбриона и постнатального роста организма. Гормоны коры надпочечника в антенатальный период осуществляют много важнейших функций – влияют на тимус и гематopoэтическую ткань; являются предшественниками материнских эстрогенов (у человека); контролируют постнатальную выживаемость, отложение гликогена в печени, индукцию ферментов в фетальном головном мозге, созревание медуллярного вещества и легких [9, 23].

Известно, что на самых ранних стадиях индивидуального развития (пока еще не существуют хромфильные эндокриноциты аденогипофиза) гормональная функция эндокринных желез зародышей осуществляется относительно автономно, и лишь позднее (у разных желез в разные сроки развития и в разной степени) она подпадает под контроль тропных гормонов аденогипофиза. Гипофиз крыс уже с 18-го дня зародышевого развития секретирует АКТГ, необходимый для нормального развития функции надпочечников [9]. Стероиды, определяемые флюориметрически, начинают продуцироваться в надпочечниках плодов крыс после 12-го дня эмбрионального развития [22]. У эмбриона крысы к концу пренатального развития (21-22-й день) надпочечники синтезируют кортикостероиды из эндогенных субстратов; качественно они не отличаются от стероидов взрослых животных [19]. Надпочечник мыши полноценно функционирует уже к моменту рождения [20].

При отсутствии гипофиза надпочечники имеют очень малый размер и не влияют на органы-мишени. Избыток кортикоидов материнского происхождения оказывает угнетающее влияние на надпочечники эмбриона по механизму обратной связи и замещает их в отношении влияния на органы-мишени [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Атагимов М.З.* Морфо-функциональные основы взаимосвязи провизорных и дефинитивных структур эндокринных желез в пренатальном онтогенезе парнокопытных: Автореф. дис. ... докт. вет. наук. СПб., 1996. 38 с.
2. *Балаболкин М.И.* Эндокринология. М., 1998. 582 с.
3. *Волкова О.В., Пекарский М.П.* Эмбриогенез и возрастная гистология внутренних органов человека. М.: Медицина, 1976. 415 с.
4. *Жост А.* Эндокринология плода и развитие нормального организма // Гормональные факторы индивидуального развития. М.: Наука, 1974. С. 19-29.
5. *Кацнельсон З.С.* Проблема фетальной коры надпочечника в сравнительно гистологическом освещении // Арх. анат., гистол. эмбриол., 1972. Т. LXXII, вып. 2. С. 5-16.
6. *Кравцов М.П.* Гигантские клетки в коре развивающегося надпочечника белых крыс // Арх. анат., гистол. и эмбриол., 1968. № 1. С. 87-90.

7. Макарян С.Р., Папанян С.Б., Дадибян Н.М. Развитие надпочечника плоскочерепной полевки *Microtus guentheri* // Биол. журн. Армении, 1987. Т. 40, № 9. С. 740-742.

8. Мицкевич М.С. Некоторые проблемы развития эндокринных функций в раннем онтогенезе // Гормональные факторы индивидуального развития. М., 1974. С. 7-18.

9. Мицкевич М.С. Гормональные регуляции в онтогенезе животных. М.: Наука, 1978. 224 с.

10. Надпочечная железа (экспериментально-морфологическое исследование) / Д.Х. Хамидов, А.А. Войткевич, К.А. Зуфаров и др. Ташкент, 1966. 360 с.

11. Никитин В.Н., Нестеренко Г.А. Возрастные и эволюционные аспекты функции коры надпочечников // Усп. совр. биол., 1986. Т. 101, вып. 3. С. 398-412.

12. Розен В.Б. Основы эндокринологии. М.: Изд-во МГУ, 1994. 384 с.

13. Филаретов А.А. Принципы и механизмы регуляции гипофизарно-адренокортикальной системы. Л.: Наука, 1987. 165 с.

14. Филаретов А.А., Подвигина Т.Т., Филаретова Л.П. Адаптация как функция гипофизарно-адренокортикальной системы. СПб.: Наука, 1994. 131 с.

15. Функциональная морфология нейроэндокринной системы. Принципы и методы исследования / Т.Б. Журавлева, Р.А. Прочуханов, Г.В. Иванова и др. Л.: Наука, 1976. 200 с.

16. Development of functional zonation in the rat adrenal cortex / F. Mitani, K. Mukai, H. Miyamoto et al. // Endocrinol., 1999. Vol. 140, № 7. P. 3342-3353.

17. Differential production of adrenal steroids by purified cells of the human adrenal cortex is relative

rather absolute / L.S. Young, J. Murphy, S.N. Kelly et al. // Eur. J. Endocrinol., 2003. Vol. 148, № 1. P. 139-145.

18. Ghizzoni L., Mastorakos G., Vottero A. Adrenal androgens // Adrenal Physiol. Diseases, 2003. – (<http://www.endotext.org/adrenal/adrenal3/adrenal-frame3.htm>).

19. Milcovic K., Milcovic S. Studies of the pituitary-adrenocortical system in the fetal rat // Endocrinol., 1962. Vol. 71, № 5. P. 799-802.

20. Nyska A., Maronpot R. Adrenal gland // Pathology of the mouse. Reference and atlas / Eds. R. Maronpot, G. Boorman, B. Gaul. Vienna: Cache River Press, 1999. P. 509-536.

21. Parker K.L., Schimmer B.P. Genetics of the development and function of the adrenal cortex // Rew. Endocrine and metabolic disorders, 2001. № 2. P. 245-252.

22. Roos T.B. Steroid synthesis in embryonic and fetal rat adrenal tissue // Endocrinol., 1967. Vol. 81, № 4. P. 716-728.

23. Sadler T.W. Susceptible periods during embryogenesis of the heart and endocrine glands // Environm. Health Perspectives Suppl., 2000. Vol. 108, № S3. P. 555-561.

24. Sass B. Embryology, adrenal gland, mouse // Endocrine system / Eds. C.C. Capen, T.C. Jones, U. Mohr. Berlin-New York: Springer-Verlag, 1996. P. 381-386.

25. Shepherd S.P., Holzwarth M.A. Frog chromaffin and adrenocortical cell co-cultures: a model for the study of medullary control of corticosteroidogenesis // J. Neuroendocrinol., 1998. Vol. 10, № 7. P. 539-549. ❖



## УЧЕНЫЙ СОВЕТ



20 июня 2008 г. состоялось расширенное заседание Ученого совета Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, посвященное 90-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР, академика ВАСХНИЛ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации **Петра Петровича Вавилова**.

\* \* \*

Петр Петрович Вавилов родился 30 мая 1918 г. в г. Городище Пензенской области в многодетной семье крестьянина. После окончания школы поступил в Московскую сельскохозяйственную академию им. К.А. Тимирязева, которую успешно закончил в 1941 г. и получил специальность агронома селекционера-семеновода.

В самом начале Великой Отечественной войны П.П. Вавилов был направлен на учебу в Московскую орден Ленина артиллерийскую академию имени Ф.Э. Дзержинского. В период обучения в составе курсантской бри-

гады участвовал в обороне Москвы. После окончания академии до октября 1943 г. был начальником арттехснабжения дивизии, а затем, вплоть до демобилизации – старшим помощником начальника отдела вооружения Управления командующего артиллерией Белорусско-литовского военного округа.

Вернувшись к мирной профессии, П.П. Вавилов поступил в аспирантуру при кафедре растениеводства ТСХА и одновременно работал по совместительству ассистентом этой кафедры. Его научные интересы в это вре-

мя были связаны с поисками способов, позволяющих увеличить использование света сельскохозяйственными растениями. В 1948 г. П.П. Вавилов защитил кандидатскую диссертацию. В 1949 г. П.П. Вавилов по приглашению приезжает в г. Сыктывкар, где работает старшим научным сотрудником Северной Базы АН СССР в Коми АССР. Вскоре это учреждение получило статус Коми филиала АН СССР и П.П. Вавилов назначается ученым секретарем филиала, затем ста-



новится заместителем председателя президиума по научной работе, а с 1956 г. – председателем президиума Коми филиала АН СССР. К этому времени ему не было и сорока лет. Здесь, на Севере, во всей полноте проявились незаурядные черты его характера: выдающиеся способности ученого-организатора, научная интуиция, редкостное умение работать с людьми.

Филиал в ту пору состоял из 96 человек. Это были небольшие отделы, сектора, занимающиеся целым рядом проблем. Иногда то или иное научное направление представлялось единственным специалистом. Тем не менее, в недрах этого молодого, еще неокрепшего коллектива уже присутствовали, пусть и в зачаточной форме, все основные направления, по сути дела это был Коми научный центр в миниатюре. Необходимо было создать условия для дальнейшего наращивания научного потенциала, умело объединить разрозненные направления в самостоятельные структурные единицы. Однако задача оказалась не так проста: отсутствовали в достаточном количестве научные кадры, слаба была и материально-производственная база, негде было работать, жить. К тому же в системе Академии наук шла очередная реорганизация – закрывались не только институты, но и целые филиалы. Прекратилась деятельность Карельского филиала, та же участь могла постигнуть и Коми филиал. Судьбу его решил хорошо аргументированный доклад Петра Петровича в Москве (1959 г.). Смысл его сводился к тому, что жизнь настоятельно требовала развития и укрепления науки в огромном северном регионе страны, что растерять научный потенциал, возникший в 40-е годы по воле судьбы (война, эвакуация) в Сыктывкаре, просто недалековидно. С прозорливостью истинного ученого и масштабностью государственного руководителя П.П. Вавилов безошибочно определил основные направления научных изысканий филиала. Коми республика по степени изученности природных ресурсов во многом представляла тогда белое пятно, и было понятно решение ученых развернуть исследования природных ресурсов в целях разработки научных основ их рационального использования. Закладывался прочный фундамент академической науки на европейском Северо-Востоке. Будучи биологом, Петр Петрович в равной мере заботился о развитии в филиале геологии, археологии, химии, эко-

номики, энергетики, истории, языка и литературы коми народа.

С именем Петра Петровича Вавилова связано создание первых научно-исследовательских институтов в составе Коми филиала. Первым из них был Институт геологии, организованный в 1958 г. Ядром института стала научная школа крупнейшего геолога, первооткрывателя печорских углей, Героя Социалистического Труда, профессора Александра Александровича Чернова.

Год рождения Института биологии – 1962-й. Формирование профиля исследований здесь проходило сложнее. И все потому, что в сфере изучения биологических (воспроизводимых) ресурсов Институт биологии был единственным на европейском Северо-Востоке. Геологам в этом отношении было несколько легче: помимо академического, в республике действовали отраслевые геологические институты. Решением президиума АН СССР директором биологического института был назначен П.П. Вавилов, совмещавший эту деятельность с руководством президиумом филиала. Петр Петрович хорошо понимал, что для становления науки нужна прочная основа и приложил максимум усилий к ее созданию. Строительство производственных и жилых площадей, приобретение современных приборов и подготовка кадров через аспирантуру, обучение сотрудников иностранному языку, установление контактов с центральными научными учреждениями и отдельными выдающимися учеными – все это стало предметом его первоочередной заботы. Он смело шел поисковым путем, именно поэтому в институте возникло еще одно направление – радиобиология. Несмотря на полное отсутствие какой-либо базы для организации радиобиологических исследований, буквально на голом месте быстрыми темпами в Сыктывкаре стало формироваться новое научное направление по изучению хронического воздействия малых доз радиации на живые организмы и миграции радиоизотопов в природных условиях. Созданный радиобиологический центр развернул уникальные наблюдения, выводы из которых уже в 60-х годах получили международное признание. Необходимость создания в филиале радиозекологического направления разделялась далеко не всеми, однако благодаря решительности Петра Петровича и самоотверженности В.И. Маслова, возглавившего

эти исследования, школа выстояла и утвердила право на свое существование. Жизнь подтвердила своевременность и важность радиозекологических изысканий. Радиозекологи Сыктывкара были в числе первых, откликнувшихся на Чернобыльскую катастрофу. Будучи хорошо подготовленными к выполнению работ в зонах радиоактивного загрязнения, они быстро приступили к обследованию пораженных территорий и их обитателей.

Петр Петрович глубоко вникал в исследования всех научных коллективов Коми филиала АН СССР. Хорошо понимая необходимость изучения культурного наследия коренного народа, Петр Петрович постоянно поддерживал исследования в области коми языкознания, литературоведения, истории края. По его инициативе в Коми филиале АН СССР был выполнен ряд фундаментальных работ. Это и монографии, сыгравшие значительную роль в разработке перспектив региона: «Производительные силы Коми АССР», «Леса и лесная промышленность Коми АССР» и «Атлас Коми АССР» – гордость филиала. Впрочем, всего сделанного им не перечислишь.

Круг биологических проблем, разрабатываемых П.П. Вавиловым и под его руководством, был широк и разнообразен. При непосредственном участии П.П. Вавилова создавались научные основы северного растениеводства. По его инициативе организуется лаборатория физиологии растений, бессменным научным руководителем которой он был даже после переезда в Москву. Перед ее сотрудниками ученый ставил далеко идущую практическую задачу – выявить закономерности формирования урожая, найти те узловые факторы, воздействуя на которые можно намного поднять продуктивность культур. Проводились комплексные исследования по созданию прочной кормовой базы, рациональному использованию пахотных земель. Их результаты использовались в решении актуальных задач по специализации сельского хозяйства Коми АССР в различных биоклиматических зонах. В дальнейшем они были обобщены в работе «Вопросы повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Коми АССР» и докторском докладе «Проблемы растениеводства в Коми АССР». За развитие биологической и сельскохозяйственной науки П.П. Вавилов был удостоен почетного звания «Заслуженный деятель науки и техники Коми АССР».

В 1964 г. П.П. Вавилов успешно защитил докторскую диссертацию, и его пригласили на работу в Тимирязевскую академию на должность профессора кафедры растениеводства, которую он в дальнейшем и возглавил. На кафедре широко развернулись работы по кормовым растениям. Кафедра получила 14 авторских свидетельств на сорта свеклы, клевера, люпина, редьки масличной, борщевика, горца. Работы по интродукции кормовых культур в 1984 г. были удостоены премии Совета Министров СССР.

В 1971 г. П.П. Вавилова назначают ректором академии, при этом он остается заведующим кафедрой растениеводства, где проработал до последних дней своей жизни. Петр Петрович особое внимание обращал на проблемы кормопроизводства. Он призывал развивать исследования, направленные на создание эффективных технологий выращивания зернобобовых, выведение высокопродуктивных неосыпающихся и устойчивых к полеганию сортов. Везде и всюду он был с теми, кто выступал за лучшее использование естественных сенокосов и пастбищ, сокращение площадей низкоурожайных культур, расширение посевов высокобелковых и высокомасличных культур. Огромная работа проводилась по подготовке учебников и учебных пособий. За сравнительно

короткое время на кафедре были защищены 60 кандидатских и пять докторских диссертаций. Особенно плодотворной была деятельность П.П. Вавилова на посту ректора академии. Талантливый руководитель, крупный организатор учебного и научного процессов, он смело брался за решение труднейших проблем и всегда находил выход из положения. Энергия поиска составляла смысл жизни этого человека. Иным он его не представлял, да и не хотел представлять. Благодаря титаническим усилиям Петра Петровича были возведены крупные объекты академии – спортивный комплекс, центральная научная библиотека, общежитие.

Решением коллегии Министерства сельского хозяйства СССР академия приняла статус головного учебно-научного центра. За годы работы П.П. Вавилова она подготовила свыше 1000 кандидатов и около 100 докторов наук. В 1976 г. на базе академии создается Высшая школа управления сельским хозяйством для повышения квалификации руководящих кадров села. Параллельно с научной и административной деятельностью П.П. Вавилов вел большую общественную работу: был депутатом Моссовета, председателем экспертного совета Высшей аттестационной комиссии. В знак признания научного авторитета и

весомого вклада в науку в 1972 г. он избирается членом-корреспондентом, а в 1973 г. – академиком ВАСХНИЛ. За заслуги в развитии биологической и сельскохозяйственной науки в 1976 г. ему было присвоено почетное звание Заслуженного деятеля науки РСФСР.

В 1978 г. П.П. Вавилов общим собранием действительных членов ВАСХНИЛ единогласно избирается ее президентом. За время пребывания на этом посту (1978-1983 гг.) он осуществил ряд крупных научных мероприятий по усилению деятельности академии на магистральных направлениях сельскохозяйственной науки. В итоге активизировались фундаментальные исследования по важнейшим вопросам растениеводства и животноводства, повысился теоретический уровень научных разработок.

До конца жизни Петр Петрович считал, что по-прежнему нерешенной остается проблема северного растениеводства. Поэтому П.П. Вавилов никогда не прерывал научных связей с Коми филиалом АН СССР, Институтом биологии, оказывая постоянную помощь в повышении научной квалификации сотрудников, планировании, организации и проведении крупных биологических исследований.

Современный Коми научный центр УрО РАН – преемник Коми филиала АН СССР – достойный памятник Петру Петровичу Вавилову.

## ИНТРОДУКЦИЯ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

к.б.н. Г. Зайнуллина

Наш ученый совет посвящен памяти одного из видных ученых-биологов члена-корреспондента АН СССР, академика ВАСХНИЛ Петра Петровича Вавилова. Исследования П.П. Вавилова в растениеводстве, интродукции, радиобиологии, полиплоидии и гетерозисе снискали ему заслуженное уважение и признание в научном мире.

П.П. Вавилов приехал в Сыктывкар в 1949 г. Именно тогда научно-исследовательская База АН СССР в Коми АССР была преобразована в Коми филиал АН СССР, его пригласили на должность старшего научного сотрудника, а с 1956 г. он уже становится председателем президиума Коми филиала АН СССР. С прозорливостью истинного ученого и с масштабностью государственного руководителя П.П. Вавилов безошибочно определил основные направления научных изысканий филиала. Коми Республика по степени изученности природных ресурсов во многом представляла тогда белое пятно, и было понятно решение – развернуть исследования природных ресурсов в целях разработки научных основ их рационального использования.

В 1962 г. – год рождения Института биологии – П.П. Вавилов назначен его директором, он совмещал эту должность с руководством Президиума филиала. Круг биологических проблем, разрабатываемых П.П. Вавиловым, был широк и разнообразен. Особое внимание П.П. Вавилов обращал на проблемы кормопроизводства. Он призывал развивать исследования, направленные на создание эффективных технологий выращивания зернобобовых, выведение высокопродуктивных неосыпающихся и устойчивых к полеганию сортов. Везде и всюду он был с теми, кто выступал за лучшее использование естественных сенокосов и пастбищ, сокращение площадей низкоурожайных культур, расширение посевов высокобелковых и высокомасличных культур. Самый реальный путь быстрого решения белковой проблемы он видел в увеличении посевов гороха и многолетних бобовых трав. Под его руководством проводились комплексные исследования по созданию прочной кормовой базы, рациональному использованию пахотных земель. Их результаты использовались в решении актуальных задач по

специализации сельского хозяйства Коми АССР в различных биоклиматических зонах. В дальнейшем они были обобщены в работе «Вопросы повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Коми АССР» и докторском докладе «Проблемы растениеводства в Коми АССР».

Говоря о перспективах сельского хозяйства в Коми республике, Петр Петрович всегда подчеркивал, что первейшее значение для его стабильного развития имеет кормопроизводство. В объекты изучения он старался включить культуры, с помощью которых можно создать прочную кормовую базу. Со временем ученый пришел к выводу, что природный потенциал таежного края республики используется в полевом кормопроизводстве не полностью и что можно подобрать такие культуры, которые бы в наших биоклиматических условиях давали более высокие урожаи. Так начались долгие исследования по интродукции кормовых растений. Эти работы выполнялись совместно с Константином Алексеевичем Моисеевым и другими сотрудниками на базе Выльгортской научно-экспериментальной биологической станции. С помощью Всесоюзного института растениеводства привлекался посевной и посадочный материал флоры Кавказа, Средней Азии, Дальнего Востока, а также зарубежных стран. Из многих десятков испытываемых видов отбирались наиболее продуктивные, наиболее пластичные и поддающиеся акклиматизации. Но этого было мало – требовались формы, завершающие цикл развития и дающие полноценные семена в условиях Севера.

На основании исследований Петр Петрович сделал важный практический вывод: поскольку в условиях Севера доля вегетативных органов в урожае всех культур увеличивается, то специализация растениеводства должна ориентироваться на возделывание растений, у которых используются главным образом вегетативные органы (картофель, овощи, корнеплоды, силосные растения, однолетние и многолетние травы). В частности, на основании многолетних исследований, проведенных Институтом биологии Коми филиала АН СССР по изучению особенностей роста и плодоношения новых силосных растений, Петром Петровичем Вавиловым с сотрудниками были выявлены следующие перспективные растения:

- все виды малъв (м. мелюка, м. курчавая, м. мутовчатая), которые являются высокоурожайными, холодоустойчивыми, отзывчивыми на удобрения растениями, обладающими хорошей отавностью, значительным содержанием белка в надземной массе и высокой семенной продуктивностью;

- редька масличная и горчица белая отличаются малой требовательностью к теплу и быстрым нарастанием надземной массы. Через 35-42 дня после появления всходов они накапливают урожай зеленой массы до 300 и более ц/га. Перспективными эти растения являются и как парозанимающие и поукосные культуры. Они обладают высоким коэффициентом размножения;

- гречиха Вейриха, окопник шершавый, борщевик Сосновского, маралий корень и вайда красильная в центральных и южных районах республики являются рановегетирующими растениями, накапливающие к 10-15 июня урожай зеленой массы до 300-350 ц/га. Эти виды растений отличаются также значительной устойчивостью к весенним и осенним понижениям температуры, хорошей отавностью (окопник, гречиха Вейриха), что позволяет использовать их в зеленом конвейере и для приготовления комбисилосов;

- значительным долголетием, большим коэффициентом размножения характеризуется топинамбур (гибрид подсолнечника и топинамбура). Урожайность зеленой массы этого вида в течение ряда лет испытаний не была ниже 300 ц/га.

За успешное внедрение новых кормовых растений группе сотрудников во главе с П.П. Вавиловым была присуждена премия Совета министров СССР за 1984 г. В 1963 г. выходит в свет монографическая сводка «Новые перспективные растения в Коми АССР (Итоги опытных работ)», в которой авторы П.П. Вавилов, К.А. Моисеев, Е.С. Болотова и В.А. Космортов подвели итоги за десять лет опытных работ с новыми видами растений в условиях Севера, а также привели сведения о биологии и химическом составе надземной массы и возможности использования этих растений на корм скоту.

Несмотря на то, что в 1965 г. П.П. Вавилов переехал в Москву и стал работать в Тимирязевской академии, он продолжал курировать работы по интродукции кормовых растений, проводимые в Институте биологии. Координирующим началом всех исследований по кормовым растениям были симпозиумы, которые проводились через каждые два-три года в различных городах СССР. Руководство этими совещаниями осуществляли доктор наук П.П. Вавилов, В.С. Соколов, К.А. Моисеев и Н.В. Смольский. В 1965 г. в Сыктывкаре под руководством П.П. Вавилова прошел III симпозиум по новым кормовым растениям. Активное участие в этом совещании приняли и сотрудники Коми филиала АН СССР. Достаточно сказать, что 18 из 71 научного доклада представили сотрудники Института биологии. Посвящены они были самым различным вопросам интродукции кормовых растений. Участники симпозиума отмечали, что научные исследования по новым силосным растениям, проводимые в Коми филиале АН СССР, заслуживают всесоюзного признания. В Сыктывкаре (1990, 1993 и 1999 гг.) были также проведены VII-IX симпозиумы по новым кормовым растениям.

Таким образом, в результате многолетних исследований сельскому хозяйству России и республики рекомендованы для широкого испытания и выращивания около 50 видов кормовых растений, имеющих в основном силосное назначение, разработана агротехника для 18 видов и получены пять сортов кормовых растений. Расширение ассортимента кормовых видов дает возможность полнее удовлетворять потребности животных в высококачественном корме. В условиях европейского Северо-Восто-

ка очень остро стоит проблема белка в кормах, что отрицательно сказывается на продуктивности животных, приводит к перерасходу кормов на единицу животноводческой продукции.

Многолетнее изучение галеги восточной – высокобелковой культуры – позволили сотрудникам ботанического сада Института биологии вывести сорт галеги «Еля-ты», который характеризуется хорошей адаптивностью к условиям Севера и возможностью получать в течение вегетационного периода два укоса зеленой массы. Семена сорта пользуются спросом.

Большим спросом пользуется также сорт топинамбура «Вьльгортский», выведенный нашими сотрудниками. Благодаря высокому коэффициенту размножения клубней (в среднем 1:10) и технологичности топинамбура может возделываться на больших производственных площадях. Опыт имеется в совхозах Республики Коми (в частности, совхозе «Зеленецкий» Сыктывдинского района). Существенным моментом характеристики топинамбура является оценка продуктивности клубней как посадочного материала для размножения и корма для животных. В условиях длинного светового дня и пониженных температур у топинамбура доминантным

становится накопление вегетативной массы по отношению к выходу клубней в сравнении с возделыванием на юге России, где это соотношение составляет 40:60. В наших опытах соотношение надземной массы и клубней в посадках первого года жизни составило 65:35.

Пользуются спросом и семена горца Вейриха сорта «Сыктывкарец», растения которого дают до 40-80 т/га надземной массы. Коллекция горца является собой генетический потенциал как перспективных кормовых растений, так и оригинально-декоративных. Интродукция серпухи венценосной оказалась успешной, разработанные приемы выращивания позволяют получать значительные объемы биомассы на производственных площадях. Практически за 20 лет исследований выведен сорт данного растения, материалы оформляются. В настоящее время сохраняется интродукционная популяция рапонтикума сафлоровидного, полученная в результате многолетнего отбора, устойчивая, адаптированная к местным агро- и метеоусловиям.

Обобщая, можно отметить, что в результате многолетнего коллекционного изучения выделились перспективные систематические группы растений: семейства сельдерейных, гречишных, астровых, капустных, бобовых и злаковых.

## РОЛЬ П.П. ВАВИЛОВА В РАЗВИТИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СЕВЕРЕ

д.б.н. Г. Табаленкова

Начало физиолого-биохимическим исследованиям растений в Республике Коми было положено в годы войны, когда в г. Сыктывкар были переведены Кольская и Северная базы Академии наук СССР. Необходимость таких исследований диктовалась, в первую очередь, нуждами народного хозяйства, потребностью в новых видах растительного сырья для развития пищевой промышленности на Севере. Намечалось изучение физиолого-биохимических основ возделывания ряда сельскохозяйственных культур, а также хранения и переработки растениеводческой продукции. В 1941-1942 гг. группой по изучению состава растительного сырья руководил доктор биологических наук, профессор, позже академик РАН А.Л. Курсанов. В эти годы им была разработана и передана для практического использования технология получения витаминных чаев из земляничных листьев, экстракта из шиповника, патоки из свеклы и картофеля. Проведены исследования и даны рекомендации по хранению картофеля: А.Л. Курсанов на долгие годы сохранил интерес к вопросам жизнедеятельности растений на Севере. После войны была организована лаборатория биохимии и

физиологии растений, которая вошла в состав сектора «Растительные ресурсы». Были проведены исследования биохимии клубней картофеля, изучены и рекомендованы для выращивания в условиях Крайнего Севера наиболее продуктивные сорта картофеля, разработаны вопросы хранения овощей

С именем П.П. Вавилова связана организация систематических исследований по физиологии продуктивности культурных растений. По его инициативе уже в ранге председателя президиума Коми филиала АН СССР в 1962 г. была создана как самостоятельное подразделение лаборатория физиологии растений в составе организованного в том же году Института биологии Коми филиала АН СССР. Первоначально перед лабораторией были поставлены задачи изучения физиолого-биохимических основ продуктивности культурных растений на Севере. Актуальность решения проблем развития растениеводства в условиях холодного климата на многие годы предопределила научные интересы коллектива сотрудников лаборатории.

При непосредственном участии П.П. Вавилова создавались научные

основы северного растениеводства. Для решения не только теоретической, но и далеко идущей практической задачи – выявить закономерности формирования урожая, найти те узловые факторы, воздействуя на которые можно намного поднять продуктивность культур, сотрудники лаборатории Е.С. Болотова, В.М. Швецова, А.М. Швецова, Л.К. Грунина, Р.А. Рощевская, Н.В. Чебыкина, С.В. Куренкова активно включились в исследования по программе «Теория фотосинтетической продуктивности». Особое внимание на всех этапах уделялось изучению фотосинтетической деятельности как основы формирования урожая.

Вместе со своими помощниками Петр Петрович организовал тщательные микроклиматические наблюдения за посевами с различной густотой стояния и расположения растений по площади. Оказалось, что в условиях Севера даже малейшее улучшение микроклиматических факторов в посевах ведет к увеличению продуктивности растений. Урожай становился более высоким в том случае, когда ряды располагались поперек направления господствующих ветров. Были заложены опыты по выявлению оптимальной густоты стояния растений в посевах.

Стали вырисовываться первые итоги изучения закономерностей формирования листовой поверхности, интенсивности фотосинтеза, специфики использования влаги растениями в наших природных условиях. Группой молодых физиологов проводились исследования влияния климатических условий Севера на протекание обменных процессов. Развернулись работы по изучению пигментного комплекса растений (С.В. Куренкова) и минерального питания (Р.А. Роцевская), водного режима (А.М. Швецова). Первые на Севере данные о развитии корневых систем и дыхании почв были получены Н.В. Чебыкиной.

Будучи высокопрофессиональным и разносторонне образованным ученым-биологом, Петр Петрович хорошо осознавал, что познание физиологических реакций культурных растений на Севере может оказаться весьма полезным не только теоретически для понимания процессов формирования продуктивности, но и для разработки общей стратегии растениеводства в условиях холодного климата. Эти исследования с самого начала носили комплексный характер, так как формирование продуктивности представляет собой сложную и интегрированную функцию растений, основу которой составляют генетически детерминированные процессы роста. Чтобы эффективно управлять формированием урожая, необходимо глубокое понимание функционирования систем, определяющих продуктивность, их внутреннюю регуляцию и зависимость от факторов среды.

П.П. Вавилова интересовало как в условиях короткого периода вегетации, длинного светового дня и пониженной температуры в начале лета получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Оказалось, что на Севере бывают периоды, когда интенсивность фотосинтеза и его продуктивность, независимо от происхождения растений, могут достигать величин, близких к максимальным. Длинный световой день в сочетании с почти бесперебойным водоснабжением и при наличии умеренных температур приводит к формированию большого листового аппарата и активному поглощению растениями энергии Солнца, что при условии обеспеченности минеральными элементами дает весьма высокие выходы органической массы. В лаборатории были проведены

комплексные исследования закономерностей фотосинтетической продуктивности, выявлены количественные взаимосвязи между поступлением солнечной радиации на поверхность фитоценозов, формированием и продуктивностью работы фотосинтетического аппарата. Получены оригинальные данные о характере распределения листовой поверхности по вертикальному градиенту агроценозов, чистой продуктивности фотосинтеза и коэффициентах хозяйственной продуктивности кормовых трав, новых силосных растений, картофеля, овощей и зерновых злаках. Исследованы закономерности роста в связи с условиями минерального питания и густотой стояния растений.

В этот же период под руководством П.П. Вавилова развернулись комплексные исследования по созданию прочной кормовой базы с использованием новых силосных растений. Их результаты использовались в решении актуальных задач по специализации сельского хозяйства Коми АССР в различных биоклиматических зонах.

В своем докладе при защите докторской диссертации в 1964 г. П.П. Вавиловым было показано, что не самый длинный день, а высокая интенсивность фотосинтеза и повышенный коэффициент хозяйственной эффективности позволяют некоторым культурным растениям в короткий период в условиях Севера накапливать высокие урожаи. На основании этих исследований Петр Петрович сделал важный практический вывод: поскольку в условиях Севера доля вегетативных органов в урожае всех культур увеличивается, то специализация растениеводства должна ориентироваться на возделывание растений, у которых используются главным образом вегетативные органы (картофель, овощи, корнеплоды, силосные растения, однолетние и многолетние травы).

После отъезда П.П. Вавилова в Москву лабораторию возглавила В.М. Швецова, затем Т.К. Головки. Сотрудники лаборатории продолжали систематические исследования по физиологии продуктивности сельскохозяйственных культур. Были проведены физиолого-биохимические исследования практически всех основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в условиях Севера.

На основании многолетних исследований были установлены основные

физиологические реакции культурных растений в условиях холодного климата. Из этих выводов следует, что оптимизированные к условиям Севера культуры должны отличаться мощным фотосинтетическим аппаратом и быстрым ростом листовой поверхности, более ранним переходом к формированию репродуктивных и запасающих органов, усиленным распределением в них ассимилятов. В определенной степени оптимизации перечисленных параметров можно достичь и методами агротехнологии, включая нетрадиционные элементы управления ростом и развитием (например, регуляторы роста).

Наряду с сельскохозяйственными культурами сотрудники лаборатории всегда работали с растениями природной флоры. Это были экспедиции в Воркутинский и Усть-Цилемский районы, экспедиции В.М. Швецовой на полуостров Таймыр и группы С.К. Назарова в Большеземельскую тундру. И в настоящее время лаборатория продолжает эти работы. Среди последних экспедиций – это Приполярный Урал, Кольский полуостров, средний Тиман. Результаты экспедиций позволили сформулировать несколько аспектов, характерных для растений, произрастающих в условиях холодного климата. В коллективе лаборатории всегда бережно относились к молодым сотрудникам. Выросло новое поколение хорошо образованных, честолюбивых в хорошем смысле этого слова специалистов, на которых возлагаются большие надежды.

Как я уже сказала, лаборатория была организована вместе с Институтом биологии. В 2007 г. нам, как и Институту исполнилось 45 лет. Хороший возраст – продуктивный. Нам есть чем гордиться. Высокий уровень физиологических исследований в лаборатории подтверждает тот факт, что летом прошлого года нам доверили проведение VI съезда физиологов России, на котором присутствовали более 300 ученых из России и зарубежья. Физиология – экспериментальная наука, раскрывающая закономерности фундаментальных процессов жизнедеятельности, физиология растений создает теоретическую базу растениеводства, позволяет разработать приемы повышения продуктивности и оптимизации продукционного процесса. Дело, начатое П.П. Вавиловым в далекие 60-е годы, успешно продолжается.