



PARUS

ВЕСТНИК

Института биологии
Коми НЦ УрО РАН

Издается
с 1996 г.

№ 10 (108)

В н о м е р е

СТАТЬИ

- 2 Половой диморфизм продолжительности жизни у *Drosophila melanogaster*.
М. Шапошников, А. Москалев
- 6 Зоопланктон и мейобентические ракообразные Харбейских озер. **Е. Фефилова**
- 11 Действие нитрата ртути (II) на рост и развитие проростков ячменя, выращенных на гидропонике. **С. Скугорева**

СООБЩЕНИЯ

- 14 Устойчивость многолетних агроценозов – основа растениеводства на Крайнем Севере.
И. Арчегова, А. Панюков
- 16 Альгогруппировки лесных фитоценозов в условиях антропогенного воздействия.
И. Новаковская, Е. Патова
- 20 Экзогенные эндистероиды влияют на плодовитость имаго египетской хлопковой совки.
К. Уфимцев
- 23 Закономерности накопления мышьяка в почвах северной тайги Республики Коми.
А. Низовцев, Б. Кондратенок, В. Безносиков, О. Шевченко

МЕТОДИКА

- 25 Погрешности оценки коэффициента градуировочной функции при анализе различных объектов на валовое содержание азота и углерода методом газовой хроматографии.
А. Естафьева, Е. Ванчикова

ИСТОРИЯ

- 29 Добыча радия на Водном промысле. **А. Иевлев**
Комментарий А. Кичигина, специалиста Института биологии

Главный редактор: к.б.н. А.И. Таскаев

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

Ответственный секретарь: И.В. Рапота

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

ПОЛОВОЙ ДИМОРФИЗМ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ У *DROSOPHILA MELANOGASTER*



к.б.н. **М. Шапошников**
с.н.с. отдела радиозологии
E-mail: shaposhnikov@ib.komisc.ru
тел. (8212) 43 06 50

Научные интересы: *генетические эффекты малых доз радиации, генетическая нестабильность*



д.б.н. **А. Москалев**
в.н.с. этого же отдела
E-mail: amoskalev@ib.komisc.ru
тел. (8212) 43 06 50

Научные интересы: *радиационная генетика, геронтология, апоптоз, дрозофила*

В современной геронтологии взаимосвязь продолжительности жизни и репродукции рассматривается с позиций:

- ограниченная продолжительность жизни – это прямая цена за репродукцию, отвод ограниченных ресурсов (белков, липидов, энергии) от соматического роста и поддержания жизнеспособности [20];
- продолжительность жизни модифицируется молекулярными сигналами, продуцируемыми гонадами.

Первая точка зрения, известная как теория распределенной сомы, «disposable soma theory» [12], предполагает увеличение продолжительности жизни при снижении репродуктивной активности. В природных популяциях имеет место баланс между поддержанием жизнеспособности и размножением. С эволюционной точки зрения бесполезно расходовать слишком много энергии на поддержание сомы, если шансы прожить долго невелики. В таких условиях более адекватным решением является быстрое размножение. Когда жизненные условия улучшаются и соответственно возрастает шанс более длительного существования, полезно будет переключить баланс в пользу поддержания жизнеспособности, поскольку в таком случае репродуктивная жизнь увеличится. В результате темп старения снижается. Когда условия жизни ухудшаются, наступает время инвестиций в быстрое размножение, что приводит к возрастанию темпов старения [16].

В 90-х годах XX в. появились экспериментальные данные, указывающие на молекулярные механизмы участия герминативных клеток в формировании потенциала продолжительности жизни. Вскрылись факты, свидетельствующие, что потеря сперматогенеза круглыми червями *Caenorhabditis elegans* увеличивает продолжительность жизни на 65 % [27]. Затем группа д-ра Кеньон выявила, что когда удаляют предшественники половых клеток у нематод, продолжительность жизни существенно возрастает. Как оказалось – это не результат стерильности, поскольку удаление репродуктивной системы целиком (герминативной линии и соматических гонад) не влияет на продолжительность жизни нематод. Проллиферирующие половые клетки выделяют липофильный гормон, изменяющий продолжительность жизни посредством своего ядерного рецептора DAF-12 и связанного с ним транскрипционного фактора DAF-16/FOXO, известного

как эффектор задействованного в старении инсулин/IGF-1 сигнального механизма [7, 20]. Эффекторным органом действия липофильного гормона, продуцируемого половыми клетками, является кишечник [3]. Кроме того, эффект увеличения продолжительности жизни при удалении половых клеток опосредован DAF-9, кодирующим цитохром P450, влияющий на синтез липофильного гормона [2]. Однако обнаружить подобный эффект увеличения продолжительности жизни у мутантов дрозофила по генам *germ cell-less* и *tudor*, отвечающим за пролиферацию герминативных клеток, не удалось [18].

Не менее важной задачей является выяснение причин полового диморфизма продолжительности жизни. У многих видов животных самцы обычно живут меньше самок [25].

Drosophila melanogaster, на наш взгляд, является удобным объектом исследования молекулярных механизмов старения и, в частности, полового диморфизма продолжительности жизни и роли половых клеток в старении. Расшифровка генома человека и дрозофила показала, что около 80 % генов дрозофила гомологичны генам человека [19], а кривые выживаемости этих двух объектов, выраженные в безразмерных величинах, совпадают [1]. Дрозофила имеет два пола – XO самцы и XX самки, тогда как особи *Caenorhabditis elegans* могут быть как самцами, так и гермафродитами. Самцы дрозофила живут меньше, чем самки, как и у человека.

В 70-х годах прошлого века у дрозофила стало известно явление гибридного дисгенеза [10]. Синдром гибридного дисгенеза (СГД) представляет совокупность генетических нарушений, включающих высокий уровень мутаций, рекомбинацию у самцов, а также особый вид температурно-зависимой стерильности, обусловленной недоразвитием гонад [8, 10, 22]. Дисгенные нарушения в основном обусловлены транспозициями некоторых классов мобильных генетических элементов (МГЭ) в развивающихся зародышевых клетках и наблюдаются у потомков первого поколения при скрещивании самцов, имеющих МГЭ в геноме, с самками без МГЭ. В реципрокных скрещиваниях СГД отсутствует [5, 26]. К настоящему времени описаны три независимые системы гибридного дисгенеза – I-R, P-M и H-E, связанные с активностью мобильных элементов *I*, *P* и *hobo* [8]. Наиболее изученной является P-M система гибридного дисгенеза. Установлено, что стериль-

ность является следствием гибели клеток зародышевой линии на ранних стадиях развития [17]. Первые признаки гибели полярных клеток появляются до начала их деления, при миграции в мезодерму гонад у 5–6-часовых эмбрионов. Однако максимальный уровень некроза клеток наблюдается на первой личиночной стадии развития, когда зародышевые клетки испытывают экспоненциальную митотическую пролиферацию [17]. Следствием этого является отсутствие половых клеток в яичниках и семенниках и общее недоразвитие их у взрослых гибридных самок и самцов. Гибриды могут быть полностью стерильны, если редуцированы обе железы, и частично фертильны, если атрофирован один семенник или яичник [10]. Не атрофированные гонады у дисгенных гибридов часто отстают в своем развитии и содержат меньшее число яиц или сперматоцитов по сравнению с недисгенными особями [22]. Степень выраженности атрофии гонад сильно зависит от температуры, при которой идет развитие гибридов. В отношении Р-М системы атрофия наиболее значительна при 29 °С у самок и 27 °С у самцов, а при 24 °С и ниже практически отсутствует [5, 10]. Гибель клеток зародышевой линии, прежде всего, обусловлена разрывами хромосом, образующимися при транспозициях Р-элемента [4]. Ограничение активности Р-элемента только клетками зародышевой линии является следствием регулируемого сплайсинга мРНК [15]. В зародышевых клетках сплайсируются три интрона транспозазы, что ведет к образованию фермента, необходимого для перемещения Р-элемента. В соматических тканях третий интрон не удаляется и, вследствие присутствия в этом интроне стоп-кодона, образуется усеченный белок, который действует как репрессор [21]. Тканеспецифичный сплайсинг является следствием действия соматических факторов, ингибирующих сплайсинг третьего интрона [24].

Использование синдрома гибридного дисгенеза в экспериментальном исследовании полового диморфизма продолжительности жизни и роли половых клеток в старении дает ряд методических преимуществ, поскольку позволяет получать в реципрокных скрещиваниях стерильных и плодовитых особей, обладающих одинаковым генотипом и желаемым набором генов.

Материалы и методы

Линии *Drosophila melanogaster*

В экспериментах использовали линии, полученные из коллекции дрозофилиного Центра в Блумингтоне (Университет штата Индиана, Блумингтон, США):

Harwich – стандартная Р-линия дикого типа, которая характеризуется сильным потенциалом индукции гонадной стерильности при скрещивании самок этой линии с самками М-линий [11];

Canton-S – лабораторная линия дикого типа, известная как М-линия [11].

Анализ продолжительности жизни

Продолжительность жизни анализировали у самок и самцов, потомков F1 межлинейных скрещи-

ваний мух линий *Canton-S* и *Harwich*. Для скрещиваний брали по 20–25 пар мух на 50 мл баночку и получали суточную кладку. Для анализа продолжительности жизни отбирали однодневных особей F₁. В баночки емкостью 100 мл сажали по 50 однополых особей. Один раз в неделю мух пересаживали на свежую дрожжевую среду без наркотизации. У молодых самок среду меняли чаще, около двух раз в неделю, не допуская ее размягчения появляющимися личинками. Подсчет умерших мух осуществляли ежедневно, в одно и то же время, за исключением субботы и воскресенья. Оценку продолжительности жизни производили в четырех независимых вариантах эксперимента, величина анализируемой выборки для каждого варианта составляла 250–350 особей каждого пола.

Функции дожития оценивали с помощью процедуры Каплана-Мейера. При сравнении функций дожития использовали непараметрические методы (критерии Гехана-Вилкоксона и Ментеля-Кокса). Дополнительно оценивали максимальную продолжительность жизни, время 90 %-ной гибели и время удвоения интенсивности смертности (MRDT). Для обработки полученных результатов были использованы программы Winmodest и Statistica 6.0.

Индукция гонадной стерильности

Гибель клеток зародышевой линии, ведущая к недоразвитию гонад и стерильности, является характерным признаком Р-М гибридного дисгенеза у *Drosophila melanogaster* [10]. Она наблюдается у потомков F₁ скрещиваний М-самок с Р-самцами и отсутствует в реципрокных скрещиваниях [10]. С целью получения мух с одинаковым генотипом, но различающихся по наличию половых клеток, ставили прямые (М-самки с Р-самцами) и обратные (Р-самки с М-самцами) скрещивания. В качестве Р-линии использовали *Harwich*, а в качестве М-линии – *Canton-S*. Все скрещивания ставили одновременно, в четырех независимых вариантах эксперимента.

Уровень дисгенной стерильности является температурозависимым показателем и достигает максимума при повышении температуры выше 25 °С. Однако, чтобы избежать влияния повышенной температуры на продолжительность жизни скрещивания ставили при 25 °С. Уровень стерильности оценивали по тесту на атрофию гонад [22]. Недоразвитие гонад является следствием перемещений мобильного Р-элемента [4]. Его активность ограничена только клетками зародышевой линии и не наблюдается в соматических тканях [15, 21]. Это позволяет исключить влияние на продолжительность жизни генетической нестабильности, индуцированной соматическими перемещениями Р-элементов.

Результаты и обсуждение

Продолжительность жизни исследовали у нормальных плодовитых и стерильных особей, теряющих половые клетки в результате гибридного дисгенеза. У стерильных самок наблюдается снижение средней, медианной и максимальной продолжительности жизни, а также уменьшение времени 90 %-ной

Продолжительность жизни (сут.) дисгенных самок (верхняя строка) и самцов (нижняя строка) *Drosophila melanogaster*

Вариант	М	СПЖ	Min	Max	MRDT	n
Дисгенез 1	61.0	58.8±0.6*	2	84	3.1	337
	42.0	51.6±1.3*	2	90	3.7	300
Контроль	67.0	63.6±1.1	4	104	3.5	248
	42.0	41.7±0.7	2	72	3.3	247
Дисгенез 2	59.0	59.0±0.7*	14	81	3.1	291
	42.0	42.8±1.0*	4	84	3.6	255
Контроль	68.0	66.2±0.9	4	94	3.4	309
	40.5	37.4±0.6	4	63	3.2	297
Дисгенез 3	63.0	62.1±0.6*	8	80	3.2	359
	47.0	53.9±1.3*	1	98	3.8	313
Контроль	73.0	69.1±0.9	4	105	3.5	299
	42.0	40.0±0.6	2	70	3.3	298
Дисгенез 4	58.0	58.3±0.8*	4	81	3.1	382
	42.0	47.1±0.8*	2	85	3.6	350
Контроль	74.0	71.1±0.8	4	94	3.4	300
	45.0	47.5±0.8	3	87	3.5	299

* Отличия с контролем достоверны при $p < 0.001$ (критерий Гехана-Вилкоксона). М – медианная продолжительность жизни; СПЖ – средняя продолжительность жизни; 90 % – время жизни 90 % популяции; MRDT – время удвоения интенсивности смертности; n – объем выборки.

гибели особей (см. таблицу). Функции дожития стерильных и плодовитых самок достоверно различаются ($p < 0.001$). Укорочение MRDT у стерильных самок свидетельствует об ускорении процесса старения. Снижение продолжительности жизни стерильных самок наблюдается во всех четырех вариантах эксперимента (см. рисунок).

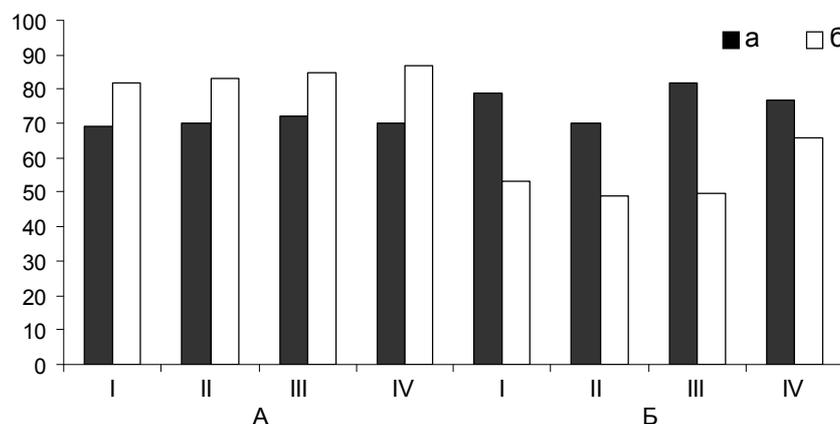
Механизмы регуляции продолжительности жизни со стороны репродуктивной системы в большей степени исследованы на нематоде *Caenorhabditis elegans*. Исходя из экспериментальных данных, предполагается, что на продолжительность жизни оказывают влияние две составляющие репродуктивных органов: клетки зародышевой линии и соматические клетки гонад. Обнаружено, что уничтожение предшественников клеток зародышевой линии лазером [7] или в результате мутаций, снижающих их пролиферацию [20], приводит к увеличению продолжительности жизни. Удаление гонад целиком (включая герминативные и соматические клетки) не приводит к изменению продолжительности жизни нематоды [7]. Однако отсутствие у нематоды жен-

ского пола (у *Caenorhabditis elegans* есть только самцы и гермафродиты) не позволяет провести оценку вклада мужских и женских гонад по отдельности.

У дрозофилы молекулярные механизмы влияния репродуктивной системы на продолжительность жизни только начинаются исследоваться, но уже имеются интересные экспериментальные данные. В отличие от нематод дрозофила впервые позволила изучить влияние стерильности на продолжительность жизни самок. Согласно одним данным, стерилизация мух с помощью рентгеновского облучения или мутации *ovo^D* приводит к увеличению продолжительности жизни самок [14, 23]. В наших экспериментах на дисгенных мухах, когда стерильность не затрагивает соматические клетки, отмечено отчетливое снижение продолжительности жизни бесплодных самок (см. таблицу). Сходный эффект снижения продолжительности жизни у дисгенных мух получен и д-ром Копас и соавторами. Максимальный эффект наблюдался ими в F_1 , полученном при температуре развития 29 °С, когда процент стерильных особей достигает максимума [13]. Недавно наблюдали снижение продолжительности жизни и у мутантных по генам *germ cell-less* и *tudor* самок дрозофилы, не имеющих клеток зародышевой линии [18].

В отличие от самок продолжительность жизни стерильных самцов повышается по сравнению с плодовитым контролем (см. рисунок). Наиболее выражен данный эффект у долгоживущей части популяции. Достоверные различия функций дожития наблюдаются во всех четырех вариантах эксперимента (см. таблицу). Хотя различия по медианной, средней и максимальной продолжительности жизни между опытом и контролем не такие четкие, как для самок, для всех исследованных вариантов характерно увеличение времени 90 %-ной гибели стерильных самцов. У стерильных самцов наблюдали также продление MRDT, свидетельствующее о замедлении процесса старения. Увеличение продолжительности жизни стерильных самцов известно и из работ других авторов [18].

Полученные данные свидетельствуют о разном вкладе мужских и женских гонад в продолжительность жизни.



Время 90 %-ной смертности стерильных (а) и плодовитых (б) самок (А) и самцов (Б) *Drosophila melanogaster* в вариантах 1-4 (I-IV). По вертикали: возраст, сут.

Для дрозофилы, как и для большинства изученных организмов, характерен половой диморфизм, проявляющийся в большей продолжительности жизни женских особей [25]. При сравнении продолжительности жизни плодовитых особей мужского и женского пола мы также наблюдали большую продолжительность жизни самок ($p < 0.001$). Однако у стерильных особей половой диморфизм по продолжительности жизни был менее выражен, иногда отсутствовал, а некоторые пока-

затели стали обратными. Например, в первом и третьем вариантах эксперимента функции дожития не отличаются достоверно ($p > 0.05$, критерий Менделя-Кокса). Во всех четырех вариантах максимальная продолжительность жизни стерильных самцов превышает максимальную продолжительность жизни стерильных самок ($p < 0.001$), а менее зависимое от влияния случайных факторов время 90 %-ной гибели особей имеет близкие значения у обоих полов (см. рисунок). У стерильных самцов наблюдали также продление MRDT. Однако медианная и средняя продолжительность жизни стерильных самок имеет более высокие значения, чем у самцов. Половой диморфизм влияния стерильности на продолжительность жизни у *Drosophila melanogaster* отмечен также в исследованиях д-ра Barnes et al. [18]. По нашему мнению, увеличение продолжительности жизни у самцов и снижение ее у самок может свидетельствовать о противоположном влиянии сигналов от мужских и женских гонад на этот показатель. Выравнивание показателей продолжительности жизни у стерильных самок и самцов свидетельствует, что механизм, определяющий различия в продолжительности жизни полов, также связан с репродуктивной системой. Возможно, что семенники индуцируют какой-то механизм, сокращающий продолжительность жизни самцов, а яичники являются источником сигнала, увеличивающего продолжительность жизни самок. Для выяснения механизмов этого явления необходимы дополнительные исследования.

Работа поддержана программой президиума РАН по фундаментальным наукам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акифьев А.П., Потапенко А.И., Рудаковская Е.Г. Ионизирующие излучения и 5-бром-2'-дезоксинуридин как инструменты анализа фундаментального механизма старения животных // Радиационная биология. Радиоэкология, 1997. Т. 37, вып. 4. С. 613-620.
2. A hormonal signaling pathway influencing *C. elegans* metabolism, reproductive development, and life span / B. Gerisch, C. Weitzel, C. Kober-Eisermann et al. // Develop. Cell, 2001. Vol. 1, № 6. P. 841-851.
3. Berman J.R., Kenyon C. Germ-cell loss extends *C. elegans* life span through regulation of DAF-16 by *kri-1* and lipophilic-hormone signaling // Cell, 2006. Vol. 124, № 5. P. 1055-1068.
4. Bingham P.M., Kidwell M.G., Rubin G.M. The molecular basis of P-M hybrid dysgenesis: the role of the P element, a P-strain-specific transposon family // Ibid, 1982. Vol. 29, № 3. P. 995-1004.
5. Engels W.R., Preston C.R. Formation of chromosome rearrangements by P factors in *Drosophila* // Genetics, 1984. Vol. 107, № 4. P. 657-678.
6. Evolution of germ-line signals that regulate growth and aging in nematodes / M.N. Patel, C.G. Knight, C. Karageorgi et al. // PNAS, 2002. Vol. 99, № 2. P. 769-774.
7. Hsin H., Kenyon C. Signals from the reproductive system regulate the lifespan of *C. elegans* // Nature, 1999. Vol. 399, № 6734. P. 362-366.
8. Hybrid dysgenesis in *Drosophila melanogaster* / J.C. Bregliano, G. Picard, A. Bucheton et al. // Science, 1980. Vol. 207, № 4431. P. 606-611.
9. Interactions of mating, egg production and death rates in females of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* / T. Chapman, T. Miyatake, H.K. Smith et al. // Proc. Biol. Sci., 1998. Vol. 265, № 1408. P. 1879-1894.
10. Kidwell M.G., Kidwell J.F., Sved J.A. Hybrid dysgenesis in *Drosophila melanogaster*: a syndrome of aberrant traits including mutation, sterility and male recombination // Genetics, 1977. Vol. 86, № 4. P. 813-833.
11. Kidwell M.G., Novy J.B. Hybrid dysgenesis in *Drosophila melanogaster*: sterility resulting from gonadal dysgenesis in the P-M system // Ibid, 1979. Vol. 92, № 4. P. 1127-1140.
12. Kirkwood T.B.L. The disposable soma theory of aging // Genetic effects of aging II / Ed. D.E. Harrison). Caldwell (NJ, USA): Telford Press, 1999. P. 9-19.
13. Konac T., Bozcuk A.N., Kence A. The effect of hybrid dysgenesis on life span of *Drosophila* // Age, 1995. Vol. 18, № 1. P. 19-23.
14. Lamb M.J. The effects of radiation on the longevity of female *Drosophila subobscura*. // J. Insect Physiol., 1964. Vol. 10. P. 487-497.
15. Laski F.A., Rio D.C., Rubin G.M. Tissue specificity of *Drosophila* P element transposition is regulated at the level of mRNA splicing // Cell, 1986. Vol. 44, № 1. P. 7-19.
16. Le Bourg E. A mini-review of the evolutionary theories of aging. Is it the time to accept them? // Demographic research, 2001. Vol. 4. P. 1-28.
17. Niki Y., Chigusa S.I. Developmental analysis of the gonadal sterility of P-M hybrid dysgenesis in *Drosophila melanogaster* // Jpn. J. Gen., 1986. Vol. 61. P. 147-156.
18. No extension of lifespan by ablation of germ line in *Drosophila* / A.I. Barnes, J.M. Boone, J. Jacobson et al. // Proc. Biol. Sci., 2006. Vol. 273, № 1589. P. 939-947.
19. O'Kane C.J. Modelling human diseases in *Drosophila* and *Caenorhabditis* // Semin. Cell Develop. Biol., 2003. Vol. 14, №1. P. 3-10.
20. Regulation of life-span by germ-line stem cells in *Caenorhabditis elegans* / N. Arantes-Oliveira, J. Apfeld, A. Dillin et al. // Science, 2002. Vol. 295, № 5554. P. 502-505.
21. Robertson H.M., Engels W.R. Modified P elements that mimic the P cytotype in *Drosophila melanogaster* // Genetics, 1989. Vol. 123, № 4. P. 815-824.
22. Schaefer R.E., Kidwell M.G., Fausto-Sterling A. Hybrid dysgenesis in *Drosophila melanogaster*: morphological and cytological studies of ovarian dysgenesis // Ibid, 1979. Vol. 92, № 4. P. 1141-1152.
23. Sgro C.M., Partridge L. A delayed wave of death from reproduction in *Drosophila* // Science, 1999. Vol. 286, № 5449. P. 2521-2524.
24. Siebel C.W., Fresco L.D., Rio D.C. The mechanism of somatic inhibition of *Drosophila* P-element pre-mRNA splicing: multiprotein complexes at an exon pseudo-5' splice site control U1 snRNP binding // Genes Develop., 1992. Vol. 6, № 8. P. 1386-1401.
25. Smith D.W. Is greater female longevity a general finding among animals? // Biol. Rev. Camb. Philos. Soc., 1989. Vol. 64, №1. P. 1-12.
26. Sved J.A., Eggleston W.B., Engels, W.R. Germ-line and somatic recombination induced by *in vitro* modified P elements in *Drosophila melanogaster* // Genetics, 1990. Vol. 124, № 2. P. 331-337.
27. Van Voorhies W.A. Production of sperm reduces nematode lifespan // Nature, 1992. Vol. 360, № 6403. P. 456-458. ❖



ЗООПЛАНКТОН И МЕЙОБЕНТИЧЕСКИЕ РАКООБРАЗНЫЕ ХАРБЕЙСКИХ ОЗЕР

к.б.н. **Е. Фефилова**
 н.с. лаборатории ихтиологии и гидробиологии
 E-mail: fefilova@ib.komisc.ru; тел. (8212) 43 63 84

Научные интересы: *гидробиология, экология, систематика планктонных беспозвоночных*

Современный интерес биологов, гидробиологов к арктическим и субарктическим регионам обусловлен несколькими явлениями*. Среди основных по-прежнему недостаточная изученность даже фауны высоких широт, не говоря о биологических процессах в их экосистемах [12]; интенсивное промышленное освоение этой территории и, следовательно, необходимость природоохранных мер; и, наконец, феномен глобального потепления, который при своем развитии коснется, прежде всего, Арктики [9].

Озера Харбейской системы расположены в восточной части Большеземельской тундры на крайнем северо-востоке Европы, около 67°31'–36' с.ш., 62°51'–56' в.д. и 129.8 м над уровнем моря. Климат этого региона субарктический, резко континентальный. Снежный покров устанавливается в конце октября, таяние снега начинается в середине июня. Средняя годовая температура воздуха составляет –7 °С (для сравнения – на западе Большеземельской тундры –4 °С) [5]. За последние десятилетия в обследованном регионе усилилась континентальность климата: разница между самым теплым (июль) и самым холодным (январь) месяцами года увеличилась на 1.4 °С. За 1961–1990 гг. январь стал холоднее в среднем на 0.4 °С, а июль потеплел на 1.0 °С по сравнению с наблюдениями за 110 лет. Большое количество озер является одной из характерных особенностей Большеземельской тундры, в отдельных районах ее восточной части коэффициент озерности достигает 70 % [4].

Харбейские озера имеют ледниковое происхождение. Представляют собой систему из трех последовательно соединенных водоемов (Головка, Большой Харбей, Малый Харбей) и множества мелких озер, соединенных через протоки. Озеро Малый Харбей имеет сток через ручей в р. Сейда (приток второго порядка р. Печора).

Площадь водосбора оз. Большой Харбей 57.30 км², площадь его зеркала 21.31 км², средняя глубина 4.6 м, максимальная глубина 18.5 м. Озеро Головка намного меньше оз. Большой Харбей по площади (площадь зеркала – 3.1 км²), но почти сравнимо по глубине (максимальная глубина – 12 м). Для тундр северо-востока Европы такие озера, как Харбейские, являются довольно крупными, так как преобладают на этой территории водоемы площадью 0.1 км² [4].

Первый этап исследования сообществ Харбейских озер приходился на 1965, 1968 и 1969 гг. В эти годы задачами изучения зоопланктона и зообентоса озер были выяснение их состава, численности, биомассы, сезонной динамики этих показателей, а также определение продукции. Сбор проб проводился в течение трех вегетационных сезонов раз в 10–15 дней на нескольких станциях и озерах с различных глубин и одновременно с гидрохимическими и альгологическими исследованиями [2, 8]. Современные работы на Харбейских озерах возобновились в конце июля–начале августа 1998 и 1999 гг. в рамках гранта РФФИ (руководитель – Г.П. Сидоров). Их целью было обнаружение изменений сообществ за тридцать лет и определение экологического состояния водоемов.

На этом этапе проводился разовый отбор проб на озерах Головка и Большой Харбей по нескольким станциям. Бентос отбирали на различных глубинах, зоопланктон – с поверхности. Использовались обычные методики сбора материала, сходные в оба периода исследований. Пробы планктона с различных горизонтов получали, применяя батометр Молчанова и планктонную сеть Апштейна, или только сеть, в случае отбора объема воды с поверхности. Бентос собирали дночерпателем Петерсона, цилиндрическим щупом, гидробиологическим скребком и

с небольших глубин с валунов смывали вручную. В 1998 и 1999 гг. температуру, pH, электропроводность воды, концентрацию растворенного кислорода определяли портативным pH-TDS-TSS-O₂-метром «Salomat».

В 1998 г. автор участвовала в экспедиции. Ракообразные из бентических проб этого и 1999 г. и пробы зоопланктона 1999 г. были любезно предоставлены нам О.А. Лоскутовой (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН). Донных ракообразных (Haracticoida) из проб бентоса 1965 г. мы получили из коллекции МГУ от В.Р. Алексеева (ЗИН РАН). Биомассу организмов определяли по известным формулам связи веса и длины тела [1, 7, 14, 15]. Для выявления вклада различных факторов в формирование бентоса в оз. Большой Харбей и биоценологических связей в донном сообществе провели факторный анализ методом главных компонент. Расчеты осуществляли с использованием Microsoft Excel для Windows 95 и Statistica 6.

Полные гидрологическое и гидрохимическое описания Харбейских озер получены в 1968 и 1969 гг. [4]. Согласно им, особенностью температурного режима озер является преобладание выраженной гомотермии в период открытой воды. Температура поверхностной воды в оз. Большой Харбей летом (с 21 июля по 20 августа, по наблюдениям Г.П. Сидорова) обычно 12–16 °С, мелководье прогревается до 28 °С. В начале августа 1965 г. в озере зарегистрированы показатели 12.4–13.9 °С. В 1968 г. в связи с затяжной весной температура воды в июле (6.2 °С) была ниже, чем в августе (10.3 °С). В 1969 г. ход температуры воды в озере был иным: средний за июль показатель составил 8.2, за август – 7.7 °С. Современные годы обследования Харбейских озер оказались контрастными по температурному режиму. В период сборов гидробиологического материала температура воды в оз. Большой Харбей составляла в 1998 г. 18.1–18.7, в 1999 г. – 10.6 °С. Сумма градусо-дней в эти годы отличалась на 30 %.

По данным 1965, 1968 и 1969 гг. [4], озера Харбейской системы в безлед-

* В противоположность исследованиям середины прошлого столетия на территории СССР, когда акцент делался на определении продуктивности водоемов и их ресурсного значения.

ный период характеризовались нормальным рН (6.5-7.1) и оптимальным кислородным режимом (80-102 % насыщения). Причем газовый режим мало изменялся в этот период по сезонам и по глубинам. По этим показателям современные условия в озерах ненамного изменились. В более жаркий год зарегистрировано более низкое содержание растворенного кислорода.

Воды Харбейских озер как были, так и остаются низкоминерализованными. Важную роль, на наш взгляд, в формировании донных сообществ играет химический состав грунтов. В Харбейских озерах грунты разнообразны и изменяются по глубинам от валунно-галечных в прибрежье до илов и сапропелевых илов в глубоководной части. Сообразно с распределением донных отложений по глубинам изменялся рН их солевой вытяжки. По данным 60-х годов, этот показатель колебался от 3.75 (сапропель) до 6.20 (грунт с преобладанием минеральных компонентов).

За весь период исследований в зоопланктоне Харбейских озер выявлено 63 вида, подвида и формы: 24 вида и формы коловраток (Rotatoria), 25 видов ветвистоусых (Cladocera) и 14 видов веслоногих (Copepoda) раков. В шестидесятые годы в пробах не отмечались присутствовавшие в наших сборах коловратки *Gastropus stylifer* Imhof, *Polyarthra dissimulatus* Nipkow, *P. remata* Scoricov, *P. vulgaris* Carlin, *P. euryptera* Wierzejski, *P. longiremis* Carlin, *Encentrum* sp., *Bdelloida* sp. и ракообразные *Daphnia cucullata* Sars, *Arctodiaptomus bacillifer* (Koelbel). На современном этапе исследований не установлено найденных ранее двух видов коловраток, 10 видов ветвистоусых и пять – веслоногих раков [2, 11]. Различия в видовом богатстве планктонной фауны в сборах двух этапов работ объясняются, в первую очередь, методическими причинами.

Список видов и подвигов зоопланктона Харбейских озер обычен для тундровой зоны, представлен холодолюбивыми стенобионтами, распространенными в высоких широтах, и плюризональными беспозвоночными [12]. Причем широко распространенные виды по своему количеству преобладают. В 1998 и 1999 гг. наибольшего разнообразия в зоопланктоне достигали коловратки. Несколько их видов, в 1998 г. не отмеченных или присут-

ствовавших в сообществе в незначительных количествах, в 1999 г. были обычны (%):

Вид	1998 г.	1999 г.
<i>Gastropus stylifer</i>	0	33
<i>Synchaeta</i> sp.	0	80
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)	0	93
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	38	100
<i>Filinia terminalis</i> (Plate)	0	100

Причина этих несоответствий – в различиях температурного режима озер в эти два года. В необычно теплый для Большеземельской тундры 1998 г. вышеперечисленные холодолюбивые таксоны коловраток «выпали» из состава сообщества, во всяком случае, из поверхностного слоя водной толщи. Вероятно, они опустились в нижние горизонты, так как, несмотря на гомотермию, именно для коловраток ранее в Харбейских озерах наблюдалось мозаичное распределение [2]. Высокая температура воды в 1998 г. повлияла на скорость онтогенеза и время созревания по сравнению с 1999 г. Calanoida. В жаркий год в зоопланктоне и бентосе озер встречались взрослые (*Arctodiaptomus bacillifer* (Koelbel) и *Heterocope appendiculata* Sars) и молодь рачков этого эвпланктонного подотряда Copepoda. В 1999 г. все Calanoida находились на копеподитной стадии. Основной планктонный комплекс видов в Харбейских озерах мало изменился за 30 лет. Изменения в нем носили скорее межгодовой и межсезонный характер (табл. 1). Причем в течение июля-августа он сохранялся практически неизменным [2]. Единично встречены в планктоне озер *Encentrum* sp., *Euchlanis* sp., *Lecane*

luna (Müller), *L. (Monostyla) lunaris* (Ehrenberg), *Trichotria tetractis* (Ehrenberg), *Eurycercus lamellatus* (O.F. Müller), *Alona rectangula* Sars.

Средние показатели численности и биомассы зоопланктона в оз. Большой Харбей в 1998 г. составили 66±12 тыс. экз./м³ и 0.36±0.08 г/м³, в 1999 г. – 140±17 тыс. экз./м³ и 0.85±0.19 г/м³. В оз. Головка в 1998 г. зафиксированы численность и биомасса животного планктона: 68±23 тыс. экз./м³ и 1.28±0.42 г/м³, в 1999 г. – 260 тыс. экз./м³ и 1.60 г/м³. Данные эти сопоставимы с показателями 60-х годов: средние за все сезоны для оз. Большой Харбей – 74.4 тыс. экз./м³ и 0.35 г/м³, для открытой части оз. Головка – в 1965 г.: 157 тыс. экз./м³ и 0.45 г/м³, в 1969 г.: 355.5 тыс. экз./м³ и 2.16 г/м³. Низкие значения биомассы зоопланктона определялись преобладанием в нем по численности коловраток, особенно в оз. Большой Харбей (табл. 2). Их относительное обилие в 1998 г. составляло в среднем 74 % общего для зоопланктона в оз. Большой Харбей и 33 % – в оз. Головка, и несколько более высокие значения в 1999 г. Доминирование и по биомассе коловраток в 1999 г. в оз. Головка (64 % биомассы зоопланктона) было обусловлено высокой численностью крупной *A. priodonta*. Наиболее многочисленным видом во все годы часто была коловратка – *K. longispina*, в 1998 и 1999 гг. на большинстве станций доминировал по численности *C. unicornis*, в этом случае *K. longispina* была субдоминирующим видом (табл. 2). В 1999 г. зарегистрированы более высо-

Таблица 1

Комплексы видов и форм беспозвоночных, доминирующих в зоопланктоне озер Харбейской системы в летне-осенний период

Год	Озеро	
	Головка	Большой Харбей
1965	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott), <i>Asplanchna</i> , <i>Conochilus unicornis</i> Rousselet,	<i>K. longispina</i> , <i>C. unicornis</i> , <i>Asplanchna</i> , <i>Ch. sphaericus</i> , <i>Bosmina obtusirostris</i> Sars, молодь Cyclopoida и Calanoida
1968, 1969	<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller), <i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller), молодь Cyclopoida	<i>K. longispina</i> , <i>C. unicornis</i> , <i>Asplanchna</i> , <i>Synchaeta</i> sp., <i>Daphnia longiremis</i> Sars, <i>Holopedium gibberum</i> Zaddach, <i>Ch. sphaericus</i> , <i>B. longirostris</i> , <i>Cyclops strenuus</i> s. lat., молодь Cyclopoida и Calanoida
1998	<i>K. longispina</i> , <i>C. unicornis</i> , <i>Ch. sphaericus</i> , <i>Daphnia cristata</i> Sars, науплии Copepoda	<i>C. unicornis</i> , <i>K. longispina</i> , <i>Bosmina longispina</i> Leydig, науплии Copepoda
1999	<i>K. longispina</i> , <i>C. unicornis</i> , <i>F. terminalis</i> , <i>D. cristata</i> , <i>Daphnia longispina</i> O.F. Müller, молодь Calanoida	<i>K. longispina</i> , <i>Polyarthra</i> , <i>C. unicornis</i> , <i>F. terminalis</i> , <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse), <i>A. priodonta</i> , <i>H. gibberum</i> , <i>D. cristata</i> , <i>B. longispina</i> , молодь Cyclopoida

Таблица 2

Численность (тыс. экз./м³; верхняя строка) и биомасса (г/м³; нижняя строка) зоопланктона системы Харбейских озер, июль-август 1998, 1999 гг.

Год	Всего	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Вид, доминирующий по численности
Озеро Большой Харбей, южная часть, створ I					
1998	58.24	40.46	13.06	4.72	<i>C. unicornis</i> ,
	0.29	0.04	0.16	0.09	<i>B. longirostris</i>
1999	132.08	101.03	11.23	19.82	<i>K. longispina</i>
	0.75	0.09	0.14	0.52	
Там же, центральная часть, створ II					
1998	49.80	28.86	17.62	3.32	<i>C. unicornis</i> ,
	0.69	0.02	0.38	0.29	<i>B. longirostris</i>
Там же, северная часть, створ III					
1998	88.71	76.43	5.14	7.14	<i>C. unicornis</i>
	0.34	0.06	0.08	0.20	
1999	180.42	149.46	12.48	18.48	<i>C. unicornis</i>
	0.96	0.29	0.17	0.50	
Озеро Головка					
1998	67.98	22.57	28.67	16.74	<i>K. longispina</i> ,
	1.28	0.01	0.90	0.37	<i>C. unicornis</i> ,
					<i>Ch. sphaericus</i>
1999	312.86	269.05	32.48	11.33	<i>C. unicornis</i>
	1.88	0.92	0.61	0.35	

кие численность и биомасса планктонных коловраток и ракообразных относительно 1998 г., что связано с различиями температурного режима в озерах в эти годы. По полученным ранее и современным показателям с рыбохозяйственной точки зрения Харбейские озера характеризуются как среднекормные и олиготрофные, что для тундровых водоемов является типичным.

В составе зообентоса Харбейских озер установлены 24 группы беспозвоночных, из которых современные исследования не выявили три наиболее редких [8, 13]. Мейобентические ракообразные как в 60-е, так и в 90-е годы относились к наиболее многочисленным представителям донной фауны. В 1968 и 1969 гг. преобладали по биомассе из них Cladocera. В 1999 г. в оз. Головка ракушковые рачки (Ostracoda) не были обнаружены. Только Cyclo-poida одинаково изменяли (увеличивали) в 1999 г. по сравнению с 1998 г. в обоих озерах и численность, и биомассу. В остальных группах наблюдались разнонаправленные изменения одного показателя в разных озерах или двух показателей в одном из озер (рис. 1). Методика сбора зообентоса в 1998 и 1999 гг. не позволяет исключить воздействия множества экологических факторов на численность и биомассу донных ракообразных, чтобы проследить влияние одного фактора – температуры. Тем более что в отличие от распределения в озерах зоопланкто-

на, которое было довольно равномерным в различные годы, распределение бентоса характеризовалось мозаичностью, связанной с разнообразием донных биотопов. Наибольшее его количественное развитие приходилось на прибрежную зону, на глубины от 0.5 до 3.0 м и твердые минеральные грунты.

В донной фауне Cladocera и Copepoda в Харбейских озерах за все годы исследований установлено 20 видов и подвидов (табл. 3). В 1998 и 1999 гг.

состав бентосных ракообразных различался лишь по редким и малочисленным видам. В факторном анализе главных компонент по биомассе бентосных ракообразных оз. Большой Харбей в эти годы получено три результативных варианта: по биомассам экологических групп и видов. Экологические группы были выделены по способу питания (три группы) и движения животных (четыре группы), независимо от их таксономической принадлежности. В первом варианте анализа получено два фактора (30.4 и 17.8 % объясняемой дисперсии), первый из которых определяет взаимоотношения гидрологических условий среды обитания в озере и связь с ними развития экологических групп, выделенных по типу движения (рис. 2, А). Второй фактор отвечал за биоценотические отношения между экологическими группами, прямо не связанные с условиями среды. Показано (рис. 2, А), что суммарная биомасса рачков, зарывающихся в грунт, контролируется твердостью субстрата и размером составляющих его фракций. Тогда как биомассы ползающих, плавающих, зарывающихся и ползающих, зарывающихся определены этими факторами менее, но связаны между собой. Второй вариант анализа по данным из оз. Большой Харбей выделил три фактора (33.6, 21.4, 15.8 % объясняемой дисперсии), из них третий значимый (табл. 4). Он, возможно, отражает пи-

Состав донных ракообразных Харбейских озер

Таблица 3

Вид	Год		
	1965	1998	1999
Cladocera			
<i>Sida crystallina</i> (O.F. Møller)	Нет сведений	+	+
<i>Ilyocryptus acutifrons</i> Lievin	То же	+	+
<i>Eurycerus lamellatus</i> (O.F. Møller)	» »	+	+
<i>Acroperus harpae</i> (Baird)	» »	+	+
<i>A. elongatus</i> (Sars)	» »	+	+
<i>Chydorus sphaericus</i>	» »	+	+
<i>Biapertura affinis</i> (Leydig)	» »	+	+
Copepoda			
<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine)	Нет сведений	-	+
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer)	То же	+	+
<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer)	» »	-	+
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine)	» »	+	+
<i>Diacyclops languidoides</i> (Lilljeborg)	» »	-	+
<i>D. abyssicola</i> (Lilljeborg)	» »	-	+
<i>Arcticocamptus arcticus</i> (Lilljeborg)	-	+	-
<i>A. krochini</i> Borutzky	+	-	-
<i>Paracamptus schmeili</i> (Mrazek)	+	+	+
<i>Bryocamptus zschokkei komi</i> (Borutsky)	+	+	+
<i>Attheyella northumbrica trisetosa</i> Schmeil	-	-	+
<i>Moraria duthiei</i> (Scott)	+	+	+
<i>M. schmeili</i> Van Douwe	+	+	+

Примечание: отмечено наличие (+) или отсутствие (-) вида.

щевые отношения хищника (активные хвататели) и жертвы (вторичные фильтраторы и собиратели). Наконец, третий из вариантов анализа по биомассам видов позволил выделить четыре фактора (19.2, 13.7, 12.5 и 11.8 % объясняемой дисперсии). Из них третий и четвертый касались непосредственно распределению биомасс видов в сообществе (рис. 2, Б). Фактор 3 отражал сходство местообитаний мелких копепод. Фактор 4 определял взаимоотношения наиболее крупных в бентосе озера представителей ветвистоусых (*Eurycerus lamellatus*) и веслоногих (*Macrocyclus albidus*) раков. Характер этих взаимоотношений без дополнительных исследований опять же можно только предполагать. Пищевые отношения хищника и жертвы были бы, например, вполне вероятны, если бы не факт предпочтения крупными Cyclopoidea в качестве объекта питания хидоридам, которые имеют хитиновый панцирь, других беспозвоночных [6].

Между фаунами гарпактицид в 1965 и 1998, 1999 гг. имелись, на наш взгляд, различия существенные, хотя и заключенные в одном виде – *Arcticocamptus krochini*. В августе-сентябре 1965 г. этот рачок встретился в 36 % проб и составил 21 % численности гарпактицид в озерах и 33-83 % – в отдельных пробах. Другой вид – *Bryocamptus zschokkei komi* – в этот период присутствовал в 21 % проб, его численность составила 11 % общего для гарпактицид показателя и 20-81 % – его же в отдельных пробах. В 90-е годы *A. krochini* в бентосе Харбейских озер не обнаружен, а роль *Br. zschokkei komi* оказалась выше: вид встретился в 45 % проб, его доля в численности Harpacticoida составила 27 % и 3-100 % в отдельных пунктах. Таким образом, за 30 лет произошли изменения в составе зообентоса Харбейских озер: один из видов вымер (или стал редким), значение другого усилилось. Биология холодолюбивого лимнофильного *A. krochini* обычна для рода: для успешного размножения ему необходим пониженный pH и относительно невысокие температуры воды [3]. Рачок продуцирует только покоящиеся яйца, вылупление наплиуса из которых возможно при названных выше условиях. Эти

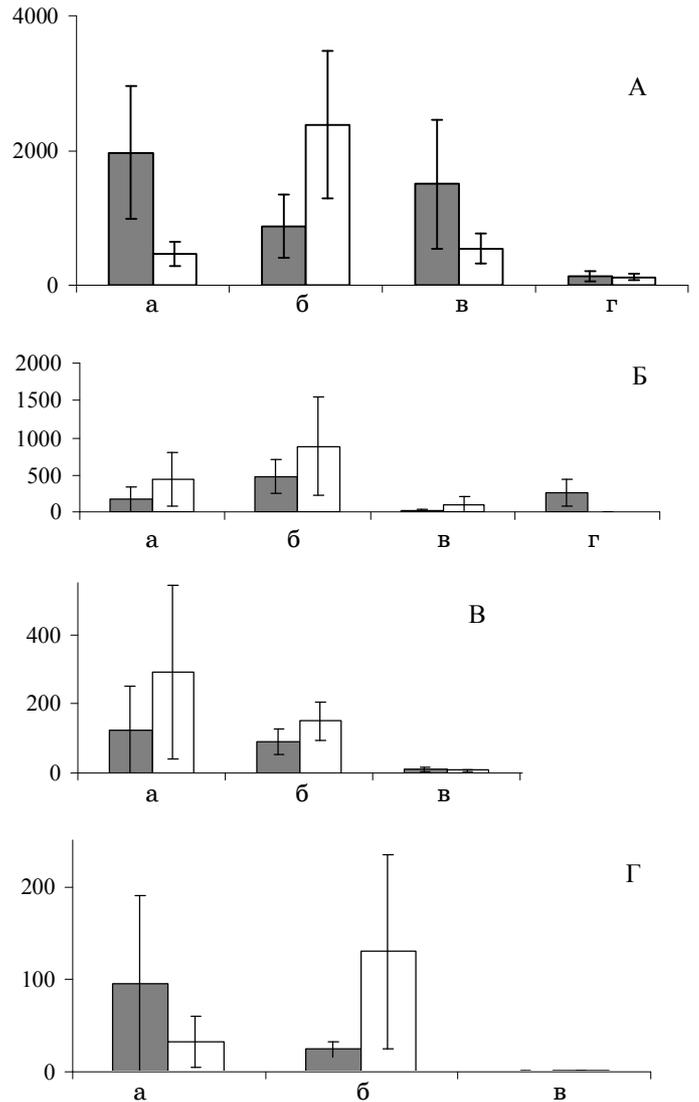


Рис. 1. Численность (А, Б, экз./м²; по вертикали) и биомасса (В, Г, мг/м²; по вертикали) групп мейобентических ракообразных в озерах Большая Харбей (А, В) и Головка (Б, Г) в июле-августе 1998 (серый) и 1999 (белый) гг.: Cladocera (а), Cyclopoidea (б), Harpacticoida (в) и Ostracoda (г).

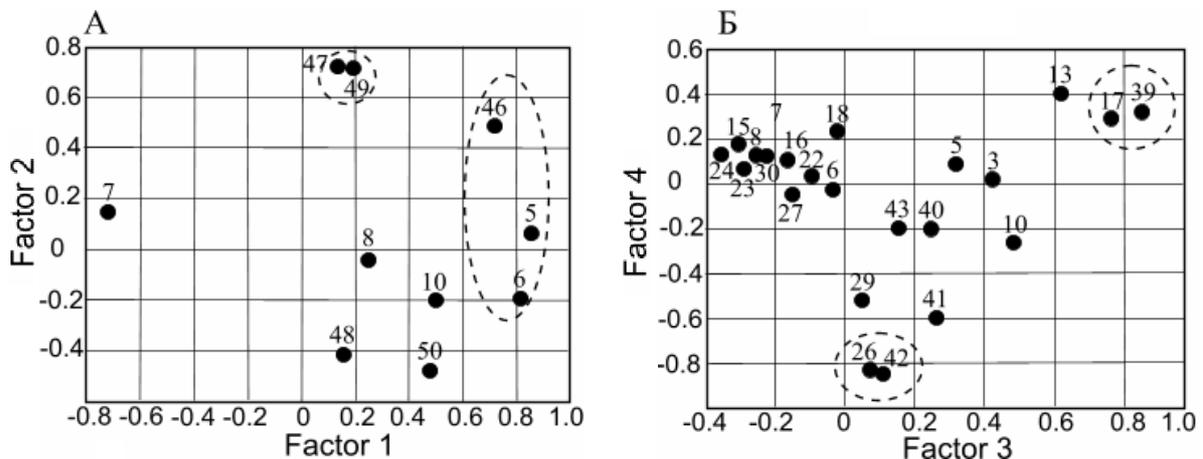


Рис. 2. Распределение биомасс бентосных ракообразных и гидрологических условий их обитания в оз. Большая Харбей. Условные обозначения: А, Б – результаты факторного анализа методом главных компонент. 3 – станция (прибрежье или середина), 5 – твердость грунта, 6 – размер фракций грунта, 7 – глубина, 8 – температура воды, 10 – наличие растительных обрастаний на грунте. Биомасса: 13 – *Bryocamptus zschokkei komi*, 15 – *Moraria duthiei*, 16 – *M. schmeili*, 17 – *Paracamptus schmeili*, 18 – Harpacticoida, juv., 19 – Harpacticoida, 22 – *Acroperus elongates*, 23 – *Acroperus harpae*, 24 – *Biapertura affinis*, 26 – *Eurycerus lamellatus*, 27 – *Chydorus sphaericus*, 29 – *Sida crystalline*, 30 – *Ilyocryptus acutifrons*, 39 – *Diacyclos abyssicola*, 40 – *Eucyclops serrulatus*, 41 – *Megacyclops viridis*, 42 – *Macrocyclus albidus*, 43 – Cyclopoidea, juv., 46 – зарывающиеся в грунт, 47 – ползающие и зарывающиеся, 48 – ползающие и плавающие, 49 – ползающие, плавающие, зарывающиеся, 50 – плавающие и прикрепляющиеся к субстрату.

условия соблюдались в Харбейских озерах в 60-е годы: низкой минерализации воды соответствовала кислая солевая вытяжка большинства грунтов [4]. Возможно, к периоду проведения последних гидро-биологических работ на озерах кислотность грунтов и придонного слоя воды изменилась: повысилась или понизилась, и перестала соответствовать требованиям вида, хотя прямых предпосылок к этим изменениям мы не видим. В других водоемах восточной части Большеземельской тундры и Приполярного Урала *A. krochhini* является обычным обитателем и в современных условиях [10].

Температурные условия определяют, как правило, наступление периода размножения у водных беспозвоночных, его продолжительность и скорость онтогенеза. В Харбейских озерах в начале августа 1998 г. самки гарпактицид с яйцевыми мешками в пробах обнаружены не были, но в большом количестве в них присутствовали копулирующие самки и самки *Br. zschokkei komi*, что свидетельствовало о начале репродукционного периода у этого моноциклического вида. В первых числах августа 1999 г. встречены яйценозные самки *Paracamptus schmeili*, *Br. zschokkei komi*, *Moraria duthiei*, *M. schmeili*. Эти наблюдения позволили сделать заключение о замедлении процесса размножения гарпактицид в связи с высокими температурами воды, так как лето 1998 г. являлось необычно теплым для региона исследований. В 1965 г. 14 августа и 20 сентября (при температуре воды 4.7 °C) в обследованных водоемах зарегистрированы самки с яйцевыми мешками *P. schmeili* и *A. krochhini*, а только 20 сентября – *Br. zschokkei komi*. Интересным фактом был довольно продолжительный для моноциклического вида репродукционный период *A. krochhini*.

В заключение отметим следующее. В отсутствие сколько-нибудь значительного антропогенного влияния и природных потрясений в озерах Харбейской системы на протяжении 30 лет в целом сохранилось состояние зоопланктона. В донной фауне за это

Таблица 4
Факторные нагрузки (значимые выделены жирным шрифтом) и доля объясняемой дисперсии трех факторов анализа главных компонент по биомассе экологических групп ракообразных в оз. Большой Харбей, июль-август 1998, 1999 гг.

Наименование	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Стация	-0.59	-0.32	-0.13
Грунт	0.86	-0.27	0.26
твердость	0.72	-0.42	0.21
размер фракций	-0.86	-0.00	-0.25
наличие обрастаний	-0.59	-0.32	-0.13
Глубина	0.66	0.32	-0.10
Температура воды	-0.05	-0.89	-0.22
Биомасса			
собирателей	-0.67	0.16	0.02
вторичных фильтраторов и собирателей	-0.09	-0.04	0.87
активных хватателей	-0.56	0.00	0.72
Собственные значения	3.70	2.36	1.73
Доля объясняемой дисперсии, %	33.6	21.4	15.8

время произошло замещение одного вида гарпактицид другим, сходным с ним по размеру, способу движения и питания, но отличающимся по другим экологическим требованиям. Межгодовые изменения животного планктона в Харбейских озерах в контрастные по температурным условиям годы (причем жаркий год предшествовал холодному) проявились в различиях численности и биомассы зоопланктона, видового состава и относительного обилия видов коловраток в поверхностном слое. Все показатели – количественные и качественные – оказались меньше в жаркий год. Высокие для региона исследования летние температуры воды обуславливали задержку формирования яиц у холодолюбивых видов Harpacticoida в бентосе Харбейских озер, но ускоряли созревание калянид в планктоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балушкина Е.В., Винберг Г.Г.* Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука, 1979. С. 169-172.
2. *Барановская В.К.* Зоопланктон Харбейских озер Большеземельской тундры // Продуктивность озер восточной части Большеземельской тундры. Л., 1976. С. 90-101.
3. *Боруцкий Е.В.* Harpacticoida (Crustacea, Copepoda) Вашуткиных озер (бассейна р. Уса) // Гидробиологическое изучение и рыбохозяйственное освоение озер Крайнего Севера СССР. М., 1966. С. 51-52.
4. *Власова Т.А.* Гидрологические и гидрохимические условия биологического продуцирования в озерах Харбейской системы // Продуктивность озер

восточной части Большеземельской тундры. Л., 1976. С. 6-32.

5. *Горбацкий Г.В.* Физико-географическое районирование Арктики. Ч. I. Полоса материковых тундр. Л., 1967. 136 с.

6. *Монаков А.В.* Питание и пищевые взаимоотношения пресноводных копепод. Л., 1976. 170 с.

7. *Набережный А.И., Ирмашева С.Г.* Соотношение размеров и массы тела у гарпактицид (Crustacea, Harpacticoida) // Изв. АН Молдавской ССР (Кишинев), 1980. № 4.

С. 75-76.

8. *Попова Э.И.* Бентос оз. Большой Харбей и его продукция // Продуктивность озер восточной части Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1976. С. 101-103.

9. *Семилетов И.П.* Парниковый эффект, цикл углерода в Арктике, российская экспедиция-2000 // Вестн. РФФИ, 2001. № 2 (24). С. 59-63. – (<http://www.rfbr.ru/default.asp?doc-id=4583>).

10. *Фефилова Е.Б.* Гарпактициды (Harpacticoida) северо-востока европейской части России (фауна, экология, возможности биоиндикации): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2001. 22 с.

11. Флора и фауна водоемов европейского Севера (на примере озер Большеземельской тундры). Л.: Наука, 1978. 192 с.

12. *Чернов Ю.И.* Направления, состояние и перспективы отечественных исследований биологического разнообразия Арктики // Вестн. РФФИ, 2004. № 1. С. 5-35. – (<http://www.rfbr.ru/pies/16398ref/st-1/pdf>).

13. Biodiversity and dynamics of bottom communities in a large lake ecosystem of the European North-Eastern part of Russia (on the example of the Kharbey lakes) / *O.A. Loskutova, E.B. Fefilova, Ya.S. Kuzmina et al.* // Biodiversity and dynamics of ecosystems in North Eurasia: Proc. Intr. Conf. Novosibirsk, 2000. Vol. 5, pt. 1: Water ecosystems in North Eurasia. P. 84-86.

14. *Kurashov E.A.* The role of meiobenthos in lake ecosystems // Aquatic Ecology, 2002. Vol. 36. P. 447-463.

15. *Ruttner-Kolisko A.* Suggestions for biomass calculation of plankton rotifers // Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., 1977. Vol. 8. P. 71-76. ❖



ДЕЙСТВИЕ НИТРАТА РТУТИ (II) НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ, ВЫРАЩЕННЫХ НА ГИДРОПОНИКЕ

асп. С. Скугорева
 лаборатория экологической физиологии растений
 E-mail: skugoreva@ib.komisc.ru, тел. (8212) 24 52 02

Научные интересы: *влияние тяжелых металлов на рост и развитие растений*

В настоящее время с увеличением поступления тяжелых металлов (ТМ) в окружающую среду актуальной становится проблема защиты от загрязнения этими токсикантами. Растительные организмы очень чувствительны к состоянию окружающей среды и активно реагируют на ее изменение. Повышенное содержание ТМ в среде может приводить к угнетению роста растений, оказывать негативное влияние на их жизнедеятельность. Ртуть является одним из наиболее фитотоксичных ТМ [1]. В научной литературе мало сведений о действии этого металла на процессы роста и развития растений. Целью работы было изучить в контролируемых условиях влияние различных концентраций нитрата ртути (II) на морфофизиологические и биохимические характеристики растений.

В качестве модельного объекта был выбран ячмень (*Hordeum distichum* L.) сорта Новичок. Особенностью растений ячменя является способность накапливать, например, вдвое большие количества ртути, чем в почве [6]. Опыты проводили в климатической камере ВКШ-0.6 (Россия), где поддерживали следующие условия: фотопериод – 16 ч, интенсивность фотосинтетически активной радиации – 200 мкмоль·м⁻²·с⁻¹, относительная влажность воздуха – 60-70 %, температура (день/ночь) – 21/15 °С. Семена предварительно обрабатывали 1 %-ным раствором перманганата калия (20 мин), промывали в проточной воде, затем проращивали в чашках Петри в течение четырех суток в термостате при температуре 27 °С. На пятый день у проростков отделяли семя и переносили в климатическую камеру на питательный раствор Кнопа. На десятый день растения пересаживали на питательный раствор Ингестада [10]. Для выращивания растений применяли скорость добавки 0.15 г/г·сут. Питательный раствор постоянно аэрировали, рН поддерживали в интервале 5.8-6.8. Моногидрат нитрата ртути (II) – Hg(NO₃)₂·H₂O (далее – НР) предварительно растворяли в растворе Ингестада, затем однократно на 19-й день, когда растения находились в фазе трех листьев, вносили в питательный раствор так, чтобы концентрация НР была 50 (вариант 1) и 100 (вариант 2) мкмоль/л.

Определение функциональных показателей и биомассы проростков ячменя проводили на 40 растениях в контроле и каждом варианте через двое-трие суток после внесения НР. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в лис-

тях определяли на спектрофотометре СФ-46 (ЛОМО, Россия) в ацетоновой вытяжке при 662, 644 и 470 нм, концентрацию антоцианов – при 510 нм. Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) оценивали по накоплению в тканях одного из конечных продуктов этого процесса – малонового диальдегида (МДА) [3], содержание которого определяли спектрофотометрически при 532 нм. Измерение дыхания растений проводили манометрическим методом на аппарате Варбурга [7]. Статистическую обработку результатов проводили с помощью общепринятых методов.

При выращивании растений на водной среде корневая система имеет прямой контакт с растворенными в воде веществами, частицы которых равномерно распределены между молекулами растворителя. Если в почвах фитотоксический эффект от действия ртути уменьшается благодаря определенной буферной емкости почвы, то при выращивании на гидропонике соответствующие дозы токсиканта вызывают сильный стресс у растений.

В наших опытах НР вызывал перестройку метаболизма, ингибирование энергоемких анаболических процессов, что приводило к торможению роста. Установлено, что НР вызывал угнетение ростовых процессов растений ячменя. По сравнению с контролем в вариантах 1 и 2 отмечено снижение (на 25 %) роста побегов (табл. 1), замедление (на 33-40 %) роста третьего листа, торможение образования четвертого листа, уменьшение (на 27-34 %) длины корней проростков.

Показано, что НР приводил к снижению накопления биомассы ячменем. Сырая масса корня опытных растений была на 30, побега – на 35 % ниже, чем в контроле (табл. 2). Достоверные различия в сухой массе отмечали лишь у побегов в варианте 2, где уменьшение этого показателя составило 35 % по сравнению с контролем. Выявлено, что в варианте 2 растения теряли тургор уже на третий день после добавки НР, а через четверо суток этот эффект отмечали и в варианте 1. По нашему мнению,

Таблица 1
Длина (см) частей растений ячменя через двое суток после добавки нитрата ртути (II), М±σ

Наименование	Корень	Лист				Побег
		первый	второй	третий	четвертый	
Контроль	26.9±1.3	11.9±0.8	16.5±1.3	26.5±1.9	10.8±1.3	35.0±2.0
Вариант 1	19.7±1.2*	11.4±0.8	17.8±1.0	17.8±1.1*	–	26.4±1.9**
Вариант 2	17.8±1.2*	11.5±0.8	16.8±1.1	16.1±1.4*	–	26.4±2.2**

Разница между опытом и контролем достоверна:
 * p ≤ 0.001;
 ** p ≤ 0.01.

Таблица 2

Изменение сырой (верхняя строка) и сухой (нижняя строка) биомассы растений ячменя через двое суток после добавки нитрата ртути (II), М±σ

Наименование	Биомасса, г/растение	
	корень	побег
Контроль	0.330±0.050 0.024±0.003	0.760±0.070 0.080±0.007
Вариант 1	0.230±0.030 0.021±0.002	0.510±0.060* 0.071±0.008
Вариант 2	0.230±0.020** 0.019±0.001	0.500±0.050* 0.052±0.003**

Разница между опытом и контролем достоверна:
* p ≤ 0.001;
** p ≤ 0.05.

потеря тургора вызвана взаимодействием ртути со свободными сульфгидрильными группами белков-аквапоринов, связанными с водными мембранными каналами, и блокированием последних. В литературе есть данные о чувствительности аквапоринов к действию высоких доз ртути в водных растворах [2].

Дыхание, тесно связанное с метаболизмом, отражает реакцию растений на воздействия внешней среды [8]. В присутствии НР снижалась интенсивность дыхания растений. Выявлено, что в вариантах 1 и 2 скорость выделения углекислого газа листьями была соответственно в 2.0 и 4.8 раза ниже, чем в контроле (табл. 3). Дыхательная активность корней опытных растений уменьшалась на 20-28 % по сравнению с контролем. Это свидетельствует о высокой силе стресса, вызванного НР.

Наличие НР в питательном растворе приводило к изменениям в пигментном комплексе растений ячменя. Через двое суток концентрация хлорофилла *a* уменьшалась на 17-22, хлорофилла *b* – на 18, каротиноидов – на 10-15 % (табл. 4). Через трое суток в варианте 1 содержание хлорофилла *a* было меньше в 2.8, хлорофилла *b* – в 2.4, каротиноидов – в 2.5 раза, чем в контроле. Снижение содержания хлорофиллов может быть вызвано несколькими причинами. Наиболее вероятная из них – ингибирование ферментов, участвующих в синтезе хлорофилла. Ионы ТМ могут подавлять активность дегидратазы γ-аминолевулиновой кислоты и протохлорфиллидинредуктазы [5]. Кроме того, в результате окислительного стресса происходит необратимая деструкция пигментов.

Таблица 3

Дыхание проростков ячменя на третьи сутки после добавки нитрата ртути (II), М±σ

Наименование	Интенсивность дыхания, мг СО ₂ /г сухой массы · ч	
	лист	корень
Контроль	1.30±0.23	1.51±0.12
Вариант 1	0.66±0.12	1.20±0.10
Вариант 2	0.27±0.06*	1.09±0.11

* Разница между опытом и контролем достоверна при p ≤ 0.05.

Таблица 4

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях ячменя через двое (верхняя строка) и трое (нижняя строка) суток после воздействия нитрата ртути (II), М±σ

Наименование	Содержание пигментов, мг/г сухой массы		
	хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды
Контроль	11.83±0.04 11.93±0.03	3.35±0.13 3.51±0.07	2.47±0.03 2.45±0.02
Вариант 1	9.79±0.09* 4.26±0.54*	2.72±0.03*** 1.48±0.15*	2.13±0.03*** 0.97±0.19**
Вариант 2	9.14±0.13*	2.75±0.09	2.21±0.04***

Разница между опытом и контролем достоверна:
* p ≤ 0.001;
** p ≤ 0.01;
*** p ≤ 0.05.

Многие стрессоры приводят к образованию активных форм кислорода (АФК), которые вызывают повреждение клеточных структур [3]. Установлено, что через 2 ч после добавки НР содержание МДА в проростках существенно не изменялось. Через двое суток интенсивность ПОЛ в листьях возрастала: в вариантах 1 и 2 – соответственно в 3.2 и 2.4 раза по сравнению с контролем (табл. 5). Через трое суток содержание МДА в листьях было выше в 1.7 раза в варианте 1, чем у контрольных растений. Наряду с усилением ПОЛ в тканях листа, отмечали увеличение накопления МДА в корнях ячменя. Так, увеличение содержания МДА в два раза отмечали в корнях через двое суток в варианте 2. Накопление МДА в тканях опытных растений свидетельствует о том, что НР приводит к повреждению клеточных мембран.

В ответ на действие окислительного стресса, вызванного НР, происходило накопление антоциановых пигментов в побегах опытных растений. Через трое суток в варианте 1 содержание антоцианов в стеблях было на 78, а в листьях – на 67 % больше, чем в контроле (табл. 6). Мы связываем это с усилением в условиях стресса активности гидролаз, расщепляющих белковые молекулы. Из ароматических аминокислот, образовавшихся при гидролизе белка, происходит биосинтез антоцианов по шикиматному пути [4]. Не исключено, что увеличение в

Таблица 5

Интенсивность перекисного окисления липидов через двое (верхняя строка) и трое (нижняя строка) суток после добавления нитрата ртути (II), М±σ

Наименование	Содержание малонового диальдегида, моль/г сырой массы	
	лист	корень
Контроль	3.05±0.23 3.78±0.19	2.70±0.06 2.84±0.13
Вариант 1	9.75±0.75* 6.35±0.21*	2.58±0.12 3.95±0.27**
Вариант 2	7.54±0.24*	5.42±0.28*

Разница между опытом и контролем достоверна:
* p ≤ 0.001;
** p ≤ 0.05.

Таблица 6
Изменение содержания антоцианов в побегах ячменя через трое суток после добавки нитрата ртути (II), М±σ

Наименование	Содержание антоцианов, % сухой биомассы	
	стебель	лист
Контроль	0.045±0.003	0.021
Вариант 1	0.079±0.009*	0.036±0.002*

* Разница между опытом и контролем достоверна при $p \leq 0.05$.

побегах концентрации антоциановых пигментов в присутствии токсиканта связано с их антиоксидантными свойствами, способностью нейтрализовать избыточные количества АФК, образующиеся в результате воздействия стресса [9].

Таким образом, моногидрат нитрата ртути (II) НР в концентрациях 50 и 100 мкмоль/л в водных растворах вызывает сильный окислительный стресс у растений, подтверждением чего является усиление интенсивности перекисного окисления липидов в тканях. Под действием стрессора происходило ингибирование роста растений, снижение содержания фотосинтетических пигментов и накопление антоцианов. Интенсивность дыхания растений оказалась очень чувствительным параметром к действию ртути. В условиях водной культуры проявился специфический эффект – потеря тургора растениями вследствие блокирования ионами ртути водных мембранных каналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л., 1987. 142 с.
2. Ионенко И.Ф., Анисимов А.В., Романов А.В. Влияние водного стресса и хлорида ртути на транслюсионную диффузию воды в корнях проростков кукурузы // Физиология растений, 2003. Т. 50. № 1. С. 88-93.
3. Лукаткин А.С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск, 2002. 208 с.
4. Маргна У.В. Взаимосвязь биосинтеза флавоноидов с первичным метаболизмом растений. М., 1990. 176 с. – (Итоги науки и техники. Сер. Биол. химия / ВИНТИ АН СССР; Т. 33).
5. Мелева М.Г., Некрасова Г.Ф. Содержание пигментов как тест-показатель действия тяжелых металлов на высшие водные растения // Ученые записки Нижнетагильской государственной социально-педагогической академии. Нижний Тагил, 2004. С. 167-172.
6. Минеев В.Г., Тришина Т.А., Алексеев А.А. Распределение ртути и ее соединений в биосфере // Агрехимия, 1983, № 1. С. 122-132.
7. Семихатова О.А., Чулановская М.В. Манометрические методы изучения дыхания и фотосинтеза. М.: Наука, 1965. 168 с.
8. Семихатова О.А., Чиркова Т.В. Физиология дыхания растений. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. 224 с.
9. Close D.C., Beadle C.L. The ecophysiology of folliar anthocyanin // Bot. Rev., 2003. Vol. 69 (2). P. 149-161.
10. Ingestad T. A definition of optimum nutrient requirements in brich seedlings // Physiol. Plant., 1971. Vol. 24. F. 1. P. 118-125. ❖

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

В этом году исполняется 45 лет, как старший научный сотрудник **Светлана Владимировна Куренкова** работает в Институте биологии. Все это время ее исследования были связаны с изучением фотосинтетических пигментов и продуктивности культурных растений, возделываемых на Севере. Результатом многолетней работы Светланы Владимировны стали многочисленные публикации, в том числе монография «Пигментная система культурных растений в условиях подзоны средней тайги европейского Северо-Востока», которую высоко оценили специалисты-физиологи. В монографии рассмотрены общие закономерности содержания и состава пигментов в онтогенезе многолетних и однолетних культур, выявлены адаптивные возможности пигментного аппарата растений, дана оценка продуктивности работы хлорофилла при различных условиях выращивания. В последние годы Светлана Владимировна активно участвовала в комплексных исследованиях продуктивности современных сортов ячменя, разработке новых технологических приемов возделывания данной культуры на Севере. В настоящее время Светлана Владимировна с интересом участвует в новой для нее тематике по изучению морфофизиологии подземного метамерного комплекса корневищных многолетних растений.

Коллеги и друзья ценят Светлану Владимировну как отличного специалиста, надежного и доброго человека. Светлана Владимировна пользуется большим уважением у молодых сотрудников, всегда с радушием и доброжелательностью делится своим научным и жизненным опытом.

Дорогая Светлана Владимировна!

От всего сердца поздравляем Вас с трудовым юбилеем и желаем здоровья, жизненной энергии, счастливых событий, тепла и доброты близких людей!

Коллеги и друзья





**УСТОЙЧИВОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ АГРОЦЕНОЗОВ –
ОСНОВА РАСТЕНИЕВОДСТВА НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ**

д.б.н. **И. Арчегова**
в.н.с. лаборатории биологии почв
и проблем природовосстановления
E-mail: arcehova@ib.komisc.ru

Научные интересы: *мелиоративное почво-
ведение, мониторинг почвенного по-
крова*

к.б.н. **А. Панюков**
н.с. этой же лаборатории
E-mail: panjukov@ib.komisc.ru

Научные интересы: *природовосстанов-
ление, тундровые системы*



Активное освоение природных ресурсов (минеральных, топливно-энергетических) на Севере началось во второй половине XX в. С этим связано заселение и освоение малообжитых северных земель, появление новых направлений в экономике, изменение социальных традиций и т.п. Не касаясь влияния на социально-экономические аспекты промышленного развития, обратим внимание на вопросы экологического плана, которые нередко не получают должного ответа. Трудная доступность для систематических научных исследований северных территорий была одной из основных причин недостаточной научной проработки взаимосвязанных сторон хозяйственной деятельности – природопользования и природоохраны. Изучение особенностей строения, устойчивости к техногенным воздействиям, способности к самовосстановлению природных экосистем проводилось одновременно с освоением природных ресурсов, затрудняя своевременную разработку природоохранных и восстановительных мероприятий. В связи с отмеченным исследованием А.В. Журавского, несомненно, сыграли важную роль, дав толчок изучению использования и сохранения биоресурсов [1]. Следует подчеркнуть его стремление показать возможность успешного использования в хозяйственных целях биологических ресурсов на Севере.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН свои систематические исследования проводит с конца 50-х годов XX в. в крупном угледобывающем районе на северо-востоке Республики Коми – Воркутинском. В этот же период были развернуты комплексные (почвенно-растительные) исследования по выявлению возможности сельскохозяйственного освоения земель водо-

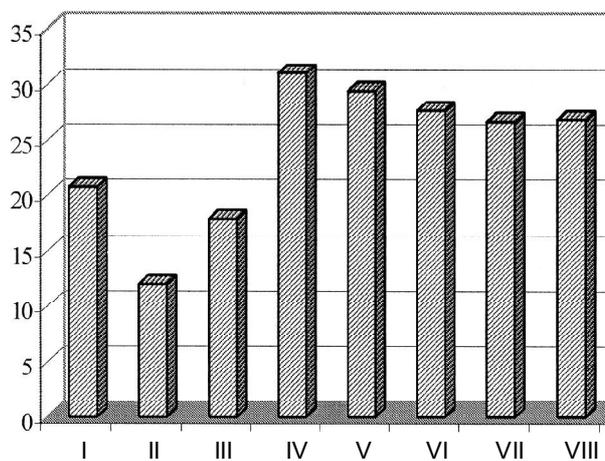
раздельной тундры. Работы проводили под руководством И.С. Хантимера, а далее Н.С. Котелиной и И.Б. Арчеговой [4-8]. Был разработан и внедрен в практику северных совхозов метод залужения – создания многолетних агроценозов (сеяных лугов). Итоги 40-летних наблюдений на одном из первых залуженных участков [2] позволили сформировать основные принципы сельскохозяйственного использования тундровых земель: 1 – адаптированность, т.е. соответствие климатическим условиям; 2 – многолетность агроценозов; 3 – системный подход. Эффективность метода залужения обеспечивает использование местных видов многолетних злаков (мятлика лугового и лисохвоста лугового). Разработанная с учетом строения и свойств тундровых экосистем схема агротехнических приемов создания агроценоза и ухода за ним обеспечивает формирование и поддержание стабильного функционирования многолетнего агроценоза.

Сеяный многолетний луг стабильно функционирует как культурная экосистема благодаря сочетанию агрофактора и развивающегося внутрисистемного механизма (биологического круговорота органического вещества),

устанавливающегося только в многолетнем агроценозе, т.е. в системе, не нарушаемой ежегодной обработкой почвы (как в пахотных угодьях). Наши наблюдения показывают сохранение устойчивой и достаточно высокой продуктивности лугового травостоя в течение четырех 10-летий (см. рисунок) при соблюдении разработанной схемы ухода. Заметим, что за этот период посев однолетних трав (овес с горохом, традиционные в таежной зоне) характеризовался резкими колебаниями урожая, вплоть до отсутствия хозяйственно значимого. Многолетние исследования показали – метод залужения является оптимальным, географически адаптированным приемом растениеводства и земледелия в Заполярье [3].

В пятом десятилетии в связи с переходом страны в другую экономическую систему уход за агроценозом практически прекратился, однако накопленный потенциал (аккумулированный запас органического растительного вещества, восполнение при его разложении запаса питательных элементов) поддерживает внутрисистемный механизм, обеспечивающий сохранение луговой системы и воспроизводство продуктивности лугового травостоя.

Показательной в этот период для характеристики изменений в культурной экосистеме является динамика урожая. С 2003 по 2005 г. хозяйственный урожай сохранялся в пределах 18.3-23.6 ц/га сухой массы. Сеяные растения продолжают доминировать в составе травостоя. Вместе с тем, снятие режима ухода, нарушения целостности дернины способствуют увеличению видового разнообразия за счет местных дикорастущих видов. С 2001 г. обнаружено внедрение 17 видов (*Cardamine pratensis*, *Geranium albi-florum*, *Myosotis asiatica*, *Ado-*



Динамика средней урожайности (ц сена/га) сеяного лисохвостно-мятликового луга (участок 1) по пятилетиям с 1959 по 2002 г. (I-VIII).

xa moschatellina, Lathyrus pratensis, Chamaenerion angustifolium, Salix phyllicifolia, S. lanata, Veratrum lobelianum, Potentilla crantzii, Tanacetum bipinnatum, Alchimilla sp. Rubus arcticus, Pachipleurum alpinum, Angelica archangelica, Galium boreale, Polemonium acutiflorum), обычных для южной тундры, в основном характерных для разнотравных береговых склонов, луговин, ивняковой тундры и других влажных местообитаний.

Суждение об изменении состава травостоя становится более полным при анализе вклада каждого вида в общую продуктивность сообщества. Как уже отмечено, в целом в луговом сообществе в пятом десятилетии его существования продолжают преобладать, составляя более половины наземной массы, высеянные злаки – мятлик луговой (46 %) и лисохвост луговой (16.3 %). При этом появляются участки с повышением доли несеянных видов, внедряющихся по нарушениям дернины. Так, в массе травостоя происходит увеличение доли *Deschampsia cespitosa* до 8.2, *Festuca rubra* – до 7.6 и видов рода *Ranunculus* – до 3.3 %. С отсутствием ежегодной уборки урожая связано накопление на поверхности отмершей растительной массы (около 11 %).

Итак, сеяный луг в пятом десятилетии существования характеризуется доминированием в травостое высеянных злаков. Такая устойчивость, несомненно, объясняется их биологическими свойствами (поверхностное

расположение корней, активное образование корневых отпрысков и др.), обеспечивающими преимущество перед тундровыми видами даже в условиях нарушения агрорежима. Дикорастущие виды, проникающие постепенно в травостой, сдерживаются высеянными травами-эдификаторами. Такая устойчивость высеянных местных видов обеспечивает при возобновлении ухода быстрое восстановление продуктивности сеяного луга, что подтверждено опытом. Таким образом, без механического нарушения почвы многолетняя сеяная экосистема остается в течение пяти десятилетий устойчивой.

Разработанный под руководством И.С. Хантимера метод залужения является оптимальным способом сельскохозяйственного использования тундровых земель, обеспечивает развитие в Заполярье растениеводства и земледелия, создание местной кормовой базы для животноводства. Опыт показал, что многолетние сеяные луга могут использоваться как сенокосно-пастбищные угодья для молочного животноводства, а также как пастбища для оленей. Устойчивое местное сельскохозяйственное производство, соответствующее природно-климатическим особенностям Севера, обеспечивает укрепление социальной базы экономического развития северного региона. Накопленный за почти полвека научный материал является теоретическим вкладом в луговедение, луговодство и почвоведение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавский А.В. Приполярная Россия в связи с разрешением общегосударственного аграрного и финансового кризиса. Архангельск, 1908.
2. Особенности природопользования и перспективы природовосстановления на Крайнем Севере России / Н.С. Котелина, И.Б. Арчегова, Г.Г. Романов и др. Екатеринбург, 1998. 147 с.
3. Система ведения сельского хозяйства Коми АССР. Т. 1. Система интенсивного ведения земледелия. Сыктывкар, 1983. 148 с.
4. Хантимер И.С. Залужение – основа обеспечения кормами молочного животноводства в тундре // Сообщества Крайнего Севера и человек. М.: Наука, 1985. С. 115-133.
5. Хантимер И.С. Сельскохозяйственное освоение тундры. Л.: Наука, 1974. 227 с.
6. Экологические основы управления продуктивностью агрофитоценозов восточно-европейской тундры / И.Б. Арчегова, Н.С. Котелина, Л.К. Грунина и др. Л.: Наука, 1991. 152 с.
7. Эколого-фитоценологические процессы при залужении тундры / И.Б. Арчегова, Л.К. Грунина, Н.С. Котелина и др. // Сообщества Крайнего Севера и человек. М.: Наука, 1985. С. 91-115.
8. Archegova I., Kotelina N., Mazhitova G. Agricultural use of tundra soils in the Vorkuta area, northeast European Russia // Cryosols (permafrost-affected soils) / Ed. J.M. Kimble. Berlin: Springer-Verlag, 2004. P. 661-676.

ЮБИЛЕЙ

Коллектив экоаналитической лаборатории от всей души поздравляет **Нину Андреевну Малькову** с юбилейной датой!

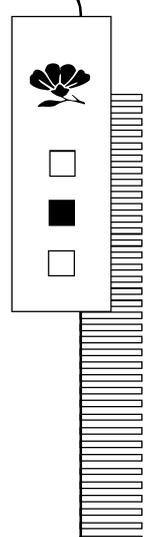
Желаем Вам крепкого здоровья, семейного уюта, благополучия и успехов на долгие годы. Счастья и добра Вам и Вашим близким, оставайтесь всегда такой же обаятельной женщиной, полной энергии и творческих сил.

*День рождения – особая дата,
Этот праздник ни с чем не сравнить.
Кто-то добрый придумал когда-то,
Чтоб цветы в этот день Вам дарить.*

*Пожеланий наших не счесть!
Мы не будем делить их на части.
От души Вам желаем всего,
Что вмещает слово «счастье»!*

*Только пусть никогда-никогда
Не черствеет душа от усталости.
Мы желаем Вам на все года
Здоровья и радости.*

Коллеги



АЛЬГОГРУППИРОВКИ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ



асп. **И. Новаковская**
 м.н.с. отдела флоры
 и растительности Севера
 E-mail: novakovskaya@ib.komisc.ru
 тел. (8212) 24 52 98

Научные интересы: почвенная альгология



к.б.н. **Е. Патова**
 с.н.с. этого же отдела
 E-mail: patova@ib.komisc.ru

Научные интересы: альгология, разнообразие и распространение синезеленых водорослей, экология тундровых сообществ

Почва как среда обитания составляет единое целое с населяющими ее популяциями разнообразных организмов. Ее изменения сопровождаются обязательной трансформацией состава биоты, при этом сильный стресс испытывают все компоненты напочвенного и почвенного ярусов, включая мхи, лишайники и водоросли. В сообществах этих организмов в зависимости от степени техногенной нагрузки происходят нарушения, начинающиеся с изменения биомассы и состава доминирующих видов, до обеднения видового состава и уменьшения количественных показателей [2]. Под влиянием стрессовых факторов происходят изменения на всех уровнях организации почвенных водорослей.

В связи с этим в настоящее время активно проводится изучение состава и развития почвенных водорослей лесных экосистем, подвергшихся сильному техногенному загрязнению. К основным загрязнителям атмосферы, образовавшимся вследствие промышленного производства, относятся кислотообразующие соединения серы и азота, тяжелые металлы: кадмий, свинец, ртуть, цинк, медь, никель, кобальт [6]. Цель данной работы – проанализировать основные тенденции формирования группировок почвенных водорослей лесных фитоценозов в условиях антропогенного воздействия.

Почвенная биота лесных сообществ, в отличие от открытых природных экосистем (тундры, степи и т.д.), менее подвержена воздействию антропогенных факторов благодаря защитной роли крон деревьев, удерживающих часть эмиссий загрязняющих веществ и осадков [8]. Степень влияния антропогенных факторов определяется также расстоянием от источника загрязнения, розой ветров и характером загрязнителей. Общеизвестно, что в результате антропогенного воздействия происходит уменьшение общего числа видов водорослей в почвах разных типов фитоценозов, перестройка их таксономической и экологической структуры. По отношению к уровню антропогенной нагрузки выделяют группы индикаторных видов [3]: индифферентные (*Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun. in Cl. et Grun., *Chlamydomonas gloeogama* Korsch. in Pasch., *Chlorococcum infusionum* (Schrank) Menegh., *Chlorella minutissima* Fott et Novbkovb); тяготеющие к среднему уровню нагрузки (*Phormidium tenue* (Menegh.) Gom., *Leptolyngbya gracillima* (Zopf ex Hansgirg) Anagnostidis et Kombræk, *Navicula pelliculosa* (Brüb.) Hilse, *Characiopsis minor* Pasch., *Xanthonema bristolianum* (Pasch.) Silva, *Heterococcus viridis* Chodat, *Chlamydomonas elliptica* Korsch. in Pasch., *Stichococcus minor* Ндг; тяготеющие к сильной нагрузке

(*Nostoc linckia* (Roth) Born. et Flah., *Phormidium animale* (Ag. ex Gom.) Anagnostidis et Kombræk, *P. breve* (Kütz. ex Gom.) Anagnostidis et Kombræk, *Leptolyngbya boryana* (Gom.) Anagnostidis et Kombræk, *Parietochloris alveolaris* (Bold) Watanabe et Floyd; чувствительные (*Chroococcus dispersus* (Keissler) Lemm., *Tolypothrix tenuis* Kütz. По отношению к комплексному аэротехногенному загрязнению выделяют [3]: индифференты – *Chlamydomonas gloeogama*, *C. isogama* Korsch. in Pasch., *Myrmecia bisecta* Reising; толеранты – виды, максимум развития популяций которых наблюдается в местообитаниях с сильным загрязнением – *Nostoc punctiforme* (Kütz.) Hariot, *Eustigmatos magnus* (Boye-Pet.) Hibb., *Chlorococcum hypnosporum* Starr; чувствительные – виды, избегающие загрязненные почвы – *Hantzschia amphioxys*, *Chlamydomonas debaryana* Gorosch. var. *atactogama* (Korsch.) Gerloff, *C. elliptica*.

Водоросли разных отделов не одинаково реагируют на антропогенное воздействие. Наиболее чувствительны к различным видам техногенного воздействия представители отдела Xanthophyta и к аэротехногенному загрязнению – Cyanophyta [8]. Синезеленые так же восприимчивы к загрязнению почвы кислыми выбросами. Резкое угнетающее действие на альгофлору оказывает медь – сильный аллелопат; самым стойким видом к повышенным концентрациям Cu и Ni является *Bracteacoccus minor* (Chod.) Petrovb [10]. В почвах сосновых фитоценозов с повышенным содержанием фтора и хрома доминирующими видами становятся *Chlamydomonas elliptica* и *Bracteacoccus minor*. Большое влияние на почвенные водоросли лесных фитоценозов оказывают нефтепродукты. В пихтово-еловом лесу загрязнение сырой нефтью приводит к полному исчезновению водорослей из отделов Cyanophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta и уменьшает глубину их распространения в почвенном профиле. Даже через 20 лет на загрязненных участках наблюдается невысокое видовое разнообразие водорослей, обычно представленное видами из отделов синезеленые и зеленые [8]. В настоящее время большое количество нефтепродуктов попадает в лесные фитоценозы с выбросами автотранспорта. В сосновых фитоценозах, расположенных вблизи автодороги, уменьшается количество видов зеленых и желтозеленых водорослей, увеличивается число видов из отделов синезеленые и диатомовые [13].

В настоящее время все актуальнее становится проблема радиоактивного загрязнения, влияния кислотных дождей и продуктов уничтожения химического оружия на альгогруппировки лесных

фитоценозов. Популяции почвенных водорослей хвойных лесов способны переносить длительное воздействие γ -излучения без существенных изменений [4]. Эти организмы аккумулируют в своем организме радиоактивные элементы. В лесах наиболее устойчивыми видами к продуктам уничтожения химического оружия являются одноклеточные зеленые водоросли (виды родов *Chlamydomonas*,

Coccomyxa, *Chlorococcom*) и нитчатки (*Stichococcus*, *Klebsormidium*) [5]. Установлено, что кислотные дожди очень ограничивают рост и развитие *Cyanophyta*, *Eustigmatophyta*, *Xanthophyta*, *Bacillariophyta* и некоторых видов *Chlorophyta* в лесных и восстановленных лесных массивах [14].

Еще одним следствием антропогенного воздействия является рекреационная деградация лесных

ЮБИЛЕЙ

В канун 85-летия государственности Республики Коми **Изосиму Александровичу Коюшеву** исполнилось 85 лет.

Он родился в 1921 г. в с. Пезмог Корткеросского района Коми АССР. В 1938 г. окончил сельскохозяйственный техникум в с. Ульяново Усть-Куломского района по специальности «Зоотехния». В 1939 г. его призвали в ряды Советской Армии, где он, пройдя через полковую артиллерийскую школу, в звании сержанта стал командиром орудия. С первых дней и до конца Великой Отечественной войны Изосим Александрович воевал на Юго-западном и Первом украинском фронтах. Был семь раз ранен, но всегда возвращался в строй. За свои ратные подвиги был награжден орденом Красной Звезды и пятью боевыми медалями. На фронте в 1944 г. вступил в ряды Коммунистической партии.

После войны вернулся домой и стал работать старшим зоотехником, а затем начальником Сыктывдинского райсельхозуправления. Как человека с большим жизненным опытом, обладающего огромной энергией, неутомимого труженика партия и правительство всегда ставили И.А. Коюшева на самые ответственные участки работы по восстановлению народного хозяйства в Республике Коми. В 1951-1957 гг. — председатель укрупненного колхоза им. Калинина в с. Палевицы Сыктывдинского района; в 1957-1960 гг. — директор Пожегодской (Помоздинской) МТС; в 1960-1962 гг. — директор совхоза «Косланский» Удорского района; в 1962-1968 гг. — директор совхоза «Корткеросский»; в 1957-1964 гг. заочно обучался в Высшей партийной школе при ЦК КПСС.

В декабре 1965 г. И.А. Коюшев поступает в заочную аспирантуру Коми филиала АН СССР и в 1969 г. в Ленинградском сельскохозяйственном институте успешно защищает кандидатскую диссертацию по теме «Биологические особенности и приемы возделывания борщевика Сосновского и горца Вейриха в центральной таежной зоне Коми АССР». С 1968 г. Изосим Александрович возглавляет научно-экспериментальную биологическую станцию (ВНЭБС) Коми филиала АН СССР, а с 1976 г. переходит на должность младшего научного сотрудника лаборатории интродукции растений Института биологии, где много лет плодотворно занимается научной работой, не теряя связи с сельскохозяйственным производством. Благодаря опыту и энтузиазму Изосима Александровича в течение десяти лет (1979-1989 гг.) научные разработки сотрудников отдела Ботанический сад испытывались и внедрялись на полях совхозов объединения «Коминнефть» в Ухтинском районе Коми АССР. Многочисленные хозяйственные договоры о сотрудничестве с совхозами, лекции, семинары, неоднократное успешное участие отдела в Выставке достижений народного хозяйства в Москве — в этом есть и большая заслуга И.А. Коюшева.

Изосим Александрович — автор 45 научных работ, в том числе крупной монографии «Кормопроизводство в Коми АССР», вышедшей в Коми книжном издательстве в 1980 г. и не потерявшей актуальности и на сегодняшний день.

За свои трудовые заслуги перед Родиной И.А. Коюшев имеет много почетных наград: почетное звание «Заслуженный зоотехник Коми АССР» (1954), орден Трудового Красного Знамени (1967), почетные грамоты, медали ВДНХ, благодарности.

С 1993 г. Изосим Александрович находится на заслуженном отдыхе, но не теряет связи с сотрудниками Института, живо интересуется жизнью родного ботанического сада. Следя за научной литературой по интродукции разных видов, он пробует их выращивать на своем приусадебном участке в с. Пезмог, следит и за новой литературой по оздоровлению и омоложению организма, при этом многие рецепты испытывает на себе. При встрече он делится интересной информацией, новыми мыслями и можно только удивляться, как много этот человек знает и как мудро он живет.

Дорогой Изосим Александрович!

Поздравляем Вас со знаменательной датой — 85-летием! Желаем доброго здоровья, счастья, радости, благополучия Вам и Вашей семье, неиссякаемых душевных сил и оптимизма.

Сотрудники отдела Ботанический сад



экосистем. Долевое участие водорослей из отделов Cyanophyta и Bacillariophyta в альгофлорах возрастает пропорционально степени нарушенности сосновых фитоценозов, например, вытаптывание вызывает массовое развитие синезеленых водорослей из порядка Oscillatoriales. При этом с увеличением степени рекреационной нагрузки постепенно уменьшается число видов из семейств Chlorococcaceae, Chlamydomonadaceae, Ulotrichaceae, а также Pleurochloridaceae и Botryochloridaceae до исчезновения [7]. Видами, наиболее чувствительными к уплотнению почвы, являются *Pleurochloris commutata* Pasch., *Navicula minima* Grun. in Van Heurck, *Chlamydomonas dactylococcoides* Scherff. et Pasch., *C. conferta* Korsch., *C. elliptica*, *C. snowiae* Printz, *Monallantus brevicylindrus* Pasch., *Polyedriella irregularis* Pasch., *Bumilleria sicula* Borzi, *Myrmecia biatorellae* (Tsch. – Woess et Plessl) Boye-Pet [11]. Вследствие рекреационной нагрузки происходит смена с X- и C-жизненных форм на Ch- и C-формы [1]. В спектре жизненных форм появляются представители ксероморфной природы (Cf-, P-, Pf-, M-формы). Очень бедными по видовому составу и обилию видов почвенных водорослей являются начальные стадии послепожарных сукцессий, здесь наблюдается перегрупп-

пировка доминантного комплекса, изменяется соотношение водорослей антропогенно- и природно-нарушенных местообитаний [12]. Как в лесных, так и в пустынных почвах пионерные сообщества послепожарных сукцессий обычно представлены зелеными и диатомовыми водорослями [11]. В лесных фитоценозах вначале появляются виды *Bracteacoccus minor*, *Navicula pelliculosa*, *Hantzschia amphioxys* [11]. Азональные группировки на свалках включают диатомовые и синезеленые водоросли. К наиболее устойчивым видам к неблагоприятным условиям среды относятся *Bracteacoccus minor*, *Chlorococcum* sp., *Navicula pelliculosa*, *Chlamydomonas oblongella* Lund, *C. gloeogama*, *Chlorella vulgaris* Beijer., *Hantzschia amphioxys*, *Eustigmatos magnus* [11]. Существенные изменения, по данным Т.И. Алексиной и Э.А. Штиной, происходят в первые годы после удаления древесного полога в сообществе почвенных водорослей: увеличивается их видовое разнообразие, численность, усиливается развитие синезеленых, диатомовых и нитчатых желтозеленых [1].

Таким образом, техногенное загрязнение почвы вызывает четкие изменения в таксономическом разнообразии, структуре альгогруппировок и количественных показателей. При этом может происхо-



ЮБИЛЕЙ

Славную дату, 60-летие со дня рождения, отмечает **Нина Павловна Ромашко**, ветеран Института биологии, совсем недавно ведущий инженер отдела Ботанический сад. Нина Павловна Ромашко родилась в селе Спаспороуб Прилузского района, навыки работы на земле получила еще в детстве. Поэтому, закончив среднюю школу, она не случайно выбрала естественно-географический факультет Коми государственного педагогического института. После трехлетней работы в сельской школе она в 1972 г. поступила в лабораторию интродукции растений (ныне отдел Ботанический сад) Инсти-

тута биологии. С этого времени это ее постоянное место работы на все последующие 33 года до выхода на заслуженный отдых.

С самого начала внимательная и исполнительная Нина Павловна старательно овладевала премудростями творческого труда, постигала новые методики полевых и лабораторных исследований. Следуя научной тематике ведущих сотрудников отдела В.П. Мишурова, И.А. Коюшева, С.И. Семенчина, в разные периоды объектами ее исследований были кормовые (видовое и внутривидовое разнообразие рода горец, природное разнообразие злаковых трав местной флоры) и пищевые (большое сортовое разнообразие картофеля и земляники садовой) растения. К творческой деятельности Н.П. Ромашко последних лет следует отнести изучение культуры картофеля с позиций новых подходов и, в частности, освоение современных методик иммуноферментного анализа определения вирусов коллекционных сортов картофеля, ускоренного размножения безвирусного материала в культуре *in vitro*. Приобретенные навыки и опыт работы позволяли ей всегда умело и четко до педантичности наладить проведение программных исследований, а за годы плодотворной работы стать высококвалифицированным специалистом. В коллективе Нина Павловна неизменно пользовалась уважением, всегда готовая оказать практическую помощь и начинающим, и коллегам со стажем.

Нина Павловна – соавтор около 20 научных публикаций. За долголетнюю и активную работу награждена почетной грамотой РАН и профсоюза работников РАН, почетной грамотой Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Дорогая Нина Павловна!

Мы благодарны Вам за Ваш самоотверженный труд!

Коллектив Института биологии, родной отдел Ботанический сад сердечно поздравляют Вас со знаменательной датой в Вашей жизни – 60-летием!

Желаем Вам крепкого здоровья, огромного счастья, оптимизма и благополучия!

диль обеднение альгосинузий, смена доминирующих комплексов, изменение численности и биомассы, либо исходные группировки водорослей полностью заменяются новыми [8, 9]. Наиболее устойчивы к различным видам антропогенного воздействия водоросли из отдела Chlorophyta. Самыми чувствительными ко всем рассмотренным выше видам нарушений, связанных с антропогенной деятельностью, являются представители отдела Xanthophyta. Уменьшение их разнообразия или исчезновение наблюдается на самых ранних этапах трансформации почвенной биоты. Именно представители желтозеленых водорослей рекомендованы многими специалистами как индикаторы чистоты почв [1, 8]. Диатомовые и синезеленые водоросли наиболее чувствительны к засолению и изменению кислотности почв. Данные о состоянии альгогруппировок в почвах хвойных лесов таежной зоны в условиях антропогенного воздействия немногочисленны и требуют детального изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексахина Т.И., Штина Э.А.* Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 149 с.
2. *Гузев В.С., Левин С.В.* Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях // Почвоведение, 1991. № 9. С. 50-62.
3. *Кабилов Р.Р.* Альгосинузии южной тайги и их изменения в процессе промышленного освоения территории // Бот. журн., 1990. Т. 75, № 12. С. 1717-1727.
4. *Кабилов Р.Р., Степанов А.М., Черненко Т.В.* Устойчивость популяций почвенных водорослей к радиоактивному загрязнению // Альгология, 1991. Т. 1, № 4. С. 51-57.
5. *Кондакова Л.В.* Использование почвенных водорослей в мониторинге техногенных и фоновых территорий Кировской области // Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: теория, методика: Матер. Всерос. науч. школы. Киров, 2004. Вып. II. С. 139-142.
6. *Копцик Г.Н.* Устойчивость лесных почв к атмосферному загрязнению // Лесоведение, 2004. № 4. С. 61-71.
7. *Илюшенко А.Е.* Приспособления почвенных водорослей лесных фитоценозов к рекреационным нагрузкам // Сиб. экол. журн., 2001. № 4. С. 443-448.
8. Особенности почвенной альгофлоры в условиях техногенного загрязнения / Э.А. Штина, Л.Б. Неганова, Т.А. Ельшина и др. // Почвоведение, 1985. № 10. С. 97-106.
9. *Патова Е.Н.* Cyanophyta в водоемах и почвах восточноевропейских тундр // Бот. журн., 2004. Т. 89, № 9. С. 1403-1419.
10. *Прошкина Е.А.* Влияние тяжелых металлов на сообщества почвенных и эпифитных водорослей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 1997. 21 с.
11. *Сугачкова Е.В.* Влияние рекреационной нагрузки на сообщества почвенных водорослей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2000. 22 с.
12. *Чумачева Н.М.* Сукцессии почвенных водорослей постпирогенных биотопов лесных фитоценозов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2003. 17 с.
13. *Aleksakhina T.I.* Soil algae of the forest stands in zones affected by motor transport // Algae in terrestrial ecosystems: Abstr. Intern. Conf. Kaniv, 2005. P. 74.
14. *Johansen J.R., Shubert L.E.* Algae in soils // Nova Hedwigia, 2001. Beiheft 123. P. 297-306.

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

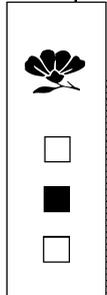
25 лет работает в Институте биологии ведущий инженер **Михаил Дмитриевич Сивков**. В 1981 г. сразу после окончания физико-математического факультета Коми государственного педагогического института он по распределению пришел в лабораторию физиологии растений на должность инженера. Сегодня Михаил Дмитриевич отвечает за обеспечение работы газометрического оборудования, обеспечивает проведение исследований продуктивности наземных тундровых экосистем, разрабатывает методики экофизиологических исследований водорослей и лишайников, отвечает за приборную базу отдела флоры и растительности Севера. Он выполняет инженерно-экологические изыскания при проведении биологических исследований суши и водных объектов в районах газо- и нефтеразведки и добычи на территории Республики Коми и Ненецкого автономного округа. Двенадцать лет он является бессменным начальником экспедиционного отряда.

Сегодня Михаил Дмитриевич — высококвалифицированный инженер, автор двух оригинальных методик и 40 научных публикаций, в том числе в рецензируемых российских и зарубежных изданиях. Разработанный им комплекс аппаратуры и методики измерения для проведения экофизиологических исследований в лабораторных и полевых условиях используется при выполнении многих научных исследований Института, в том числе и многочисленных работ аспирантов.

Его отличают огромная работоспособность, увлеченность, творческий подход к экспериментальным исследованиям. Он охотно делится своими знаниями с молодежью. Коллеги ценят его как творческого специалиста, настоящего инженера, ответственного и надежного человека.

Поздравляем Михаила Дмитриевича, желаем ему крепкого здоровья, оптимизма, ежедневной радости от общения с родными и близкими людьми, новых интересных экспедиций и открытий.

Коллеги





ЭКЗОГЕННЫЕ ЭКДИСТЕРОИДЫ ВЛИЯЮТ НА ПЛОДОВИТОСТЬ ИМАГО ЕГИПЕТСКОЙ ХЛОПКОВОЙ СОВКИ

к.б.н. **К. Уфимцев**
 н.с. лаборатории биохимии и биотехнологии
 E-mail: ufimtsev@ib.komisc.ru, тел. (8212) 21 67 14

Научные интересы: *энтомология, экология, влияние биологически активных соединений на насекомых-фитофагов*

Известно, что насекомые обладают различной чувствительностью по отношению к экзогенным фитоэксдистероидам – структурным аналогам гормонов линьки и метаморфоза членистоногих. По мнению некоторых исследователей наиболее чувствительными являются моно- и олигофаги, которые в природных условиях кормятся на растениях, не содержащих экдистероиды или содержащих их в крайне малых количествах. Питание на средах даже с невысокими концентрациями 20-гидроксиэкдизона (20E) приводило к нарушению процессов их роста и развития. Эти насекомые отказывались от пищи с высокой концентрацией экдистероидов. Наиболее устойчивыми к высоким концентрациям 20E в кормовом рационе считаются полифаги [2]. Согласно литературным данным к таким полифагам относится египетская хлопковая совка *Spodoptera littoralis* Boisid. (Lepidoptera: Noctuidae). В природе она охотно питается листьями растения марь белая *Chenopodium album*, в которых концентрация экдистероидов достигает 175 ppm. Было показано, что 20E, наиболее распространенный в растительном мире и идентичный истинному гормону линьки членистоногих, в концентрации 75 ppm не оказывал детергентного воздействия на египетскую хлопковую совку [11]. Более поздние исследования выявили, что она может быть длительное время устойчива к искусственной питательной среде, содержащей более 100 ppm 20E, и даже более высокие концентрации 20E или экдизона (E) не вызывали неблагоприятных последствий в ее развитии [6, 7].

Несмотря на определенные достижения в изучении распространения экдистероидов в растительном мире и их структурного многообразия, до настоящего времени нет однозначного ответа на вопрос о том, какова роль экдистероидов в растениях. Выполняют ли они роль аллелохимических токсинов и антифидантов по отношению к неадаптированным видам фитофагов, имеют ли физиологическое значение для роста и развития самих растений или взаимоотношения между растениями – продуцентами экдистероидов и насекомыми-фитофагами носят еще более сложный характер

[8]. В рамках экологической стратегии представляется чрезвычайно важным рассмотреть чувствительность как можно большего количества насекомых-фитофагов к фитоэксдистероидам, полученным с пищей, установить специфику влияния различных по структуре экдистероидов на насекомых-фитофагов, сопоставить активность значительного числа различных экдистероидов в одном и том же биотесте, установить связь между структурой и биологической активностью экдистероидов [2].

Ранее нами были получены новые данные о действии экдистероидов на гусениц капустной совки *Mamestra brassicae* L. и кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* Hb., которые свидетельствуют о чувствительности этих полифагов к фитоэксдистероидам [3, 4]. Это согласуется с результатами [10], полученными Марион-Полл с соавт. при воздействии экдистероидов на сенсорные рецепторы личинок четырех видов чешуекрылых (туовой шелкопряд *Bombyx mori*, *Ostrinia nubilalis*, *Mamestra brassicae*, *Spodoptera littoralis*), согласно которым гусеницы кукурузного мотылька и капустной совки оказались чрезвычайно чувствительными по отношению к E, 20E и понастеронам. Однако у египетской хлопковой совки эти экдистероиды не вызывали никаких вкусовых реакций [10].

Известно, что экдистероиды и ювенильный гормон являются гонадотропинами у имаго насекомых, при этом 20E играет важную роль в непосредственном контроле оогенеза. Было показано [1], что экспериментальное

повышение титра 20E резко снижает плодовитость самок дикого типа *Drosophila virilis*. Нами на примере египетской хлопковой совки, считающейся нечувствительной к высоким концентрациям 20E, выявлено [4], что экзогенные экдистероиды нарушают нормальное развитие ее личинок и вызывают значительное снижение плодовитости имаго.

Гусеницы египетской хлопковой совки были получены из Института энтомологии Академии наук Республики Чехия (г. Ческе-Будеювице). Изучалось влияние питательных сред, содержащих 1 мг/г 20E (ЭПС-1), E (ЭПС-2) и 2,3,22,25-тетраацетата 20E (ТА, ЭПС-3). Контрольная среда не содержала экдистероиды. Личинок выращивали в чашках Петри диаметром 200 мм в термостате при температуре 25 °C с фото- и скотофазой соответственно 16 и 8 ч на искусственной питательной среде по общепринятой методике [5]. Гусениц VI (последнего) возраста со средней массой 270±10 мг помещали в чашки Петри на контрольную среду и ЭПС группами по пять особей. Ежедневно регистрировали изменение массы гусениц и смертность. В конце эксперимента определяли продолжительность развития личинок и плодовитость имаго. Изменение титра экдистероидов в гемолимфе завершивших питание гусениц определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием аналитической ВЭЖХ-системы Varian, pro Star (США).

Эксдистероидсодержащая диета влияла на динамику развития гусениц,

Развитие гусениц *Spodoptera littoralis* последнего возраста на экспериментальных питательных средах

Среда	Объем выборки	Смертность*, %	Средняя масса, мг		Количество яиц на одну самку, шт.	Содержание экдистероидов в гемолимфе, нг/мл	
			гусеница****	куколка		20E	E
Контроль	30	23.4	557±15	249±8	485±31	440±61	н
ЭПС-1	25	27.0	457±9	204±10	259±10***	180±17	н
ЭПС-2	35	71.4**	542±16	215±5	–	н	200±22

* Приведена гибель гусениц и куколок.

** p < 0.01.

*** p < 0.01.

**** Указаны максимальные величины данного показателя.

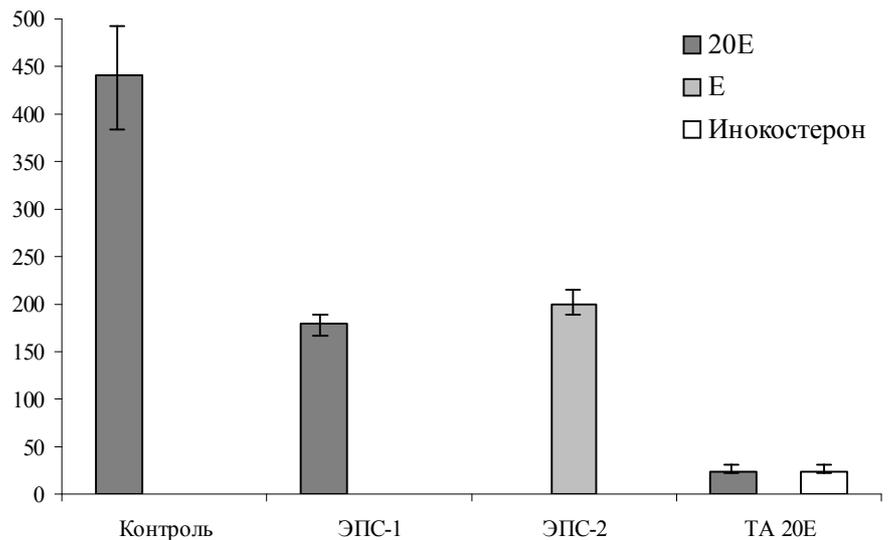
Прочерк – количество яиц было слишком мало и они были оставлены для отрождения гусениц. ЭПС-1 и ЭПС-2 – питательные среды, содержащие соответственно 1 мг/г 20-гидроксиэкдизона (20E) и экдизона (E); н – экдистероид в гемолимфе гусениц не обнаружен.

их смертность, но, прежде всего, на плодовитость имаго. На ЭПС-1 наблюдалось незначительное снижение максимальной средней массы одной гусеницы по сравнению с контролем, задержка развития гусениц на 3-5 суток, гибель 27 % особей и значительное снижение плодовитости имаго (см. таблицу). На ЭПС-2 во время питания личинок больших отличий от контрольной группы в развитии не наблюдалось. Максимальная средняя масса одной гусеницы незначительно отличалась от контрольной, гибель гусениц также была незначительна (см. таблицу). Высокая смертность отмечена на стадии куколки и во время линьки на имаго. Выход имаго составил всего 28.6 %. Из полученных кладок наблюдалось отторжение гусениц и их последующая гибель.

Из каждой группы было отобрано по пять гусениц, завершивших питание, на анализ гемолимфы. Результаты анализа показали изменение содержания гормона линьки 20E и прогормона E по сравнению с контрольной группой (см. рисунок). Титр 20E в контроле был самым высоким – 440 нг/мл. На ЭПС-1 (с 20E) он составил 180 нг/мл. На ЭПС-2 (с E) гормон линьки 20E обнаружен не был, но содержалось 200 нг/мл E. Питание на ЭПС-3 (с ТА 20E), приведшее к гибели всех гусениц, вызвало существенное изменение качественного и количественного содержания гормонов в гемолимфе. При ВЭЖХ-анализе гемолимфы были обнаружены незначительные количества 20E и инокостерона (см. рисунок).

Таким образом, нами показано, что экзогенные экидистероиды, поступающие с пищей, нарушают нормальное развитие гусениц египетской хлопковой совки, приводят к изменению титра экидистероидов в гемолимфе завершивших питание гусениц, вызывая гибель гусениц и куколок и значительное снижение плодовитости имаго.

Автор благодарит н.с. лаборатории биохимии и биотехнологии к.б.н. С.О. Володину за ВЭЖХ-анализ гемолимфы.



Титр (нг/мл) экидистероидов в гемолимфе завершивших питание гусениц египетской хлопковой совки. Условные обозначения: ЭПС-1, ЭПС-2 и ТА 20E – питательные среды, содержащие соответственно 1 мг/г 20-гидроксиэкидизона (20E), экидизона (E) и 2,3,22,25-тетраацетата 20E.

ЛИТЕРАТУРА

- 20-гидроксиэкидизон взаимодействует с ювенильным гормоном и дофамином в контроле плодовитости *Drosophila virilis* / И.Ю. Раушенбах, Н.Е. Груntenко, ..., В.В. Володин // ДАН, 2005. Т. 400, № 6. С. 847-849.
- Дайнен Л. Стратегия оценки роли фитоэкидистероидов как детерентов по отношению к беспозвоночным-фитофагам // Физиология растений, 1998. Т. 45, № 3. С. 347-359.
- Действие экидистероидов *Serratula coronata* L. на поведение и развитие личинок некоторых видов насекомых-фитофагов / К.Г. Уфимцев, Т.И. Ширшова, А.П. Якимчук, В.В. Володин // Раст. ресурсы, 2001. Т. 34, вып. 3. С. 23-33.
- Фитоэкидистероиды / Отв. ред. В.В. Володин. СПб.: Наука, 2003. С. 160-170.
- Adel M.M., Sehna F. Azadirachtin potentiates the action of ecdysteroid agonist RH-2485 in *Spodoptera littoralis* // J. Insect Physiol., 2000. Vol. 46. P. 267-274.
- Blackford M., Clarke B., Dinan L. Distribution and metabolism of exoge-

nous phytoecdysteroids in the Egyptian cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) // Arch. Insect. Biochem. Physiol., 1997. Vol. 34. P. 329-346.

7. Blackford M., Clarke B., Dinan L. Tolerance of Egyptian cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) to ingested phytoecdysteroids // J. Insect Physiol., 1996. Vol. 42. P. 931-936.

8. Kubo I., Klocke J.A., Asano S. Effects of ingested phytoecdysteroids on the growth and development of two Lepidopterous larvae // J. Insect Physiol., 1983. Vol. 29. P. 307-316.

9. Lafont R. Understanding insect endocrine systems: molecular approaches // Entomol. Exp. Appl., 2000. Vol. 97. P. 123-136.

10. Marion-Poll F., Descoins C.L. Taste detection of phytoecdysteroids in larvae of *Bombyx mori*, *Spodoptera littoralis* and *Ostrinia nubilalis* // J. Insect Physiol., 2002. Vol. 48, № 4. P. 467-476.

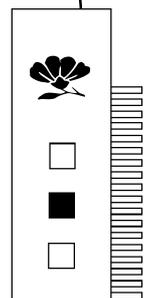
11. Tanaka Y., Naya S.-I. Dietary effect of ecdysone and 20-hydroxyecdysone on larval development of two Lepidopteran species // Appl. Entomol. Zool., 1995. Vol. 30. P. 285-294.

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

д.б.н., заведующему лабораторией биохимии и биотехнологии **Владимиру Витальевичу Володину** с присвоением ученого звания «профессор» по специальности 03.00.23 – биотехнология.

(Решение президиума ВАК России: № 37 пс/3 от 13.10.2006 г.)

Желаем дальнейших творческих успехов!





НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

В октябре 2006 г. исполнилось 35 лет с того момента, как **Антонина Васильевна Котова** переступила впервые порог Института биологии. Она была принята на должность старшего лаборанта лаборатории географии и генезиса почв. В 1981 г., после освоения методик проведения химического анализа, она стала работать в отделе почвоведения в должности инженера, а с 2005 г. — инженера-химика.

Антонина Васильевна — один из уникальных специалистов отдела почвоведения. Наряду с физико-химическими методами анализа, она владеет методами определения физических свойств почв и, самое главное, методами микроморфологического анализа почв. Она выполняла и выполняет сложную и кропотливую работу по подготовке почвенных шлифов для микроморфологического анализа, результаты которого позволяют реально оценить распределение и организацию почвенных компонентов в горизонтах почв, определить характер и направленность почвообразовательного процесса. Плоды многолетней работы Антонины Васильевны реализовались в написанных сотрудниками отдела почвоведения монографиях, статьях, сборниках.

В летний сезон Антонина Васильевна — незаменимый помощник в полевых исследованиях: это и экспедиционные поездки, и полевые эксперименты. Ну а в организации полевых экскурсий, прежде всего запоминающихся обедов на свежем воздухе, мы во многом обязаны неистощимой энергии Антонины Васильевны.

Обаятельностью и доброжелательностью Антонина Васильевна завоевала симпатии и признание в коллективе. Это любящая и заботливая мать и бабушка.

*Дорогая Антонина Васильевна!
От всей души поздравляем Вас со знаменательной датой и желаем здоровья,
счастья, благополучия! Радости и успехов Вам, Вашим детям и Вашим внукам!*

Сотрудники отдела почвоведения



НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

Начало октября 2006 г. ознаменовано юбилейной датой в трудовой деятельности **Тамары Константиновны Головки**. 35 лет назад она приехала в северный город Сыктывкар после окончания Донецкого государственного университета и была зачислена в штат лаборатории физиологии растений Института биологии Коми НЦ УрО РАН на должность старшего лаборанта. После окончания заочной аспирантуры Коми филиала АН СССР Тамара Константиновна защитила кандидатскую диссертацию (1978), а через семь лет она была назначена на должность заведующей лабораторией, которую она возглавляет и по сей день. Основными направлениями исследований Т.К. Головки являются процессы фотосинтеза и дыхания, их значение в жизнедеятельности и продуктивности растений. Ею впервые сформулированы представления о регуляции и реализации функций дыхания в донорно-акцепторной системе растений. Выявлены связи дыхания с эффективностью роста, продуктивностью и адаптивностью растений. Результаты исследований легли в основу её докторской диссертации, которая была успешно защищена в 1993 г. Важнейшие результаты научно-исследовательской работы Тамары Константиновны опубликованы в более чем 160 научных публикациях, в числе которых шесть крупных монографий. В течение 10 лет она активно и усердно трудилась в должности заместителя директора Института биологии по науке. На этом посту ею внесен значительный вклад в развитие основных направлений научных исследований Института, интеграцию науки и высшего образования в области биологии и экологии. Наряду с исследовательской работой, Тамара Константиновна ведет активную работу по подготовке научных кадров. Под её руководством выполнены и защищены девять кандидатских работ. Она разрабатывает и читает лекции и спецкурсы по физиологии растений в вузах. В 2000 г. ей присвоено звание профессора. В последние годы Тамара Константиновна заведует кафедрой ботаники химико-биологического факультета СыктГУ. Т.К. Головки — член Президиума Коми НЦ УрО РАН, председатель Коми отделения Общества физиологов растений России, Председатель специализированного Совета Д.004.007.01 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Высокий профессионализм, подлинное мастерство, прекрасный талант исследователя, огромная работоспособность, неиссякаемая энергия позволяют Тамаре Константиновне трудиться по-настоящему творчески, целенаправленно, успешно, демонстрировать из года в год высокую результативность. Сотрудники лаборатории, коллеги и друзья единодушно отмечают ответственность и требовательность Тамары Константиновны.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МЫШЬЯКА В ПОЧВАХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Соединения мышьяка широко распространены в биосфере: они встречаются в горных породах, почвах и водах, в растениях и организмах животных. Распределение мышьяка по разным регионам Земного шара во многом обусловлено процессами формирования литосферы, сорбционными равновесиями в почвах и осадочных породах. В почвах Русской равнины его содержание довольно однообразно и варьирует в диапазоне значений от 1 до 10 мг/кг (среднее содержание мышьяка почвах 3.6 мг/кг, кларковое содержание 5 мг/кг). Наиболее высокое содержание мышьяка наблюдается в черноземах и серых лесных почвах, наименьшее – в тундровых и подзолистых почвах. Для всех видов почв, кроме почв Севера, наблюдается тенденция к увеличению содержания мышьяка в верхних органогенных горизонтах, что указывает на значительный привнос мышьяка в почву с растительными остатками в более южных районах [1, 2].

В хорошо аэрированных почвах преобладающая форма мышьяка – арсенаты (AsO_4^{3-}). Поэтому в большинстве автоморфных почв химия мышьяка – это химия арсенатов. В восстановительных условиях, свойственных гидроморфным почвам, доминирующей формой мышьяка могут быть арсениды (AsO_3^{3-}). Присутствие арсенида в аэробных условиях возможно при $pH < 4.5$, а в анаэробных – при $pH < 7$. В основе химических превращений мышьяка в окружающей среде важную роль также играют и процессы биометилирования. Мышьяковая кислота или арсенаты претерпевают биовосстановление в арсениды, способные, в свою очередь, к восстановлению в арсин (AsH_3). Основной метаболит мышьяка в природе – диметиларсиновая кислота – может восстанавливаться до диметил- или триметиларсина [5-7]. Соединения мышьяка вследствие относительно высокой растворимости в воде и летучести легко мигрируют в ландшафтах.

Актуальность изучения закономерностей поведения соединений мышьяка в ландшафтах обусловлена их повышенной токсичностью. Почва, как главный депонирующий компонент ландшафта, определяет особенности накопления, миграционные характеристики, возможность консервации и последующей мобилизации данного элемента в окружающую среду. Цель данной работы – выявление закономерностей аккумуляции и миграции соединений мышьяка в почвах северотаежной подзоны. Подобные исследования на территории Республики Коми ранее не проводились.

В качестве объектов исследования были выбраны почвы незагрязненных фоновых территорий Ухтинского и Соногорского районов. Проведены измерения валового со-



А. Низовцев

ведущий инженер-электроник
лаборатории «Экоаналит»
E-mail: nan@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 53 39
Научные интересы:
атомная спектроскопия



к.х.н. Б. Кондратенко

заведующий этой же лабораторией
E-mail: kondratenok@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 50 12
Научные интересы: *аналитическая химия, физико-химические методы анализа, химические проблемы экологии*



д.с.-х.н. В. Безносиков

заведующий лабораторией химии почв
E-mail: soil@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 51 15
Научные интересы:
химия и экология почв



О. Шевченко

инженер-химик ОАО «Композит»
Научные интересы:
атомная спектроскопия

держания мышьяка в различных по генезису почвах: подзоле иллювиально-железистом, глееподзолистой, торфянисто-подзолисто-глееватой, пойменной дерново-луговой, торфяно-болотной. Разложение образцов почв проводили смесью концентрированной азотной кислоты и пероксида водорода в СВЧ-минерализаторе «Минотавр» (НПФ АП «Люмэкс», Санкт-Петербург). Аналитической формой при определении мышьяка служил газообразный гидрид мышьяка

арсин (AsH_3), который получали в гидрид-генераторе восстановлением окисленных соединений мышьяка тетрагидроборатом натрия ($NaBH_4$) в солянокислой среде. Измерения проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре SPECTRO CIROS CCD по интенсивности излучения атомов мышьяка на резонансных длинах волн 189.042 или 193.759 нм. Для построения градуировочной зависимости готовили аттестованные смеси соответствующим разбавлением референтного образца с аттестованным содержанием мышьяка (MERCK, Германия). Контроль правильности проводили по стандартному образцу СО № 39804 САЗП-98 с аттестованным значением массовой доли мышьяка 5.95 ± 0.57 млн.⁻¹ (мг/кг).

Анализ полученных результатов позволил выявить наиболее характерные зависимости распределения массовой доли мышьяка по профилям подзола иллювиально-железистого, глееподзолистой и торфянисто-подзолисто-глееватой почв (см. рисунок). Известно, что органогенные горизонты способны накапливать катионы тяжелых металлов, что обусловлено высокой устойчивостью их гуматных и фульватных комплексных соединений. Для соединений анионной природы подобные реакции

комплексообразования не характерны. Поэтому аккумуляция арсенат- или арсенит-ионов в органогенных горизонтах выражена существенно в меньшей степени, чем тяжелых металлов, например, ртути. Более значительное накопление мышьяка в иллювиальных горизонтах почв происходит в результате сорбции соединений мышьяка анионной природы на поверхности минеральных коллоидов, состоящих, в основном, из «активных» оксидов и гидроксидов железа и алюминия [4, 6, 7]. Коэффициент корреляции массовых долей мышьяка и физической глины (фракция частиц диаметром менее 0.01 мм), мышьяка и железа составляют соответственно 0.96 и 0.84.

Распределение мышьяка по профилю зависит во многом от физико-химических характеристик самих почв. Так, подзолы, сформированные на древнеаллювиальных песках, обладают высокой внутрисочвенной дренированностью, низкой сорбционной емкостью вследствие бедно-

го содержания гумуса и железа. В подзолах, сформированных на древнеаллювиальных глинах, наблюдается высокая сорбционная емкость, обусловленная наличием большого количества гидроксидов железа и алюминия, а также органических веществ. В подзолах, сформированных на древнеаллювиальных суглинках, наблюдается высокая сорбционная емкость, обусловленная наличием большого количества гидроксидов железа и алюминия, а также органических веществ.

Так, подзолы, сформированные на древнеаллювиальных песках, обладают высокой внутрисочвенной дренированностью, низкой сорбционной емкостью вследствие бедно-

го содержания гумуса и железа. В подзолах, сформированных на древнеаллювиальных глинах, наблюдается высокая сорбционная емкость, обусловленная наличием большого количества гидроксидов железа и алюминия, а также органических веществ.

Так, подзолы, сформированные на древнеаллювиальных песках, обладают высокой внутрисочвенной дренированностью, низкой сорбционной емкостью вследствие бедно-

сти их минералогического состава, что приводит к миграции соединений мышьяка из подстилки и подзолистого горизонта в иллювиальную толщу. С увеличением содержания физической глины в иллювиальных горизонтах торфянисто-подзолистоглееватой и глееподзолистой почв, сформированных на покровных суглинках, количество адсорбированных соединений мышьяка закономерно увеличивается. Характер распределения соединений мышьяка по профилям этих почв однотипен (см. рисунок).

В качестве иллюстрации нетипичного распределения мышьяка в профиле могут служить зависимости, полученные для пойменной дерново-луговой и торфяно-болотной почв. Относительно равномерное распределение мышьяка в профиле пойменных дерново-луговых почв обусловлено условиями почвообразования, а именно многократным отложением иллювиальных наносов на поверхность поймы. Аналогично распределение соединений мышьяка по профилю торфяно-болотной почвы. Причина этого – высокая подвижность как окис-

ленных (арсенат- и арсенит-ионы), так и восстановленных (арсин, метиларсины, диметиларсиновая кислота и др.) соединений мышьяка. Последние образуются в условиях значительного увлажнения и преобладания анаэробных условий.

В органогенных горизонтах минимальное содержание соединений мышьяка зафиксировано для подзолов иллювиально-железистых (0.4 млн.⁻¹). Более значительно накопления мышьяка в верхних горизонтах глееподзолистых (0.9 млн.⁻¹), торфянисто-подзолисто-глееватых (1.0 млн.⁻¹) и торфяно-болотных (1.3 млн.⁻¹) почв. Такая закономерность обусловлена увеличением гумусного слоя исследуемых почв, в котором протекают процессы сорбции соединений мышьяка гуминовыми кислотами [5]. Максимальное содержание соответствует пойменным дерново-луговым почвам (2.9 млн.⁻¹). Для минеральных горизонтов получена следующая возрастающая последовательность содержания соединений мышьяка: подзол иллювиально-железистый (0.2 млн.⁻¹), торфяно-болотная (1.1 млн.⁻¹), торфянисто-подзо-

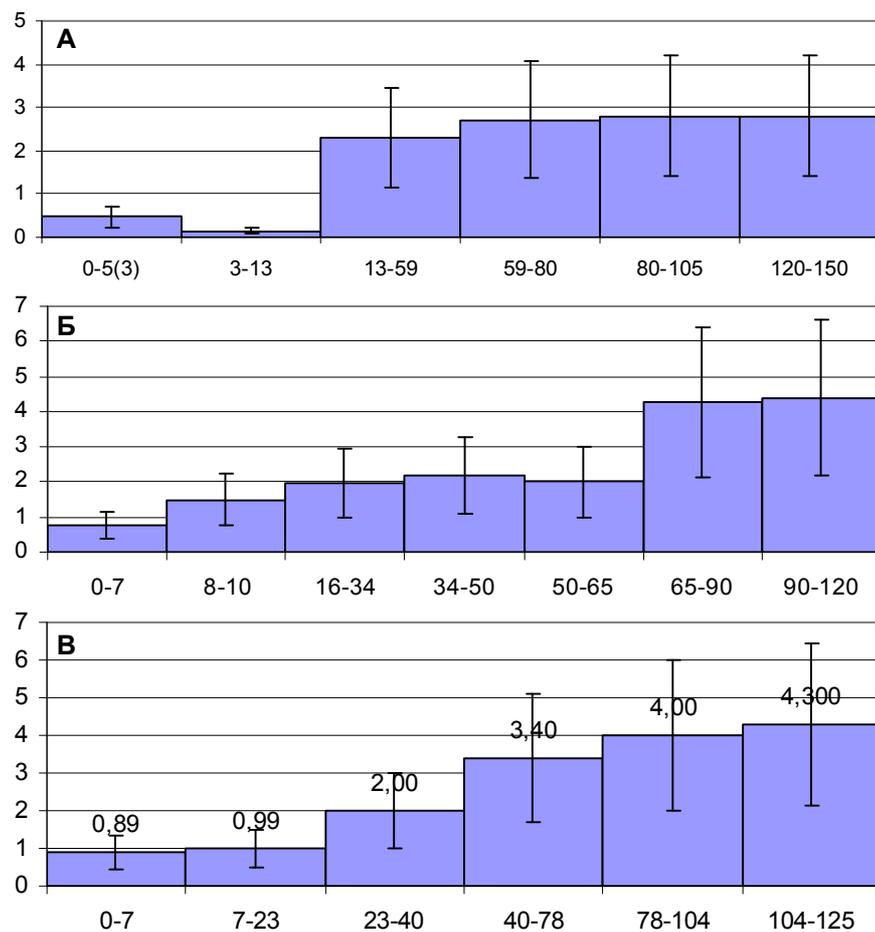
листо-глееватая (1.4 млн.⁻¹), глееподзолистая (1.7 млн.⁻¹) и пойменная дерново-луговая (3.2 млн.⁻¹) почвы, что может быть обусловлено различным содержанием мелкодисперсных фракций в составе минеральных горизонтов почв.

В соответствии с установленными правилами, сравнение содержания ингредиента с предельно-допустимой концентрацией (ПДК) проводят для верхних горизонтов почв, которые аккумулируют большинство загрязнителей различной химической природы. Превышение ПДК по валовому содержанию мышьяка (2 мг/кг) получено только в случае пойменных дерново-луговых почв: органогенный горизонт – в 1.45 раза, минеральный – в 1.60 раза. В то же время, в нижних иллювиальных горизонтах превышение ПДК в 1.3÷2.0 раза отмечено для всех исследованных почв (см. рисунок).

Таким образом, впервые проведенное систематическое исследование распределения соединений мышьяка в различных почвах северной тайги. Установлено, что, в отличие от тяжелых металлов, не происходит значительной аккумуляции соединений мышьяка в органогенных горизонтах, что обусловлено их различной химической природой. Показано, что основное накопление соединений мышьяка обусловлено его сорбцией частицами физической глины в минеральных горизонтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 251 с.
2. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
3. *Thanabalasingam P., Pickering W.F.* Arsenic sorption by humic acids // *J. Environm. Pollution.* 1986. Vol. 12. № 3. P. 233-246.
4. *Woolson E.A., Axley J.H.* The chemistry and phytotoxicity of arsenic in soils: I. Contaminated field soils // *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1971. Vol. 35. № 9. P. 938-943.
5. *Woolson E.A., Axley J.H., Kearney P.C.* The chemistry and phytotoxicity of arsenic in soils: II. Effects of time and phosphorus // *Ibid*, 1973. Vol. 37. № 2. P. 254-259.
6. *Копылов Н.И., Каминский Ю.Д.* Мышьяк / Под ред. Г.А. Толстикова. Новосибирск, 2004. 367 с.
7. *Мотузова Г.В., Алтикаев Р.С., Карлова Е.А.* Фракционирование почвенных соединений мышьяка // *Почвоведение*, 2006. № 4. С. 432-442.



Влияние глубины залегания (см; по оси абсцисс) горизонтов иллювиально-железистой (А), глееподзолистой (Б) и торфяно-подзолисто-глееватой (В) почв на содержание мышьяка (млн.⁻¹; по оси ординат).



**ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ГРАДУИРОВОЧНОЙ ФУНКЦИИ
ПРИ АНАЛИЗЕ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ
НА ВАЛОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ АЗОТА И УГЛЕРОДА МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**



А. Естафьева
ведущий инженер-химик
лаборатории «Экоаналит»
E-mail: kondratenok@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 50 12

Научные интересы: *элементный (С, N, H, S) анализ биологических объектов, природных материалов, органических соединений методом газовой хроматографии*

к.х.н. **Е. Ванчикова**
с.н.с. этой же лаборатории
E-mail: kondratenok@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 50 12



Научные интересы: *аналитическая химия объектов окружающей среды, метрологическое обеспечение количественного химического анализа, метрологическая аттестация методик выполнения измерений в области количественного химического анализа*

Определение содержания углерода и азота в образцах почвы, растений, животных, природных материалов, органических соединений проводят методом газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O). Оценку коэффициента градуировочной функции интегральной интенсивности аналитического сигнала от содержания определяемого компонента в исследуемом объекте осуществляют с помощью стандартных образцов (СО). В лаборатории «Экоаналит» используют 30 стандартных образцов, аттестованных на содержание азота ($\omega(N)$ от 0.03 до 17 %), и 36 – содержащих углерод ($\omega(C)$ от 0.08 до 95 %). Природа образцов различна: индивидуальные соединения (L-цистин, сахароза), образцы растений (СО состава зерна пшеницы, состава клубней картофеля), почв (чернозем Курский, светлокаштановая Прикаспийская и дерновоподзолистая Московская) и т.д. Однако государственные образцы не покрывают весь диапазон измеряемых массовых долей азота и углерода, поэтому дополнительно готовят искусственные смеси органических соединений с оксидом кремния с заданным содержанием компонента. Например, навески ацетанилида или циклогексанон 2,4-динитрофенилгидразона и оксида кремния перетирают в агатовых ступках в течение не менее трех часов до образования однородной смеси. В работе приведены результаты статистической обработки результатов анализа стандартных образцов на содержание углерода и азота, полученные в течение 2005 г.

Неоднородность стандартных образцов

Определение однородности дисперсных материалов проводят по методике, описанной в ГОСТ 8.531. Метод основан на измерении содержания компонента в не менее 15 порциях твердого образца, которые переводят в раствор. Затем анализируют в условиях повторяемости не менее чем по три аликвотные части гомогенной системы (раствора). Характеристика однородности твердого образца – это разность стандарт-

ных отклонений измеренных значений содержания компонента, полученных в условиях воспроизводимости (для гетерогенной системы) и в условиях повторяемости (для гомогенной системы).

Оценку характеристики погрешности массовой доли углерода в приготовленных искусственных смесях ацетанилида с оксидом кремния, связанной с неоднородностью образцов, можно осуществить путем перевода ацетанилида из смеси в водный раствор и определения содержания углерода в гомогенной системе по методике определения бихроматной окисляемости в пробах вод (ПНДФ 14.1:2:4.190-03).

В приготовленных в лаборатории смесях относительная погрешность аттестованного значения массовой доли углерода, обусловленная неоднородностью образца, не превышает тех же характеристик государственных образцов (табл. 1). Приведенная относительная погрешность массовой доли углерода является одной из составляющих систематической погрешности результата анализа различных объектов на содержание углерода, если оценку коэффициента градуировочной функции в этот день проводят с использованием данных образцов.

Погрешности, вызванные нарушением линейной зависимости интегральной интенсивности сигнала от массовой доли компонента в образце

Расчет массовой доли компонента в исследуемом образце основан на зависимости:

$$J = K \omega(X) m, \tag{1}$$

Таблица 1
Метрологические характеристики образцов

Образец	Массовая доля углерода $\omega(C)$, %	Погрешность		
		абсолютная $\pm \Delta$, %	относительная $\pm \delta$, %	
Смесь ацетанилида с оксидом кремния	10.0	0.4	4	
	1.25	0.09	7	
	0.156	0.014	9	
Стандартный образец (СО) почвы чернозем Курский (ГСО 5359-90)	3.60	0.20	6	
	дерновоподзолистая Московская (ГСО 5360-90)	1.70	0.22	13
		светлокаштановая Прикаспийская (ГСО 5358-90)	0.55	0.07

где J – интегральная интенсивность сигнала CO_2 или N_2 на хроматограмме, мВ·с; K – коэффициент, мВ·с/мг; $\omega(X)$ – массовая доля углерода или азота; m – масса образца, мг.

Если в заданном диапазоне массовых долей компонента значения коэффициента K постоянны, линейная зависимость (1) выполняется. Метод газовой хроматографии позволяет определить в различных объектах массовую долю азота в диапазоне от 0.03 до 20 %, углерода – от 0.15 до 100 %.

Для азота линейная зависимость (1) сохраняется только в диапазоне $\omega(\text{N})$ от 5 до 20 %, а в диапазоне $\omega(\text{N})$ от 0.03 до 5 % наблюдается логарифмическая зависимость интегральной интенсивности сигнала молекулярного азота на хроматограмме от массовой доли азота в объекте исследования. Следовательно, качество результата анализа пробы, содержащей менее 5 % азота, зависит от диапазона градуировки хроматографа с использованием трех стандартных образцов. Чем меньше разность между минимальным и максимальным значениями массовых долей азота в стандартных образцах, тем меньше систематическая погрешность результата анализа исследуемой пробы, связанная с градуировочной функцией (рис. 1). Существенное отклонение от линейной зависимости (1) при $\omega(\text{N}) < 5\%$ связано с тем, что сигнал азота на хроматограмме появляется сразу после сигнала примесей, содержащихся в кислороде. При малых содержаниях азота в образце сложно четко разделить его аналитический сигнал от сигнала примесей и, следовательно, погрешность результата анализа на содержание азота в образце значительно увеличивается.

Для углерода коэффициент зависимости (1) постоянно возрастает с уменьшением массовой доли углерода в образце. Если провести оценку коэффициента K во всем диапазоне $\omega(\text{C})$ от 10 до 80 %, погрешность результата анализа, связанная с градуировкой по стандартным образцам, составит от 1 до 4 %, в диапазоне $\omega(\text{C})$ от 0.15 до 10 % данная составляющая систематической погрешности может достигнуть 7 % (рис. 1).

Таким образом, для уменьшения систематической погрешности результата анализа проб все образцы классифицируют по содержанию в них азота или углерода и для каждой серии образцов оценку значения коэффициента градуировочной функции проводят в узком диапазоне массовых долей исследуемого компонента и постоянно корректируют его в процессе анализа серии образцов. Аналогичные зависимости и выводы получены в работе [2].

Погрешности, связанные с математическим методом расчета коэффициента градуировочной зависимости

В качестве примера рассмотрим оценку значения коэффициента градуировочной функции с использованием трех образцов, содержащих азот ($\omega_n(\text{N})$ – 0.972; 1.944; 3.89 %) и углерод ($\omega_n(\text{C})$ – 2.5; 5; 10 % соответственно). В течение года данное сочетание образцов было использовано 20 раз. Измерив для каждого образца на хроматограмме интегральную интенсивность сигнала J_{cn} молекулярного азота или оксида углерода (IV), оценить значение коэффициента K зависимости (1) можно двумя методами расчета:

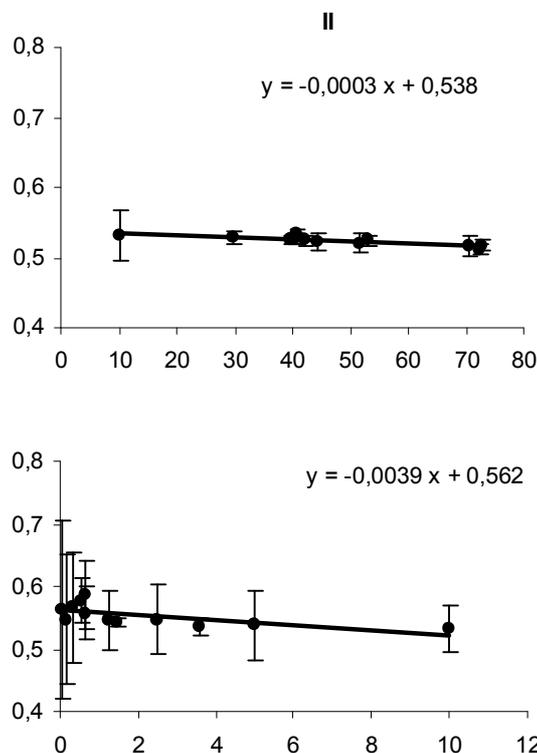
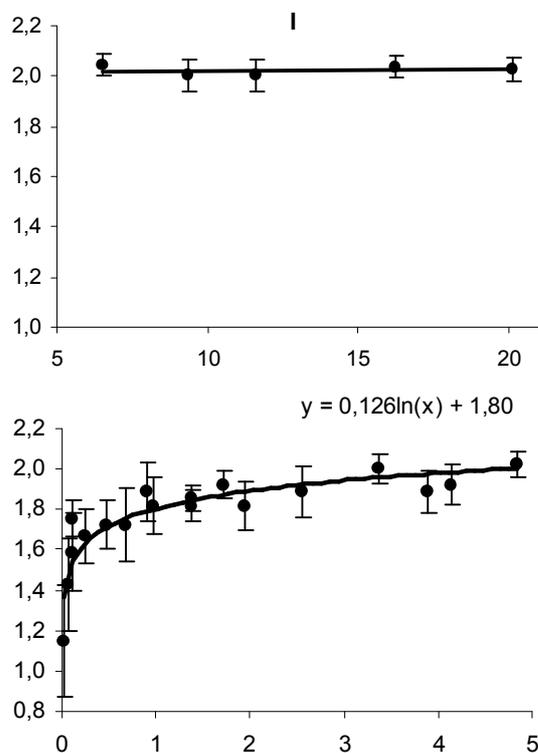
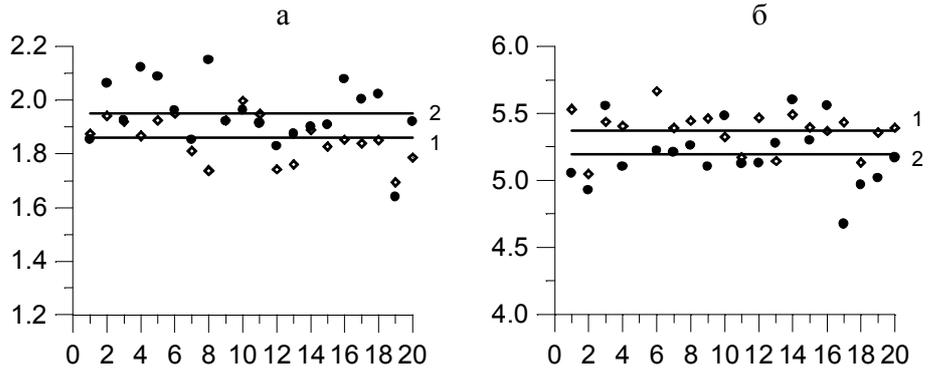


Рис. 1. Изменение значений (а) коэффициента градуировочной функции в диапазоне массовых долей азота (I) и углерода (II) и их прецизионность (б) в течение года. По горизонтали – массовые доли азота и углерода соответственно $\omega(\text{N})$ и (C) , %, по вертикали – значения коэффициента градуировочной функции для азота и углерода, соответственно $K \cdot 10^{-5}$ и $K \cdot 10^{-6}$ мВ·с/мг.

Рис. 2. Значения коэффициентов градуировочной функции для азота (а) и углерода (б) 1 – рассчитанные по формулам (2), 2 – методом наименьших квадратов по программе «Статистика». По горизонтали – номер процедуры градуировки, по вертикали – значения коэффициента градуировочной функции, $K \cdot 10^{-5}$ мВ·с/мг.



по формулам:

$$K_n = \frac{(J_{cn} - \bar{J}_o)}{w_{cn} m_{cn}}, \quad \bar{K} = \frac{\sum_{n=1}^N K_n}{N}, \quad (2)$$

методом наименьших квадратов (МНК) по программе «Статистика» для зависимости:

$$(J_c - \bar{J}_o) = K w_c m_c, \quad (3)$$

где \bar{J}_o – среднее трех измеренных значений интегральной интенсивности сигналов J_{on} , полученных в «холостых» опытах, мВ·с; w_{cn} (w_c) – массовая доля компонента в стандартном образце, %; m_{cn} (m_c) – масса стандартного образца, мг.

Символы \bar{K} уравнений (2) и K уравнения (3) принадлежат одной и той же физической величине, но разные способы математического расчета ее значения приводят к различным результатам (табл. 2, рис. 2). Относительное расхождение значений K , полученных для одних и тех же экспериментальных данных, но двумя математическими методами, составляет 4÷5 %. Причем, для азота выше значение K , полученное методом наименьших квадратов, для углерода – расчетом по формулам (2). Расхождение значений коэффициентов, рассчитанных двумя математическими методами, связано с тем, что по программе «Статистика» для линейной зависимости задается уравнение:

$$Y = V_0 + V_1 x. \quad (4)$$

Значением коэффициента V_0 или V_1 пренебрегают, если оно незначимо отличается от погрешности (уровень значимости $p > 0.05$). Как для азота, так и для углерода по критериям статистики [1] в уравнении градуировочной зависимости (4) значением V_0 можно пренебречь. Экспериментально полученному массиву данных соответствует уравнение $Y = V_1 x$. Однако, несмотря на малые значения V_0 , не выходящие за диапазон погрешности, для азота в 20 случаях сохраняется отрицательное значение V_0 , для углерода – положительное (рис. 2). Следовательно, при анализе объектов на содержание азота и углерода прослеживается системати-

ческая составляющая погрешности, которую можно учесть, сохраняя в градуировочной зависимости коэффициент V_0 или значение коэффициента градуировочной зависимости оценивать по программе МНК по уравнению, не содержащему V_0 (программа «Анализ», составленная Н.Н. Уляшевым).

Нижняя граница диапазона измеряемых массовых долей азота и углерода

Нижнюю границу диапазона измеряемых содержанием компонента оценивают по стандартному отклонению интенсивности «холостого» сигнала средства измерения:

$$J_{x \min} = (J_{изм} - J_o) = 2S(J_o). \quad (5)$$

Это соотношение выполнимо только для гомогенных систем, например, растворов. Для гетерогенных систем, неоднородность которых резко увеличивается при уменьшении содержания исследуемого компонента, нижняя граница диапазона измеряемых содержаний зависит, в основном, от подготовки образца к анализу и навески.

Для анализа пробы на содержание азота и углерода максимальная навеска 20 мг. Используя приведенные (табл. 3) значения коэффициентов линейной зависимости (1), нижняя граница диапазона измеряемых массовых долей компонентов, согласно формуле (5), для азота $\omega(N)_{\min} = 0.006$, для углерода $\omega(C)_{\min} = 0.016$ %. Эти значения в 5÷10 раз меньше установленных метрологическим исследованием результатов анализа стандартных образцов: для азота $\omega(N)_{\min} = 0.03$, для углерода $\omega(C)_{\min} = 0.15$. Результаты анализа пограничных стандартных образцов (табл. 4) показывают, что их неоднородность позволяет определить содержание компонентов с от-

Таблица 2
Характеристики средних 20 коэффициентов линейной зависимости интегральной интенсивности сигнала от массовой доли азота (верхняя строка) и углерода (нижняя строка) в образце ($K \cdot 10^{-5}$, мВ·с/мг)

Метод расчета	Коэффициент	Стандартное отклонение K	Среднее значение K	Абсолютное (относительное, %) расхождение значений коэффициентов
	\bar{K}			
По формуле (2)	1.86	0.03	1.90	0.09 (5)
	5.3	0.4		
МНК	1.95	0.03	5.20	0.20 (4)
	5.1	0.3		

Примечание: МНК – метод наименьших квадратов по программе «Статистика».

Таблица 3

Нижняя граница диапазона измеряемых массовых долей азота и углерода

Компонент	Количество измерений	Интенсивность «холостого» сигнала	Стандартное отклонение интенсивности сигнала	Минимальная интенсивность аналитического сигнала	Нижняя граница диапазона массовых долей*
	n	J_0	$S(J_0)$	$J_x = J_{изм} - J_0$	$\omega(X)_{min}, \%$
Азот	87	232	110	210	0.006 (0.03)
Углерод	80	2900	800	1700	0.016 (0.15)

* Оценена по прецизионности интенсивности «холостого» сигнала (метрологическим исследованием результатов анализа стандартных образцов).

Таблица 4

Результаты анализа стандартных образцов с содержанием компонентов (n = 6) вблизи установленной нижней границы диапазона

Компонент	Аттестованные		Измеренные				
	массовая доля $\omega_b(X), \%$	погрешность $\pm \Delta_0$	массовая доля $\omega(X), \%$	стандартное отклонение $S(\omega), \%$	погрешность		
					$\pm \Delta$	$\pm \delta$	$\pm \delta^*$
Азот	0.0304	0.0015	0.031	0.003	0.008	28	30
Углерод	0.156	0.014	0.156	0.014	0.04	24	25

* Приписанная методике по результатам метрологического исследования.

носительной погрешностью не ниже: азота – 30, углерода – 25 %.

Статистический контроль стабильности результатов измерений

Для статистического контроля стабильности результатов измерений в пределах лаборатории применяют карты Шухарта. Для создания карты Шухарта в течение определенного периода времени проводят измерения содержания компонента в одном и том же стандартном образце не менее 16 раз в условиях внутрилабораторной воспроизводимости. Затем сравнивают получаемую по выборкам информацию о текущем состоянии процесса с контрольными границами, представляющими пределы прецизионности: пределы предупреждения – $C \pm 2S(C)$; пределы действия – $C \pm 3S(C)$ (C – аттестованное значение содержания исследуемого компонента в образце, $S(C)$ – стандартное отклонение измеренного значения, приписанное методике анализа).

Так как интегральная интенсивность соответствующего хроматографического сигнала прямо пропорциональна содержанию исследуемого компонента в образце, для статисти-

ческого контроля стабильности результатов измерений можно использовать выборку интенсивностей аналитического сигнала. В этом случае прецизионность измеренных значений J не зависит от правильности градуировки хроматографа.

В представленных картах Шухарта (рис. 3) для трех неоднородных стандартных образцов массовая доля углерода различна. В стандартном образце СБМТ (злаковая травосмесь) $\omega_1(C) = 44.38 \%$. В двух смесях циклогексанон 2,4 динитрофенилгидразона с оксидом кремния (ЦК 1) массовая доля углерода $\omega_2(C) = 0.156 \%$ (вблизи нижней границы диапазона $\omega(C)$) и (ЦК 2) $\omega_3(C) = 0.078 \%$ (меньше нижней границы диапазона $\omega(C)$, приписанного методике). Прецизион-

ность измеренных значений интенсивности аналитического сигнала углерода для образца СБМТ не превышает $\pm \delta = 5 \%$ ($P = 0.95$). Только одно измерение оказалось за границей предела предупрежде-

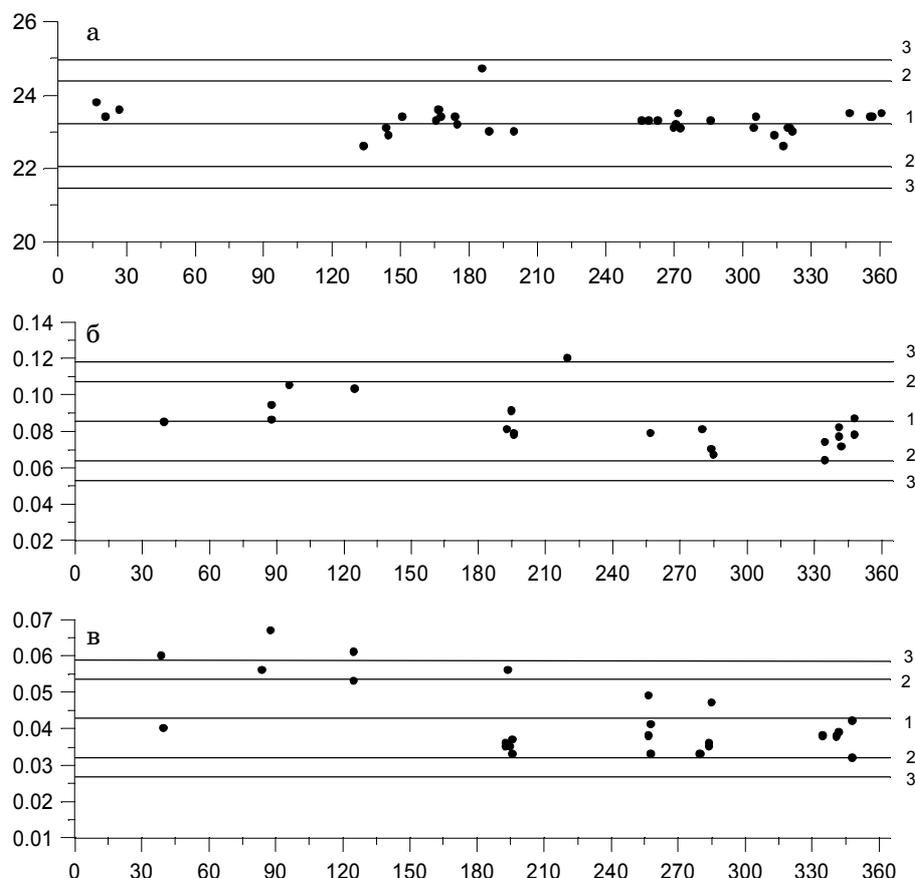


Рис. 3. Карты Шухарта интегральных интенсивностей аналитического сигнала углерода для стандартных образцов: СБМТ (а), ЦК 1 (б) ЦК 2 (в).

Условные обозначения: 1 – среднее значение интенсивности сигнала; 2 – границы предела предупреждения; 3 – границы предела действия.

По горизонтали – порядковый номер дня 2005 года, по вертикали – значения коэффициента градуировочной функции, $K \cdot 10^{-5}$ мВ·с/мг.

ния, но в зоне действия. Для образца ЦК 1 границы предела предупреждения в пять раз шире: $\pm\delta = 25\%$. Несмотря на это, появилось одно измерение – промах. Для образца ЦК 2 измеренные значения распределяются в диапазоне границ относительной погрешности $\pm\delta = 50\%$.

Таким образом, неоднородность образцов не позволяет установить нижнюю границу диапазона измеряемых массовых долей углерода и азота, обусловленную только прецизионностью холостого сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дерффель К.Ж. Статистика в аналитической химии. М.: Мир, 1994. 268 с.
 2. Использование автоматического элементного анализатора фирмы «Карбо Эрба», модель 1106 для определения С, Н, N в элементарноорганических соединениях / Н.Д. Масленникова, Л.М. Кипаренко, А.Г. Буяновская и др. // Аналитическая химия, 1993. Т. 48, вып. 3. С. 547-554.

ИСТОРИЯ



ДОБЫЧА РАДИЯ НА ВОДНОМ ПРОМЫСЛЕ

к.г.-м.н. **А. Иевлев**
 главный специалист Министерства промышленности и энергетики Республики Коми
 E-mail: ugol.minprom@rkomi.ru, тел. (8212) 24 55 38

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

С 1931 по 1956 г. на месте пос. Водный Ухтинского района действовал завод союзного значения по производству радия. Общая картина его деятельности достаточно хорошо исследована [1, 6], однако главный вопрос – об объемах добычи радиоактивных металлов – не нашел своего полного освещения в научной литературе по причинам секретности этих сведений. Лишь в последнее время изменился допуск к отчетным документам промышленного отдела Коми обкома ВКП(б), что в сочетании с информацией из других источников позволило получить новые данные по этому вопросу.

Бурение первой эксплуатационной скважины на радиоактивную воду на Водном промысле было начато 4 сентября 1931 г. Скважина № 3 дала самоизливающуюся воду с большим дебитом и богатым содержанием радиевых солей. В 1931 г. было добыто и переработано 1650 куб. м радиоактивной воды [2]. Постановление Совета труда и обороны «Об организации Ухто-Печорского треста» (№ 1423/423 сс от 16 ноября 1932 г.) определяло

размер добычи радия на 1933 г. по Ухто-Печорскому тресту в объеме 8 г [4]. В 1932 и 1933 гг. было пущено в переработку соответственно 151876 и 758862 куб. м добытой воды. План 1934 г. предусматривал добычу и переработку 2732000 куб. м воды [2].

В 1936 г. начальник Ухто-Печорского треста Я.М. Мороз в юбилейном рапорте Коми облисполкому отметил, что с момента своего создания трест добыл 5 млн. куб. м радиоактивной воды [3]. По данным начальника Ухтокомбината С.Н. Бурдакова, в 1938 г. было переработано 2926.6 тыс. куб. м воды и получено 11714 мг-экв. готовой продукции, в 1939 г. – соответственно 2986.7 и 13799, в 1940 г. – 3408.4 и 18097, в 1941 г. – 4164.5 и 21541¹. В 1942 г. было переработано 4577.2 тыс. куб. м воды и получено 22600 мг-экв. готового продукта².

Правда, в справке топливно-энергетического отдела Коми обкома ВКП(б) фигурируют иные данные: план 1942 г. – 22.6 г-экв., выработано – 20.8 г-экв., выполнение плана – 92 %³. Кроме того, в ней отмечено: «За последние 4-5 лет Водный промысел впервые не выполнил план по добыче радия. Главной причиной невыполнения плана явилось то, что заводы недополучили большое количество воды. Вторая причина – недостаточное количество хлористого кальция, годовая потребность заводов составляла 154 тонны, получено 93 тонны. Управление строительства

и Водного промысла также ссылается на недостаток электроэнергии⁴.

За первое полугодие 1943 г. было произведено 4859 мг-экв. металла⁵. Согласно данным справки «О перспективном плане развития Ухтинского комбината», составленной 15 января 1944 г. заместителем секретаря Коми обкома ВКП(б) Самохваловым, при плане в 16000 мг-экв. в 1943 г. получено 16540 мг-экв. металла, план на 1944 г. составлял 16000 мг-экв⁶. Показатели 1943 г. подтверждаются в справке «Основные производственно-экономические показатели деятельности», направленной 6 января 1944 г. начальником Ухтокомбината С.Н. Бурдаковым секретарю Коми обкома ВКП(б) А.Г. Тараненко, и дополняются сведениями о переработке 3467 тыс. куб. м воды⁷.

Успех сопутствовал деятельности водного промысла и в 1944 г. В первом полугодии 1944 г. выпуск металла составил 6242 мг-экв. (104 % плана)⁸. На 21 сентября 1944 г. было произведено 9920 мг-экв. металла (62 % годового плана)⁹. 30 сентября 1944 г. начальник Ухтокомбината С.Н. Бурдаков писал секретарю Коми обкома ВКП(б) А.Г. Тараненко: «Дальнейшее развитие радиевой промышленности зависит исключительно от бурения и материально-технических и людских ресурсов. Необходимо поручить специальной комиссии заинтересованных наркоматов определить потребность радия для страны на ближайшие годы и

¹ Коми РГА ОПДФ, ф. 1, оп. 1, дело 1023, л. 25.
² Там же.
³ Там же, оп. 3, дело 940, л. 31об и 54.
⁴ Там же, л. 36-36об.
⁵ Там же, дело 1169, л. 34-39.
⁶ Там же, дело 1023, л. 21 и 23.
⁷ Коми РГФ ОПДФ, ф. 1, оп. 1, дело 1023, л. 25.
⁸ Там же, оп. 3, дело 1169, л. 34-39 и 41.
⁹ Там же, дело 1065, л. 37.



Панорама промысла 1945 г.

соответственно установить программу работ по выпуску радия»¹⁰. В целом за год было произведено 16752 мг-экв. радия-мезотория, его себестоимость составила 678 руб. за 1 мг-экв¹¹.

В июле 1945 г. было получено 2040 мг-экв. металла¹², в августе – 2040¹³, в сентябре – 2038¹⁴, в октябре – 1020¹⁵, в ноябре – 2001¹⁶, в декабре – 2002 мг-экв¹⁷. 21 ноября 1945 г. в докладе «О работе политического отдела Ухто-Ижемского ИТЛ НКВД» его начальник Н. Карасев заявил: «К недостаткам нашей работы также следует отнести то, что продукция Водного промысла на сегодняшний день стоит несколько дороже, чем это предусматривалось по плану. Правда, тут причина не только в недостатках работы Водного промысла и Управления, причиной является и то, что в соответствии с постановлением ГКО значительно повышены ставки работникам, занятым на производстве этого вида продукции»¹⁸. В 1945 г. было получено 17312 мг-экв. радия-мезотория (101.8 % плана) при себестоимости 712 руб. за 1 мг-экв¹⁹.

В фотоальбоме «Ухтинский комбинат», направленном в адрес Коми обкома ВКП(б) в 1944 г., сообщается, что с 1931 по 1944 г. на Водном промысле

было переработано 38 млн. куб. м воды и добыто 145 г радия-мезотория²⁰. Этот объем добычи металла уже упоминался в литературе [5]. Ранее также сообщалось, что содержание радия в водах скважин составляло $7.6 \cdot 10^{-9}$ г/л [6]. Однако простые подсчеты показывают, что извлечение полезного продукта в период 1931-1944 гг. составляло $3.8 \cdot 10^{-9}$ г/л (50 % содержания его в воде). Следовательно, добыт 145 г, столько же «потеряли».

Вопрос о том, где и на каком этапе, не праздный. Согласно существующим на сегодня расчетам, радиохимическими заводами со сточными водами в реки и на прилегающие территории было сброшено около 15 г радия, а на заводском хвостохранилище скопились отвалы, содержащие около 10 г радия [6]. Итого 25 г. Оставшиеся 120 г заслуживают более пристального исследования. Возможно несколько вариантов объяснения этой проблемы:

- концентрация растворов была непостоянной и со временем снижалась,
- оценки сброса радия с отработанными водами в реку не верны,
- в хвостохранилище захоронено гораздо большее количество радия.

Ответ на вопрос, какой из вариантов правилен, тем более важен, что по другим данным до 1952 г. здесь было выпущено примерно 271 г радия. Есть сведения, что за 11 месяцев 1953 г. было получено 67257.8 мг радия, а в 1956 г. – 114048 мг [6].

В заключение хотелось бы отметить, что показатели «145 г радия» и

«38 млн. куб. м воды» приведены в специальном праздничном альбоме, направленном Ухтокомбинатом в адрес Коми обкома ВКП(б) по случаю своего 15-летнего юбилея. Поэтому они, по-видимому, имеют «округленный» вид. Отчеты начальников комбината Я.М. Мороза и С.Н. Бурдакова, имеющиеся в Коми республиканском архиве, дают несколько иные цифры добычи радия: с 1931 по 1944 г. – 138.7 г, с 1931 по 1945 г. – 156 г:

Год*	Металл, мг	Вода, куб. м
1931	37	1650
1932	171	151 876
1933	1 155	758 862
1934	3 395	1 874 171
1935	2 640	2 110 046
1936	4 986	2 630 000
1937	7 069	2 748 320
1938	11 714	2 926 600
1939	13 799	2 986 700
1940	18 097	3 408 400
1941	21 541	4 164 500
1942	20 800	4 577 200
1943	16 540	3 467 000
1944	16 752	
1945	17 321	

* Данные за 1931-37 гг. о добыче радия и переработке воды. – Коми РГА ОПДФ, ф.1, оп. 3, дело 460, л. 27.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жуковский В.М.* Становление радиохимического производства в России // Вестн. Уральского отделения РАН, 2003. № 3(5). С. 58-71.
2. *Зомбе Р.Л.* История развития бурового дела // Покаяние: Мартиролог. Сыктывкар, 2005. Т. 8, ч. 1. С. 245-252.
3. *Мороз Я.* Социалистическая индустрия на Севере: юбилейный рапорт Ухт-Печортреста Коми обисполкому // За новый Север. 24 сентября 1936.
4. Постановление Совета Труда и Обороны № 1423/423 сс «Об организации Ухто-Печорского треста» // Покаяние: Мартиролог. Сыктывкар, 2005. Т. 8, ч. 1. С. 150-154.
5. *Роцевская Л.П.* Радиевая промышленность СССР в годы Великой Отечественной войны (на материалах пос. Водный Ухтинского района Коми АССР) // Коми АССР в годы Великой Отечественной войны: Материалы «Круглого стола». Сыктывкар, 2004. С. 130-142.
6. *Таскаев А.И., Кичигин А.И.* «Водный промысел»: производство радия в Республике Коми. Сыктывкар, 2002. 32 с. – (Сер. Науч. докл. / Коми НЦ УРО РАН; Вып. 452).

¹⁰ Там же, л. 34.

¹¹ Там же, дело 1210, л. 61 и 66.

¹² Там же, л. 120.

¹³ Там же, л. 122.

¹⁴ Там же, л. 124.

¹⁵ Там же, л. 126об.

¹⁶ Там же, л. 128.

¹⁷ Там же, л. 130.

¹⁸ Там же, л. 26.

¹⁹ Там же, л. 61 и 66, 130об.

²⁰ Там же, ф. 3728, оп. 1, дело 1611, л. 50.

КОММЕНТАРИЙ А. КИЧИГИНА, СПЕЦИАЛИСТА ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ:

Несомненная важность статьи А. Иевлева в том, что она открывает для исследователей новые архивные документы по этой проблеме. На Водном промысле получали незаменимый и очень дорогой стратегический продукт, данные о производстве и запасах которого были засекречены во всех странах. К тому же радиевый промысел работал в системе чрезвычайно закрытого ведомства – ГУЛАГа. Те архивные документы, по которым на данный момент написана история Водного промысла, – это случайные или вынужденные «протечки» в потоке некогда секретного документооборота. Например, большинство документов фонда Р-1668 Национального архива Республики Коми, которые были использованы нами в работе по истории Водного промысла, это третьи машинописные копии. Все они относятся к первой половине 1930-х гг. После смены вершки НКВД в 1937 г. документооборот в ГУЛАГе был упорядочен и ужесточен. По документам более позднего периода уже невозможно определить, какой «товарный продукт» получали в ОЛП-10 Ухтижемлага (так в них именовали Водный промысел). Поэтому любые новые источники по истории Водного промысла очень важны.

Нам не известно, в каких архивах лежат основополагающие документы по данному вопросу, такие как акты о приеме готового продукта, протоколы радиометрического контроля препаратов радия, технологические документы и пр. Вполне возможно, что многие из них были уничтожены много лет назад. Например, когда я обратился в Российский научный центр восстановительной медицины и курортологии в Москве (ранее Государственный центральный институт курортологии) с просьбой о поиске документов по медицинскому применению радия на Водном промысле в 1930-е г. (Институт курортологии курировал эти работы), мне ответили что документы данного периода были уничтожены осенью 1941 г., во время обороны Москвы. Многие направления по радиевому производству в СССР курировал Радиевый институт в Ленинграде (ныне Радиевый институт имени В. Г. Хлопина). Там же содержался весь запас радия. Нетрудно представить, что стало с архивами этого института в период ленинградской блокады.

Большинство количественных показателей, приведенных в статье А. Иевлева, мне известны. Могу сказать, из каких источников. По словам Зои Федоровны Антонс, заведующей филиалом Ухтинского краеведческого музея в пос. Водный, когда-то в 1980-е гг. ей позвонил хороший знакомый из Ухты и сообщил, что в их институте гнут старые документы и что может быть некоторые из них будут ей интересны. Таким образом, ей в руки попала папка с бухгалтерскими отчетами Водного промысла. Финансовая переписка не заинтересовала Зою Федоровну, и она отдала её в I отдел завода «Прогресс». С ними я ознакомился в 2000 г. Кстати, эти же документы есть в Национальном архиве Республики Коми, за исключением приложения к каждому из отчетов, именуемого «Пояснительная записка...», в правом верхнем углу которой был проставлен гриф «Строго секретно. Особая папка. Экз. № 2». Только в пояснительных записках были приведены сведения о выпуске готовой продукции. Были там и записки-обоснования плановых заданий и протоколы производственных совещаний, в которых так же содержались сведения о выпуске радия. К сожалению, не удалось установить объем выпуска радия в 1949-1951 гг. Но производство в те годы работало стабильно, и пробел был «заполнен» методом интерполяции. Таким образом, в работе А.И. Таскаева и А.И. Ки-

чигина «Водный промысел»: производство радия в Республике Коми» (Сыктывкар, 2002) появилась цифра «примерно 271 г», как объем выпуска радия в 1935-1952 гг. Однако, теперь ясно, что эта величина требует уточнения. Правильнее сказать: препараты радия с активностью 271 Ки или $1.0027 \cdot 10^{13}$ Бк (если перевести в систему СИ), а в граммах выпуск радия будет другим. Но об этом расскажем подробнее в статье, которая выйдет в одном из следующих номеров «Вестника ИБ».

В статье А. Иевлева поставлен вопрос о реальных потерях радия в процессе добычи воды. Цифра $7.6 \cdot 10^{-9}$ г/л, как содержание радия в воде, появилась в статье Л.Н. Богоявленского «Ухтинское месторождение радия» (Докл. АН СССР. Сер. А, 1928. № 14/15. С. 156). В ней приведено содержание радия в образцах воды из скважины № 1 «Казенная», отобранных в 1926 г. А.А. Черепенниковым. Примерно такое же содержания радия в воде из этой же скважины (данные за 1927 и 1928 гг.) приведено в работе В.И. Баранова и И.Д. Курбатова «О содержании радиоэлементов в воде и её отложениях казенной буровой скважины № 1 Ухтинского района», опубликованной в «Трудах Радиевого института» в 1933 г. (Т. 2. С. 139-156). Но в пояснительных записках к годовым бухгалтерским отчетам Водного промысла за 1945-1947 гг. указана средняя активность воды $3.04 \cdot 10^{-9}$; $3.09 \cdot 10^{-9}$ и $3.20 \cdot 10^{-9}$ г/л соответственно. Это значит, что по мере эксплуатации месторождения радиоактивных вод содержание радия в воде снижалось. Из тех же отчетов следует, что на заводах по переработки воды в концентрат переходило 94.4, 93.8 и 90.9 %, а «общий выход в готовую продукцию» составлял 93.3, 93.2 и 90.7 % радия. Таким образом, приведенные в публикациях объемы сброса радия в реки с переработанной водой вполне реальны. На хвостохранилище захоронены не только «черные отвалы» – отходы добычи радия из подземных вод, но и «красные отвалы», оставшиеся после переработки в 1946-1956 гг. урановых отходов Табошарского горнохимического комбината.

В заключение для интересующихся историей Водного промысла, список рекомендуемых публикаций:

Таскаев А.И., Кичигин А.И. «Водный промысел»: производство радия в Республике Коми. Сыктывкар, 2002. 32 с. – (Сер. Науч. докл. / Коми НЦ УрО РАН; Вып. 452);

Кичигин А.И., Таскаев А.И. «Водный промысел»: история производства радия в Республике Коми (1931-1956 гг.) // Вопр. истории естествознания и техники, 2004. Вып. 4. С. 3-30.

Кичигин А.И., Таскаев А.И. «Водный промысел» в Великой Отечественной войне // Страницы истории Великой Отечественной войны (1941-1945). Сыктывкар, 2005. С. 11-16. – (Тр. Коми отд-ния Академии военно-исторических наук; Вып. 4);

Кичигин А.И. Применение радия в медицинских целях на «Водном промысле» в 30-40-е гг. XX в. // Вестн. Ин-та биол. Коми НЦ УрО РАН, 2006. № 8. С. 25-31.

Таскаев А.И., Кичигин А.И. История радиационной гигиены и радиационной безопасности в СССР на примере Ухтинского радиевого промысла. Сыктывкар, 2006. 36 с. – (Сер. Науч. докл. / Коми НЦ УрО РАН; № 485).

Наши исследования были поддержаны грантами Российского гуманитарного научного фонда № 01-03-50001 а/С (рук. А.И. Таскаев), 04-03-41301а/С (рук. А.И. Кичигин) и 04-03-41304а/С (рук. А.И. Таскаев).



НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

к.х.н., с.н.с. **Татьяне Ивановне Ширшовой** с присвоением учебного звания «доцент» по специальности 02.00.10 — «биоорганическая химия».

Желаем дальнейших творческих успехов!

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ



12 октября 1976 г. в Институт биологии пришел на работу молодой, полный сил и творческой энергии почвовед — **Геннадий Алексеевич Симонов**, который за годы становления Института вырос в уникального специалиста, ведущего научного сотрудника, заведующего лабораторией генезиса, географии и экологии почв. До этого он успешно закончил биолого-почвенный факультет МГУ и четыре года проработал в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН сначала стажером-исследователем, а затем младшим научным сотрудником. В 1983 г. Геннадий Алексеевич успешно защитил кандидатскую диссертацию, а в 2001 г. — докторскую.

Геннадий Алексеевич не просто ведущий специалист в области минералогии и эволюции почв. Он, можно сказать, первопроходец в исследованиях минерального состава почв европейского северо-востока России. Благодаря работам Геннадия Алексеевича впервые были выявлены закономерности изменения минеральной массы в процессе почвообразования и выветривания в тундровых и подзолистых почвах. Его монография «Состояние и эволюция минеральной массы почв. Генетические аспекты» широко известна специалистам в области почвенной минералогии.

Геннадий Алексеевич — человек потрясающей работоспособности и неординарной научной мысли. Он провел оригинальный эксперимент по изучению выветривания минералов (кварц, олигоклаз, кальцит, мусковит, биотит, вермикулит, хлорит) в современных условиях. С этой целью Геннадий Алексеевич заложил в верхние горизонты зональных почв — от тундровых и черноземов — образцы минералов на сроки от одного до трех лет. Результаты эксперимента — уникальные фотографии поверхности минералов со следами выветривания — были достоверным подтверждением развития подзолистого процесса в различных условиях гидротермического режима.

Геннадий Алексеевич занимает активную жизненную позицию. Он уделяет большое внимание проблемам экологической безопасности нашего региона. При его участии разработаны приемы рекультивации отработанных россыпей Приполярного Урала, обоснован регламент по приемке земель, нарушенных и загрязненных нефтью во время Усинской аварии. Он неоднократно был руководителем крупных международных научно-исследовательских проектов. В настоящее время Геннадий Алексеевич руководит исследованиями, проводимыми группой сотрудников Института по теме «Воздействие и риск антропогенных нарушений на почвы, динамику углерода и растительность в экосистемах с подзолистыми почвами (OMRISK)».

Геннадий Алексеевич — чрезвычайно ответственный человек, болеющий душой за любое дело, пусть даже самое «маленькое». Для него не бывает мелочей и пустяков. Каждая часть работы, каждый раздел научных изысканий, который выполняет он сам, или который выполняется под его руководством, должны быть всегда выполнены в срок и на самом высоком уровне. И это касается не только науки. Каждый «пустяк» в поездках и экспедициях продумывается им до мелочей. Он всегда старается предусмотреть и учесть все, что может понадобиться во время полевых экспедиционных выездов. Это качество Геннадия Алексеевича отметили не только коллеги по работе, но и наши зарубежные партнеры по международным проектам.

Геннадий Алексеевич — человек удивительного обаяния, внимательный, готовый поделиться советом и делом, своими знаниями и опытом. По результатам исследований им опубликовано более 80 работ, получено два авторских свидетельства на изобретения. Геннадий Алексеевич активно участвует в симпозиумах и совещаниях различного уровня — от региональных до международных. Он член Центрального совета Докучаевского общества почвоведов и Европейского общества по изучению глинистых минералов.

*Дорогой Геннадий Алексеевич!
Поздравляем Вас с 30-летием научной деятельности! Горячо желаем Вам здоровья,
благополучия, новых творческих успехов и активных, творчески мыслящих учеников!*

Коллеги и друзья