





**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
Институт проблем промышленной экологии Севера**

**РУССКОЕ БОТАНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО  
Мурманское отделение**

**РОССИЙСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО  
Кольское отделение**

---

**Материалы VI конференции  
Ассоциации научных обществ  
Мурманской области, посвящённой  
Дню российской науки  
(Кировск, 12 февраля 2018 г.)**

**Апатиты  
2018**

УДК 502+54+57+691+919.9 (470.21)

Материалы VI конференции Ассоциации научных обществ Мурманской области, посвящённой Дню российской науки (Кировск, 12 февраля 2018 г.). / Е. А. Боровичёв, Н. Е. Королёва, Ю. Л. Войтеховский (ред.). – Апатиты: Изд-во К & М. 2018. 94 с.

В сборнике представлены доклады, сделанные на VI конференции Ассоциации научных обществ Мурманской области ко Дню российской науки. Под одной обложкой собраны различные по тематике и форме изложения статьи, которые охватывают широкий диапазон проблем, изучаемых учёными Кольского научного центра РАН, Мурманского государственного арктического университета, Кольского центра охраны дикой природы и заповедников Мурманской области.

Издание представляет интерес для научных работников, а также студентов естественнонаучных и гуманитарных специальностей.

Электронная версия: <http://inep.ksc.ru/>

ISBN 978-5-902643-46-3

© Коллектив авторов, 2018

© ИППЭС КНЦ РАН, 2018

© Мурманское отделение РБО, 2018

## ПРЕДИСЛОВИЕ

12 февраля в Музейно-выставочном центре АО «Апатит» прошла VI Конференция научных обществ Мурманской области, посвященная Дню российской науки, в которой приняли участие около 40 человек. Её организовали Кольское отделение Российского минералогического общества, Мурманское отделение Русского ботанического общества и Гиперборейская академия наук.

На конференции прозвучало 17 устных докладов. Открыл конференцию Ю. Л. Войтеховский с пленарным докладом «Основные итоги деятельности научных обществ, входящих в Ассоциацию научных обществ Мурманской области в 2017 году». Его соавторами стали представители научных обществ Мурманской области.

Основу программы конференции составили следующие научно-популярные доклады: Ю. Л. Войтеховский (Российское минералогическое общество) «Книга природы написана языком математики: свежие примеры»; Н. Е. Королёва (Русское ботаническое общество) «Кому нужна наука о растительности?»; Д. В. Ильин с соавт. (Центр физико-технических проблем энергетики Севера ФИЦ КНЦ РАН) «Потенциал использования электроимпульсных технологий»; Д. Г. Степенчиков (Гиперборейская академия наук, Российское минералогическое общество) «Рассуждения о хибинской топонимике на примере оз. Тахтаръявр»; Д. А. Давыдов (Русское ботаническое общество) «Топонимика Шпицбергена: по местам прошедших экспедиций»; О. А. Макарова (Териологическое общество при РАН) «О северной границе ареала летяги (*Pteromys volans*) в Мурманской области»; Ю. Р. Химич (СПб Микологическое общество) «Борец с ржавчиной. К 150-летию В.А. Траншеля»; Д. Б. Денисов (Гиперборейская академия наук) «Некоторые новые геологические свидетельства существования доисторических цивилизаций»; А. А. Данилина (Российское общество социологов) «Восприятие процесса образования возрастной группой от 16 до 20 лет»; Н. В. Фокина с соавт. (Межрегиональное микробиологическое общество) «Перспективные микробиологические исследования на территории Мурманской области»; О. А. Бодрова (Ассоциация антропологов и этнологов России) «Химия любви" в средневековой литературе (на материале сюжета о Тристане и Изольде)»; И. В. Зенкова (Общество почвоведов им. В. В. Докучаева) «Безобидна ли интродукция растений в Заполярье? Взгляд почвенного зоолога»; О. В.

Петрова (Кольский центр охраны дикой природы) «Карта как визуализация реальности»; В. А. Даувальтер и П. М. Терентьев (Гидробиологическое общество) «Ртуть в донных отложениях и органах и тканях рыб оз. Имандра»; В. М. Воронов (Российское философское общество) «Феномен игры: по следам семинара "Игра и игрушка"»; Е. А. Боровичёв (Русское ботаническое общество) «Что такое памятник природы и работает ли этот инструмент?». Некоторые доклады затем были прочитаны в научно-популярных лекториях – под эгидой Главы г. Апатиты и «Край, в котором я живу».

На конференции состоялась дискуссия о проблемах популяризации науки, противодействии лже- и псевдонауке, о провокации как способе разрушения псевдонаучных мифов, о механизмах взаимодействия научных обществ между собой и с органами власти. Наибольший интерес вызвал вопрос о критериях научности в современной России и о том, что пропагандировать, что популяризировать и как это делать эффективно?

Не все участники представили свои доклады к публикации. Зато мы добавили в сборник три статьи наших постоянных участников. Это статья Е. А. Боровичёва и Н. А. Королёвой «Имя ботаника на карте Хибин» о С. С. Ганешине, чьё имя носит один из самых известных и красивых цирков Хибин. Неопубликованные фотографии для этой статьи из Архива-музея Центра гуманитарных проблем ФИЦ КНЦ РАН предполагалось опубликовать в журнале «Тиетта». К сожалению, в 2017 г. вышел его последний номер. Ещё две статьи представил Ю. Л. Войтеховский: «Из истории количественного минералогического анализа горных пород, руд, металлов и сплавов в плоских сечениях: есть ли будущее у метода?» и «Новое в кристаллографии икосаэдрических вирусов». Обе ещё раз подтверждают, что «книга природы написана на языке математики» (Г. Галилей).

Мы надеемся, что сборник найдёт своего читателя среди специалистов и студентов самых разных естественнонаучных и гуманитарных специальностей, а также всех, кто интересуется жизнью науки и научных обществ Мурманской области. И приглашаем всех к участию в нашей следующей конференции!



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МУРМАНСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РУССКОГО БОТАНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА В 2017 ГОДУ

Е.А. Боровичёв<sup>1,3</sup>, Н.Е. Королёва<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Мурманское отделение Русского ботанического общества; <sup>2</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера, ФИЦ КНЦ РАН; <sup>3</sup>Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, borovichyok@mail.ru; flora012011@yandex.ru

В 2017 году в Мурманском отделении Русского ботанического общества (МО РБО) насчитывалось 47 человек. Почти 2/3 списочного состава общества – это «профессиональные ботаники» Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН и Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН. В отделении активно работают представители научных и общественных организаций Мурманской области, таких, как Геологический институт КНЦ РАН, Апатитский филиал МАГУ, Кольский Центр охраны дикой природы, Лапландский и Кандалакшский заповедники.

Основная работа отделения была связана с популяризацией науки и охраной природы, кроме того, важной составной частью общественной жизни были регулярные открытые научные собрания и конференции. В 2017 году состоялось три заседания МО РБО.

На первом заседании 23 января поговорили об итогах полевого сезона и конференций 2016 г. М. Н. Кожин в соавторстве с Е. О. Головиной, Е. И. Копеиной, С. А. Кутенковым, А. Н. Сенниковым сделал большой научный доклад «*Larponia Ponojensis* глазами ботаников XXI века (об экспедиции на юго-восточное побережье Кольского полуострова в 2015–2016 гг.)». Михаил Николаевич подробно рассказал о физико-географических условиях низовьев Поноя и истории изучения этого района, а также об экспедиции по изучению островных флор и растительности архипелага Три Острова, островов Горяинов, Данилов, Сосновец и группы островов губ Алдобинская и Русинга, о формировании растительности этих островов, о бриофлорах губы Бабьей, устья

и среднего течения р. Русинга и о находках новых и редких видов для Мурманской области и России.

В презентации «Захер, штрудель и радлер у подножия хребта Карвендель. Жизнь юбилейной конференции по цианопрокариотам» Д. А. Давыдов рассказал о 20-м симпозиуме по сине-зелёным водорослям, который прошёл в Инсбруке (Австрия). Кроме обзора научных докладов, достопримечательностей и особенностей австрийской экономики, автор коснулся, конечно же, и кухни Австрии – мы узнали, что такое настоящие штрудель, захер и радлер. Следующий симпозиум по цианопрокариотам состоится в Австралии.

Ю. Р. Химич в ярком и красочном докладе «Сказ про то, как микологи Казань брали» рассказала о XIV Международном рабочем совещании по изучению макромицетов, об основных достопримечательностях г. Казань, о необычной и вкусной татарской кухне и ее представителях – чак-чак, талкыш-келеве и баурсак. Н. Е. Королёва поделилась своими впечатлениями о зональной практике факультета почвоведения МГУ в июне 2016 г., рассказала о программе, маршруте практики, особенностях проведения, наиболее интересных моментах, а также об экскурсиях для студентов на Хреновской конезавод и на Мамаев курган.

О. В. Петрова рассказала о своем участии в съезде популяризаторов науки «Слет просветителей», организованном Фондом «Эволюция» и информационным агентством РБК. На Слете поднимали актуальные и интересные для всех просветителей вопросы – кому и для чего нужна популяризация науки, как общаться со СМИ, как привлечь слушателей и т.д. Открытые обсуждения проходили в формате живого общения модераторов и зала. Апатиты были отмечены, как город, небольшой по численности населения, в котором, тем не менее, работают целых два научно-популярных лектория. Кроме того, Ольга Викторовна рассказала о «Школе нескучного доклада» в г. Томск и открытом конкурсе для лекторов Фонда «Эволюция».

Темой второго заседания, 26 мая 2017 г., стали рассказы о прошедших в 2017 г. научных конференциях. Н. А. Константинова в презентации «Ирландия ранней весной: впечатления ботаника» рассказала о «краснокнижном» семинаре в Дублине (Ирландия), организованном Национальными парками и Службой дикой природы, на котором европейские бриологи оценивали риски исчезновения редких видов мохообразных. Надежда Алексеевна поделилась впечатлениями от Ирландии и Ботанического сада в Дублине, сделала краткий экскурс в

историю Ирландии. Логическим продолжением этого доклада стал её рассказ «О подготовке списка редких и исчезающих мохообразных Европы. Как это делается в Европе». Н. А. Константинова рассмотрела возможности оценки угрожаемости видов и её использование при подготовке региональных Красных книг. Д. А. Давыдов рассказал о конференции "Использование современных информационных технологий в ботанических исследованиях" (28–31 марта 2017 года) и остановился на наиболее интересных сообщениях. Н. Е. Королёва сделала обзор докладов Совещания о базе данных геоботанических описаний Арктики в Праге (29–30 марта 2017 г.) и познакомила слушателей с видами весенней Праги.

Третье заседание МО РБО прошло 25 декабря 2017 г., его основной темой стали экспедиции прошедшего лета и конференции. Открыл программу доклад Л. А. Конорева об интересных экспедициях по изучению лишайников Сахалина, Курильских островов и Якутии. На Сахалине лишенологи встретили весну и цветение сакуры, на острове Итуруп попали в настоящий медвежий край, где пришлось работать и жить рядом с медведями, а в маршрутах пробираться через непроходимые заросли бамбука и страдать от ожогов ипритки восточной (лат. *Toxicodendron orientale*). Наградой стали находки новых для России видов лишайников.

Об участии в конференции, посвящённой памяти видного русского бриолога и флориста, заслуженного деятеля науки Л. В. Бардунова, рассказала Н. А. Константинова. Конференция прошла в живописном уголке Забайкалья, на правом берегу реки Иркут, в самом центре Тункинской долины, и включала в свою программу не только выступления учёных о фундаментальных проблемах изучения и охраны биоразнообразия Сибири, но и интересные экскурсии. После окончания конференции Надежда Алексеевна продолжила изучение богатой флоры печёночников Тункинской котловины и южного склона Восточного Саяна и собрала немало редких видов.

Н. Е. Королёва рассказала о результатах работы нескольких отрядов экспедиции по обследованию оленьих пастбищ Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). В 2015 г. в ЯНАО насчитывалось 672, 5 тыс. голов северного оленя (около 53 % от общероссийской численности), а оленеёмкость существующих пастбищ составляет 365 тыс. голов [2]. Таким образом, поголовье оленей почти вдвое превышает расчётную оленеёмкость, что катастрофически сказывается на состоянии растительности региона. В геоботаническом обследовании участвова-

ли геоботаники, картографы, лишенологи, бриологи и геоморфологи из Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН, Московского и Якутского университетов, Новосибирского и Полярно-альпийского ботанических садов, и Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Экспедиционными исследованиями была охвачена вся территория полуостровов Ямал, Гыдан и Тазовский. Был собран огромный материал, включающий экологические характеристики местообитаний растительных сообществ, сотни полных геоботанических описаний, описания эталонных участков для картографирования и образцы фитомассы с оленьих пастбищ.

Не обделили вниманием ботаники и Мурманскую область. Е. И. Копейна рассказала о сплаве на катамаране по реке Умба. Главной целью этого путешествия было обследование территории планируемого природного парка «Кано-Умбский» и его окрестностей. Сплав начался в верховьях реки Умбы, продолжался две недели и закончился в районе спортивно-рыболовной базы «Погост». Комплексный отряд из четырёх ботаников преодолел десяток протяженных порогов различной категории сложности, героически противостоял капризам погоды, тем не менее, выполнил работу по обследованию запланированной к созданию ООПТ и подтвердил ее высокую природоохранную ценность. Были выявлены новые местонахождения редких и краснокнижных видов, обследованы заброшенные поселения и стоянки туристско-водников. На вытоптанной площадке на одной из стоянок был обнаружен редкий мох буксбаумия безлистная, которая не имеет листьев и может быть обнаружена лишь по спорофиту характерного и запоминающегося облика.

Доклад О. В. Петровой был посвящён изданию «Красная книга Мурманской области глазами детей» [1]. В. Н. Петров поделился впечатлениями от участия во Всероссийском форуме ООПТ, который прошёл с 28 сентября по 2 октября 2017 года в г. Сочи. К сожалению, состояние дел в охране природы в России не вызывает оптимизма, т.к. из руководства ООПТ и из заповедников уходят наиболее квалифицированные кадры, а работа всё больше тонет под валом директив и проверок. К тому же, недостаточно внимания на форуме было уделено региональным ООПТ, хотя площадь региональных ООПТ составляет почти три четверти от всех ООПТ России. Перед самым Новым годом пришли хорошие новости из соседней Карелии, где создан национальный парк «Ладожские шхеры».

Ю. Л. Войтеховский рассказал об алгебраической геометрии икосаэдрических вирусов и радиолярий. В очередной раз автору удалось поверить алгеброй (точнее, геометрией) гармонию строения живых организмов – вирусов и одноклеточных эукариот – радиолярий и предложить подход к классификации этой группы вирусов.

В 2017 г. МО РБО принимало участие в организации и проведении четырёх крупных научных мероприятий.

Первым большим событием 2017 года стала традиционная V конференция Ассоциации научных обществ Мурманской области, посвящённая Дню российской науки. В ней приняли участие представители 13 обществ. Открыл конференцию обзорный доклад Председателя Кольского минералогического общества Ю. Л. Войтеховского с соавторами «Основные итоги деятельности научных обществ, входящих в Ассоциацию научных обществ Мурманской области в 2016 году», затем программу конференции продолжили научно-популярные доклады в стиле «научных боёв». У каждого докладчика было 15 минут, чтобы остроумно, доступно и интересно донести идею до публики. Было разрешено всё, кроме скуки и заумных терминов. Члены Мурманского отделения РБО сделали три доклада: «Шёл лорд Кельвин по набережной Темзы...» (Ю. Л. Войтеховский); «Ботаники, что у вас есть вкусного?» (Е. И. Копейна и Е. А. Боровичёв) и «Грибное импортозамещение или ещё раз о необычных съедобных грибах» (Ю. Р. Химич). В финале конференции состоялась плодотворная дискуссия по проблемам популяризации науки, борьбы с лже- и псевдонаукой и механизмам взаимодействия научных обществ между собой и с органами власти.

Международная научно-практическая конференция «Использование современных информационных технологий в ботанических исследованиях» (28–31 марта 2017 г.), при поддержке РФФИ, стала второй конференцией в 2017 г., в организации которой участвовало МО РБО. На конференции обсуждали основные проблемы использования информационных систем, в том числе, ГИС и баз для хранения и обработки ботанических данных, дистанционного изучения биоразнообразия (включая картографирование растительности) и координация усилий по развитию и внедрению новейших методов обработки и хранения биологических данных. К началу конференции был опубликован сборник тезисов докладов [3; [kpubg.ru/sites/default/files/bisconf2017abstracts24032017.pdf](http://kpubg.ru/sites/default/files/bisconf2017abstracts24032017.pdf)], а также специальный выпуск Трудов Кольского научного центра, серия Прикладная

[http://www.kolasc.net.ru/russian/news/trudy/IPPES\\_6\\_2017\(34\).pdf](http://www.kolasc.net.ru/russian/news/trudy/IPPES_6_2017(34).pdf)].

МО РБО участвовало в XIV Всероссийской Ферсмановской научной сессии, посвящённой 100-летию со дня рождения акад. АН СССР А.В. Сидоренко и д.г.-м.н. И. В. Белькова (4 апреля 2017 г.). В рамках конференции была организована и проведена секция «Изучение и сохранение биоразнообразия горных и арктических территорий». В работе секции приняли участие 22 человека из 3 институтов КНЦ РАН (ПАБСИ, ИППЭС, ИХТРЭМС), Санкт-Петербургского государственного университета, Петрозаводского государственного университета, Апатитского филиала МГТУ и МАГУ. Были заслушаны 13 устных докладов и один постерный, посвящённые особенностям флоры и растительности архипелага Шпицберген и Мурманской области, систематике отдельных групп организмов, динамическим процессам в экосистемах и охране природы.

МО РБО совместно с Кольским отделением РМО и Мурманским отделением Ассоциации антропологов и этнологов России 18 мая 2017 г. организовали и провели Первый междисциплинарный семинар Ассоциации научных обществ Мурманской области «Полевые исследования в гуманитарных и естественных науках», в котором приняло участие 42 человека из 10 научных обществ. Мурманское отделение РБО представило пять докладов: «Геологическое поле – это маленькая жизнь...» (Ю. Л. Войтеховский); «Найти, засушить, сохранить: немного о полевых буднях ботаников» (Е. А. Боровичёв, Н. Е. Королёва и Ю. Р. Химич); «Light & fast в криптогамной ботанике» (А. В. Мелехин); «Зачем природоохраннику экспедиции или для чего проводить полевые работы при проектировании ООПТ?» (О. В. Петрова) и «Как организовать и провести полевые работы по мониторингу лесов в Мурманской области?» (Е. А. Иванова, Л. Г. Исаева).

Члены Мурманского отделения РБО участвовали в большом региональном просветительском проекте – «Красная книга Мурманской области глазами детей». На страницах книги представлены лучшие работы детей-участников одноименного конкурса детского рисунка, проведенного областным Министерством природных ресурсов и экологии весной 2017 г. Дети нарисовали виды грибов, лишайников, растений и животных из Красной книги Мурманской области, и избранные рисунки после конкурса не отправились в запасники, а легли в основу книги [1]. Текст написали ботаники и зоологи из институтов и заповедников области, а также из Кольского центра охраны дикой

природы, научным редактором стал председатель МО РБО Е. А. Боровичев. Специально для этой книги О. В. Петрова с Е. А. Боровичёвым и В. Н. Петровым подготовили красочную схему «Места скопления видов грибов и лишайников, растений, животных, занесённых в Красную книгу Мурманской области». А Е. Гурина сделала специальное интерактивное приложение «Красная книга глазами детей» <http://katia.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=cded386413584c64afc7641cdee50463>, которое победило в конкурсе веб-приложений в рамках 23-й конференции Esri в России и странах СНГ. Книга доступна на сайте МПР Мурманской области <https://mpr.gov-murman.ru/galereya-rabot-uchastnikov-konkursa-detskogo-risunka/KKMO%20DETI/merged.pdf>.

Члены РБО Е. А. Боровичёв, О.В. Петрова и Д. А. Давыдов прочитали мини-лекции на тему «Живые символы Арктики» во время научно-популярной акции «Ночь музеев», которая состоялась 19 мая 2017 г. в Музее-архиве Центра гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН.

Важнейшая задача отделения – участие в природоохранной работе, в том числе, научное обоснование мероприятий по охране природы, а также экспертиза научных работ в области фиторазнообразия и его охраны. В 2016–2017 гг. продолжалось противостояние жителей села Суны и строительной организации, которая намеревалась вырубить лес в окрестностях села. Мурманское отделение с самого начала оказывало посильную поддержку жителям в защите от вырубки Сунского бора. В марте 2017 г. лицензия на добычу песчано-гравийной смеси отозвана главой Республики Карелия, жителям удалось отстоять свой лес.

К завершению подошёл процесс организации Национального парка (НП) «Хибины», в котором МО РБО принимало активное участие: 8 февраля 2018 г было, наконец, подписано постановление правительства РФ о его создании. При решении вопроса и расположении границ парка, к сожалению, преимущество получила точка зрения горнодобывающих компаний: поэтому из территории вырезаны центральный участок парка, перевал и долина реки Кунйок (где отмечены местонахождения большого количества краснокнижных видов растений) и ряд рудопоявлений, в частности, в долине реки Калийок.

При активном участии МО РБО работают два научно-популярных лектория – лекторий под эгидой главы города Апатиты, проводимый в Доме культуры им. В. К. Егорова, и более камерный, лекторий «Край,

в котором я живу», в библиотеке им. Л. А. Гладиной, которому в феврале 2017 года исполнилось два года. Этот научный лекторий освоил площадку в областной библиотеке Мурманска, где каждое третье воскресенье месяца можно послушать научно-популярные сообщения ведущих учёных КНЦ.

По инициативе членов Мурманского отделения РБО в г. Апатиты приглашаются ведущие лекторы и популяризаторы науки. В 2017 г. научный журналист, создатель и редактор научно-просветительского портала antropogenez.ru. А. Б. Соколов выступил перед жителями города с лекцией «15 мифов об эволюции человека». Слушатели узнали о том, какие антропологические заблуждения возникают и распространяются в современном обществе и как им противостоять.

Таким образом, Мурманское отделение активно участвует в охране природы области, в просвещении и популяризации достижений науки и, в значительной степени, формирует повестку общественной жизни региона. В 2018 году, в г. Махачкала, на базе Горного ботанического сада Дагестанского НЦ РАН и Дагестанского государственного университета, состоится очередной делегатский съезд Русского ботанического общества, на котором делегаты от Мурманского отделения смогут поделиться своими достижениями и обсудить место и пути развития ботанической науки в современном мире.

### **Литература**

1. Большаков А.А., Боровичёв Е.А., Зенкова И.В., Макарова О.А., Петров В.Н., Петрова О.В., Химич Ю.Р. Красная книга Мурманской области глазами детей / науч. ред: Е. А. Боровичёв. Мурманск: РУС-МА (ИП Глухов А. Б.). 2017. 72 с.

2. Зуев С. М. Оленеводство в Ямало-Ненецком автономном округе: перспективы и проблемы // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа № 3 (88). Объективные процессы регионализации в Арктике. Салехард, 2015. С. 103–107.

3. Международная научно-практическая конференция «Использование современных информационных технологий в ботанических исследованиях». Апатиты, Мурманская область, 28–31 марта 2017 г.: Тезисы докладов / Е. А. Боровичёв, Д. А. Давыдов, Н. Е. Королёва (ред.). Апатиты: изд-во «К&М», 2017. 148 с.

4. Труды Кольского научного центра. Серия Прикладная экология Севера. 2017. Вып. 5. 91 с.



## **ЧЕРЕПАШИЙ КАРАПАКС КАК ИНВАРИАНТ РАЗБИЕНИЯ ПЛОСКОСТИ И РЕШЕНИЕ ДИОФАНТОВА УРАВНЕНИЯ...**

**Ю. Л. Войтеховский<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН; <sup>2</sup>Кольское отделение Российского минералогического общества; <sup>3</sup>Мурманское отделение Русского ботанического общества, woyt@geoksc.apatity.ru

### **Введение**

В ряде серьёзных и несерьёзных (научно-популярных) статей автор уже рассматривал закономерности полигональных разбиений плоских, квази-плоских (слегка изогнутых) и квази-сферических поверхностей в минеральной и живой природе. Во всех примерах поражает то, сколь разнообразно природа использует однажды найденные оптимальные решения, как в минеральных и живых объектах упрятаны геометрические инварианты этого мира, как в их онтогенезе и филогенезе случайное борется с закономерным, многовариантность – с обречённостью. Ранее речь шла о кристаллах, фуллеренах, вирусах, радиоляриях, вольфоксах, колючих и пластинчатых рыбах [6–9, 12, 28–32]. На очереди ... черепахи (лат. Testudines) – удивительный отряд пресмыкающихся, существующий на протяжении 250 млн. лет, включающий около 230 видов, группируемых в 12 семейств и 5 подотрядов, распространённых по всей Земле, живущих в воде и на суше. Впрочем, начать следует издалека...

### **Гексагональный мотив**

В полигональных творениях природы часто заметен гексагональный мотив (рис. 1). Кто из нас не удивлялся геометрической правильности пчелиных сот? Хозяева улья строго следят за порядком. Попробуйте вмешаться в слаженный ход строительства – тут же пожалеете о необдуманном поступке... В ячеистой поверхности снежника, прихотливых рисунках такыра и солончака, межзёрновых границах в горных породах и металлических сплавах под микроскопом, на поверхности пластинчатых рыб и черепаших карапаксов (панцирей) – везде

вы найдёте гексагоны (6-угольники), скорее всего в преобладающем числе. Почему? Давайте разбираться...

Пусть на плоскость случайным образом брошены точки. Соединим их так, чтобы линии образовали полигональный (ячеистый, клетчатый) рисунок, в математике называемый графом. Пусть  $N_0$  – число его вершин (точек),  $N_1$  – рёбер (соединительных линий),  $N_2$  – полигонов (ячеек, клеток). Средняя координация полигона равна  $2N_1 / N_2$ , так как каждое ребро принадлежит двум полигонам. Великая теорема Эйлера утверждает, что:

$$N_0 - N_1 + N_2 = 2.$$

Двойка, стоящая справа от знака равенства, в силу общности соотношения столь важна, что получила статус инварианта плоскости и сферической поверхности. Но у всех примеров на рис. 1 есть общее свойство – полигоны контактируют по три в одной точке. Иначе говоря, из каждой вершины графа выходят ровно три ребра:  $3N_0 = 2N_1$ . Поэтому:

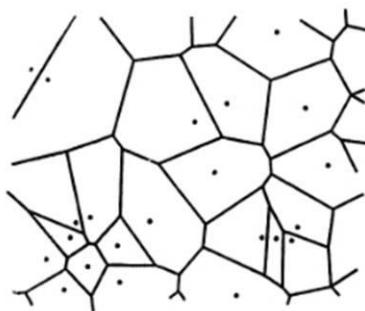
$$2N_1 / N_2 = 6 (1 - 2 / N_2) \rightarrow 6 \text{ при } N_2 \rightarrow \infty.$$

Вот она – замечательная шестёрка! В пчелиных сотах она получается строгим кристаллографическим построением, все клетки – гексагоны. В остальных случаях она достигается асимптотически, с той или иной дисперсией статистического распределения полигонов с разным числом сторон, обычно от 4 до 8. В дисперсии содержится важная информация о генезисе полигональной структуры. А сходная задача для полиэдрических разбиений трёхмерного пространства решена в [25]. У среднестатистической клетки 27.07 вершин, 40.61 рёбер и 15.54 граней. Эта захватывающая тема в разных аспектах обсуждается в статьях [3–5, 11, 13–16, 23, 26, 27, 33, 34].

### **Слово за компьютером**

Мы же обратимся к черепахам и сформулируем вопрос так: в чём состояла закономерность и в чём – случайность при формировании полигонального разбиения карапакса в эволюции этих пресмыкающихся?

«У всех черепах количество костных пластинок карапакса превышает таковое на пластроне. Например, *Plesiochelye*, *Mauremys*,

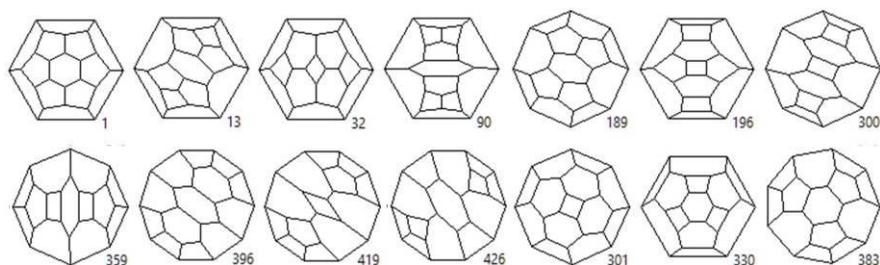


*Рис. 1. Полигональные разбиения поверхностей в природе.*

*Testudo*, *Melanochelys* имеют в карапаксе до 50, а в пластроне 9 пластинок. Соотношение этих пластинок составляет, соответственно: у *Eusarkia* 39 и 11, у *Trionyx* 25 и 9, у *Kinosternon* 44 и 8, у *Archelon* 52 и 7 и т.д. Специальные измерения отдельных элементов панциря черепах разного возраста показали, что все пластинки растут в онтогенезе относительно равномерно и нарастают по периферии в области швов. Пропорциональный рост отдельных частей панциря обеспечивается мозаичностью его строения. Функциональное значение наличия в карапаксе относительно большего, чем в пластроне, числа костных элементов мы видим в обеспечении постоянства выпуклости свода спинного щита. <...> Очевидно, в связи с отмеченными особенностями варьирования мозаичности строения костной основы панциря черепах комплекс роговых щитков также подвергался в ходе эволюции изменениям» [21].

Насчёт числа пластинок ясно – от этого зависит выпуклость карапакса, стало быть – его вместимость и прочность, обеспечивающие жизненно важные потребности вида. Добавим двустороннюю симметрию карапакса как следствие принципа, известного равно в минералогии и биологии: макроформа индивида формируется как компромисс внутренних потребностей и внешних условий. Как биологическое следствие, все организмы, приспособляющиеся к движению в поле тяжести по поверхности Земли, приобретают в онтогенезе и филогенезе двустороннюю симметрию [2, 10, 22, 24]. Вполне определилась задача для компьютерного моделирования: для черепашки (рис. 1) и её сородичей (геометрия панциря при взрослении особи не меняется) найти все разбиения центральной части карапакса (она формируется независимо от периферийного пояса) на 4-, 5- и 6-угольные пластины общим числом 13 (для другого вида его следует изменить), контактирующие по 3 в одной точке.

Сказано – сделано! Компьютер решил подобающее диофантово (в целых числах) уравнение и выдал их геометрические реализации. Полное число разбиений – 426, из них двусторонне-симметричных – 106, из них с «избыточной» симметрией (имеющих более чем одну плоскость симметрии) – 14 (рис. 2): ## 1 (6mm); 13, 32, 90, 189, 196, 300, 359, 396, 419, 426 (mm<sup>2</sup>); 301 (4mm); 330, 383 (3m). Среди них – карапакс нашей черепашки (# 396).



*Рис. 2. Разбиения карапакса с «избыточной» симметрией.*

### **Вопросы дилетанта**

Итак, природе было из чего выбирать. 106 двусторонне-симметричных вариантов – четверть от общего числа – немало в абсолютном и относительном выражениях. Остальные 320 вариантов природой забракованы. И то правда, ведь двигаться по прямой, будучи одетой в тяжёлый асимметричный карапакс, неловко – будет заносить влево или вправо. А это совсем не то, что нужно эволюции. Вспомним и про широко распространённый биологический энантиоморфизм (диссимметрию, по Л. Пастеру). Представим, как по Галапагосам кружат гигантские черепахи – все посолонь или противусолонь (заодно вспомним и эти старые русские слова). Одним словом, асимметричные карапаксы определённо не способствуют выживанию вида. Но ведь эта жизненная правда прояснилась и закрепились в гено типе не сразу. Что известно учёным о перипетиях внутривидового отбора? Может быть, о чём-то говорят уже известные аномалии развития?

«В 1968 г. в Ваилванском заповеднике найден экземпляр средиземноморской черепахи с увеличенным числом вертебральных щитков (8 вместо 5). I и V щитки – без изменения, II, III и IV – удвоены и расположены в два ряда. Отклонения от нормы в числе и форме щитков карапакса встречались и у других экземпляров с.ч. в Вашлованской котловине. Чаще всего II-го, реже III-го щитка, что выражалось в удвоении их числа, щитки были неправильной формы. Частота встречаемости таких экземпляров в Вашлованской котловине выше, чем по остальному ареалу в Грузии. В 1970 г. В.М. Чхиквадзе найдена с.ч. с идентичным расположением щитков в 20 км от первой находки. В 1988 г. в ТГУ доставлена с.ч. с таким же числом и расположением щитков из окрестностей Тбилиси. Отклонения от нормы в щитках карапакса с.ч. отмечены Алекперовым и Хозацким (1971), но они воздержались от суждения о причинах аномалий. Идентичная изменчи-

вость щитков карапакса отмечена у с.ч. (Брушко, Кубыкин, 1980; Стальмакова, Харлампыди, 1987) и для болотной, средиземноморской и степной (Черепанов, 1987). Последний считает её результатом нарушений в эмбриональной стадии. Мы имеем дело с гомологичной аномалией у различных видов черепах, причины которой требуют изучения» [1].

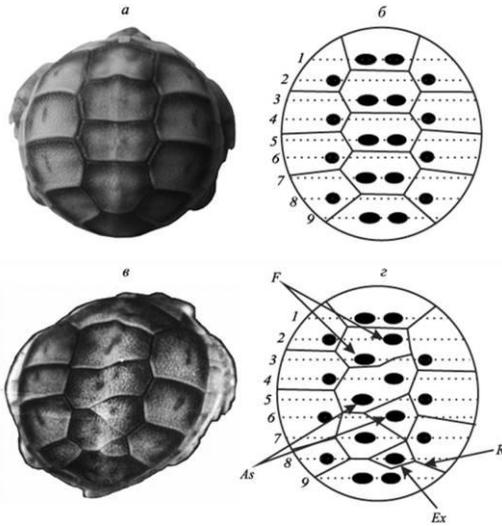


Рис. 3. Правильное (вверху) и неправильное (внизу) формирование карапакса [20].

«Исходя из морфогенетических данных, весь спектр изменчивости щитков панциря черепах обусловлен нарушениями эмбрионального развития: асимметричная закладка контралатеральных эпидермальных плакод со сдвигом на сегмент или более, закладка дополнительных плакод в «свободных» септальных углублениях, атипичное слияние соседних эпидермальных плакод, отсутствие закладки регулярных эпидермальных плакод в типичных сегментах тела» (рис. 3) [17-20].

Наконец, почему природа предпочла не просто двусторонне-симметричный, а избыточно симметричный вариант карапакса? Поясним вопрос несерьёзно, но наглядно. Если бы черепаха могла покидать карапакс (как рак-отшельник – раковину) или разворачиваться внутри него, то симметрия mm2 позволяла бы ей двигаться в двух перпендикулярных плоскостях симметрии, причём в обе стороны, экономя силы на разворотах тяжёлого карапакса. Ещё больше возможностей дали бы варианты 3m, 4mm и 6mm. Почему же выбран простейший вариант, да и тот не использован в полной мере? Или они были опробованы, но оказались не оптимальными? Почему бы не фантазировать? Ждём сенсационных палеонтологических находок!

## **Заключение**

В биологии черепах известно многое. Но представляется, что оппозиция случайного и закономерного в филогенезе и онтогенезе изучена не до конца. Да и разве можно изучить что-либо до конца? С точки зрения математика, черепахи – это бегающие и плавающие решения некоторого фундаментального диофантова уравнения, сводящегося для каждого вида к своему характеристическому уравнению. Если угодно, они суть аристотелевы реализации некоторой платоновой идеи карапакса – удивительной структуры среди других совершенных созданий природы... В какой мере полигональное и симметричное строение карапакса определено стилем движения черепах и закреплено эволюцией, а в какой мере содержит в себе инвариант случайного разбиения фрагмента плоскости? Науке это сегодня не известно. Здесь открывается захватывающая перспектива исследований на стыке биологии развития, кристаллографии и математического моделирования.

## **Благодарности**

Автор благодарит проф. Г. О. Черепанова (Санкт-Петербург, СПбГУ), обозначившего проблему в своём ярком докладе «Конструкция карапакса у черепах: морфологическое разнообразие в связи с особенностями онтогенеза» на конференции «Морфогенез в индивидуальном и историческом развитии: онтогенез и формирование биологического разнообразия» (Москва, ПИН РАН, 24 ноября 2017 г.), и к.г.-м.н. Д. Г. Степенщикова (ГИ КНЦ РАН, Апатиты) за компьютерное моделирование карапаксов.

*NB. Во время компьютерного моделирования и написания статьи ни одна черепаха не пострадала.*

## **Литература**

1. Бакрадзе М. А., Пицхвлаури В. П. Интересная морфа средиземноморской черепахи. // Вопросы герпетологии. Киев: Наук. думка, 1989. С. 20.
2. Беклемишев В. Н. Основы сравнительной анатомии беспозвоночных. М.: Наука, 1964. Т. 1, 432 с., т. 2, 448 с.
3. Беленький В. З. Геометрико-вероятностные модели кристаллизации. Феноменологический подход. М.: Наука, 1980. 88 с.
4. Бродская Р. Л. К вопросу о метризации структур горных пород // Зап. ВМО. 1972. № 5. С. 297–300.

5. Бродская Р. Л. Термодинамические (кинетические) критерии формирования и эволюции структуры минеральных агрегатов // Зап. ВМО. 1988. № 5. С. 623–633.
6. Войтеховский Ю. Л. О морфологическом разнообразии колоний *Pandorina morum* (Müll.) Bory (*Volvocaceae*) // Журн. общ. биол. 2001. Т. 62. № 5. С. 425–429.
7. Войтеховский Ю. Л. О кристаллах, полиэдрах, радиоляриях, вольвоксах, фуллеренах и немного – о природе вещей // Природа. 2004. № 8. С. 19–24.
8. Войтеховский Ю. Л. О кристаллах, полиэдрах, радиоляриях, вольвоксах, фуллеренах и немного – о природе вещей // Российская наука: нам гранты думать и жить помогают. М.: Октопус-Природа, 2004. С. 208–217.
9. Войтеховский Ю. Л. Геометрические мотивы в морфологии рыб *Tetraodontiformes* // Журн. общ. биол. 2009. Т. 70. № 3. С. 257–261.
10. Войтеховский Ю. Л. Доступно и точно о принципе диссимметрии Кюри // Природа. 2010. № 6. С. 19–23.
11. Войтеховский Ю. Л. Лорд Кельвин, пивная пена, ячейки Коксера и лавинная опасность // Природа. 2012. № 7. С. 39–42.
12. Войтеховский Ю. Л., Тимофеева М. Г., Степенщиков Д. Г. Принцип Кюри и морфологическое разнообразие колоний *Pandorina morum* (Müll.) Bory (*Volvocaceae*) // Журн. общ. биол. 2006. Т. 67. № 3. С. 206–211.
13. Жабин А. Г., Гладких В. С. Равновесные структуры минеральных агрегатов в глубинных лерцолитовых нодулях // Докл. АН. 1990. Т. 313. № 5. С. 1200–1203.
14. Жабин А. Г., Харченков А. Г. Равновесная структура минерального агрегата // Кристаллография и минералогия. Л.: Изд-во ЛПИ, 1972. С. 61–71.
15. Обер Дж. Г., Крейник Э. М., Рэнд П. Б. Водные пены // В мире науки. 1986. № 7. С. 36–45.
16. Салтыков С.А. Стереометрическая металлургия. М.: Металлургия, 1958. 446 с.
17. Черепанов Г. О. Формирование мозаики роговых щитков панциря черепах // Зоол. журн. 1987. Т. 66. № 9. С. 1339–1348.
18. Черепанов Г. О. Аномалии костного панциря черепах // Зоол. журн. 1994. Т. 73. № 6. С. 68–78.
19. Черепанов Г. О. Панцирь черепах: происхождение и развитие в онто- и филогенезе. Автореф. дис. уч. ст. д.б.н. СПб., 2004. 34 с.

20. Черепанов Г. О. Изменчивость щитков панциря черепах: закономерности морфогенеза и природа аномалий // Вестник СПбГУ. Сер 3. Биология. 2016. № 3. С. 170–174.
21. Чхиквадзе В. М. Мозаичность строения и особенности роста панциря черепах // Вопросы герпетологии. Киев: Наук. думка, 1973. С. 273.
22. Шафрановский И. И. Симметрия в природе. Л.: Недра, 1985. 168 с.
23. Coxeter H. S.M. Close-packing and froth // Ill. J. Math. 1958. Vol. 2. № 4B. P 746–758.
24. Curie P. Sur la symétrie dans les phénomènes physiques, symétrie d'un champ électrique et d'un champ magnétique // J. Physique. Paris. 1894. № 3. P. 393–415.
25. Meiering J. L. Interface area, edge length and number of vertices in crystal aggregates with random nucleation // Philips Res. Rep. 1953. № 8. P. 270–290.
26. Myers E. J., Sinnott M. J. Quantitative metallography for particles having polyhedral shapes // Computer applications in metallurgical engineering. Amer. Soc. Metals. 1964. P 17–21.
27. Thompson d'Arsey W. On growth and form. Cambridge: University Press; New York: McMillan Co, 1945. 1116 p.
28. Voytekhovsky Yu. L. On the exotic fishes given to ... geometry // Nature Precedings. 2008. <<http://hdl.handle.net/10101/npre.2008.2191.1>>
29. Voytekhovsky Yu. L. Symmetry, asymmetry, dissymmetry and enantiomorphism of the polyhedral forms // Paleont. J. 2014. V. 48. № 11. P. 1137–1142.
30. Voytekhovsky Yu. L. Biomineral analogues in ontogeny and phylogeny // Paleont. J. 2015. Vol. 49. № 14. P 1–7.
31. Voytekhovsky Yu. L. Homological series of icosahedral viruses and fullerenes // Paleont. J. 2016. Vol. 50. № 13. P 1505–1509.
32. Voytekhovsky Yu. L., Stepenshchikov D.G. Fullerene transformations as analogues of radiolarian skeleton microevolution // Paleont. J. 2016. Vol. 50. № 13. P 1544–1548.
33. Watson D. F. The number of edges per face in a large aggregate of space-filling, random-sized, randomly arranged polyhedra // Math. Geol. 1975. Vol. 7. № 4. P 349–354.
34. Watson D. F. The structure of paraequilibrium aggregates // Math. Geol. 1981. Vol. 13. № 4. P 357–360.



## НОВОЕ В КРИСТАЛЛОГРАФИИ ИКОСАЭДРИЧЕСКИХ ВИРУСОВ

Ю. Л. Войтеховский<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН; <sup>2</sup>Кольское отделение Российского минералогического общества; <sup>3</sup>Мурманское отделение Русского ботанического общества, [woyt@geoksc.apatity.ru](mailto:woyt@geoksc.apatity.ru)

### Введение

Кристаллография живого вещества мощно заявила о себе с расшифровки структуры ДНК Дж. Уотсоном (1928–2008) и Ф. Криком (1916–2004) в 1953 г. (Нобелевская премия 1962 г.). С тех пор теоретическим рассмотрением и приборными анализами охвачены различные живые объекты. В том числе, автором показано широкое распространение в минеральной и живой природе полиэдрических структур типа фуллеренов, на которых разрешены только 5-угольные (ровно 12) и 6-угольные (все остальные) грани [5]. При этом в самых симметричных фуллеренах легко узнаваем додекаэдрический мотив, ведь простейший фуллерен – именно платонов додекаэдр, а наиболее стабильный фуллерен  $C_{60}$  – усечённый платонов икосаэдр. В скелетах радиолярий встречены додекаэдрический (*Circogonia dodecahedra* Häckel) и икосаэдрический (*Circogonia icosahedra* Häckel) мотивы. Но наиболее ярко последний выражен в капсидах сферических (икосаэдрических) вирусов (рис. 1). Тот факт, что додекаэдр и икосаэдр геометрически дуальны друг другу, позволяет легко перейти от одного к другому и дать общие классификацию и номенклатуру для структур на их основе. «Номенклатура и классификация вирусов – трудная область вирусологии... Группировка может быть основана на морфологических и физиологических критериях. Идеал, к которому мы стремимся – это создать такую классификацию, которая отражала бы эволюционные и филогенетические взаимоотношения организмов, а также обеспечивала бы удобную и рациональную систему номенклатуры» [1, с. 18–23]. В части морфологии названные задачи решаются в предлагаемой статье.

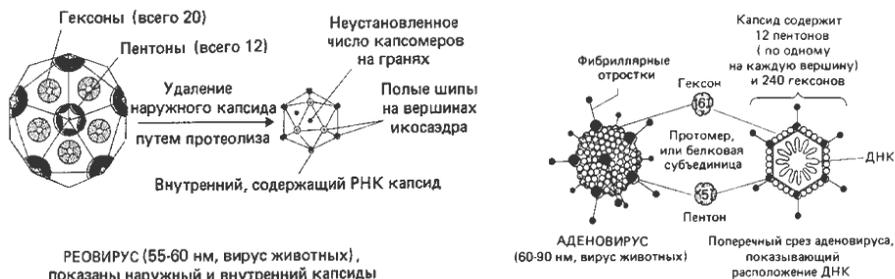


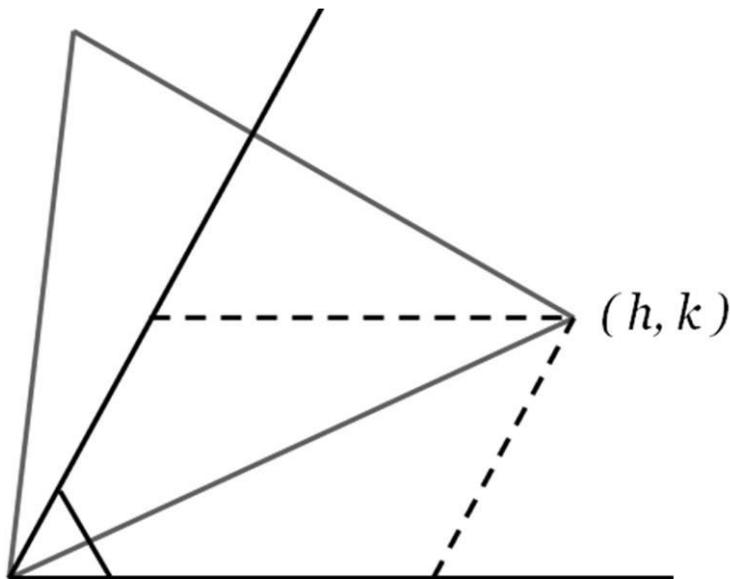
Рис. 1. Структура икосаэдрических вирусов [Рис, Стернберг, 2002].

### Предшествующие результаты

Принципы строения капсидов икосаэдрических вирусов из капсомеров (субъединиц, сферических белковых глобул) и их классификация предложены в основополагающей статье [3]. Всякий капсид построен из 20 равносторонних треугольных мега-граней – фрагментов плоской сетки, образованной глобулами по принципу плотнейшей гексагональной упаковки. Линии глобул не обязательно совпадают с рёбрами мега-граней, что и создавало проблему отыскания общей формулы для их числа в капсиде. В указанной статье анонсирована теорема, перечислившая разрешённые для икосаэдрических капсидов «триангуляционные числа»  $T = P f^2$ , где  $P = h^2 + hk + k^2$ ,  $0 < h \geq k \geq 0$  – любые пары целых чисел без общих делителей,  $f = 1, 2, 3...$  Её доказательство впервые дано в статье [4, р. 1124-1125]. По сути,  $h$  и  $k$  – координаты конца базального ребра мега-граней в косоугольной ( $60^\circ$ ) декартовой системе координат, согласованной с плотнейшей гексагональной упаковкой глобул (рис. 2).

В основу описания икосаэдрических капсидов сегодня положены именно триангуляционные числа  $T$  (табл. 1). В этом есть известное удобство. Число глобул в капсиде равно  $M = 10T + 2$ . Они образуют морфологические субъединицы: 12 пентамеров и  $10(T - 1)$  гексамеров. При этом  $T = (m - 1)^2$ , где  $m$  – число глобул на ребре мега-граней, если они согласованы по направлению (Voytekhovskiy, 2016). Кроме того,  $20T$  – число элементарных треугольных граней у любого икосаэдра, моделирующего капсид. Для многих вирусов эти характеристики известны: бактериофаг  $\phi X174$ :  $T = 1$ ,  $M = 12$ ,  $m = 2$ ,  $(h, k) = (1, 0)$ ; вирус жёлтой мозаики турнепса:  $T = 3$ ,  $M = 32$ ,  $(h, k) = (1, 1)$ ; вирус полиомы:  $T = 4$ ,  $M = 42$ ,  $m = 3$ ,  $(h, k) = (2, 0)$ ; паповавирус:  $T = 7$ ,  $M =$

72,  $(h, k) = (2, 1)$ ; реовирус:  $T = 9$ ,  $M = 92$ ,  $m = 4$ ,  $(h, k) = (3, 0)$ ; ротавирус:  $T = 13$ ,  $M = 132$ ,  $(h, k) = (3, 1)$ ; вирусы герпеса и ветряной оспы:  $T = 16$ ,  $M = 162$ ,  $m = 5$ ,  $(h, k) = (4, 0)$ ; аденовирус и вирус собачьего гепатита:  $T = 25$ ,  $M = 252$ ,  $m = 6$ ,  $(h, k) = (5, 0)$ ; радужный вирус:  $T = 81$ ,  $M = 812$ ,  $m = 10$ ,  $(h, k) = (9, 0)$ .



*Рис. 2. К описанию икосаэдрического капсида.*

Анализ таблицы показывает наличие изомеров – вирусов с одинаковым триангуляционным числом. Для  $T = 49$  их можно различить по симметрии: капсид  $(h, k) = (7, 0)$  имеет точечную группу симметрии  $-3-5m$ , капсид  $(5, 3)$  – точечную группу симметрии  $235$  (в современной кристаллографической нотации). Но для  $T = 91$  оба капсида  $(9, 1)$  и  $(6, 5)$  имеют симметрию  $235$ . При этом символом  $(h, k)$  строение любого капсида фиксируется однозначно. Именно его целесообразно положить в основу номенклатуры.

Таблица 1. Триангуляционные числа T.

$k \setminus h$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100
1	3	7	13	21	31	43	57	73	91	111
2		12	19	28	39	52	67	84	103	124
3			27	37	49	63	79	97	117	139
4				48	61	76	93	112	133	156
5					75	91	109	129	151	175
6						108	127	148	171	196
7							147	169	193	219
8								192	217	244
9									243	271
10										300

### Классы -3-5m и 235

В статье (Caspar, Klug, 1962, p. 15, Table 1) предложено деление икосаэдрических капсидов на три класса. Первый (верхняя строка табл. 1) порождается простейшим капсидом (1, 0) – икосаэдром, в вершинах которого расположены белковые глобулы. Остальные капсиды класса получают увеличением грани икосаэдра с помощью коэффициентов подобия  $f = 2, 3, 4, \dots$  при той же ориентировке в системе координат, согласованной с плотнейшей гексагональной упаковкой глобул (рис. 2). Этот класс логично обозначить (f, 0).

Таблица 2. Триангуляционные числа T для генераторов.

$k \setminus h$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1									
1		7	13		31	43		73	91	
2			19				67		103	
3				37	49		79	97		139
4					61				133	
5						91	109		151	
6							127			
7								169	193	
8									217	
9										271
10										

Второй класс (диагональ табл. 1) аналогично порождается капсидом (1, 1) – додекаэдром, над гранями которого надстроены пентагональные пирамиды. Его можно обозначить (f, f). Авторы статьи заме-

чают, что капсиды обоих классов обладают плоскостями симметрии в отличие от остальных капсидов, обладающих только поворотными осями. Судя по тому, что остальные капсиды названы «skew classes» (скошенные классы), каждый символ  $(h, k)$  означает отдельный класс, в каждом – один капсид. Это не логично, так как преобразование подобия любой капсид порождает бесконечную гомологическую серию одинаково устроенных капсидов:  $(h, k) \rightarrow (fh, fk)$ ... По сути, табл. 1 состоит из гомологических серий, начинающихся с капсидов  $(h, k)$ , у которых  $h$  и  $k$  не имеют общих делителей.

Табл. 1 содержит ещё более интересные связи. В первую очередь заметим, что капсид  $(1, 1)$  получается из  $(1, 0)$  как усечённый икосаэдр из додекаэдра – дуальным переходом и отсечением вершин. Как это выразить алгебраически? На целочисленной решётке (рис. 1) рёбра двух капсидов  $(h_1, k_1)$  и  $(h_2, k_2)$  выражаются друг через друга линейно. Пусть искомое преобразование имеет вид:  $(h_1, k_1) \rightarrow (h_2, k_2) = (ah_1 + bk_1, ch_1 + dk_1)$ . В статье (Voytekhovskiy, 2016) показано, что оно утраивает триангуляционное число. Из условия  $T_2 = 3T_1$  находим, что для любого  $(h_1, k_1)$  оно разрешимо лишь в одном случае:  $(h_1, k_1) \rightarrow (h_1 + 2k_1, h_1 - k_1)$ . Подстановкой легко убедиться в переходах  $(f, 0) \rightarrow (f, f) \rightarrow (3f, 0) \rightarrow (3f, 3f)$ ... Тем самым гомологические серии  $(f, 0)$  и  $(f, f)$  объединяются в класс  $-3-5m$ . Аналогично объединяются в классы 235 по две гомологические серии, образованные капсидами  $(h, k)$  и  $(h + 2k, h - k)$ , у которых  $h$  и  $k$  не имеют общих делителей. Капсиды  $(h, k)$ , не сводимые к более простым в ряду гомологов, ранее названы автором генераторами. Критерии генератора:  $h$  и  $k$  взаимно просты,  $h - k$  не делится на 3 (табл. 2).

### Общее преобразование капсида

Возникает вопрос, нельзя ли найти общее преобразование  $(h_1, k_1) \rightarrow (h_2, k_2)$ , преобразующее любой капсид в любой другой, как это сделано для фуллеренов, моделирующих микроэволюции скелетов радиоларий [7]? В этом случае задача состоит в повороте вектора  $(h_1, k_1)$  на некоторый угол  $\alpha$  до вектора  $(h_2, k_2)$  и дополнительном растяжении / сжатии (рис. 3).

В ортогональной декартовой системе координат такое преобразование имеет вид:

$$(x_2, y_2) = (x_1, y_1) \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t & 0 \\ 0 & t \end{pmatrix}$$

где  $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ , коэффициент растяжения  $t = (T_2/T_1)^{1/2}$ .

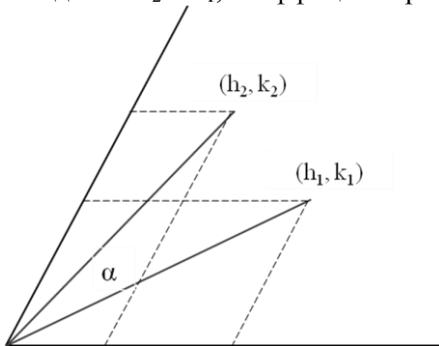


Рис. 3. К описанию преобразований икосаэдрического капсида.

Формулы перехода к косоугольной ( $60^\circ$ ) системе координат:  $x_1 = T_1^{1/2} \cos \alpha_1$ ,  $y_1 = T_1^{1/2} \sin \alpha_1$ ,  $x_2 = T_2^{1/2} \cos \alpha_2$ ,  $y_2 = T_2^{1/2} \sin \alpha_2$ . Выражаем тригонометрические функции через стороны треугольников (рис. 3) и после преобразований получаем искомое преобразование:

$$\left(2h_2 + k_2, \sqrt{3} k_2\right) = \left(2h_1 + k_1, \sqrt{3} k_1\right) \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \sqrt{T_2/T_1}$$

Задав  $(h_1, k_1)$  и  $(h_2, k_2)$ , из соотношения находим коэффициент растяжения  $(T_2/T_1)^{1/2}$  и угол  $0 \leq \alpha \leq 60^\circ$ .

Рассмотренные выше частные случаи следуют из полученного уравнения. Так, для гомологических серий  $(h_1, k_1) \rightarrow (h_2, k_2) = (f h_1, f k_1)$  подстановкой получим:

$$\left(2h_1 + k_1, \sqrt{3} k_1\right) = \left(2h_1 + k_1, \sqrt{3} k_1\right) \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$$

из чего следует, что матрица поворота единичная:  $\cos \alpha = 1$ ,  $\sin \alpha = 0$ , то есть  $\alpha = 0$ . Это так, ведь указанные серии объединяют капсиды с подобными гранями, одинаково ориентированными в системе координат (рис. 2).

Более интересен случай дуальных преобразований  $(h_1, k_1) \rightarrow (h_2, k_2) = (h_1 + 2k_1, h_1 - k_1)$ . Здесь получаем общее решение в виде:

$$\alpha = \arcsin [1/2 - 3k_1 (h_1 + k_1) / 2T_1].$$

При  $k_1 = 0$  получим  $\alpha = 30^\circ$ , при  $k_1 = h_1$  получим  $\alpha = -30^\circ$ , в обоих случаях коэффициент растяжения равен  $\sqrt{3}$ . Это верно в общем виде: в дуальных преобразованиях последовательные переходы отличаются только знаком поворота.

## Выводы

- Номенклатуру икосаэдрического капсида предложено строить на символе  $(h, k)$  его мега-икосаэдрической грани, однозначно фиксирующем её положение в решётке капсомеров (белковых глобул), организованной по принципу плотнейшей гексагональной упаковки.
- Классификация капсидов по точечным группам симметрии -3-5m (с плоскостями) и 235 (без них) логична, но это лишь первый шаг. Класс -3-5m состоит из гомологических серий  $(f, 0)$  и  $(f, f)$ , где  $f = 1, 2, 3, \dots$ , связанных дуальным переходом  $(h_1, k_1) \rightarrow (h_1 + 2k_1, h_1 - k_1)$ .
- Класс 235 тоже состоит из гомологических серий  $(f h, f k)$ , порождаемых генераторами  $(h, k)$ , узнаваемыми по критерию:  $h$  и  $k$  взаимно просты,  $h - k$  не делится на 3. У каждой серии в классе 235 есть другая, связанная дуальным переходом  $(h_1, k_1) \rightarrow (h_1 + 2k_1, h_1 - k_1)$ .
- Получено матричное преобразование, описывающее любой переход  $(h_1, k_1) \rightarrow (h_2, k_2)$ . Икосаэдрические капсиды – редкий случай биологической организации, когда удалось получить столь общий результат, даже если он имеет лишь теоретическое значение.
- Представляют интерес следующие задачи: о частоте встречаемости икосаэдрических вирусов классов -3-5m и 235, в частности – различных видов  $(h, k)$ , ещё детальнее – изомеров с разными  $(h, k)$ , но одним триангуляционным числом  $T$ .

## Список литературы

1. Лурия С., Дорнелл Дж., Балтимор Д., Кэмпбелл Э. Общая вирусология. М.: Мир, 1981. 680 с.
2. Рис Э., Стернберг М. Введение в молекулярную биологию: от клеток к атомам. М.: Мир, 2002. 142 с.
3. Caspar D. L. D., Klug A. Physical principles in the construction of regular viruses // Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 1962. Vol. 27. P. 1–24.
4. Schmalz T. G., Seitz W. A., Klein D. J., Hite G. E. Elemental carbon cages // J. Am. Chem. Soc. 1988. Vol. 110. № 4. P. 1113–1127.
5. Voytekhovskiy Yu. L. Biomineral analogues in ontogeny and phylogeny // Paleont. J. 2015. Vol. 49. № 14. P. 1691–1697.
6. Voytekhovskiy Yu. L. Homological series of icosahedral viruses and fullerenes // Paleont. J. 2016. Vol. 50. № 13. P. 1505–1509.
7. Voytekhovskiy Yu. L., Stepenshchikov D. G. Fullerene transformations as analogues of radiolarian skeleton microevolution // Paleont. J. 2016. Vol. 50. № 13. P. 1544–1548.



## ИЗ ИСТОРИИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГОРНЫХ ПОРОД, РУД, МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЯХ: ЕСТЬ ЛИ БУДУЩЕЕ У МЕТОДА?

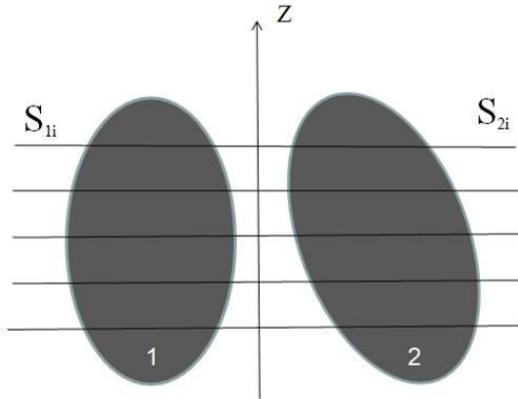
Ю. Л. Войтеховский<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН; <sup>2</sup>Кольское отделение Российского минералогического общества; <sup>3</sup>Мурманское отделение Русского ботанического общества, woyt@geoksc.apatity.ru

Удивительным образом следующая цитата из литературоведческого текста Х. Ортеги-и-Гассета придаёт дальнейшему методологическую глубину. «Материальные предметы, которые мы можем явственно наблюдать, осязать, обладают третьим измерением, иначе говоря, глубиной, неким внутренним пространством. Но как раз это третье измерение – и невидимо, и неосязаемо. Конечно, на поверхности подобных предметов мы можем распознать кое-какие слабые, робкие намёки на то, что находится внутри, но это «внутри» никогда не сможет выбраться наружу, стать явным точно в такой же мере, как чисто внешние стороны предметов. Напрасный труд – пытаться нарезать третье измерение на тонкие слои поверхностей. Как бы тонко мы ни резали – слои всегда будут сохранять некоторую толщину, иначе говоря, глубину, невидимое, неосязаемое внутреннее пространство. Если же мы получим абсолютно прозрачные для взгляда – мы просто-напросто вообще перестанем видеть что бы то ни было и не заметим ни глубины, ни поверхности. Перед нами предстанет прозрачность как таковая, или ничто» [21, С. 59–61].

Модальный (количественный минералогический) анализ горных пород, руд, металлов и сплавов в шлифах (плоских сечениях) – один из фундаментальных методов минералогии (в том числе технологической), петрографии (в классификации магматических и метаморфических горных пород и петрологических реконструкциях), литологии (то есть петрографии осадочных горных пород) и металлографии. Поэтому его строгое обоснование имеет принципиальное значение. В первую очередь укажем на то, что соотношения Делесса  $dV_i = dS_i$  [1], Ро-

зивая  $dS_i = dL_i$  [2] и Глаголева  $dL_i = dN_i$  [3–5], последовательно понижающие размерность пространства предельно элементарными соотношениями (а именно, приравнивающие объёмные доли минеральных фаз к площадным, площадные – к линейным, линейные – к точечным), не имеют отношения к геометрическому принципу Кавальери:  $S_{1i} = S_{2i} \rightarrow V_1 = V_2$  – если площади всех как угодно близких параллельных сечений двух тел попарно равны, то их объёмы тоже равны (рис. 1).

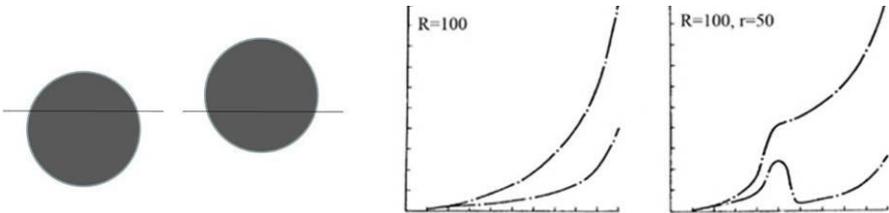


*Рис. 1. К обоснованию принципа Кавальери.*

В современных обозначениях этот принцип, исторически предшествовавший интегральному исчислению, имеет ясный смысл:  $V_1 = \int S(z) dz = V_2$ , где  $S(z)$  – непрерывная функция изменения площадной доли некоторой минеральной фазы вдоль оси  $z$ , нормальной к сечениям, интеграл берётся по Ньютону-Лейбницу. Но модальный анализ горных пород и руд в шлифах, сводящийся к накоплению статистик площадных, линейных или точечных долей минеральных фаз от шлифа к шлифу, не использует процедуру интегрирования, а лишь ведёт к оценке их средних значений. При этом почти очевидно, что объём любой минеральной фазы в горной породе или руде заключён в пределах:  $S(z)_{\min} \Delta z = \int S(z)_{\min} dz < V < \int S(z)_{\max} dz = S(z)_{\max} \Delta z$ , где  $\Delta z$  – толщина изучаемого образца горной породы.

Несмотря на ясность указанного противоречия, к тому же рассмотренного в работах [6, 7], метод прочно вошёл в практику из-за кажущейся простоты и непрерывно автоматизировался [8–12] вплоть до применения современных компьютеров для анализа изображений

шлифа. Список параметров, характеризующих сечения минеральных зёрен, и быстрота обработки статистик выросли многократно. Но в части восстановления истинных метрических характеристик минеральных зёрен по таковым их плоских (тем более линейных) сечений идеология остаётся прежней. Компании, производящие автоматические анализаторы структур, предлагают пакеты программ без обсуждения проблемы. Более того, даже анализ двумерных изображений не использует доступные разделы математики. Так, расстояние между минеральными зёрнами в шлифе подменяется евклидовым расстоянием между точками, взятыми в пределах зёрен, тогда как есть более сложная, но легко программируемая минимаксная метрика Ф. Хаусдорфа, позволяющая делать это корректно.



*Рис. 2. Слева: размер сечения выпуклого зерна всегда меньше характерного, в модальном анализе его объёмная доля занижена. Справа: к распознаванию истинных размеров сферических частиц по размерам круговых сечений;  $R = 100$  – частицы радиусом 100 условных единиц;  $R = 100, r = 50$  – два набора частиц одного вида, неразличимых в сечениях (например, две генерации одного минерала); горизонтальная шкала – радиусы сечений от 0 до 100 разбиты на 10 классов; вертикальная шкала – частоты сечений по классам (нижние кривые) и накопленные частоты (верхние кривые).*

Качественно новое направление исследований – стереологическая реконструкция – возникло из очевидного наблюдения, что произвольное сечение сферической формы всегда меньше её характерного сечения (рис. 2, слева). Но из этого следует, что объёмная доля такой минеральной фазы в горной породе и руде, приравненная к доле её плоских сечений, всегда занижена за счёт вмещающей матрицы. Соответствующая общая задача – отыскание распределения истинных размеров частиц по распределению размеров их случайных сечений – относится к классу обратных задач, типичных в геофизике, и аналитически

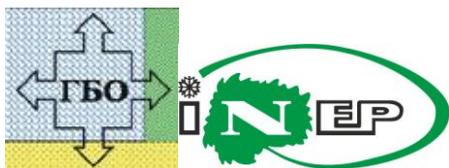
решена лишь для сферических и эллипсоидальных частиц благодаря относительно простому аналитическому описанию этих форм [13, 14]. Но даже в этом случае практическое использование теории требует подбора наилучшего решения и оценки погрешностей (рис. 2, справа). Для более сложных форм минеральных зёрен не обойтись без математического моделирования на мощных компьютерах. Историю развития этого направления можно почерпнуть из следующего далеко не полного списка работ [15-20].

Таким образом, из-за чрезвычайного разнообразия форм минеральных зёрен в горных породах и рудах методы стереологической реконструкции приводят к интегральным уравнениям с аналитически трудно задаваемым фактором формы. Практическое применение теории тонет в подборе наилучшего решения обратной задачи и сложных оценках погрешностей измерений. На смену модальному анализу горных пород и руд в шлифах должны прийти методы рентгеновской (или иной) томографии. Стандартизация модального анализа горных пород и руд в шлифах путём создания их искусственных аналогов с заведомо известными объёмными долями минеральных зёрен и широким спектром петрографических структур может служить межлабораторному сравнению точности метода, но не решит его проблем по существу.

### **Список литературы**

1. Delesse M. Procédé mécanique pour déterminer la composition des roches // Annales des mines. De mémoires sur l'exploitation des mines. Quatrième série. T. XIII. Paris: Carilian-Goeury et Dalmont, 1848. P. 379–388.
2. Rosiwal A. Über geometrische Gesteinanalysen. Ein einfacher Weg zur ziffermäßigen Feststellung des Quantitätsverhältnisses der Mineralbestandtheile gemengter Gesteine // Verhandlungen der kaiserlich-königlichen Geologischen Reichsanstalt. Wien: Verlag der kaiserlich-königlichen Geologischen Reichsanstalt, 1898. S. 143–175.
3. Глаголев А. А. Количественный минералогический анализ горных пород под микроскопом. Л.: Госгеолиздат, 1932. 25 с.
4. Глаголев А. А. О геометрических методах количественного минералогического анализа горных пород. М.-Л.: Госгеолиздат, 1933. 47 с.
5. Глаголев А. А. Геометрические методы количественного анализа агрегатов под микроскопом. М.-Л.: Госгеолиздат, 1941. 263 с.

6. Чейз Ф. Количественно-минералогический анализ шлифов под микроскопом. М.: Иностранная литература, 1963. 156 с.
7. Krumbein W. C. Thin-section mechanical analysis of indurated sediments // *Journal of Geology*. 1935. V. 43. P. 482–496.
8. Shand S. J. A recording micrometer for geometrical rock analysis // *Journal of Geology*. 1916. V. 24. P. 394–404.
9. Wentworth C. K. An improved recording micrometer for rock analysis // *Journal of Geology*. 1923. V. 31. P. 228–232.
10. Hunt W. F. An improved Wentworth recording micrometer // *American Mineralogist*. 1924. V. 9. P. 190–193.
11. Dollar A. T. J. An integrating micrometer for the geometrical analysis of rocks // *Mineralogical Magazine*. 1937. V. 24. P. 577–594.
12. Hurlbut C. S. An electric counter for thin-section analysis // *American Journal of Science*. 1939. V. 237. P. 253–261.
13. Wicksel S. D. The corpuscle problem. A mathematical study of a biometric problem // *Biometrika*. 1925. V. 17. P. 84–99.
14. Wicksel S. D. The corpuscle problem. 2<sup>nd</sup> memoir. Case of ellipsoidal corpuscles // *Biometrika*. 1926. V. 18. P. 151–172.
15. Журавский А. М. Минералогический анализ шлифа с точки зрения вероятностей. М.-Л.: Госгеолиздат, 1932. 20 с.
16. Шванов В. Н., Марков А. Б. Гранулометрический анализ песчанников в шлифах // *Геология и разведка*. 1960. № 12. С. 49–55.
17. Иванов Н. В. Новое направление в опробовании рудных месторождений. М.: Госгеолиздат, 1963. 179 с.
18. Чернявский К. С. Стереология в металловедении. М.: Металлургия, 1977. 375 с.
19. Иванов О. П., Ермаков С. Ф., Кузнецова В. Н. Повышение точности определения весового гранулометрического состава рудных минералов по измерениям в шлифах // *Труды ЦНИИОлово*. Н.: Наука, 1979. С. 10–14.
20. Гульбин Ю. Л. О стереологических реконструкциях размеров зёрен в агрегатах // *Записки Российского минералогического общества*. 2004. № 4. С. 71–91.
21. Ортега-и-Гассет Х. Размышления о Дон Кихоте. Гл. Глубь и поверхность. М.: Грюндриссе, 2016. С. 59–61.



## **РТУТЬ И ДРУГИЕ ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ОРГАНАХ И ТКАНЯХ РЫБ ОЗЕРА ИМАНДРА**

**В. А. Даувальтер, П. М. Терентьев**

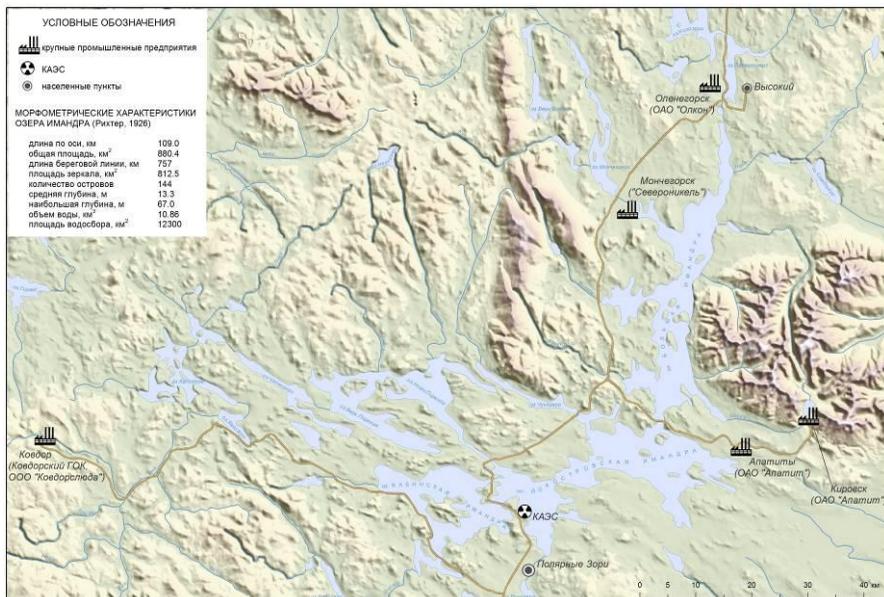
Хибинское отделение Гидробиологического общества; Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, vladimir@inep.ksc.ru

Озеро Имандра расположено на крайнем северо-западе европейской территории России, в Мурманской области (рис. 1). Котловина озера находится в глубокой тектонической депрессии, которая простирается с севера на юг от Кольского залива Баренцева моря до Кандалакшского залива Белого моря [9]. Эта депрессия делит Мурманскую область на две части: западную – материковую, и восточную – полуостровную. Озеро Имандра – самый крупный водоём в Мурманской области и один из крупнейших в Заполярье: длина озера – 109 км, средняя ширина – 3.19 км, площадь с островами – 880.4 км<sup>2</sup>, объём воды – 10.86 км<sup>3</sup>. Общая площадь водосбора озера составляет 12300 км<sup>2</sup> (рис. 1).

Наличие уникальных месторождений полезных ископаемых и удобное расположение на пути основных транспортных магистралей привели к развитию мощного индустриального комплекса на территории водосбора, что вызвало высокую антропогенную нагрузку на озеро [9]. Среди основных производств выделяются следующие: горнодобывающая промышленность (ОАО «Апатит»), металлургическая промышленность (ОАО «Североникель»), железорудное производство (ОАО «Олкон»), энергетический комплекс (Кольская АЭС, Апатитская ТЭЦ, каскад Нивских ГЭС), а также муниципальные стоки населенных пунктов, расположенных на водосборе озера.

С целью оценки современного экологического состояния оз. Имандра и установления закономерностей аккумуляции и биогеохимического распределения металлов в экосистеме оз. Имандра (Ni, Cu, Zn, Mn, Al, Sr, Hg) проведены исследования химического состава воды, донных отложений (ДО) и органов и тканей сига (*Coregonus*

*lavaretus*). Отбор проб ДО производился отборником колонок гравитационного типа. Колонки ДО послойно разделялись на слои по 1 см.



*Рис. 1. Карта-схема водосбора оз. Имандра с главными источниками загрязнения.*

Отлов рыбы проводился набором жаберных сетей с различными размерами ячеи. Методика отбора и химического анализа проб ДО и органов и тканей сига подробно описана ранее [1, 2, 9]. В образцах ДО и органов и тканей рыб методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии определяли валовые концентрации металлов, в том числе тяжёлых (Ni, Cu, Zn, Co, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Fe, Mn), щелочных и щелочноземельных (Na, K, Ca, Mg, Sr), а также Al и P. Концентрации Hg определяли с использованием проточно-инжекционной ртутной системы Perkin-Elmer FIMS 100. Для оценки интенсивности накопления металлов в органах и тканях сига рассчитывались величины коэффициента биологического накопления как отношение среднего содержания элемента в органе (в мкг/г в пересчёте на сухой вес) к средней концентрации элемента в поверхностном (0-1 см) слое ДО оз. Имандра (также в мкг/г) ( $КБН_{ДО}$ ) и к средней концентрации элемента в воде в мкг/л ( $КБН_{ВОДА}$ ). Озеро условно было разбито на пять акваторий, в различной степени подверженных антропогенному влиянию, – север-

ная (влияние стоков ОАО «Олкон» и комбината «Североникель»), центральная и южная (влияние стоков ОАО «Апатит») части Большой Имандры, Йокостровская Имандра (транзит загрязняющих веществ из Большой Имандры) и Бабинская Имандра (условно фоновая акватория). По этим акваториям были рассчитаны средние содержания металлов в воде, ДО, органах и тканях сига за последние десять лет. В общем итоге было проанализировано проб воды и донных отложений с 30 станций и около 150 экземпляров сегов. Среднее содержания металлов в поверхностном слое ДО, воде, органах и тканях сига различных плесов оз. Имандра представлено в табл. 1.

Наиболее загрязненной акваторией озера является Большая Имандра, принимающая промышленные стоки медно-никелевого и апатито-нефелинового производств (табл. 1). Концентрации Ni и Cu в поверхностных слоях ДО в десятки и сотни раз превышают фоновые значения. В Большой Имандре наблюдается также наибольшее содержание других тяжёлых металлов – Zn (стоки комбината «Североникель»), Mn (стоки ОАО «Олкон»), а также Hg, поступающей в озеро не только со стоками медно-никелевого производства, но и в результате апатито-нефелинового производства, о чем было сказано ранее [4]. Повышенные содержания Al и Sr в поверхностных слоях ДО в южной части Большой Имандры связаны с поступлением сточных вод ОАО «Апатит» [3]. В направлении стоковых течений в озере в плёсе Йокостровская Имандра происходит уменьшение содержания исследуемых металлов, а в плёсе Бабинская Имандра содержания металлов ненамного превышают или равны фоновым содержаниям, поэтому этот плёс и принят условно фоновым, хотя влияние аэротехногенного загрязнения прослеживается и на этой акватории озера [5].

В вертикальном распределении Hg в ДО южной части Большой Имандры, куда поступают стоки переработки апатито-нефелиновых месторождений, чётко отмечается приповерхностный максимум (рис. 2) от 0.6 до 2.3 мкг/г на разных глубинах от 7 до 14 см колонок ДО (в зависимости от скорости осадконакопления). Эти содержания Hg практически на 2 порядка больше средних фоновых концентраций [2] этого чрезвычайно токсичного халькофильного элемента в ДО озёр Мурманской области. Ниже максимальных содержаний на 2–3 см

Таблица 1. Среднее содержания металлов (мкг/г сух. веса) в поверхностном (0–1 см) слое ДО, воде, органах и тканях сига различных плесов оз. Имандра

Плес	Объект	Ni	Cu	Zn	Mn	Al	Sr	Hg
Большая Имандра Север	ДО	1523	287	104	28487	21361	286	0.089
	вода	6	4	1	22	29	54	н.о.
	мышцы	1.03	0.88	22	2.5	4.0	22.09	0.180
	печень	1.6	35.4	266	7.3	10.5	2.8	0.390
	почки	10.2	9.8	198	4.6	11.3	4.3	0.710
	жабры	2.1	2.5	397	30	14.8	210	0.330
	скелет	7.4	3.7	147	58.4	9.3	1199	0.160
Большая Имандра Центр	ДО	1860	370	131	10000	53500	1475	0.242
	вода	9	5	1	23	29	39	н.о.
	мышцы	0.52	1.15	15.5	1.07	0.77	4.73	0.140
	печень	1.01	58.13	153	7.5	4.5	1.4	0.180
	почки	6.8	6.0	114	2.9	8.5	5.6	0.220
	жабры	1.8	1.8	337	13.8	5.5	124	0.150
	скелет	2.2	0.4	105	40.5	2.6	577	0.030
Большая Имандра Юг	ДО	989	299	339	5600	48800	1980	0.267
	вода	6	4	1	14	86	74	н.о.
	мышцы	0.69	0.80	23	1.74	2.58	14.2	0.150

	печень	1.6	41.9	204	9.0	8.0	12.2	0.150
	почки	4.3	8.1	178	4.9	10.7	11.6	0.250
	жабры	2.8	2.7	411	29	101	210	0.110
	скелет	2.9	0.8	152	41	5.5	859	0.070
Йокостровская Имандра	ДО	766	203	101	11700	25000	609	0.154
	вода	5.25	3	1	13	26	60	н.о.
	мышцы	0.82	0.75	19.1	1.94	2.54	13.9	0.185
	печень	1.6	32	244	8.8	9.68	6.5	0.450
	почки	6.1	7.4	223	4.9	26.1	9.6	0.545
	жабры	2.2	2.2	446	20.0	20.2	159	0.205
	скелет	5.6	2.4	146	40	7.92	668	0.155
Бабинская Имандра	ДО	212	118	108	7600	23300	66	0.097
	вода	2	3	1	2.5	20	48	н.о.
	мышцы	0.79	0.80	20.8	1.95	5.08	14.4	0.215
	печень	1.32	47	230	8.77	7.71	2.27	0.430
	почки	4.74	8.13	278	4.83	41	6.62	0.630
	жабры	2.1	2.1	388	16.2	24.8	126	0.130
	скелет	5.5	2.1	148	24.6	5.4	529	0.070

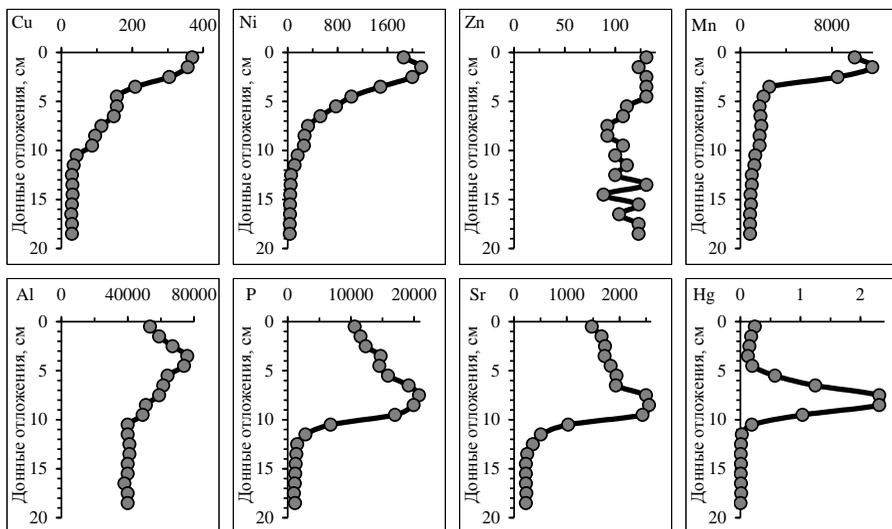


Рис. 2. Распределение концентраций исследуемых элементов (мкг/г сух. веса) в толще ДО станции I-32, южная часть Большой Имандры.

отмечаются содержания Hg, сопоставимые со средними фоновыми концентрациями Hg в ДО озёр Мурманской области. Сопоставление с вертикальными профилями других загрязняющих элементов (рис. 2) приводит к выводу, что по времени увеличение Hg в оз. Имандра совпадает с началом поступления элементов со стоками ОАО «Апатит» (например, Al, P и Sr) и комбината «Североникель» (Ni и Cu), но максимальные концентрации Hg фиксируются раньше по времени, чем максимумы основных загрязняющих тяжёлых металла – Ni и Cu. Можно предположить, что максимальное поступление Hg происходило в 30-е, а может быть и 40-е годы XX столетия. Возможно, что при проведении взрывных работ на первых этапах разработки апатито-нефелиновых месторождений в детонаторах использовалась гремучая ртуть (ртутная соль фульминовой (гремучей) кислоты  $Hg(CNO)_2$ ). Во время Великой Отечественной войны на базе комбината «Апатит» работал цех по изготовлению зажигательных фосфорных бомб, в которых в качестве капсуля-воспламенителя также использовалась гремучая ртуть. Концентрации Hg в поверхностном 1-см слое ДО выше в центральной и южной части Большая Имандра, чем в Йокостровской и Бабинской Имандре (табл. 1). На исследуемых станциях содержание

Hg находится в диапазоне от 0.14 до 0.38 мкг/г.

Тяжёлые металлы способны накапливаться в живых организмах в более высоких концентрациях, чем в окружающей среде. Содержание металлов в тканях рыб отражает динамику этих элементов в среде обитания и может быть использовано для мониторинга загрязнения окружающей среды, а также быть одним из показателей, раскрывающих причины наблюдаемых аномальных состояний отдельных особей и популяции в целом в условиях загрязнения водоёма [7]. Количество металлов в органах и тканях рыб является переменной величиной, находящейся в тесной взаимосвязи с геохимическими условиями среды обитания, с генеративным и пластическим обменом и другими факторами [8]. Поглощение и аккумуляция тяжёлых металлов рыбами зависит от химических и физических процессов в водоёме (в воде и на поверхности ДО). Сезонные изменения влияют на количество и доступность металлов.

По способности к аккумуляции Ni органы и ткани сига оз. Имандра располагаются в следующем порядке (табл. 1): почка > скелет > жабры > печень > мышцы. Несмотря на высокое содержание Ni в воде и ДО оз. Имандра, содержание этого тяжёлого металла в органах и тканях сига невысокое (табл. 1). Ранее [8] также было отмечено, что наибольшей аккумуляционной способностью по отношению к Ni обладает почка рыб. Значения коэффициентов биологического накопления находятся в таком же порядке, что и их содержания в органах и тканях сига (табл. 2).

Медь содержится в наибольших количествах в печени (табл. 1), что было отмечено в [8]. По содержанию Cu органы сига оз. Имандра располагаются в следующем порядке (табл. 1): печень > почка > жабры > скелет > мышцы. Содержание Cu в печени сига более, чем на порядок больше, чем Ni. Значения КБН<sub>ДО</sub> для Cu располагаются в том же порядке, что и содержание в органах и тканях сига (табл. 2), причем эти значения намного больше, чем для Ni (за исключением скелета).

Уровень накопления Zn в органах и тканях сига оз. Имандра довольно высокий, несмотря на относительно низкое содержание этого тяжёлого металла в воде и ДО озера. По концентрации Zn органы сига оз. Имандра располагаются в следующем порядке (табл. 1): жабры > печень > почка > скелет > мышцы. Подобный порядок аккумуляции Zn в органах и тканях сига оз. Имандра был отмечен ранее [9], но содержание этого металла в органах сига в последние годы снижается. Значения КБН<sub>ДО</sub> для Zn больше 1 практически для всех органов (кро-

ме мышц), а значения  $KБН_{\text{ВОДА}}$  исчисляются сотнями тысяч, что говорит о значительном накоплении в органах и тканях сига этого эссенциального элемента.

По аккумуляции Mn органы сига оз. Имандра располагаются в следующем порядке (табл. 1): скелет > жабры > печень > почка > мышцы. Наибольшее количество Mn в скелете, жабрах и мышцах сига накопилось на севере Большой Имандры, куда длительное время поступали стоки железорудного производства с ОАО «Олкон», где отмечаются максимальные содержания сопутствующего этому производству Mn в воде и ДО. Значения коэффициента корреляции содержания Mn в скелете и воде и ДО достигает достоверной величины и равно 0.82. Эта закономерность в оз. Имандра отмечена ранее [9]. Коэффициенты биологического накопления Mn в организме сига невысокие и минимальны среди всех исследуемых металлов и располагаются в том же порядке среди органов, что и их аккумуляция (табл. 2).

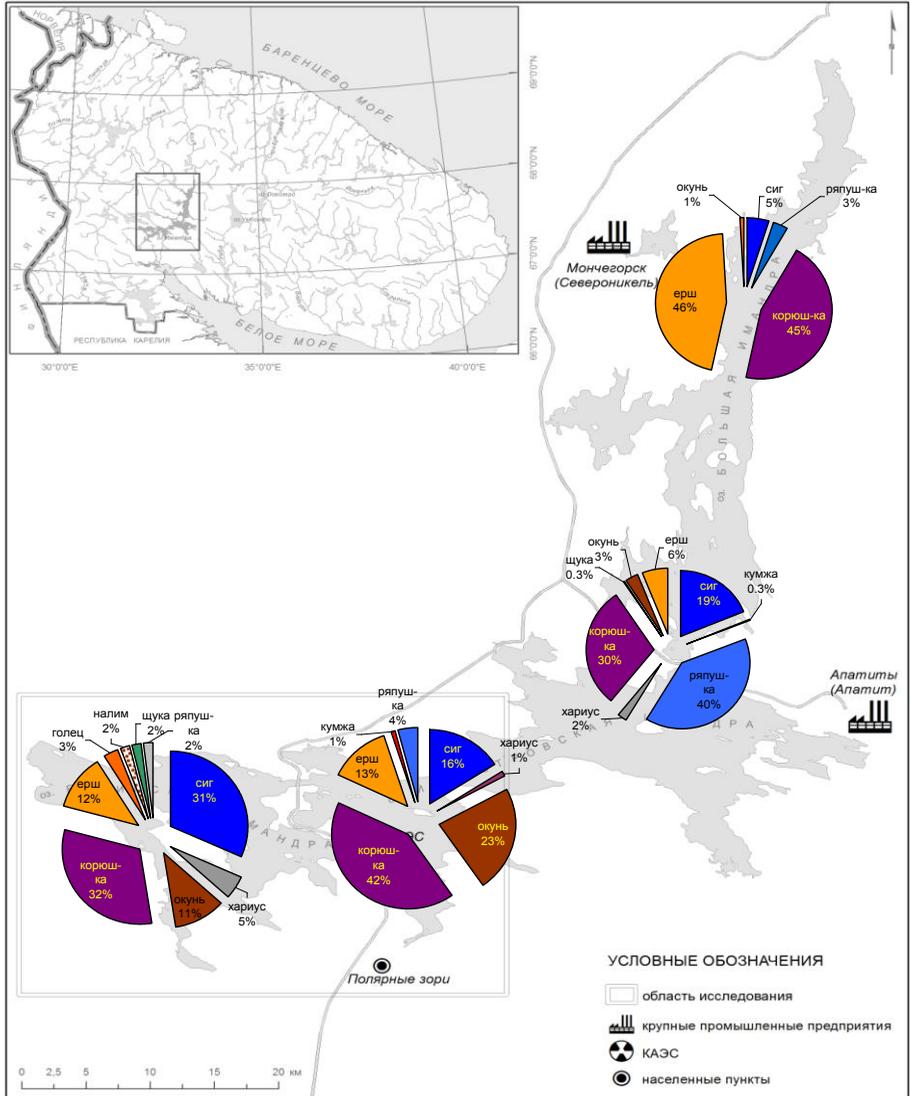
По содержанию Al органы сига оз. Имандра располагаются в следующем порядке (табл. 1): жабры > почка > печень > скелет > мышцы. Отмечена высокая степень зависимости содержания Al в жабрах от концентрации в воде ( $r=0.95$ ), что было отмечено ранее [8], и связывается с процессами его осаждения на жабрах при фильтрации воды. Наибольшее содержание Al в жабрах сига обнаружено в южной части Большой Имандры, куда поступают стоки апатито-нефелинового производства, содержащие высокие концентрации Al (табл. 1). Коэффициенты биологического накопления Al в организме сига невысокие и минимальны среди всех исследуемых металлов (наряду с Mn) и располагаются в том же порядке среди органов, что и их аккумуляция (табл. 2).

Участие Sr в обменных процессах в костной ткани приводит к интенсивной его аккумуляции в скелете рыб, в том числе и сига [8, 9]. По способности к аккумуляции Sr органы и ткани сига оз. Имандра располагаются в следующем порядке (табл. 1): скелет > жабры > мышцы > почка > печень. Со стоками апатито-нефелинового производства в южную часть Большой Имандры Sr в больших количествах поступает в воду и ДО. Обладая большой биофильностью Sr характеризуется высокой величиной  $KБН_{\text{ДО}}$  в скелете сига – 2.8 (табл. 2)

Таблица 2. Средние значения коэффициентов биологического накопления металлов в органах и тканях сига оз. Имандра по отношению к их содержанию в воде (КБН<sub>ВОДА</sub>) и ДО (КБН<sub>ДО</sub>)

Орган	Показатель	Ni	Cu	Zn	Mn	Al	Sr	Hg
мышцы	КБН <sub>ДО</sub>	0.0013	0.0039	0.16	0.00019	0.00012	0.066	1.3
	КБН <sub>ВОДА</sub>	180	230	20000	240	110	250	-
печень	КБН <sub>ДО</sub>	0.0023	0.19	1.8	0.00090	0.00029	0.012	2.6
	КБН <sub>ВОДА</sub>	320	11500	220000	1100	270	82	-
почка	КБН <sub>ДО</sub>	0.0090	0.037	1.6	0.00048	0.00074	0.028	4.0
	КБН <sub>ВОДА</sub>	1300	2200	199000	600	770	140	-
жабры	КБН <sub>ДО</sub>	0.0036	0.010	3.1	0.0023	0.00095	0.62	1.5
	КБН <sub>ВОДА</sub>	490	630	396000	2400	780	3000	-
скелет	КБН <sub>ДО</sub>	0.0085	0.0092	1.1	0.0040	0.00023	2.8	0.78
	КБН <sub>ВОДА</sub>	1200	540	140000	4050	210	14200	-

### ОБЛАСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ



*Рис.3. Долговременные изменения численности рыб в уловах оз. Имандра.*

Ввиду крайне низких содержаний в воде, загрязнение Hg можно выявить преимущественно на основе изучения ее содержания в ДО и рыбах. По концентрации Hg органы сига оз. Имандра располагаются в следующем порядке (табл. 1): почка > печень > жабры > мышцы > скелет. Подобная закономерность была отмечена ранее в Умбозере [6]. Значения КБН<sub>ДО</sub> по Hg (табл. 2) практически для всех органов выше единицы (кроме скелета), что говорит о высокой аккумуляционной способности этого токсичного металла. Тем не менее, значительного накопления Hg в органах и тканях рыб оз. Имандра в настоящее время не выявлено. Содержание Hg в мышцах сига в различных плесах в среднем равно 0.1-0.25 мкг/г сухого веса, что ниже величины предельно допустимой концентрации (2.1 мкг/г в пересчёте на сухой вес).

Изучение многолетней динамики состояния рыбной части сообщества оз. Имандра в условиях изменений среды и климата на фоне сохраняющейся многофакторной антропогенной нагрузки показало, что процессы трансформирования ихтиоценозов имеет выраженную тенденцию к снижению в составе сообщества доли лососевых и сиговых видов (рис. 3). В то же время отмечается интенсификация развития малоценных короткоцикловых видов. Причем их развитие может идти, как по пути увеличения их доли в составе сообщества базового водоёма, так и с помощью активного саморасселения в пределах придаточных систем. Установлено, что наряду с отмечаемыми ранее перестройками в видовой структуре сообщества оз. Имандра, связанными со значительным увеличением численности европейской корюшки, на фоне критического снижения доли лососевых и сиговых видов, происходит постоянное и активное расширение ареала ее распространения в пределах придаточных систем водоёма. Корюшка отмечена в северной части бассейна оз. Имандра (р. Куреньга – оз. Пермусозеро). Распространение данного вида в настоящее время охватило систему р. Большая Белая, (оз. Большой Вудъявр), несмотря на интенсивное влияние апатито-нефелинового производства. Анализ размерно-возрастных показателей корюшки в данном озере позволяет судить о самостоятельно воспроизводящейся и изолированной от озёрной имандровской популяции группировке в типичном горном водоёме. Указанная экспансивная стратегия малоценного с промысловой точки зрения вида аналогична процессам инвазии чуждых видов, снижающих устойчивость пресноводных экосистем Севера.

## Список литературы

1. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озёр. Мурманск: Изд-во Мурманского гос. техн. ун-та, 2012. 242 с.
2. Даувальтер В. А. Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской субарктики (природоохранные аспекты проблемы) // Автореф. дис. д.г.н. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. 52 с.
3. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Реконструкция накопления элементов в озере Имандра как отражение динамики качества воды // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2016. № 13. С. 218–221.
4. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Ртуть в донных отложениях озера Имандра в зоне влияния стоков разработки апатито-нефелиновых месторождений // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2014. № 11. С. 70–75.
5. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Современное экологическое состояние озера Имандра // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения–2016. Апатиты: ИЭП КНЦ РАН, 2016. С. 197–204.
6. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Халькофильные элементы (Hg, Cd, Pb, As) в озере Умбозеро, Мурманская область // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 4. С. 461–476.
7. Кашулин Н. А., Даувальтер В. А., Кашулина Т. Г и др. Антропогенные изменения лотических экосистем Мурманской области. Ч. 1. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. 234 с.
8. Моисеенко Т. И. Влияние геохимических факторов водной среды на биоаккумуляцию металлов в организме рыб // Геохимия. 2015. № 3. С. 222–233.
9. Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Лукин А. А. и др. (Под ред. Моисеенко Т. И.) Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М.: Наука, 2002. 403 с.



ДОКУЧАЕВСКОЕ  
ОБЩЕСТВО ПОЧВОВЕДОВ



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОЧВЕННЫХ ЗООЛОГОВ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

**И. В. Зенкова**<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Общество почвоведов имени В. В. Докучаева; <sup>2</sup>Сообщество российских почвенных зоологов; <sup>3</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН; zenkova@inep.ksc.ru

Почвенно-зоологическое направление развивается в Институте проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН усилиями автора данной статьи на стыке двух наук – зоологии беспозвоночных животных и почвоведения.

Почвенная зоология входит в сферу интересов двух научных обществ: Общества почвоведов имени В. В. Докучаева и Сообщества российских почвенных зоологов. Общество почвоведов основано В. В. Докучаевым в 1888 году и в настоящее время насчитывает 43 региональных отделения, объединяющих специалистов в области почвоведения и смежных дисциплин из академических и отраслевых институтов, высшей школы России, СНГ и стран зарубежья. В Мурманской области функционирует Кольское отделение, возглавляемое главным научным сотрудником Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН д.б.н. Г. М. Кашулиной.

Сообщество российских почвенных зоологов не зарегистрировано официально как научное общество и не имеет представительства в Мурманской области, но это не мешает его членам, работающим в научно-исследовательских, природоохранных и образовательных организациях различных регионов России, обмениваться опытом, передовыми идеями и участвовать в совместных научных проектах и тематических научных мероприятиях. Каждые три года члены Сообщества почвенных зоологов имеют возможность представлять результаты своих исследований на Всероссийском Совещании по почвенной зоологии, организаторами и идейными вдохновителями которого традиционно являются сотрудники лаборатории почвенной зоологии и об-

шей энтомологии Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН) (Москва).



*Рис. 1. Эмблемы совещаний по почвенной зоологии*

На протяжении последних 30 лет руководителем Сообщества и председателем оргкомитета Собрания была Белла Рафаиловна Стриганова (1932–2017) – профессор, член-корреспондент РАН, выдающийся учёный и талантливый наставник, вырастивший не одно поколение специалистов в области почвенной зоологии. Очередное (XVIII) Всероссийское Собрание по почвенной зоологии пройдет в октябре 2018 года в Москве. Оно будет посвящено памяти Б. Р. Стригановой и приурочено к 60-летию первого Собрания почвенных зоологов, которое в 1958 году провел основатель отечественной почвенной зоологии – академик Меркурий Сергеевич Гиляров (1912–1985).

Общество почвоведов имени В. В. Докучаева также курирует почвенно-зоологические исследования в рамках специальной комиссии «Биология почв». На съездах Общества почвоведов в работе комиссии на паритетных правах участвуют как микробиологи, так и почвенные зоологи. На последнем съезде в 2016 г., который прошёл в Белгороде, председателем комиссии «Биология почв» был избран д.б.н., профессор кафедры Биологии почв факультета почвоведения МГУ А. Л. Степанов, сменивший на этом посту чл.-корр. РАН И. Ю. Чернова (1959 - 2015).



*Рис. 2. Меркурий Сергеевич Гуляров (1912–1985)*



*Рис. 3. Белла Рафаиловна Стриганова (1932–2017)*

В зависимости от тематики исследований почвенные биологи могли представить результаты на заседаниях нескольких подкомиссий: «Лесное почвоведение», «Почвы и окружающая среда», «Рекультивация нарушенных и загрязненных земель» и др. От ИППЭС КНЦ РАН на симпозиуме съезда «Взаимодействие биотических и абиотических компонентов почвы» был озвучен доклад И. В. Зенковой на тему «Почва и почвенная фауна пирогенного леса: последствия низового пожара в Хибинском горном массиве».

Молодые почвенные биологи имеют возможность ежегодно представлять результаты своих исследований и приобретать опыт их публичной защиты на молодёжных научных мероприятиях: «Докучаевских чтениях», организуемых кафедрой Почвоведения и экологии почв СПбГУ, начиная с 1997 года; на Международной Пушкинской школе-конференции молодых учёных «Биология – наука XXI века», проводимой на базе Пушкинского научного центра РАН, а также на ежегодных молодёжных научных школах: Всероссийской школе «Экология и почвы» (Пушино), Всероссийской школе с международным участием «Болота и биосфера» (Томск), Международной школе по палеопочвоведению (Новосибирск) и других.

С 2009 года с периодичностью раз в два года проводится специализированная полевая Школа для молодых учёных по почвенной зоологии и экологии. Её задача – ориентировать молодых исследователей

на решение актуальных проблем почвенной зоологии и экологии, знакомить их возможностями новых методов и подходов, прививать навыки таксономического определения беспозвоночных, готовить к написанию диссертаций и статей в ведущие научные журналы. Работу Школы организуют сотрудники Лаборатории почвенной зоологии и общей энтомологии ИПЭЭ РАН под руководством заведующего лабораторией, д.б.н. А. В. Тиунова.

Первая Школа состоялась на подмосковном стационаре ИПЭЭ РАН «Малинки». От ИППЭС КНЦ РАН в её работе приняли участие В. В. Пожарская и А. А. Лисковая, в ту пору аспиранты ИППЭС КНЦ РАН. Затем Школы проводились в разных регионах: 2011 г. – в Пензенской области, на стационаре Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского; 2013 г. – в Архангельске, на биостанции Северного (Арктического) федерального университета (САФУ) по тематике «Почвенно-зоологические исследования: от планирования к публикации»; 2015 г. – в Новосибирской области, на Карасукском научном стационаре ИСиЭЖ СО РАН (тематика «Почвенная фауна в пространстве и времени: катены и сукцессии»). V Школа, ориентированная на проблемы почвенной акарологии (науки о клещах), прошла в сентябре 2017 года на полевом стационаре Тюменского государственного университета «Лукашино» (Тюменская область).

Почвенные зоологи из разных регионов, имеющие живой научный интерес к исследованию фауны почв Кольской Субарктики, выполняют совместные проекты на базе ИППЭС КНЦ РАН. В 2012–2017 гг. выполнены три научных проекта, четвертый планируется завершить в 2018 году. Все проекты получили финансовую поддержку различных фондов.

Программой фундаментальных исследований Президиума РАН по направлению «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» в 2012–2014 гг. был поддержан проект «Современное состояние и биоразнообразие почвенной фауны заполярных горных экосистем в условиях антропогенного воздействия и изменения климата» (рук. И. В. Зенкова; исп.: Б. Ю. Филиппов, САФУ, Архангельск; А. А. Колесникова, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; С. Д. Вершинина, Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург; А. А. Нехаева, аспирант ИПЭЭ РАН, Москва).

При поддержке РФФИ в 2012–2014 гг. проводились исследования по проекту «Своеобразие биоты горных почв и её вклад в биологиче-

ское разнообразие заполярных регионов (на примере Хибинского горного массива)» (рук. – И. В. Зенкова, исп.: Б. Ю. Филиппов, С. Д. Вершинина, А. А. Нехаева, сотрудники Института биологии Коми НЦ УрО РАН – А. А. Колесникова, Е. Н. Мелехина, А. А. Таскаева; И. Б. Рапопорт, Институт экологии горных территорий КБНЦ РАН, Нальчик; А. А. Похилько, ПАБСИ КНЦ РАН, Кировск).

В 2017 году при поддержке РФФИ был реализован совместный проект почвенных зоологов Кольского и Карельского научных центров РАН «Исследование сообществ почвенных нематод под влиянием интродукции древесных пород в условиях Кольской субарктики» (рук. – И. В. Зенкова; исп. – молодой учёный Д. С. Калинкина, аспирант Института леса КарНЦ РАН, Петрозаводск). Целью проекта было исследование влияния интродукции древесных растений в открытых питомниках заполярного региона на сообщества почвенных нематод и оценка вероятности заноса в заполярные экосистемы нехарактерных, в том числе, потенциально опасных видов. Инвазия чужеродных видов беспозвоночных возможна при посадке завозных растений, посева семенного материала, внесении на делянки специализированных почвенных смесей. Доклад на эту тему был сделан на конференции Ассоциации научных обществ в феврале 2018 г. По материалам итогового отчёта по проекту подготовлена статья в настоящем сборнике.

В 2016–2018 гг. грантом РФФИ поддержан проект «Трофические связи и функциональная роль хищной многоножки *Monotarsobius curtipes* (Myriapoda, Chilopoda, Lithobiidae) на северной периферии ареала: онтогенетический, сезонный и географический аспекты», работа по которому ведется совместными усилиями специалистов-биологов из ИППЭС КНЦ РАН (И. В. Зенкова, Е. А. Боровичёв и М. В. Корнейкова), ПАБСИ КНЦ РАН (Н. Е. Королёва и Д. А. Давыдов), САФУ (Б. Ю. Филиппов) и ИПЭЭ РАН (А. В. Тиунов, А. А. Гончаров, О. Л. Розанова).

В целом, благодаря интересу к исследованиям почвенной биоты Мурманской области и более чем 20-летней научной деятельности по этой тематике сотрудников ИППЭС КНЦ РАН, региональные аспекты почвенной зоологии достойно представлены в общей структуре научной работы, как Сообщества российских почвенных зоологов, так и Общества почвоведов имени В. В. Докучаева. Остается надеяться, что в ближайшие годы региональные представительства обеих организаций пополнят молодые научные кадры.



ДОКУЧАЕВСКОЕ  
ОБЩЕСТВО ПОЧВОВЕДОВ



## БЕЗОБИДНА ЛИ ИНТРОДУКЦИЯ РАСТЕНИЙ В ЗАПОЛЯРЬЕ?

**И. В. Зенкова**<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Общество почвоведов имени В. В. Докучаева; <sup>2</sup>Сообщество российских почвенных зоологов; <sup>3</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН; zenkova@inep.ksc.ru

### Введение

Настоящее сообщение подготовлено по материалам заключительного отчёта по совместному проекту почвенных зоологов Кольского и Карельского научных центров РАН «Исследование сообществ почвенных нематод под влиянием интродукции древесных пород в условиях Кольской субарктики» и представлено в виде кратких, наиболее показательных результатов. Детальное изложение результатов проекта и их обсуждение будет опубликовано в скором времени [4].

Инициатором выполнения проекта выступил коллектив карельских нематологов, обладающих «багажом» оригинальных научных данных по фауне почвенных нематод из нескольких центров интродукции с различным широтным положением в пределах Северо-Запада России [3, 5, 6]: на территории природного парка «Валаамский архипелаг» (61°22' с. ш., 30°56' в. д.), ботанического сада Петрозаводского государственного университета (61°50' с. ш., 34°23' в. д.) и ботанического сада Соловецкого государственного природного музея-заповедника (65°01' с. ш., 35°44' в. д.).

Проведение аналогичных исследований в условиях заполярных широт, т.е. в Мурманской области (67° с. ш., 34° в. д.), стало логическим дополнением этих исследований и позволило оценить влияние эдафического фактора и растительного покрова на формирование фауны почвенных нематод в широтном градиенте природно-климатических условий.

## Объекты и методы

Исследования были выполнены в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте им. Аврорина Кольского научного центра РАН (ПАБСИ КНЦ РАН), основным направлением научно-практической деятельности которого, как и ботанических садов, в целом, является интродукция и акклиматизация инорайонных видов растений с целью обогащения растительных ресурсов Мурманской области. Несмотря на холодный и влажный микроклимат Хибинских гор, где расположен ботанический сад (67°39' с. ш.; 33°40' в. д.), на протяжении нескольких десятилетий на значительной площади открытых питомников здесь успешно выращивают виды растений, нетипичные для заполярных регионов. Общее число древесных интродуцентов, испытанных в ПАБСИ КНЦ РАН, приближается к 400 видам, и для большинства из них эта территория стала самой северной точкой произрастания [1].

Исследования нематофауны были выполнены в полевой сезон 2017 года на территории двух открытых питомников под посадками 8 видов хвойных и широколиственных интродуцентов: пихтой сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), липой сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.), клёном остролистным (*Acer platanoides* L.), клёном татарским (*Acer tataricum* L.), вязом шершавым (*Ulmus glabra* Huds.), дубом черешчатым (*Quercus robur* L.) и ясенем американским (*Fraxinus americana* L.).

В качестве контроля с аборигенной фауной почвенных нематод был обследован типичный для предгорий и горно-лесного пояса Хибин участок разреженного берёзового криволесья кустарничково-мохово-разнотравного на подзолистой почве за пределами ботанического сада (рис. 1). В подкروновых пространствах перечисленных древесных пород из верхнего корнеобитаемого слоя до глубины 10 см были отобраны образцы почвы для зоологического и химического анализа. Нематологические исследования – экстрагирование нематод из почвенных образцов, их фиксация и идентификация – были проведены в ЦКП Института биологии КарНЦ РАН. Химический анализ почвы (определение величины рН почвенной вытяжки, зольности, содержания органического вещества, общего углерода, общего азота, подвижного фосфора и подвижного калия) выполнен на базе Химического отдела Лаборатории наземных экосистем ИППЭС КНЦ РАН.



а



б



*Рис. 1. Контрольный участок берёзового криволесья в предгорье Хибин (а), открытый питомник древесных интродуцентов ПАБСИ КНЦ РАН у подножья горы Вудъяврчорр (б) и хвойные и широколиственные породы интродуцентов питомника, выбранные для нематологического исследования.*

## Результаты

В итоге выполнения проекта были получены новые данные о разнообразии, численности и структуре сообществ почвенных нематод в естественных лесных экосистемах Мурманской области и в условиях интродукции.

Выявлены нематоды, принадлежащие к 53 таксономическим категориям (видам и родам) и 6 известным эколого-трофическим группам: бактериотрофы, микотрофы, политрофы, хищники, фитопаразиты и нематоды, ассоциированные с растениями. Наибольшим разнообразием отличались группы бактериотрофов (48% от общего числа выявленных таксонов) и паразитов растений (21%), эти же группы численно доминировали под большинством видов древесных интродуцентов.

Для почвы подкроновых пространств всех исследованных пород интродуцентов было характерно повышенное таксономическое разнообразие нематод (от 24 до 29 таксонов) по сравнению с естественным берёзовым криволесьем (14 таксонов). Оно определялось большим разнообразием всех эколого-трофических групп, но, главным образом, – фитопаразитов и ассоциированных с растениями нематод, что можно рассматривать как негативное последствие дендроинтродукции (рис. 2).

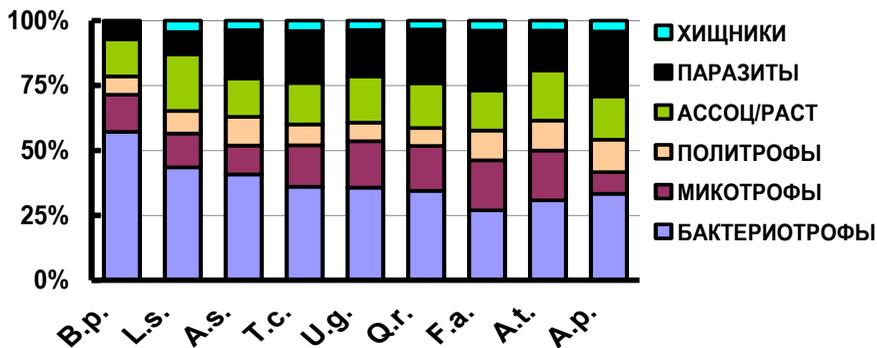


Рис. 2. Эколого-трофическая структура сообществ нематод под исследованными древесными породами. Показано увеличение таксономического разнообразия нематод под интродуцентами за счёт появления трофической группы хищников и расширения спектра фитопаразитов и нематод, ассоциированных с растениями.

В прикорневой почве каждого второго вида интродуцента были отмечены корневые фитопаразиты из семейства Trichodoridae (*Trichodorynchus* sp.), способные к инокуляции вирусных инфекций у хозяйственно значимых растений. Найдены фитопаразиты четырёх видов, редких для почв Северо-Запада России. Показано супердоминирование нематод – мигрирующих эктопаразитов под молодыми саженцами широколиственных пород, что может быть связано с большей уязвимостью растений для паразитов на ранних этапах онтогенеза.

Хищные нематоды были выявлены в прикорневой почве всех интродуцентов, но отсутствовали в подстилке берёзового криволесья. Общими для восьми пород лиственных и хвойных интродуцентов были также бактериотрофы родов *Alaimus*, *Rhabditis* (*Rhabditis producta*), микотрофы рода *Tylencholaimus*, ассоциированные с растениями нематоды родов *Aglenchus*, *Filenchus* и паразиты рода *Pratylenchus*. Итого 7 таксонов, которые при этом отсутствовали в почве естественного берёзового криволесья. В свою очередь, представители 5 таксонов нематод-бактериотрофов были выявлены только в берёзовом криволесье и могут рассматриваться как специфичные для естественного биоценоза данного типа. Общими для всех исследованных древесных пород, включая берёзу, были всего 4 таксона: по одному виду из трофических групп бактерио-, мико-, политрофов и нематод, ассоциированных с растениями.

Указанные различия в таксономической структуре сообществ нематод в почве под интродуцентами и в подстилке естественного леса привели к обособлению исследованных древесных пород в два независимых кластера (рис. 3); во вторую очередь, различия в сообществах нематод под дендроинтродуцентами определили их группировку в подкластеры, при этом, хвойные интродуценты образовали самостоятельный подкластер из-за присутствия в почве их подкroновых пространств специфичных видов бактериофагов и фитопаразитов.

Повышенное разнообразие нематод под интродуцированными породами и появление редких для заполярных районов видов фитопаразитов можно объяснить особыми почвенно-климатическими условиями открытых питомников ботанического сада. Планомерный уход за территорией питомников, периодическое скашивание напочвенной растительности, хорошая освещенность, особый гидротермический режим почв, внесение почвосмесей и специальных подкормок способствуют произрастанию в подкroновых пространствах древесных интродуцентов различных видов травянистых растений.

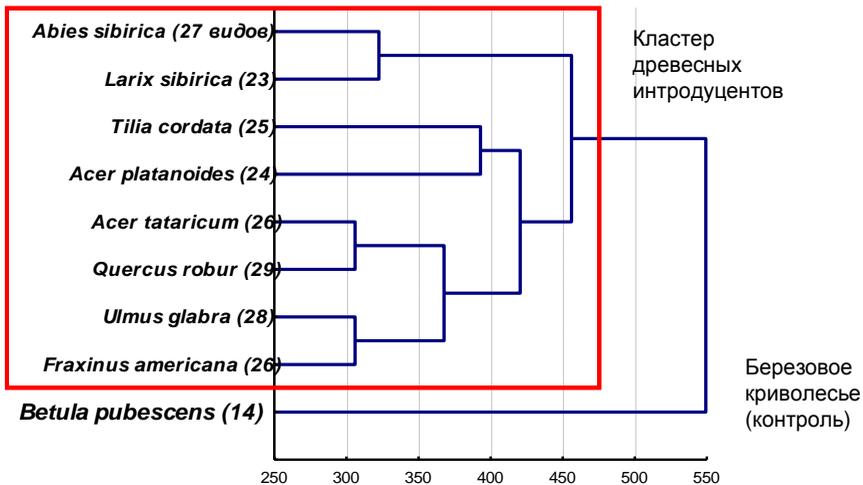


Рис. 3. Обособление сообществ нематод естественного берёзового криволеесья от кластера сообществ нематод древесных интродуцентов на основе различий таксономического состава (Complete Linkage method, Euclidean distances). По оси ординат древесные породы и число таксонов нематод, выявленных в почве под исследованными породами (в скобках).

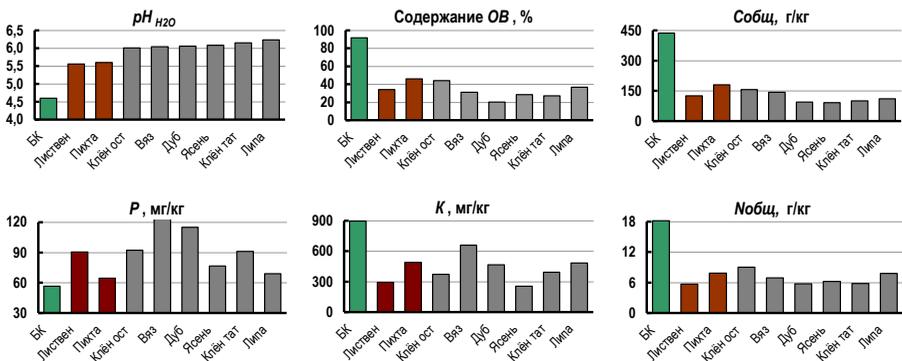


Рис. 4. Химические и физико-химические показатели почвы в естественном берёзовом криволеесье (БК), под хвойными (лиственница, пихта) и лиственными интродуцентами ПАБСИ КНЦ РАН.

Химический анализ почвенных образцов показал, что на территории открытых питомников под посадками древесных пород почва характеризуется иными химическими и физико-химическими свойствами по сравнению с лесной подстилкой берёзового криволесья, в частности: меньшей кислотностью, более низким содержанием органического вещества, углерода, азота, калия, повышенной концентрацией фосфора (рис. 4).

Методом корреляционного анализа подтверждена положительная зависимость таксономического разнообразия нематод от большинства исследованных почвенных свойств; обилия политрофов и нематод, ассоциированных с растениями, – от содержания органического вещества, общего углерода и соотношения  $C:N$  в почве; обилия фитопаразитических нематод – от проективного покрытия территории растительностью.

Среди бактериотрофов установлено значительное обилие в почве представителей рода *Rhabditis*. Эти свободноживущие нематоды известны самыми высокими среди многоклеточных животных темпами роста и развития: самка достигает половозрелости и способна продуцировать яйца уже к концу первых суток после своего вылупления из яйца.

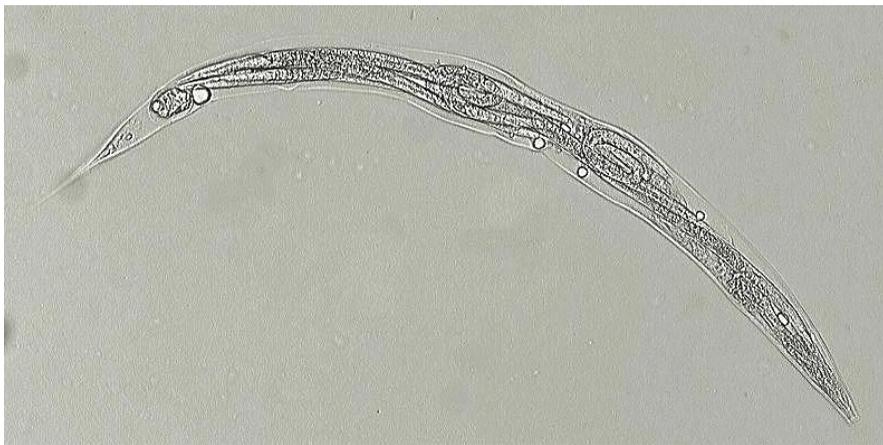


Рис. 5. Самка *Rhabditis producta* с личинками в полости тела (явление «endotokia matricida»). Фото Д. С. Калинкиной (Институт биологии КарНЦ РАН).

На территории открытых стационаров ПАБСИ КНЦ РАН видом, общим для всех исследованных интродуцентов, был *Rhabditis producta*, у самок которого в ходе исследования был обнаружен феномен вынашивания личинок в полости тела, именуемый «*endotokia matricida*» (рис. 5), тогда как в норме личинки развиваются в яйцах, отложенных червями во внешнюю среду. Специалисты рассматривают этот феномен как адаптацию, повышающую выживание потомства и конкурентоспособность вида при низкой обеспеченности пищевыми ресурсами. Следовательно, преобладание бактериотрофов над представителями других эколого-трофических групп, выявленное в сообществах нематод под интродуцентами в питомниках ПАБСИ КНЦ РАН, свидетельствует не об обилии микробного белка в почве как основного пищевого ресурса нематод этой трофической группы, а, напротив, о его недостатке, поскольку высокая плотность червей достигается за счёт быстроразвивающихся *r*-стратегов из рода *Rhabditis* и их развития по типу эндотоксии.

### **Заключение**

В результате исследований, с одной стороны, получены новые данные об организации сообществ почвенных нематод, сформированных под влиянием интродукции инорайонных видов древесных растений в условиях Кольской Субарктики, а также о специфике таксоценов нематод в природных лесных подзолах региона; с другой стороны, на примере Мурманской области подтверждены тенденции и зависимости в организации сообществ почвенных нематод, выявленные ранее в естественных лесных экосистемах и центрах интродукции на территории республики Карелия. Данные, полученные в этих двух районах, позволяют сформировать общее представление о масштабах проникновения и распространения новых, в том числе, редких и фитопаразитических видов нематод при интродукции растений в экосистемы северных широт, о механизмах их адаптации к новым экологическим факторам и зависимости этих процессов от почвенных свойств и структуры растительного покрова.

Выполнение проекта показало, что деятельность по интродукции и акклиматизации инорайонных растений в заполярных широтах может иметь негативные последствия в виде «биологического загрязнения» аборигенных и окультуренных экосистем чужеродными видами, причем эти последствия могут быть неочевидны, если заносными являют-

ся невидимые невооруженным глазом обитатели почвы, такие как круглые черви – нематоды.

### **Список литературы**

1. Жиров В. К., Лукьянова Л. М. История становления и развития Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2009. № 1. С. 110–112.

2. Зенкова И. В., Калинкина Д. С. Исследование сообществ почвенных нематод под влиянием интродукции древесных пород в условиях Кольской Субарктики. / Отчёт о НИР № 17-304-50028 (РФФИ, мол-нр). Апатиты: ИППЭС КНЦ РАН, 2018. 17 с.

3. Калинкина Д. С., Сущук А. А., Матвеева Е. М. Особенности сообществ почвенных нематод в условиях интродукции древесных растений. // Экология. 2016. № 5. С. 360–367.

4. Калинкина Д. С., Сущук А. А., Матвеева Е. М., Зенкова И. В. Сообщества почвенных нематод подкоронового пространства деревьев, интродуцированных на территории Полярно-альпийского ботанического сада. // Сибирский экологический журнал. 2018. (принято в печать).

5. Сущук А. А., Калинкина Д. С., Платонова Е. А. Сообщества почвенных нематод в условиях интродукции древесных растений на территории Ботанического сада Петрозаводского государственного университета. // Hortus Botanicus. 2016. Т. 11. С. 157–170.

6. Сущук А. А., Матвеева Е. М., Калинкина Д. С. Почвенные нематоды лесных биоценозов особо охраняемых природных территории. // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 4. С. 49–61.



## ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Д. В. Ильин, А. С. Потокин, А. А. Климов

Центр физико-технических проблем энергетики Севера  
ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты, twizanx2@yandex.ru,  
electric.pulse@mail.ru, ndreyklimov95@mail.ru

### **Что такое электроимпульсная технология?**

Разрушающее действие разрядов атмосферного электричества известно давно. В литературе описаны многочисленные случаи наблюдавшегося в природе разрушения естественных объектов и сооружений (деревья, скалы, башни, железобетонные опоры и т. п.) при ударе в них молнии. Электрической пробой твёрдой изоляции в электрических аппаратах и в системах передачи импульсного высокого напряжения также, как правило, сопровождается её механическим разрушением. В 50–60-е годы прошлого века для разрушения горных пород и руд было предложено полезное использование наблюдавшегося эффекта разрушения твёрдых тел электрическим разрядом несколькими отличающимися способами, которые составили класс импульсных электроразрядных (ЭИ) способов разрушения материалов.

В отличие от механики или взрывного воздействия, среда, окружающая разрушаемый материал с токоподводящими электродами, выполняет роль агента, который способствует электрическому пробую твёрдого тела и обеспечивает технологическую функцию удаления продукта разрушения из зоны реализации процесса. Это дает возможность осуществления операций, не реализуемых традиционными способами. ЭИ-способ реализуется при малом энергосодержании единичного акта воздействия (1–10 КДж), что эквивалентно лишь долям грамма тротила. Это дает возможность использования энергетически эффективных взрывных процессов для бурения скважин, резания и дезинтеграции руд. Высокая производительность может обеспечиваться высокой частотой разрядов – 5–10 в секунду [1].

Для того, чтобы более упрощенно представить принцип работы, представим, что в каком-то параллельном мире человек попал в ситуацию, когда на корабле произошла авария – он во что-то врезался.

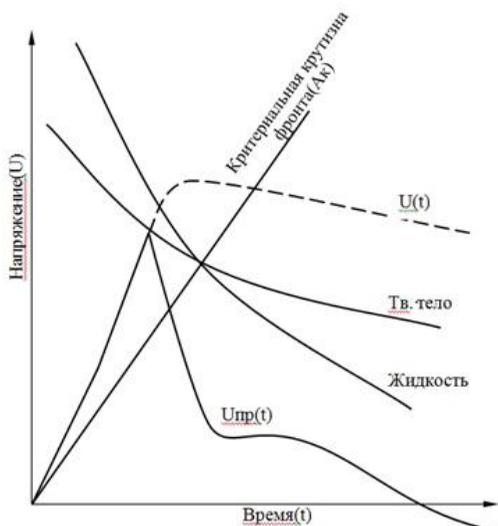


*Рис. 1. Образование трещины в породе при воздействии электрическими импульсами*

Корабль движется за счёт энергии генерируемой генератором импульсных напряжений (ГИН), в котором есть конденсаторы высокой ёмкости, при этом генераторный отсек оказался частично разрушен, но часть энергии, осталась запасённой в конденсаторах. Половина корабля оказалась затопленной. Человек, увидев, как в помещение заплыла опасная керамическая акула, которая хочет его съесть, залез на изолированный стол.

Казалось бы, критическая ситуация. Однако наш герой замечает оборванный высоковольтный камень, который висит и потрескивает рядом с ними в воздухе. Полный разряд конденсаторных батарей генератора через кабель не происходит, поскольку поблизости от оголенной части кабеля нет заземлённых элементов. К тому же, генератору не позволяет разрядиться имеющийся между кабелем и «землёй» большой воздушный диэлектрический промежуток. Как ни странно, но наш герой знал о существовании электроимпульсного метода разрушения материалов. Чтобы спастись от керамической акулы, он решает воспользоваться остаточным зарядом генератора. Для этого он опускает высоковольтный кабель прямо в воду, держась за его изолированную часть. Стоит отметить, что затопленный пол корабля нахо-

дится под нулевым потенциалом, т.к. соприкасается с заземлённым корпусом карабля. Наш герой предположил, что энергия, запасённая в конденсаторных батареях генератора, может высвободиться через кабель в виде электрического импульса, с определенными, достаточными для возникновения электроимпульсного эффекта параметрами – высокими уровнем напряжения и скоростью нарастания фронта импульса. В обычных условиях при появлении электрического импульса в воде, пробой водного промежутка между высоковольтным кабелем и заземлённым элементом вряд ли возможен из-за характеристик жидкости – её определенной диэлектрической прочности (техническая вода:  $\rho > 4 \cdot 10^3$  Ом-см), и из-за недостаточных для возникновения электроимпульсного эффекта вольт-секундных характеристик электрического импульса.



*Рис. 2 Вольт-секундная характеристика инверсии пробоя*

По предположению нашего героя, энергии и скорости заряда должно было хватить для того чтобы пробить водный промежуток между высоковольтным кабелем и дном карабля и внедриться в тело акулы. Однако, при недостаточной скорости разряда и остаточной энергии генератора, ток может пройти вдоль контура тела керамической акулы (по границе раздела двух сред и тогда разрушающего эффекта – растягивающего напряжения внутри тела – может не

возникнуть. Во втором случае нашего героя ожидало бы фиаско. Но нашему герою повезло и параметры электрического импульса, возникшие после разряда генератора, позволили разрушить керамическую акулу с использованием электроимпульсному метода разрушения материалов. Наш герой спасен, ура!

Принципиально важное условие для реализации способа – использование импульсного высокого напряжения с параметрами (амплитудой и крутизной фронта импульса /временем воздействия), при которых наступает инверсия традиционного соотношения электрических прочностей твёрдых диэлектриков и жидких сред, позволяющая «внедрить» разряд в твёрдое тело в параллельной системе сред: твёрдое тело-жидкость [2].

### Схемы реализации способа

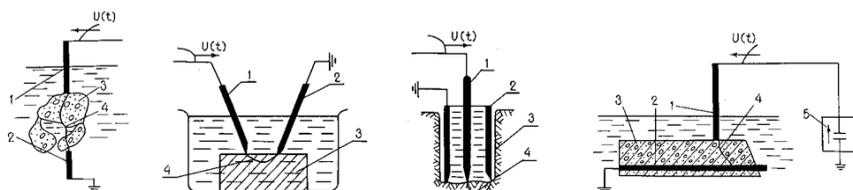


Рис. 3. Основные схемы реализации ЭИ способа

Как видно из примера, область технологического применения ЭИ-способа включает в себя различные случаи с использованием особенностей прохода заряда – разрушение и селективность. Это может быть разупрочнение руд и материалов, дробление и измельчение, активацию материалов в рудоподготовительных и гидрометаллургических процессах, проходку щелей в массиве и резание каменных блоков, бурление скважин любого сечения и профиля.

### Разупрочнение материалов

В отличие от механических методов, ЭИ разрушение обладает способностью выборочно высвобождать гранулы вещества. Разряд проходит на границе сред с различными параметрами, без повреждения требуемого материала, что обеспечивает лучшее раскрытие зёрен минералов при высокой сохранности их природной формы и при меньшей степени измельчения материала. К примеру, в цикле рудоподготовки малоэнергоёмкая электроразрядная обработка руды в комбинации с последующим механическим измельчением обеспечивает заметный технологический эффект увеличения раскрытия зёрен минералов. Разупрочнение материала повышает скорость его химического разложения; в автоклавном процессе допускает снижение температур и давлений процесса.



*Рис. 4. Высвобождение кристаллов гранатов из слюды при помощи ЭИ способа*

Эффект повышения селективности обеспечивает на последующих стадиях обогащения руд существенное повышение извлечения и улучшение качества концентратов. Как правило, раскрытие зёрен минералов происходит на более ранних стадиях измельчения материала и с гораздо меньшими энергозатратами, чем при механическом измельчении. Это позволяет применить более экономичный процесс рудоподготовки, снизить энергетические затраты на измельчение.

### **Дробление/разрушение**

Стоит отметить ещё одну особенность способа – гидроудар. По технологическому эффекту воздействию он похож на традиционные методы дробления мельницами. Электрогидроимпульсный способ больше соответствует стадии высвобождения/разрушения, когда при обогащении руды увеличивается извлечение полезных минералов от нескольких процентов (для вкрапленных руд) до 1.5–2 раз (по выходу кондиционного ограниченного кристаллосырья) с лучшим групповым составом.

В отличие от механических способов обработки, разрушение с помощью ЭИ не обладает значимым разрушением рабочего инструмента, что гарантирует минимальный привнос аппаратурного металла в продукт измельчения, независимо от его абразивности. Работа разрядов способна оказывать воздействие на гораздо более мелкие частицы, уровень воздействия на частицу ограничивается соотношением между величиной волны и размером частицы. Продукт дезинтеграции характеризуется высокой удельной поверхностью зёрен и повышенной ре-

акционной способностью, лучшим соответствием вскрытых частиц минеральных включений их естественному состоянию (морфологии) в горной породе [3, 4]. Среди преимуществ ЭИ разрушения материалов:



- избирательная направленность канала разряда на включения полезных минералов. Включения, отличающиеся от вмещающей породы электропроводностью и диэлектрической проницаемостью, являются очагами локального усиления электрического поля в руде (до трёхкратного по сравнению со средней напряжённостью в разрядном промежутке);

- избирательный электрический пробой и разрушение компонентов, имеющих более низкую электрическую прочность;

*Рис. 5. ЭИ дробление кристаллов гранатов*

- разупрочнение зёрен минералов по границам их контакта друг с другом или с вмещающей породой при воздействии на систему высокоинтенсивной волны давления. Это особенно сильно выражено в случае, когда минералы различаются по деформационным и акустическим свойствам.

### **Электроимпульсная резка**

Особенность метода ЭИ разрушения материалов состоит в том, что при увеличении промежутка между электродами в рабочем теле, из-за особенностей электрического поля, разряды могут внедряться ещё эффективнее. Это может использоваться для резки различных материалов и для полноценного бурения скважин и стволов. При резке горных пород или их блоков ЭИ обеспечивает заданный профиль ще-

ли без ограничения её длины и глубины, включая операции подрезки и полной вырезки блоков из массива. Осуществимы операции выравнивания скального массива, проходки различного вида выемок, отверстий и т.п. Среди перспективных объектов использования:



- строительные площадки в городской черте с ограничениями на проведение взрывных работ;

- добыча и обработка природного камня и, в первую очередь, уникального декоративного камня (в том числе вырезка заготовок архитектурных форм);

- зачистка скальных оснований под сооружения при строительстве объектов на суше и под водой (гидротехнические сооружения, дноуглубительные работы под газо- и нефтепроводы), в городской черте с ограничениями на проведение взрывных работ;

- отбор проб материала с геологических обнажений, поверхности горных выработок;

*Рис. 6. ЭИ резка образца*

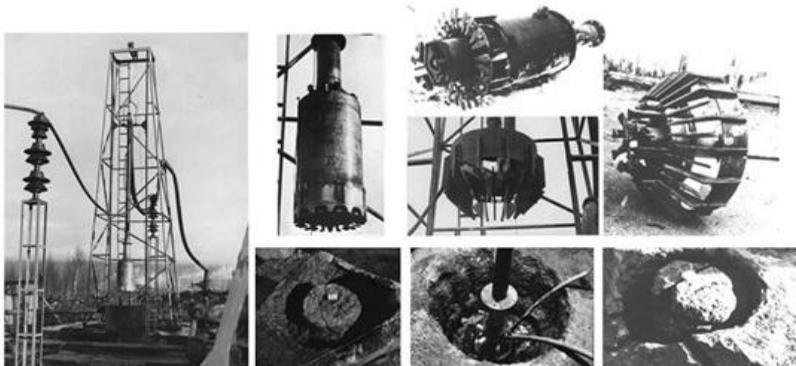
- зачистка поверхностей массива и блоков от поверхностного радиоактивного и химического загрязнения;

- проходка отрезных щелей с целью ограничения воздействия на массив взрывной отбойки при сооружении выработок различного назначения.

### **Элетроимпульсное бурение**

Благодаря особенностям внедрения разряда при ЭИ методе возможно бурение скважин диаметром 300–400 мм и более (600–1200 мм). Т.к. рабочим материалом является дуга между электродами (искровой разряд), рабочий инструмент, даже из обычных конструкционных сталей отличается очень малым износом, не требует частой замены головки бурового инструмента. Можно производить бурение без вращения инструмента при произвольном (круглом, кольцевом, квадратном и т.д.) сечении скважины и профиле забоя. Также нет ограни-

чений по глубине бурения, продвинутые технологии буровых устройств позволяют создать скважины с большим углом изгиба



*Рис. 7. Стенд электроимпульсного бурения, буровые инструменты и скважины. Кольский филиал АН СССР, Апатиты, 1972 г.*



*Рис. 8. Буровая головка, лабораторная мини-установка, ЦЭС КНЦ РАН, лаб. № 33, 2018 г.*

или сеть разветвленных скважин. Эффективность разрушения мало зависит от крепости пород, т.к. применение способа наиболее эффективно по крепким и особо крепким породам и мёрзлым грунтам [1, 3, 5, 6].

## **ЭИ разрушение композиционных материалов**

При разрушении композитных материалов с металлосодержащими частями, к примеру, с металлической арматурой, ЭИ метод обеспечивает практически полное разделение компонентов с высокой степенью их готовности для повторного использования. Перспективные области использования – разрушение некондиционных выводимых из эксплуатации стеновых панелей, разрушение железобетонных опор ЛЭП, а также различных электротехнических изделий (изоляторов).

Стоит отметить, что у данной технологии есть и значимые минусы. Если тело полностью состоит из проводящего тока материала, разрушающий эффект не возникнет. Электрические импульсы также должны обладать определенными параметрами, в воде их воздействие может быть не так эффективно, как в других диэлектрических средах. Возможно использование этой технологии и в воздухе, но это требует уже гораздо более технологичной генерирующей аппаратуры.

## **Литература**

1. Усов А. Ф. Полувековой юбилей электроимпульсному способу разрушения материалов. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 4. С. 165–192.
2. Курец В. И., Усов А. Ф., Цукерман В. А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов, Апатиты: Кольский научный центр, 2002. 321 с.
3. Важов В.Ф. Развитие научно-технологических основ электроимпульсного бурения и резания горных пород: дис. докт. техн. наук. Томск, 2014. 42 с.
4. Потокин А. С., Степенчиков Д. Г., Усов А. Ф., Войтеховский Ю. Л. О возможности получения абразивного гранатового продукта из гранат-слюдяных сланцев методом электроимпульсной дезинтеграции. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. №3. С. 51–56.
5. Усов А. Ф. Перспективы технологий электроимпульсного разрушения горных пород и руд. // Известия РАН. Энергетика. 2001. №1. С. 54–62.
6. Usov A. F., He M., Ilin D.V. New Energy-Efficient Technology of Oil Fields Completion and Development. // Proceedings 16th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM–2016. 2016. Book 1. Vol. 3. P. 853–864.



## О СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ АРЕАЛА ЛЕТЯГИ (*PTEROMYS VOLANS*) В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

О. А. Макарова

ФГБУ Государственный природный заповедник «Пасвик», Териологическое общество при РАН, [murmansk37@mail.ru](mailto:murmansk37@mail.ru)

Летяга (*Pteromys volans* L., 1758) относится к отряду Грызунов (*Rodentia*), семейству Летяги (*Pteromyidae*). Этот вид распространен довольно широко, занимая почти всю лесную зону Евразии от Финляндии до Сахалина, но везде довольно редок. В настоящее время заметно усилилось внимание к этому виду. Возможно, его численность увеличилась в результате изменения климата и улучшения условий существования или с окончанием периода длительной депрессии вида. Это в полной мере касается Мурманской области, северной окраины ареала летяги.



Рис. 1. Белка-летяга

Не только териологи могут заниматься изучением летяги, любители природы и СМИ также могут помочь в сборе материалов. Литературные сведения по распространению летяги на территории Мурманской области несколько разноречивы. Согласно монографии Ф. Д. Плеске [12], обследовавшего Кольский полуостров в 1880 г. и затем еще 7 лет собиравшего материал по изучению Кольского края, летяга отмечена в лесной зоне области, главным образом в еловых сообществах. Обобщая данные распределения млекопитающих по растительным поясам, Плеске полагал, что летяга принадлежит к числу характерных представителей фауны лесного пояса. Можно предположить, что в середине-конце XIX века летяга на Кольском полуострове встречалась, главным образом, на юге лесной части региона.

Через 100 лет, уже в середине и конце XX века, О. И. Семенов-Гян-Шанский [13] указывает, что из-за особенностей биологии летяга более тесно связана со старовозрастными и перестойными смешанными и лиственными лесами, и потому её распространение на север весьма спорно. Он писал, что сведения о встречах зверьков и, тем более, о численности вида в регионе отсутствуют, поэтому северная граница ареала, по-видимому, не доходит до Мурманской области, хотя встречи зверька в регионе возможны.

Н. С. Бойко [1], описывая наземных млекопитающих на юге Мурманской области по результатам многолетних наблюдений в Кандалакшском заповеднике, не упоминает в списке видов летягу. Г. Д. Катаев [6] в список редких и исчезающих видов на Кольском полуострове внёс 9 видов: норвежского и лесного леммингов, водяную и обыкновенную полевку, речного бобра, крошечную бурозубку, летучую мышь северного кожанка, косулю и выдру. За большой период наблюдений в Лапландском заповеднике и его окрестностях встреч с летягой не было зарегистрировано. В заповеднике «Пасвик» зверька также не наблюдали. Однако летяга, как редкий вид, была все-таки включена в группу видов, подлежащих особому вниманию («бионадзор»), виды, нуждающиеся в особом внимании к их состоянию в природной среде) в Красной книге Мурманской области [5, 7].

По самым новейшим обзорам [16] в последние 50 лет ареал летяги был уменьшен на Северо-Западе России (Мурманская область и северная часть Карелии). В Карелии летяга внесена в список «красно-книжных» видов со статусом 3 (редкий вид с сокращающейся численностью), встречи с ней чаще в более южных районах Карелии [3, 4]. В Архангельской области вид включён в список редких с категорией 4

(вид с неопределенным статусом, по которому нет достаточных данных) [11]. Однако далее на восток, в Печоро-Илычском заповеднике это вполне обычный вид и встречается по всей территории [14]. Авторы, ссылаясь на работы С. И. Огнева, так описывают северную границу распространения летяги: с юга она «огибает северные архангельские тундры и тянется к рекам Мезени и Кулою. Восточная граница пересекает реку Печору по 66° с. ш. и тянется к Уралу».

В Красной книге Финляндии в 2000 и в 2010 году у летяги статус VU (уязвимый вид, с сокращающейся численностью), а в 2015 – NT (редкий вид, находящийся в состоянии, близком к угрожаемому). Отмечено, что численность её стала сокращаться с 30–40-х годов [15]. В Красных книгах Норвегии и Швеции летяга не указывается.

В связи с таким положением, исключительный интерес представляет случай обнаружения летяги в Мурманске [10]. В телевизионном сюжете от 14.08.2015 г. прошла информация об одном из зелёных уголков г. Мурманска в районе Ледокольного проезда, где обитают белки и была замечена летяга. После выезда на место и подробных расспросов местного жителя А. Б. Лихошапки, который следит за зелёными насаждениями у дома и подкармливает белок и птиц, было установлено, что в конце февраля-начале марта 2015 года он заметил необычную «белку». Она отличалась от основных обитателей этого «живого уголка»: была заметно мельче, с маленькими ушками, крупными выпуклыми глазами, с окраской меха более светлого, чем у белки цвета, с желтоватым оттенком, со светлым брюшком. При передвижении была неуклюжа, и сбоку были заметны какие-то складки. Держалась она в беличьей группе недолго, так как они её встретили довольно агрессивно. Около недели она находилась в этом месте, заняв одну из дуплянок, а потом исчезла. Она также съедала подкормку (смесь разных кормов), особенно предпочитала семечки. Наблюдатель определил, что это летяга, и позднее подтвердил наблюдение по фотографии. Зверька в полете ему не довелось увидеть, да и прыгать здесь было негде из-за густой сети веток. Сфотографировать её было трудно, так как светлого времени было мало, и появлялась она в сумерках, к тому же находилась довольно высоко и вела себя осторожно. Все эти признаки действительно, по-видимому, свойственны летяге, с окраской зимнего меха пепельно-серой с легким палевым оттенком, типичной для европейского подвида. По внешнему виду и поведению она хорошо отличается от белки, и при внимательном рассмотрении определить вид не представляет труда.

Этот случай свидетельствует о том, что, вполне вероятно, летяга обитает в Мурманской области в подходящих для неё лесных станциях с преобладанием лиственных пород, особенно осины и рябины, но из-за малочисленности и скрытного образа жизни её никто не наблюдал. В литературе отмечается способность летяги обитать в зелёных насаждениях даже в городской среде [8]. Распространение летяги спорадично, и это суживает возможности её нахождения.

В связи с изменением климата и структуры лесов и по другим причинам такие виды могут более активно продвинуться на север. Возможно, что колебания численности и изменение ареала имеют более глубокие корни. Так, по предположению авторов, изучавших особенности распространения лося на север, это может быть связано, в том числе, с восстановлением доисторического ареала вида [2]. Наши наблюдения показывают изменения северной границы распространения и у других видов, в частности, у бурого медведя [9]. Поэтому необходимы полевые исследования в районах возможного обитания летяги, прежде всего, на территории заповедников, а также разъяснительная работа среди любителей природы для привлечения их к наблюдениям.

### **Литература**

1. Бойко Н. С. Наземные млекопитающие Кандалакши и её окрестностей. // Флора и фауна северных городов. Мурманск, 2008. С. 103–106.
2. Верещагин Н., Кузьмина И., Макарова О. К вопросу формирования ареала лося на Кольском п-ове. // Цитология. 1995. Т. 37. №7. С. 716.
3. Данилов П. И. Летяга. // Красная книга Карелии. Петрозаводск: Карелия. 2007. С. 140–141.
4. Ивантер Э. В., Курхинен Ю. П., Хански И. К., Кулебякина Е. В. Территориальное распределение и численность летяги в Восточной Фенноскандии // Труды Кар. НЦ РАН. Серия Биогеография. 2009. Вып. 8. № 1. С. 69–74.
5. Катаев Г. Д. Летяга. // Красная книга Мурманской области. Мурманск: Мурманское книжное издательство. 2003. С. 350–351.
6. Катаев Г. Д. Численность редких и исчезающих видов млекопитающих на Кольском полуострове. // Труды Лапландского госзаповедника. 2012. Вып. VI. Москва: Перо. С. 328–331.
7. Красная книга Мурманской области. Кемерово: Азия-Принт. 2014. 582 с.

8. Кулебякина Е. В., Задирака Е. С., Курхинен Ю. П. Некоторые аспекты биологии летяги (*Pteromys volans* L.) в антропогенном ландшафте запада таёжной зоны России. // Экология животных и фаунистика: Сборник научных трудов / под ред. доктора биол. наук, проф. С. Н. Гашева. 2008. Вып. 8. Тюмень: Изд-во Тюменского ГУ. С. 43–49.
9. Макарова О. А. К динамике ареалов крупных наземных млекопитающих Мурманской области в начале XXI века. // Материалы конференции «Современные проблемы зоо- и филогеографии млекопитающих». М.: Товарищество научных изданий «КМК». 2009. С. 51.
10. Макарова О. А. К программе ведения длительного мониторинга редких видов в Мурманской области. // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием. Апатиты: Издательство Кольского научного центра. 2016. С. 118–120.
11. Мамонтов В. Н. Летяга. // Красная книга Архангельской области. Архангельск. 2008. С. 311–312.
12. Плеске Ф. Д. Критический обзор млекопитающих и птиц Кольского полуострова. СПб. 1887. 536 с.
13. Семенов-Тян-Шанский О. И. Звери Мурманской области. Мурманск: Мурманское книжное издательство. 1982. 175 с.
14. Теплова В. П., Сокольский С. М. Летяга. // Млекопитающие Печоро-Ильчского заповедника. Сыктывкар. 2004. С. 127–139.
15. Hokkanen H., Fokin I. *Pteromys volans*. // Red Data book of East Fennoscandia. Helsinki. 1998. P. 203–205.
16. Kurhinen Ju., Bolshakov V., Gashev S., Gorbunova E., Hanski I.K., Kochanov S., Kulebyakina E., Mamontov V., Pavlushchick T., Pilats V., Simakin L., Sivkov A., Sikkila N., Smirnov E., Uudo T., Muravskaya E., Nizovcev D., Zadiraka E. New data on the areal and territorial distribution of the Siberian flying squirrel (*Pteromys volans* L.) in Eurasian boreal forests. // 7th International Colloquium on Arboreal Squirrels, 1–5 June, 2015. Finnish Museum of Natural History Luomus: University of Helsinki. 2015. P. 32.



## **БОРЕЦ С РЖАВЧИНОЙ. К 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В. А. ТРАНШЕЛЯ (1868-1942)**

**Ю.Р. Химич<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>Мурманское отделение Русского ботанического общества; <sup>2</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН; <sup>3</sup>Санкт-Петербургское микологическое общество, ukhim@inbox.ru

Чаще всего ржавчина ассоциируется с коррозией металлов, но мало кто знает, что так называют болезнь растений, вызываемую патогенными грибами. Возбудители относятся к ржавчинным грибам и имеют сложный жизненный цикл. Внешне болезнь проявляется в том, что на поверхности стеблей и листьев появляются красно-бурые скопления спор гриба, и именно из-за них окраска растений приобретает тёмные оттенки коричневого и бурого цвета. О ржавчине известно давно, и она представляет серьёзную проблему в сельском хозяйстве. В Хибинах работал учёный, кото-

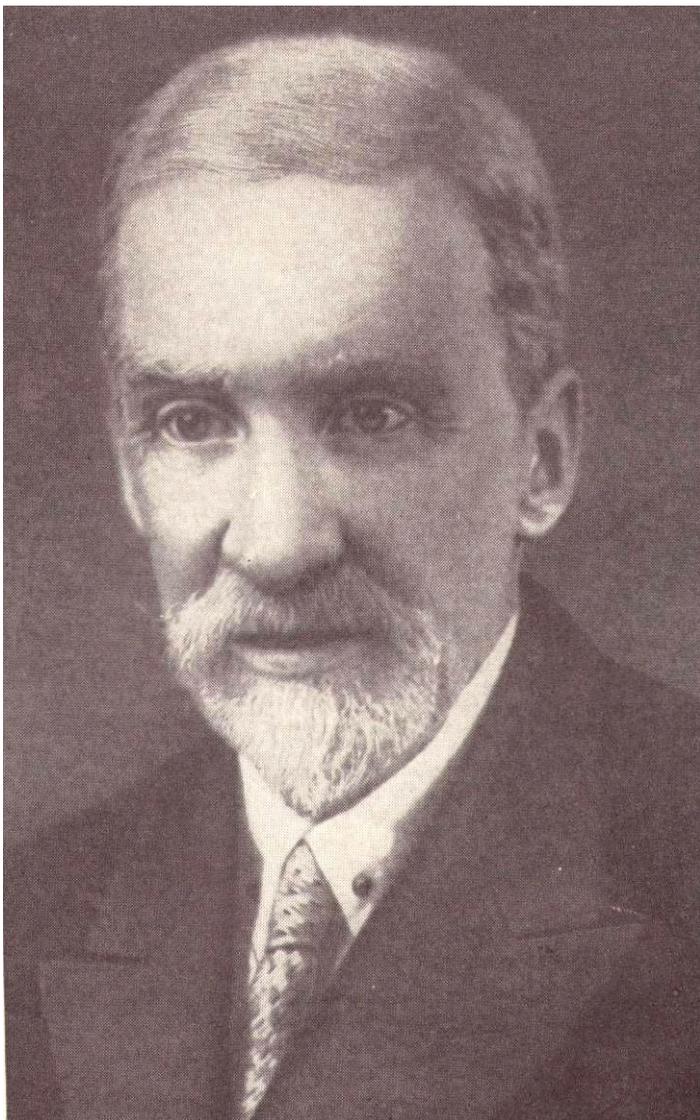


рый много сил и таланта посвятил изучению ржавчинных грибов – Вольдемар Генрихович (Владимир Андреевич) Траншель, его 150-летие мы отмечаем в 2018 году. Он родился 4 (16) января 1868 года в немецкой семье<sup>1</sup>. Учился в гимназии при лютеранской церкви святой Анны (Annenschule), по окончании которой

*Рис. 1. Ржавчина хвои ели.*

---

<sup>1</sup> Жизни и научному пути В. Г. Траншеля посвящены ряд специальных статей [1-3, 5].



*Рис. 2. Вольдемар Генрихович (Владимир Андреевич) Граншель  
(1868–1942)*

в 1885 г. поступил в Санкт-Петербургский университет. Увлечению ботаникой способствовал «Кружок маленьких ботаников», где под влиянием одного из основателей кружка, видного ботаника-географа, флориста и систематика растений Н. И. Кузнецова, Траншель увлёкся изучением ржавчинных грибов. Ко времени защиты диплома им были обработаны сборы ржавчинных грибов Петербургской губернии Х. Я. Гоби, что легло в основу его первой научной статьи [4]. После окончания университета в 1889 г. он был оставлен на кафедре споровых растений, а затем перешёл в Лесной институт (ныне Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет).

В 1900 г. Вольдемар Генрихович занимает должность учёного хранителя Ботанического музея Академии наук, и основной его задачей становится устройство гербария споровых растений. Его усилиями практически с нуля был создан гербарий грибов, он активно участвовал в обработке неразобранных коллекций, пополнял гербарий собственными сборами, принимал активное участие в издании эксикатов грибов, впоследствии заведовал сектором микологии Отдела споровых растений Ботанического института.

Вольдемар Генрихович вёл активную педагогическую деятельность, в разные годы преподавал в Варшавском ветеринарном институте, Женском педагогическом институте и Институте прикладной зоологии и фитопатологии в Санкт-Петербурге. В 1934 г. под его руководством закончил аспирантуру В. Ф. Купревич, в будущем – доктор биологических наук, член-корреспондент АН СССР, Академик Национальной академии наук Беларуси.

Вольдемар Генрихович состоял в Русском ботаническом обществе (почётный член с 1925 г.), он почётный член Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии при Первом Московском университете, почётный член Московского общества испытателей природы. Совместно с другим видным микологом А. А. Ячевским (1920 г.) создал секцию микологии при Всесоюзном ботаническом обществе. Помимо общественной деятельности занимался переводами научной и научно-популярной литературы на русский язык.

В сентябре 1934 г. Траншелью присудили степень доктора биологических наук по разделу «Ботаника» за работы в области биологии и систематики растений, и особенно, в области микологии. Вольдемар Генрихович обладал колоссальными знаниями по флоре и систематике высших растений, что существенно помогало в изучении ржавчинных грибов. В различных экспедициях и поездках в Швейцарию, За-

каспийскую область (Киргизию), Армению, Крым, Хибинские горы, Алтай на Дальний Восток он собирал образцы грибов и гербарий сосудистых растений. В Хибинах им были собраны два вида ржавчинных грибов, ранее неизвестные на территории СССР: *Puccinia rhytismoides* Joh. на василистнике альпийском, *P. lapponica* Rytz. на мытнике лапландском [6]. Его часто приглашали консультантом в различные учреждения аграрного профиля и на совещания. Он уделял большое внимание ржавчине хлебных злаков, изучал её биологию в опытах по искусственному заражению растений.

Большую ценность представляют теоретические работы Траншеля. Он разработал метод предсказания, который описал в двух статьях: «О возможности предугадывания биологии разнодомных ржавчинных грибов на основе морфологических признаков» [7], «"Правило Фишера" и метод "Траншеля"» [8]. Суть метода в том, чтобы на основании предварительного морфологического анализа установить неизвестного хозяина на весенней (эциальной) стадии развития гриба для разнохозяйственного вида. Метод получил название «закона Траншеля» и до настоящего времени не потерял актуальности.

Большое значение имеют его работы по использованию ржавчинных грибов, как показателя родства между высшими растениями [9], они основывались на предположении, что эволюция ржавчинных грибов осуществлялась параллельно и одновременно с эволюцией растений-хозяев, т.е. близкородственные виды грибов встречаются на близкородственных видах растений. Этот метод получил применение в систематике высших растений с целью установления возраста и выявления родственных связей между растениями.

Всего Траншель написал 84 работы, но основным трудом, подводящим итог многолетней научной деятельности, стал его «Обзор ржавчинных грибов СССР» [10], в котором приводятся сведения о 844 видах ржавчинных грибов и еще 218 видов указываются провизорно.

Заслуги В. Г. Траншеля в микологии являются общепризнанными, им описано свыше 100 видов грибов. В его честь названы два рода грибов – *Tranzschelia* и *Tranzscheliella* и 15 видов грибов, три вида цветковых растений и один вид мохообразных, и его имя не будет забыто отечественной наукой.

Вольдемар Генрихович работал до последних дней жизни и оставался на своем посту заведующего сектором микологии Отдела споровых растений Ботанического институт АН СССР. Он умер от исто-

щения в блокадном Ленинграде в январе 1942 г. и похоронен в братской могиле на Серафимовском кладбище.

### Литература

1. Азбукина З. М. Памяти Вольдемара Генриховича Траншеля (1868–1942 гг.) // Микология и фитопатология. 1993. Т. 27, № 4. С. 91–94.
2. Бондарцев А. С. К семидесятилетию проф. В. А. Траншеля и пятидесятилетию его научной деятельности // Природа. 1938. № 4. С. 147–153.
3. Гоби Хр., Траншель В. О ржавчинных грибах (Uredinales) Санкт-Петербургской губернии и некоторых частей, соседних с нею Эстляндии, Выборгской и Новгородской губерний. // Ботан. записки, изд. при Ботан. саде СПбГУ, 1891. Т.3. Вып.2. С. 65–123.
4. Комарницкий Н. А. В. А. Траншель как ботаник // Ботанический журнал СССР. 1944. Т. 29, №2–3. С. 91–95.
5. Купревич В. Ф. В. Г. Траншель (К 100-летию со дня рождения) // Микология и фитопатология. 1968. Т. 2, № 2. С. 164–167.
6. Траншель В. Г. Материалы к флоре грибов Мурманского округа. 1936. 24 с. (Рукопись).
7. Траншель В. Г. О возможности предугадывания биологии разномных видов ржавчинных грибов на основании морфологических признаков (предв. сообщ.) // Труды С.-Петерб. общ. естествоисп. 1904. XXXV, вып. 1. Протоколы заседаний. С. 286–297.
8. Траншель В. Г. «Правило Фишера» и «метод Траншеля» у ржавчинных грибов // Советская ботаника. 1934. № 1. С. 85–90.
9. Траншель В. Г. Ржавчинные грибы как показатели родства их хозяев в связи с филогенетическим развитием ржавчинных грибов // Советская ботаника. 1936. №6. С. 133–144.
10. Траншель В. Г. Обзор ржавчинных грибов СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1939. 426 с.



## **ИМЯ БОТАНИКА НА КАРТЕ ХИБИН**

**Е.А. Боровичёв<sup>1,3</sup>, Н.Е. Королёва<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Мурманское отделение Русского ботанического общества; <sup>2</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН; <sup>3</sup>Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, borovichyok@mail.ru; flora012011@yandex.ru

История освоения Хибин оставила яркие следы, в частности, в топонимах – многие географические объекты носят имена учёных, внёсших вклад в изучение нашего края, чаще всего – геологов. Но один из цирков горы Вудъяврчорр с особенно крутыми и неприступными стенками, расположенный на границе с массивом Тахтарвумчорр, назван в честь известного ботаника – профессора С. С. Ганешина.

Сергей Сергеевич Ганешин (1879–1930) – выдающийся ботанико-географ, флорист и систематик. Он погиб в относительно молодом для учёного возрасте, немного за 50, но успел многое сделать для развития ботанической науки и изучения флоры и растительности России. Именно он должен был возглавить работы по организации первого за полярным кругом ботанического сада.

Ганешин родился 26 февраля 1879 года в Москве, хотя во многих источниках указывается дата 26 ноября. Путаница, по-видимому, возникла из-за того, что в справочнике С. Ю. Липшица «Русские ботаники: биографо-библиографический словарь» [3] указана дата рождения 26.II.1879, и при дальнейшей интерпретации, скорее всего, римские цифры месяца, превратились в арабские. С тех пор эта ошибка повторяется в биогеографических статьях в Википедии, в Кольской энциклопедии и в ряде других источников.

Сергей Сергеевич окончил естественное отделение физико-математического отделения Московского университета и был оставлен для подготовки к профессорскому званию при кафедре морфологии и систематики растений. Он – один из любимейших учеников И. Н. Горожанкина, видного русского ботаника, создателя московской

школы ботаников-морфологов. В 1905–1911 годах Ганешин работал ассистентом в одном из первых в Европе и России высших сельскохозяйственных учебных заведений – Ново-Александрийском институте сельского хозяйства и лесоводства, который был расположен в предместье Варшавы. В 1911 году он переехал в Петербург и начал работать в университете и Лесном институте, преподавательскую деятельность не оставлял до последних дней жизни. С 1913 года был зачислен сотрудником в Ботанический музей Академии наук (ныне Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН). С 1909 года принимал участие в экспедициях Переселенческого управления, позже возглавлял комплексные геоботанические экспедиции в различные районы Российской империи и СССР – в северный Казахстан, Новгородскую и Ленинградскую области, на приграничные с Польшей территории, в Иркутскую область, на Кольский полуостров.

Поездка в 1930 году на Кольский полуостров, где Ганешин руководил ботаническим отрядом экспедиции Академии наук СССР, стала его последней экспедицией. В состав отряда входили геоботаники А. А. Корчагин и М. В. Селянинова-Корчагина, бриолог (специалист по мхам) О. Ф. Гаазе и лихенолог (специалист по лишайникам) К. А. Рассадина. Ганешин должен был заниматься организацией Полярно-альпийского ботанического сада, начал планомерные исследования флоры и растительности Хибинского горного массива, процессов формирования заносной флоры этого района. Его экспедиционный отряд собрал обширные геоботанические и флористические материалы. К сожалению, только часть этих данных была опубликована.

30 августа 1930 года Ганешин трагически погиб в горах близ Хибинской научной станции, заблудившись в тумане, за которым последовал снежный буран. Причиной смерти стала внезапная остановка сердца из-за переутомления.

За два дня до своей гибели Сергей Сергеевич встречался с Н. И. Вавиловым, выдающимся советским учёным-генетиком и селекционером, директором Всесоюзного института растениеводства и проводил для него ботаническую экскурсию. В тот год Вавилов посещал Кольский полуостров. Вот что пишет в своем очерке воспоминаний «Абрикос за полярным кругом» физиолог растений Б.С. Мошков [4]: «...Только поздно вечером мы попали на базу академика Ферсмана около Малого Вудьявра в центре Хибинских гор. Там уже все спали, и мы тоже быстро легли, чтобы рано утром снова ходить по горам. В этот день с хибинской флорой Николая Ивановича знакомил её боль-

шой знаток ботаник С. С. Ганешин, возглавлявший ботаническую часть хибинской экспедиции Академии наук СССР. Проведя целый день в окрестностях Малого Вудъявра, мы к вечеру вернулись на базу, и здесь Николай Иванович начал подробно расспрашивать Ганешина о целях его экспедиции. Слушал он очень внимательно, и только иногда, как мне показалось, по его лицу пробегала тень неудовольствия. Выяснив всё, что ему хотелось, Николай Иванович начал говорить сам. Он, прежде всего, отметил, что, с его точки зрения, экспедиция могла бы быть более целенаправленной и особо изучать, и отмечать те растительные группы, которые могут иметь практическое значение для развития сельского хозяйства и промышленности Кольского полуострова. В частности, Николай Иванович сказал, что в окрестностях Хибин имеются большие стада северного оленя и что они должны значительно возрасти в ближайшее время в связи с резким увеличением населения, а кормовая база оленеводства совершенно не учтена. Основной корм оленя – ягель – никогда еще систематически не изучался, и о нём почти ничего не известно. Вот этим важным растением следует заняться в первую очередь и для начала, хотя бы приблизительно, выявить его запасы и дать им технологическую оценку. Заканчивая беседу, Николай Иванович улыбнулся:

– Сергей Сергеевич, вот если бы Вы всерьёз занялись ягелем. Вам бы поставили памятник...»

Слова Николая Ивановича стали пророческими. С. С. Ганешин – единственный из ботаников, чьё имя навсегда запечатлено в топонимике Хибин, в названии одного из цирков горы Вудъяврчорр.

Недавно мы обнаружили новые фотографии С. С. Ганешина, которые были сделаны в последний год его жизни и хранятся в фондах Музея-архива Центра гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН.

Портрет С. С. Ганешина (рис. 1.) был помещён в некрологе, опубликованном Б. Н. Городковым в журнале «Природа» в 1930 году [2].

Люди на следующей фотографии (рис. 2) так и могли бы остаться неизвестными, если бы не выдающийся болотовед, д.б.н., Т. К. Юрковская из Ботанического института им. В.Л. Комарова, которая помогла идентифицировать некоторых героев этого снимка. В панаме – А. А. Корчагин, женщина в центре – О. Ф. Гаазе или К. А. Рассадина, в берете слева – М. В. Корчагина.



*Рис. 1. С. С. Ганешин, 1930. НВФ 779.*



*Рис. 2. С. С. Ганешин (второй слева во втором ряду) в районе Хибинской горной станции АН СССР с товарищами по экспедиции, 1930. НВФ 880.*



*Рис. 3. С. С. Ганешин во время экспедиции в Хибины, 1930. НВФ 881.*

## Литература

1. Ганешин Сергей Сергеевич // Кольская энциклопедия. В 5-и т. Т. 1. А – Д / Гл. ред. А. А. Киселёв. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. 600 с. [http://ke.culture.gov-murman.ru/slovník/?ELEMENT\\_ID=93655](http://ke.culture.gov-murman.ru/slovník/?ELEMENT_ID=93655)
2. Городков Б.Н. Потери науки. Сергей Сергеевич Ганешин. // Природа. 1930. № 10. 1045–1047.
3. Ганешин Сергей Сергеевич. // Русские ботаники: биографо-библиографический словарь / Сост. С. Ю. Липшиц. Отв. ред. В. Н. Сукачев. Московское общество испытателей природы. М.: Тип. «Красный пролетарий», 1947. Т. 2. 228–230 с.
4. Мошков Б. С. Абрикос за полярным кругом // Николай Иванович Вавилов: Очерки, воспоминания, материалы. М.: Наука, 1987. С. 191–200.



# ФОТОРЕПОРТАЖ

Фото: Д. А. Давыдов









## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
<i>Боровичёв Е. А., Королёва Н. Е.</i> Деятельность Мурманского отделения Русского ботанического общества в 2017 году.....	7
<i>Войтеховский Ю. Л.</i> Черепаший карапакс как инвариант разбиения плоскости и решение диофантова уравнения.....	15
<i>Войтеховский Ю. Л.</i> Новое в кристаллографии икосаэдрических вирусов.....	24
<i>Войтеховский Ю. Л.</i> Из истории количественного минералогического анализа горных пород, руд, металлов и сплавов в плоских сечениях: есть ли будущее у метода?.....	31
<i>Даувальтер В. А., Терентьев П. М.</i> Ртуть и другие тяжёлые металлы в донных отложениях и органах и тканях рыб озера Имандра.....	36
<i>Зенкова И. В.</i> Деятельность почвенных зоологов в Мурманской области.....	48
<i>Зенкова И. В.</i> Безобидна ли интродукция растений в Заполярье?.....	53
<i>Потокин А. С., Ильин Д. В., Климов А. А.</i> Перспективы электроимпульсных технологий.....	62
<i>Макарова О. А.</i> О северной границе ареала летяги ( <i>Pteromys volans</i> ) в Мурманской области.....	71
<i>Химич Ю. Р.</i> Борец с ржавчиной. К 150-летию со дня рождения В. А. Граншеля (1868-1942).....	76
<i>Боровичёв Е. А., Королёва Н. Е.</i> Имя ботаника на карте Хибин.....	81
Фоторепортаж.....	87

**Материалы VI конференции Ассоциации научных  
обществ Мурманской области, посвящённой  
Дню российской науки**

**(Кировск, 12 февраля 2018 г.)**

**Научное издание**

**Оригинал-макет: Е. А. Боровичёв**

Подписано в печать 10.06.2018.  
Печать офсетная с оригинала заказчика.  
Заказ № 905. Тираж 200 экз.  
Отпечатано в Типографии ООО «КаЭМ»  
Мурманская область, город Апатиты  
ул. Ферсмана 17А, тел. (81555) 77329  
[www.km-print.ru](http://www.km-print.ru)

