

**Материалы V конференции Ассоциации научных обществ
Мурманской области и VIII научной сессии Геологического
института КНЦ РАН, посвящённых Дню российской науки**

Апатиты, 8 и 10 февраля 2017 г.



*Геологический институт КНЦ РАН
Комиссия по истории и Кольское отделение РМО*



*Материалы
V конференции Ассоциации научных обществ
Мурманской области (8 февраля 2017 г.) и
VIII научной сессии Геологического института КНЦ РАН
(10 февраля 2017 г.), посвящённых Дню российской науки*

Апатиты, 2017

УДК 502+54+57+691+919.9 (470.21)

ISBN 978-5-902643-41-8

Материалы V конференции Ассоциации научных обществ Мурманской области (Апатиты, 8 февраля 2017 г.) и VIII научной сессии Геологического института КНЦ РАН (Апатиты, 10 февраля 2017 г.), посвящённых Дню российской науки / Ю.Л. Войтеховский (ред.). – Апатиты: Изд-во К & М, 2017. – 68 с.

В сборнике представлены доклады, прочитанные 8 и 10 февраля 2017 г. на двух конференциях в Геологическом институте КНЦ РАН, посвящённых Дню российской науки. Весьма разные по тематике и форме изложения, представленные профессионалами из разных областей знания, членами разных научных обществ, они охватывают широкий диапазон проблем, изучаемых учёными Кольского научного центра РАН, университетов и других организаций Мурманской области. Представляет интерес для научных работников, а также студентов естественнонаучных и гуманитарных специальностей.

Рекомендовано к печати учёным советом Геологического института КНЦ РАН и советом Кольского отделения РМО

Фото: Н.А Мансурова

Компьютерный дизайн: Л.Д. Чистякова, Н.А. Мансурова

Электронная версия: <http://geoksc.apatity.ru/publications/conferences>

© Коллектив авторов, 2017

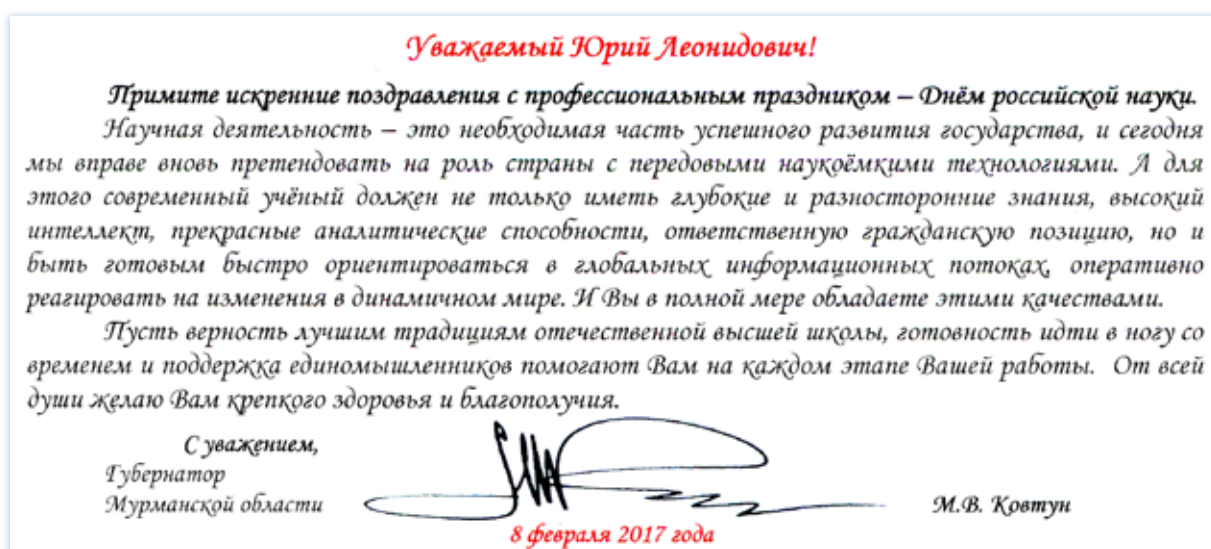
© Кольское отделение РМО, 2017

© Комиссия по истории РМО, 2017

© Геологический институт КНЦ РАН, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Уже стало доброй традицией после новогодних каникул начинать активную научную работу мероприятиями, посвящёнными Дню российской науки. На Кольском Севере он совпадает с окончанием полярной ночи. Это вдвойне радостное событие отмечено нами в текущем году двумя мероприятиями: V конференцией Ассоциации научных обществ Мурманской области и VIII научной сессией Геологического института КНЦ РАН. Из года в год они удачно дополняют друг друга. Если первая предполагает междисциплинарные и научно-популярные сообщения, то вторая ориентирована на фундаментальную науку, при этом допуская и даже провоцируя дискуссионные и поисковые доклады.



По поводу популяризации фундаментальной науки уместно напомнить слова В.В. Путина на заседании Совета по науке и образованию при Президенте РФ 21 января 2016 г.: «У нас есть хорошие традиции популяризации научных знаний и, конечно, нужно использовать этот опыт. Уважаемые коллеги, я хочу обратиться к вам и, собственно говоря, ко всем российским учёным, преподавателям вузов, представителям бизнеса, которые тесно связаны с научной средой, активнее подключаться к просветительским проектам и в интернете, и на телевидении, в печатных средствах массовой информации, рассказывать о достижениях нашей науки, проводить популярные научные мероприятия, организованные на самых разных площадках, для людей самых разных возрастов, ориентированные на подрастающее поколение».

Первая конференция прошла 8 февраля 2017 г. и началась с поздравления Губернатора Мурманской области М.В. Ковтун в адрес работников науки и высшей школы, принятое аудиторией с большим воодушевлением. От Северной торгово-промышленной палаты участников приветствовал её вице-президент А.Э. Ильин. Далее последовали поздравления в адрес Кольского отделения РМО, ведь 19 января Российскому минералогическому обществу исполнилось

200 лет. Затем с пленарным докладом «Основные итоги деятельности научных обществ, входящих в Ассоциацию научных обществ Мурманской области, в 2016 г.» от всех научных обществ, представленных на конференции, выступил Ю.Л. Войтеховский. Затем от региональных отделений доклады представили: О.А. Макарова, Всероссийское териологическое общество «Вклад териологов заповедников Мурманской области в изучение млекопитающих»; Д.В. Моисеев, Русское географическое общество «Концепция нового географического атласа Мурманской области»; С.А. Гончаров, Русское географическое общество «Некоторые подходы к развитию арктических городов: по результатам международной конференции «Актуальные вопросы развития арктических городов», прошедшей 27-28 июня 2016 г. в Мурманске с участием представителей России, США, Норвегии, Франции и других стран»; Ю.Л. Войтеховский, Российское минералогическое общество, Российское геологическое общество, Российское углеродное общество «Шёл лорд Кель-



вин по набережной Темзы...»; А.С. Давыдова, Ассоциации антропологов и этнологов России «Полевая работа социального антрополога: путь к достижению поставленных исследовательских задач»; О.А. Бодрова, Ассоциации антропологов и этнологов России «Змеи в устных преданиях саамов и поморов Кольского п-ова»; О.В. Петрова, Кольский центр охраны дикой природы «Нашли здесь две травки, три бабочки, а мне семью кормить! Или зачем охранять редкие виды растений и животных, которых все равно почти никто не знает?»; Е.И. Копейна и Е.А. Боровичёв, Русское ботаническое общество «Ботаники, что у вас есть вкусного?»; Ю.Р. Химич, Микологическое общество «Грибное импортозамещение или ещё раз о необычных съедобных грибах»; В.Н. Петров, Центр медико-биологических проблем КНЦ РАН «Кислородное голодание на Севере: мифы и реальность»; Н.В. Фокина и М.В. Корнейкова, Микробиологическое общество «Сотрудничество Кольского отделения МО с организациями Мурманской области в рамках до-

говорных работ»; В.А. Даувальтер и Н.А. Кашулин, Гидробиологическое общество «Уникальные свойства воды»; Д.Б. Денисов, Гиперборейская академия наук «Поиск путей выхода из кризиса для российской науки»; В.М. Воронов, Российское философское общество «Проект «ЛАИС» как диалоговая площадка социогуманитарного знания». Конференция завершилась общей дискуссией о проблемах популяризации науки и противодействия лженауке, отношений Ассоциации научных обществ Мурманской области с организациями науки, образования и государственной власти.

Вторая конференция прошла 10 февраля 2017 г. и началась с поздравления Главы г. Апатиты к.э.н. А.Г. Гилярова, отметившего фундаментальное значение Кольского НЦ РАН для социально-экономического развития г. Апатиты и всего Хибинского края. Далее с докладами выступили: Ю.Л. Войтеховский «Новая глава кристалломорфологии»; В.В. Колька, О.П. Корсакова, Н.Б. Лаврова, Т.С. Шелехова, А.Н. Толстоброва, Д.С. Толстобров, Н.Е. Зарецкая «Палеогеография западного берега Онежского залива Белого моря в позднеледниковое и голоценовое время»; А.В. Волошин, А.А. Компанченко, С.М. Карпов, В.В. Борисова «Новые данные о минералах: первые находки в России и Кольском регионе»; Е.А. Ниткина «Изотопное ID-TIMS и SHRIMP датирование геологических процессов и геохимические особенности пород комплекса TTG Ингозерского блока, Кольский п-ов»; В.Л. Ильченко «Макроскопический гравитационный эффект (волна твёрдого прилива) и квантовая упругость»; Ф.Ф. Горбачевич, В.Р. Ветрин, О.М. Тришина, М.В. Ковалевский «Упруго-анизотропные свойства пород разных фаций метаморфизма».

Обе конференции были весьма насыщенными. Доклады охватили широкий спектр проблем, изучаемых учёными Кольского научного центра РАН, университетов и других организаций Мурманской области. В обеих научная молодость соседствовала и дискутировала с зрелостью, что – надеемся – способствует прогрессу науки и образования в нашем крае. Обе конференции завершились активными продолжительными дискуссиями, что безошибочно указывает на актуальность затронутых тем. Но ещё не все научные общества региона привлечены к работе Ассоциации. И не перечесть всех актуальных тем фундаментальной науки. А это служит залогом того, что следующий День российской науки будет отмечен столь же интересными конференциями. Далеко не все участники представили свои доклады к публикации в настоящем сборнике. Но мы надеемся, что и в таком виде он найдёт своего читателя среди специалистов и студентов самых разных – естественнонаучных и гуманитарных – специальностей.

Директор Геологического института КНЦ РАН
вице-президент, председатель Комиссии по истории
и Кольского отделения РМО, д.г.-м.н., профессор

Ю.Л. Войтеховский



**V КОНФЕРЕНЦИЯ АССОЦИАЦИИ НАУЧНЫХ
ОБЩЕСТВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

8 ФЕВРАЛЯ 2017 г.

**VIII НАУЧНАЯ СЕССИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА КНЦ РАН**

10 ФЕВРАЛЯ 2017 г.



НАУЧНАЯ, ПРОСВЕТИТЕЛЬСКАЯ И ПОЛЕВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МУРМАНСКОГО ОБЛАСТНОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ АССОЦИАЦИИ АНТРОПОЛОГОВ И ЭТНОЛОГОВ РОССИИ В 2016 г.

Бодрова О.А.

Мурманское областное региональное отделение Ассоциации антропологов и этнологов России; Центр гуманитарных проблем Баренц региона КНЦ РАН, bodrovae@rambler.ru

Ассоциация антропологов и этнологов России (ААЭР) существует с 1990 г. и является добровольным, общественным научным объединением. Сегодня ААЭР – всероссийская организация, в которую входят ведущие научные и образовательные центры и коллективы России. Согласно Уставу, она координирует и реализует все виды научной и учебной активности. Но основное направление – организация регулярных конгрессов российских антропологов и этнологов. Конгресс проходит раз в два года, каждый раз на новой площадке. По традиции, для его проведения каждые два года утверждается новый Президент Ассоциации, который принимает гостей ме-



Рис. 1. Члены Мурманского областного регионального отделения ААЭР на XI Конгрессе антропологов и этнологов России в г. Екатеринбурге.

роприятия в своем городе. Сейчас им является д.и.н., проф. А.Е. Загребин, и 3-6 июля 2017 г. XII Конгресс антропологов и этнологов России пройдет г. Ижевске. Его тема – «Миссия антропологии и этнологии: научные традиции и современные вызовы».

В Мурманской обл. действует Мурманское отделение ААЭР, которое зарегистрировано на базе Центра гуманитарных проблем Баренц региона КНЦ РАН в 2014 г. Председатель отделения – д.и.н. И.А. Разумова. Пока в региональное отделение ААЭР входят только сотрудники Сектора исторической и социальной антропологии ЦГП КНЦ РАН. Как только на высшем уровне решатся правовые и финансовые вопросы, связанные с регистрацией Ассоциации (в том числе вопрос с членскими взносами), региональное отделение сможет принять в свои ряды новых участников.

Региональное отделение ААЭР участвует в организации и проведении научных мероприятий. В 2016 г. в рамках подготовки к XII Конгрессу началась координационная работа по организации секции «Антропологические и этнологические исследования СЗ России». Её руководители – И.А. Разумова и И.Ю. Винокурова (Институт истории, языка и литературы КарНЦ, г. Петрозаводск). Члены Мурманского отделения выступают и на других секциях.

В апреле 2016 г. на базе ЦГП КНЦ РАН прошла конференция «Антропология арктического города: теория, методология, полевые исследования»,



Рис. 2. Конференция «Антропология арктического города». На обложке программы – картина С.Ю. Никонова «Апатиты», 2008 г.



посвящённая 100-летию г. Мурманска и 50-летию г. Апатиты, на которой выступили сотрудники ЦГП КНЦ РАН и МАГУ, г. Мурманск. Подобные мероприятия планируется проводить регулярно. В марте 2017 г. в ЦГП КНЦ РАН состоится научно-практический семинар по методологии полевых исследований «Проблемное поле современной антропологии» в форме встречи-обсуждения с представителями других гуманитарных сообществ.

Мурманское отделение ААЭР активно участвует в выездных научных конференциях и семинарах. Наиболее яркими мероприятиями, которые в 2016 г. посетили с докладами члены отделения, стали международная конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения известного этнографа Т.В. Станюкович (Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого, Кунсткамера, г. Санкт-Петербург, сентябрь 2016 г.) и конференция «Поле как жизнь» (Институт этнологии и антропологии РАН, г. Москва, ноябрь 2016 г.).

В 2016 г. под руководством д.и.н. И.А. Разумовой прошла серия семинаров «Фольклор в социальной антропологии», на которые кроме членов Ассоциации приглашались аспиранты и сотрудники ЦГП КНЦ РАН. Члены регионального отделения ААЭР в течение года вели научно-просветительскую работу, выступали с лекциями и докладами в городских образовательных и культурных учреждениях: библиотеках и школах, Гуманитарной школе КФ ПетрГУ (ныне МАГУ). Активно участвовали в работе двух городских лекториев: с лекциями выступили 5 членов регионального отделения ААЭР.

Важное направление деятельности регионального отделения ААЭР – полевая работа, направленная на создание собственного архива социально-антропологических материалов, который существует в 3 видах: а) аудиозаписи (интервью), б) рукописно-печатные тексты, в) материалы, переведенные в цифровой формат. Пока архив закрыт, так как все материалы должны быть не только оцифрованы, но и зашифрованы. В течение 2016 г. продолжена работа над двумя основными фондами архива: Семейным фондом, который ежегодно пополняется с 1990-х, и Фондом по малым городам и посёлкам Мурманской обл.



ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МУРМАНСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РУССКОГО БОТАНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА В 2016 г.

Боровичёв Е.А.^{1,4}, Королёва Н.Е.^{1,2}

¹ Мурманское отделение Русского ботанического общества;

² Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН;

³ Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН;

⁴ Институт леса КарНЦ РАН, borovichyok@mail.ru; flora012011@yandex.ru

В 2016 г. в Мурманском отделении (МО) РБО насчитывалось 49 человек. Это сотрудники Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН (ПАБСИ КНЦ РАН), Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН), представители научных и общественных организаций Мурманской области, таких, как Геологический институт КНЦ РАН, Мурманский Арктический госуниверситет, Кольский центр охраны дикой природы, Московский госуниверситет им. М.В. Ломоносова, Лапландский и Кандалакшский заповедники. Важнейшая часть работы Отделения – регулярные открытые заседания, которых в 2016 г. было три, организация научных конференций и просветительская деятельность.

С Кольским отделением Российского минералогического общества и Кольским центром охраны дикой природы организована и проведена 12 февраля 2016 г. IV конференция Ассоциации научных обществ Мурманской обл., посвящённая Дню российской науки. В ней приняли участие представители 17 научных обществ Мурманской обл. Члены МО РБО представили 4 доклада: «Зачем ботанику быть членом международных научных обществ?» (Е.А. Боровичёв, Н.Е. Королёва); «Значение гербариев для развития науки и общества» (Н.А. Константинова); «Роль любителей в развитии микологии» (Ю.Р. Химич); «Популяризация знаний по охране живой природы: почему так плохо работает?» (В.Н. Петров, О.В. Петрова). По инициативе нашего отделения на конференцию приглашён известный популяризатор науки, ведущий специалист в области биоинформатики, д.б.н. М.С. Гельфанд, принявший активное участие в заседаниях и круглом столе, выступил с докладом «Диссернет и другие общественные инициативы в сфере науки» и лекцией «Геном неандертальца». Выступления вызвали огромный интерес и собрали большую аудиторию.

Члены МО РБО провели I международную научную школу-конференцию «Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика, экология, распространение» 5-9 сентября 2016 г. в Апатитах. Среди организаторов совещания, помимо МО РБО – Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН и Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН. В совещании участвовали более 30 специалистов из России, Финляндии и Норвегии. Совещание проходило в рамках 5 секций (морфология и систематика цианопрокариот, молекулярно-генетические исследования, экология цианопрокариот, токсикология, биологически-активные вещества, флора и биогеография цианопрокариот, методы сбора, культивирования, идентификации цианопрокариот) и круглого стола. Обсуждались проблемы систематики цианопрокариот, экологии и географического распространения представителей этой группы, рассмотрены причины и последствия «цветения» водоёмов, уделено внимание методам сбора, культивирования и идентификации цианопрокариот. Отдельная сессия была посвящена современным методам микроскопии и морфологической идентификации видов.

Важной частью школы-конференции стали 3 полевые экскурсии в Хибинские горы – на северо-восточный склон г. Вудъяврчорр, в долину оз. Мал. Вудъявр, в Молибденовый рудник на г. Тахтарвумчорр и в Южное сквозное ущелье. Участники экскурсий познакомились с методами сбора образцов в природных популяциях, особенностями морфологии цианопрокариот и условиями их произрастания в Хибинах. К началу школы-конференции



Сунский бор Карелии.

опубликован сборник [Международная научная школа-конференция «Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика, экология, распространение». Апатиты, 5-9 сентября 2016 г. Тезисы докладов / Д.А. Давыдов, Е.А. Боровичёв (ред.). Апатиты: Изд-во К & М, 2016. 140 с.] С ним можно познакомиться на сайте ИППЭС КНЦ РАН (<http://inep.ksc.ru/images/docs/tezise.pdf>). Статьи участников изданы в специальном выпуске журнала «Труды Кольского НЦ РАН. Серия: Прикладная экология Севера». 2016. № 4» и доступны на сайте [http://www.kolasc.net.ru/russian/news/trudy/IPPEES_4_2016\(41\).pdf](http://www.kolasc.net.ru/russian/news/trudy/IPPEES_4_2016(41).pdf).

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. Много сил потрачено на то, чтобы убедить Министерство природных ресурсов и экологии МО в необходимости реорганизации созданного в 2014 г. природного парка «Полуострова Рыбачий и Средний». Совет МО РБО в 2016 г. продолжил практику письменных обращений в региональные и российские органы власти о необходимости создания национального парка «Хибины» в научно обоснованных границах.

Сотрудники ИППЭС КНЦ РАН и члены МО РБО участвовали в обследовании Сунского бора (Республика Карелия) и подтвердили произрастание краснокнижных мхов и лишайников в окрестностях д. Суна, где компания «Сатурн Нордстрой» намерена провести вырубку и открыть песчано-гравийный карьер. К сожалению, ботаники-эксперты из Санкт-Петербурга выступили на стороне компании и дали «добро» истреблению краснокнижных видов. Возникла необходимость решения вопроса в суде, и при выполнении судебно-биологической экспертизы члены МО РБО установили, что сохранить местообитания ценного лишайника при разработке карьера невозможно, а положительных примеров трансплантации этого вида нет. Секретарь МО РБО Е.А. Боровичёв с В.Н. Петровым участвовали в круглом столе по Сунскому бору в Минприроды Карелии, а также в круглосуточном дежурстве с защитниками Сунского бора, чтобы не допустить его уничтожения. Было бы проще не вмешиваться в конфликт. Но прямая обязанность ботанического общества – сделать ситуацию в Сунском бору предметом гласности. Мы должны обосновать свою оценку предлагаемого воздействия на природу и донести её до заказчиков проекта, чиновников и населения, поскольку они не имеют необходимых профессиональных знаний, чтобы понять последствия непродуманных действий.

О деятельности МО РБО и работе ботаников мы рассказываем в местной печати (газетах «Хибинский вестник», «Дважды два», журнале Кольского отделения Российского минералогического общества «Тиетта»), всего опубликовано 17 научно-популярных статей и заметок.

В начале 2015 г. при активном участии МО РБО организованы два научно-популярных лектория: Лекторий под эгидой главы г. Апатиты, проводимый в ДК им. В.К. Егорова, и более камерный Лекторий «Край,



Краснокнижные мхи и лишайники в окрестностях д. Суна Карелия.

в котором я живу», в библиотеке им. Л.А. Гладиной, которому в феврале 2017 г. исполнится два года. Среди лекторов – члены Русского ботанического общества, регионального отделения Ассоциации антропологов и этнологов России, Санкт-Петербургского общества микологов, Хибинского отделения Гидробиологического общества. Оба лектория приобрели известность и постоянных слушателей. В 2016 г. впервые в рамках лектория «Край, в котором я живу» проведена полевая экскурсия в ущелье Южное сквозное. Группа слушателей и экскурсоводы (О.В. Петрова, Е.А. Боровичёв, Н.Е. Королёва и Е.И. Копейна) в сопровождении представителя Красного Креста и Службы спасения познакомились с вертикальной поясностью в Хибинах, основными видами растений, лишайников и грибов.

Поднявшись на вершину, мы смогли полюбоваться видом на прихибинскую равнину в осенних красках и приближающийся к Хибинам грозовой фронт.

Члены РБО Е.А. Боровичёв и Д.А. Давыдов приняли активное участие в научно-популярной акции «Ночь музеев» в Музее-архиве Центра гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН, прочитали 3 доклада: «Суровый север, хрупкие женщины и поиск аленького цветочка», «Растительная скатерть-самобранка или что выпить и чем закусить под кустом?» и «Романтика арктических путешествий». Ещё одной формой популяризации научных знаний стало занятие «Мохообразные – древнейшие на суше», которое провёл Е.А. Боровичёв в детском саду № 48 г. Апатиты. Это совершенно новый для МО РБО опыт, но путь в науку может начинаться и с детского сада.

Подводя итоги, можно констатировать, что в 2016 г. основные усилия членов МО РБО были направлены на популяризацию научных знаний в различных формах, в основном лекций и экскурсий, для людей различного возраста и профессий, при взаимодействии с другими научными обществами Мурманской обл. Также традиционным приоритетом МО РБО остаётся охрана природы края. Важными задачами на 2017 г. должно стать продолжение практики приглашения ведущих популяризаторов науки в г. Апатиты, проведение Международной научно-практической конференции «Использование современных информационных технологий в ботанических исследованиях» в г. Апатиты (28-31 марта 2017 г.), подготовка серии буклетов о полезных растениях и грибах Мурманской обл.



ШЁЛ ЛОРД КЕЛЬВИН ПО НАБЕРЕЖНОЙ ТЕМЗЫ...

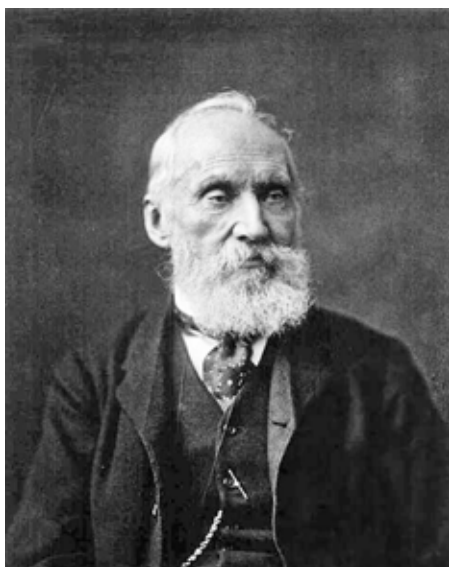
Войтеховский Ю.Л.

Кольское отделение РМО, Геологический институт КНЦ РАН, woyt@geoksc.apatity.ru

Однажды по набережной Темзы неспешно шёл пожилой господин, время от времени останавливаясь и поглядывая на серую реку. Возможно, это был туманный ветреный день. Может быть, это был промозглый дождливый вечер. От воды веяло прохладой, было зябко. И только свет из окон как будто немного согревал. Человек ускорил шаг, и вскоре сквозь туман уютно засветились окна знакомого паба. Здесь можно пристроиться в отдельном кабинете и записать торопливые мысли. Знакомые вежливо раскланивались с ним, ведь это – сэр Уильям Томсон (рис.), получивший в 1892 г. за научные заслуги титул лорда Кельвина, президент Лондонского королевского общества (1890-1895), член-корреспондент Петербургской академии наук с 1877 г., почётный член – с 1896 г.

Заслуги: основы термодинамики и кинетической теории газов, абсолютная шкала температур, гипотеза тепловой смерти Вселенной, эффект охлаждения газов при адиабатическом расширении, расчёт размеров молекул на основе измерений поверхностной энергии жидкости, теории приливов и распространения волн, зодиакального света, охлаждения земного шара, теорема о сохранении циркуляции в идеальной жидкости, целый ряд физических приборов... А сколько набросков и нерешённых вопросов в черновиках и памяти! Они вокруг, куда ни глянь!

Итак, лорд Кельвин зашёл в паб и заказал пиво. История не сохранила нам ни названия паба, ни марку пива. Должно быть, это был старый английский паб, который прилично посетить джентльмену. И, как станет ясно из



Слева: сэр Уильям Томсон, лорд Кельвин (1824-1907). Справа: Лондон, 1899 г.

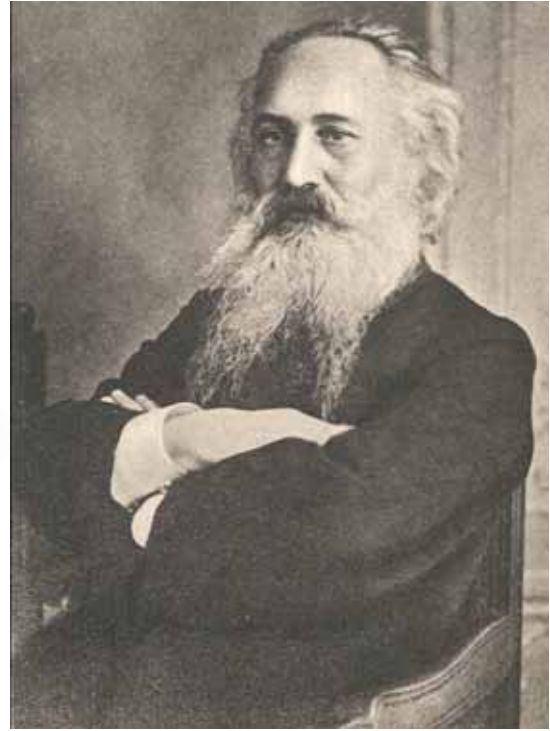
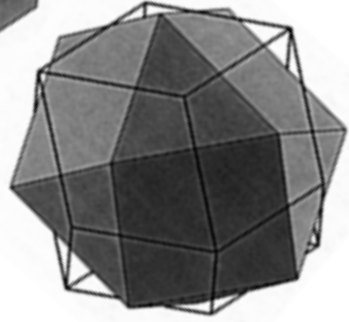
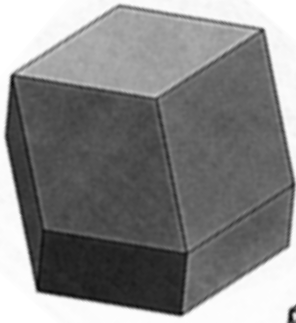


Английский паб, правильное пиво.

дальнейшего, это было правильное пиво. Долго смотрел лорд Кельвин на пену, что покрывала гранёный бокал. Так долго, что обратил на себя внимание бармена, заподозрившего недовольство в сосредоточенном взгляде посетителя. Между тем, он смотрел не на пену, а внутрь её, пытаясь найти ответ на только что родившийся вопрос – какую форму имеет ячейка внутри пены?

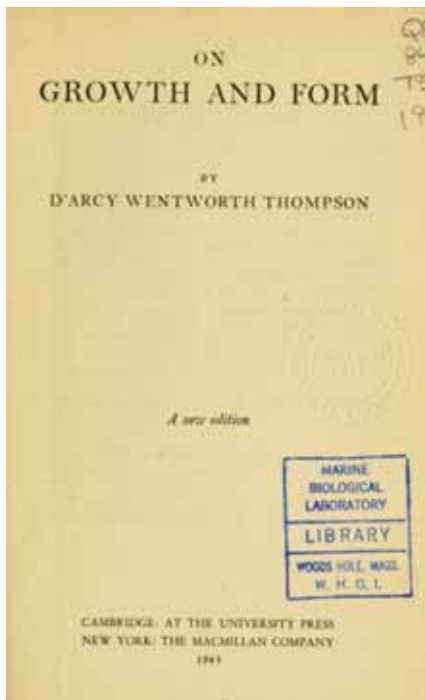
Как подобраться к решению этой задачи? Устройство пены в целом понятно: по общей поверхности-плёнке граничат два пузыря, по ребру – три, в общей точке – четыре. Других типов контактов пузырей нет. Физические условия равновесия тоже ясны: общий минимум поверхности границ, равенство плоских углов на рёбрах и телесных – в узлах структуры. Но какова же форма ячейки? Очевидно, это не куб. Может быть, ромбододекаэдр или дуальный ему архимедов кубооктаэдр? Ведь ими тоже можно заполнить пространство «грань к грани». Лорду Кельвину была известна работа о параллелоэдрах русского учёного Е.С. Фёдорова, которого потом назовут гениальным. Но грани и рёбра пузырей явно кривые. Только ли у поверхности или внутри тоже? Заметим, что задача так и не поддалась лорду Кельвину.

Популярность задачи выросла после выхода в свет в 1917 г. эпохальной книги Д'Арси Вентворта Томпсона «On growth and form». Автор обрушил на читателя целый мир форм, геометрически простых и сложных, неорганического и органического происхождения, а среди них – плёночные и пузырьчатые структуры, поражающие ажурностью. Акцент книги – защита структурализма как альтернативы эволюционизму, воспринимавшемуся биологами



Слева: ромбододекаэдр и кубооктаэдр. Справа: Е.С. Фёдоров (1853-1919).

того времени в качестве фундаментальной детерминанты становления форм биологических видов. Автор писал: «Организм – столь сложная вещь, а рост – столь сложный феномен, что невозможно считать последний настолько постоянным во всех частях, чтобы сохранять всю форму неизменной. Скорости роста варьируют, пропорции меняются, и вся конфигурация меняется в соответствии с ними». Книга создана в описательной традиции. Д’Арси В. Томпсон не изложил свои взгляды в форме гипотез, которые можно было бы



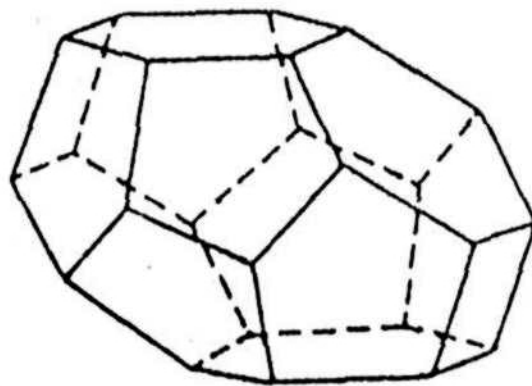
Д’Арси В. Томпсон (1860-1948) и его книга «On growth and form».

проверить экспериментально. Не предлагает он и причинных объяснений тех аналогий, которые подмечены им между физическими и биологическими формами. Он – в стороне от всего этого, говоря, что «эта книга не нуждается в длинном предисловии, поскольку вся она от начала до конца – само предисловие».

На задачу лорда Кельвина в книге Д'Арси В. Томпсона обратил внимание выдающийся американский геометр Гарольд Скотт МакДональд Коксетер (1907-2003), прославившийся изучением политопов, пробудивший в голландском графике М.К. Эшере страсть к созданию кристаллографических картин, и ... решил её, исходя из физических условий стабильности пены, сформулированных ещё лордом Кельвином. Ответ оказался удивительным – среднее число граней у ячейки равно 13.56, числа рёбер и вершин тоже дробные! Эта мистическая форма получила название «ячейки Коксетера». Результат означал лишь одно – нет уникального полиэдра, заполняющего пространство пены «грань к грани». Но есть некоторое распределение полиэдров по числу граней и, как показали дальнейшие события, разнообразие комбинаторных типов полиэдров даже при одном числе граней. Один из них показан на рисунке.

Кажется, будто технические и естественные науки только и ждали решения задачи лорда Кельвина. Оно тут же было приспособлено для описания структур перекристаллизации в металлах и сплавах, что важно для прогноза их физических свойств, в первую очередь прочности, а также в минеральных агрегатах, горных породах и рудах, что служит для реконструкции их условий и механизмов образования. Справедливости ради заметим, что зерно металла или минерала – не мыльный пузырь. Кристаллическая решётка ограничивает разнообразие внешних форм. Растущие кристаллиты теснят друг друга и приобретают компромиссную форму, для которой достигается относительный минимум свободной энергии межзерновых границ при некоторых ограничениях, налагаемых кристаллическими решётками. И всё же, даже при указанных несоответствиях идея ячейки Коксетера остаётся в металлографии, минералогии и петрографии весьма привлекательным идеалом, к которому стремятся в ходе перекристаллизации все мономинеральные сплавы и горные породы.

Что можно сказать о внутренней геометрии пенистой структуры? Есть ли ей закономерность? Не торопитесь с ответом... Подойдём к ней со стороны меньшей размерности, но на природном примере. Я люблю в выходной день ходить в Хибины, всякий раз щедро дарящие удивительные ландшаф-



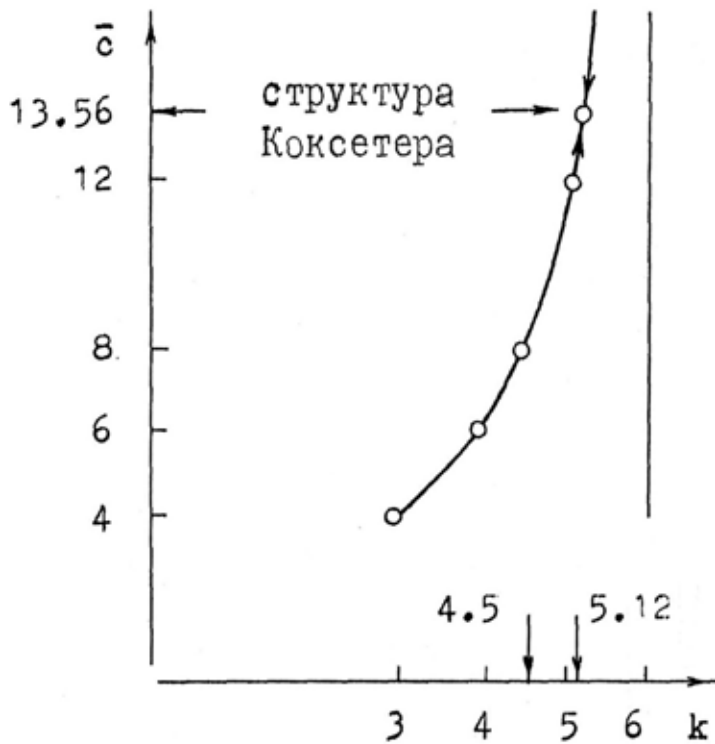
Тетракайдекаэдр – одно из приближений к мистической «ячейке Коксетера».

ты, очаровательный растительный и животный мир, редкие минералы, глубокое удовлетворение от пройденного перевала или покорённой вершины и ... новые задачи. 3 сентября 2011 г. была замечательная погода и мы с коллегой без происшествий прошли перевалы Сев. и Ю. Рисчорр с выходом на пик Марченко и г. Куэльпорр. Маршрут хорошо известен горным туристам. Один из самых интересных объектов на маршруте – снежник-перелеток в глубоко врезанном ущелье на Сев. Рисчорре, куда не проникают прямые лучи солнца. В разрезе снежника можно наблюдать замечательный переход от фирна до перекристаллизованного льда – интересный объект для гляциолога.

Вы обращали внимание на ячеистые поверхности снежников? Полагаю, они есть на всех снежниках мира, поскольку обусловлены неспецифическим явлением таяния приповерхностного слоя. В первом приближении ячейки полигональны, но число их сторон варьирует, размеры – тоже. По всему видно, что свою роль здесь сыграл случай. Видимо, тому причиной – различная степень загрязнения снега пылью, переносимой ветром с рядом залегающих осыпей рисчорритов. Легко видеть, что рёбра ячеек образуют граф, в каждой вершине которого сходятся ровно три клетки. Сама природа подсказывает нам необходимый аппарат. Вот уж воистину «природа написана языком математики» (Г. Галилей)! Пусть N_0 – число вершин графа, N_1 – число рёбер, N_2 – число ячеек. Найдём среднюю координацию ячейки, то есть среднее число сторон полигона. Она равна $2N_1 / N_2$, поскольку каждое ребро графа принадлежит двум полигонам. По теореме Эйлера: $N_0 - N_1 + N_2 = 2$. Так как из каждой вершины графа исходит ровно три ребра, то: $3N_0 = 2N_1$. Решая совместно два последних уравнения, находим: $2N_1 / N_2 = 6(1 - 2 / N_2)$. Устремив N_2 в бесконечность, получаем: $2N_1 / N_2 = 6$.



Ячеистая поверхность снежника. Перевал Сев. Рисчорр, Хибины.



Шкала структур перекристаллизации.

Итак, для большой поверхности снежинки средняя координация ячейки равна 6. Разве не удивительно? В этом результате сплелись особенности топологии плоскости (теорема Эйлера) и поверхности снежинки (в каждой вершине графа контактируют ровно три ячейки). Но как достигается эта средняя координация? Легко представить себе замощение плоскости 6-угольными плитками – пример из классической кристаллографии. Это не наш случай. На рисунке видно, что координации ячеек варьируют, как минимум,

от 3 до 8, образуя статистическое распределение. Это важный результат. Если 6 – инвариант ячеистой поверхности снежинки, то распределение координаций – его переменная характеристика, говорящая о текущем состоянии, которое, возможно, ранее было другим и, быть может, стремится к другому.

Вернёмся к пенистой структуре по Кельвину (по общей поверхности граничат 2 пузыря, по ребру – 3, в общем узле – 4), но без физических условий равновесия – подобно тому, как мы сделали это выше. Пусть N_0 – число узлов, N_1 – рёбер, N_2 – граней, N_3 – ячеек. Найдём среднюю координацию ячейки $2N_2 / N_3$. Параметры связаны соотношением Эйлера-Пуанкаре: $N_0 - N_1 + N_2 - N_3 = 0$. Почти очевидно, что $N_1 = 2 N_0$. Ещё одну связь можно получить, определив параметр k как среднее число рёбер у грани ячейки: $3 N_1 = k N_2$. Решая совместно три последних уравнения, находим: $2N_2 / N_3 = 12 / (6 - k)$. Итак, средняя координация зерна в 3D структуре не является инвариантом. График её зависимости от k дан на рисунке. По сути, это шкала структур перекристаллизации различных сред, на которой идеальная, предельная структура Коксетера отвечает значению $k = 5.12$.

Заметим, что на пути к этой «идеальной» структуре средняя координация зерна в металле, мономинеральной горной породе или льде проходит ряд «кристаллографических» значений 4, 6, 8, 12, которые локально могут реализоваться в виде квазикристаллографических упаковок кристаллитов. По-видимому, это должно отражаться на их прочностных свойствах. Как бы то ни было, предложенная шкала структур перекристаллизации с инте-

ресом обсуждалась применительно к динамическому равновесию льда на IV Международной конференции «Лавины смежные вопросы», прошедшей в г. Кировске 5-9 сентября 2011 г. в честь 75-летия Центра лавинной безопасности ОАО «Апатит». А ведь всё началось с пивной пены... Уверен, это было правильное пиво, побуждающее к проницательным мыслям.

В «Сонете к форме» В. Брюсова столь же проницательно сказано: «Есть тонкие властительные связи // Меж контуром и запахом цветка. // Так бриллиант невидим нам, пока // Под гранями не оживёт в алмазе». Эта статья – о тех самых «властительных связях», пронизывающих окружающую нас природу, «написанную языком математики». В статьях [1-11] читатель найдёт необходимые пояснения к сказанному.

Литература

1. Бродская Р.Л. К вопросу о метризации структур горных пород // Зап. ВМО. 1972. № 5. С. 297-300.
2. Бродская Р.Л. Термодинамические (кинетические) критерии формирования и эволюции структуры минеральных агрегатов // Зап. ВМО. 1988. № 5. С. 623-633.
3. Жабин А.Г., Гладких В.С. Равновесные структуры минеральных агрегатов в глубинных лерцолитовых нодулях // Докл. АН. 1990. Т. 313. № 5. С. 1200-1203.
4. Жабин А.Г., Харченков А.Г. Равновесная структура минерального агрегата // Кристаллография и минералогия. Л.: Изд-во ЛГИ, 1972. С. 61-71.
5. Обер Дж.Г., Крейник Э.М., Рэнд П.Б. Водные пены // В мире науки. 1986. № 7. С. 36-45.
6. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1958. 446 с.
7. Coxeter H.S.M. Close-packing and froth // Ill. J. Math. 1958. V 2. N 4B. P 746-758.
8. Myers E.J., Sinnott M.J. Quantitative metallography for particles having polyhedral shapes // Comp. Appl. Metal. Eng. Amer. Soc. Metals. 1964. P 17-21.
9. Thompson d'Arsey Wentworth. On growth and form. Cambridge: University Press; New York: MacMillan Co, 1945. 1116 p.
10. Watson D.F. The number of edges per face in a large aggregate of space-filling, random-sized, randomly arranged polyhedral // Math. Geol. 1975. V 7. N 4. P 349-354.
11. Watson D.F. The structure of paraequilibrium aggregates // Math. Geol. 1981. V 13. N 4. P 357-360.



РАЗБЕГАЮЩИЕСЯ ГАЛАКТИКИ ВЫПУКЛЫХ ПОЛИЭДРОВ: НОВАЯ ГЛАВА КРИСТАЛЛОМОРФОЛОГИИ

Войтеховский Ю.Л.

Кольское отделение РМО, Геологический институт КНЦ РАН woyt@geoksc.apatity.ru

Кристаллы минералов всегда поражали и поражают людей природной огранкой (рис., уральские топазы, Интернет). Это ли не чудо? Кристалломорфология, отпочковавшись от минералогии 250-300 лет назад, сначала сформулировала эмпирические закономерности, затем перешедшие в ранг законов геометрической кристаллографии. Став её поверхностной (в прямом и переносном смысле) частью, кристалломорфология не исчерпала задач, одной из которых – в коротком и популярном изложении – посвящена эта статья.

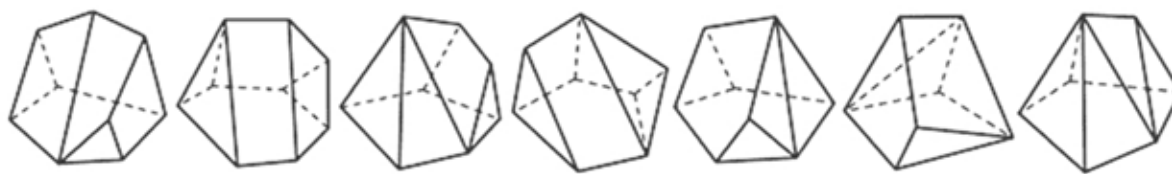


Полиэдрические формы кристаллов описываются 32 видами симметрии (рис.), в которых различным образом сочетаются плоскости, оси симметрии разрешённых порядков и центр инверсии. Лишь в одном виде симметрии (триклинные примитивные кристаллы) их нет совсем. Ось первого порядка L_1 – это, по сути, трюизм. При повороте на 360° любое тело совмещается с собой. Такую ось, более того, их бесконечное число ∞L_1 следовало бы приписать любому виду симметрии. Они пронизывают любое тело во всех направлениях и даже не пересекают их, в отличие от нормальных осей симметрии. По всем указанным причинам в этой странной ячейке лучше ставить прочерк.

Но как быть, если в этом виде симметрии принятая в кристалломорфологии теория симметрии расписывается в беспомощности, ведь каждая грань такого кристалла (моноэдр) уникальна и требует отдельного описания, а движения моноэдров вдоль нормалей приводят к полиэдрам разных комби-

наторных типов? Впрочем, как выглядят эти проблематичные выпуклые полиэдры? Простейшие из них при генерировании рекуррентным алгоритмом Е.С. Фёдорова из тетраэдра встречаются среди 7-эдров (рис.).

Сингония	Примитивный	Центральный	Планный	Аксиальный	Плантаксиальный	Инверсионно-примитивный	Инверсионно-планный
Триклинная	$-(L_1)$	C					
Моноклиная			P	L_2	L_2PC		
Ромбическая			L_22P	$3L_2$	$3L_23PC$		
Тригональная	L_3	$L_3C = L_{i3}$	L_33P	L_33L_2	L_33L_23PC		
Тетрагональная	L_4	L_4PC	L_44P	L_44L_2	L_44L_25PC	L_{i4}	$L_{i4}2L_22P$
Гексагональная	L_6	L_6PC	L_66P	L_66L_2	L_66L_27PC	$L_{i6} = L_3P$	$L_{i6}3L_23P$
Кубическая	$4L_33L_2$	$4L_33L_23PC$	$3L_{i4}4L_36P$	$3L_44L_36L_2$	$3L_44L_36L_29PC$		



Может быть, таких полиэдров совсем мало или хотя бы относительно мало в лавинообразно нарастающем многообразии выпуклых полиэдров (табл., F – число граней, V – число вершин)? В этом случае в каком-то смысле ими можно было бы пренебречь, отодвинуть в сторону? Хотя и в этом случае теоретическая задача остаётся в силе.

$\downarrow F, V \rightarrow$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
4	1																	
5		1	1															
6			1	2	2	2												
7				2	8	11	8	5										
8					2	11	42	74	76	38	14							
9						8	74	296	633	768	558	219	50					
10							5	76	633	2635	6134	8822	7916	4442	1404	233		
11									38	768	6134	25626	64439	104213	112082	79773	36528	
12										14	558	8822	64439	268394	709302	1263032	1556952	1338853

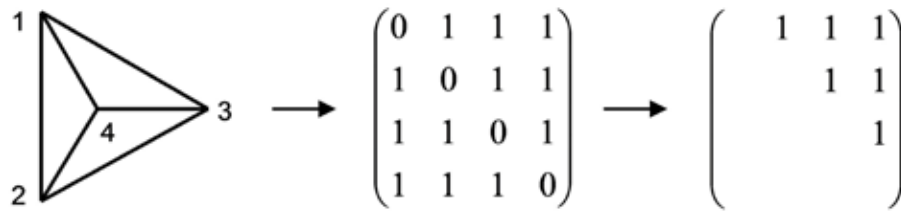
↓F, V→	17	18	19	20	22	24	26	28
11	9714	1249						
12	789749	306470	70454	7595				
13					49566			
14						339722		
15							2406841	
16								17490241

Увы, анализ точечных групп симметрии выпуклых полиэдров показывает, что в их растущем многообразии доля комбинаторно асимметричных (примитивных триклинных) форм тоже растёт, стремясь к 100%! Все 4-, 5- и 6-эдры (1, 2 и 7) симметричны. Из 7-эдров (34) асимметричны 7 (20.588 %), 8-эдров (257) – 140 (54.475 %), 9-эдров (2606) – 2111 (81.005 %), 10-эдров (32300) – 30014 (92.923 %), 11-эдров (440564) – 430494 (97.714 %), 12-эдров (6384634) – 6336013 (99.238 %), простых (у них в каждой вершине сходятся ровно 3 грани / ребра) 13-эдров (49566) – 47030 (94.884 %), 14-эдров (339722) – 331796 (97.667 %), 15-эдров (2406841) – 2382352 (98.983 %), 16-эдров (17490241) – 17411448 (99.550 %). Из сказанного следует, что нужен оригинальный способ описания комбинаторно асимметричных выпуклых полиэдров, преобладающих в многообразии довлеющим образом. Разумеется, он может распространяться и на симметричные формы. Но имеет ли проблема минералогическую подоплёку? Или её следует отнести к чистой математике?

Сингония	1860 (546)	1891 (644)	1966 (1308)	1980 (2537)	1995 (3442)	2008 (4170)
Трикл.	27-5.0	32-5.0	88-6.7	220-8.67	326- 9.47	399- 9.57
Куб.	94-17.2	98-15.2	171-13.1	264-10.41	335- 9.73	377- 9.04
Трикл. / Куб.	0.29	0.33	0.51	0.83	0.97	1.06

Замечательный российский минералог, первооткрыватель более 100 новых минералов, в основном в Хибинском и Ловозерском массивах, А.П. Хомяков показал, что на рубеже веков, по данным официальной статистики между 1995 и 2008 гг., произошла кубо-триклинная инверсия (табл.). А именно, в системе минералогии доля триклинных минералов, монотонно нарастая, впервые превысила долю кубических. Его прогноз состоит в том, что к середине XXI в. доля триклинных вырастет до 14.5 %, доля кубических упадёт до 5 %, минералы выстроятся в классический ряд: триклинные – моноклинные – ромбические – тригональные – тетрагональные – гексагональные – кубические. И следует ожидать, что среди преобладающих триклинных существенную долю составят именно примитивные. Не намёк ли это на то, что в формах кристаллических полиэдров, несмотря на «внутренние потребности» их атомарных решёток, природа странным образом

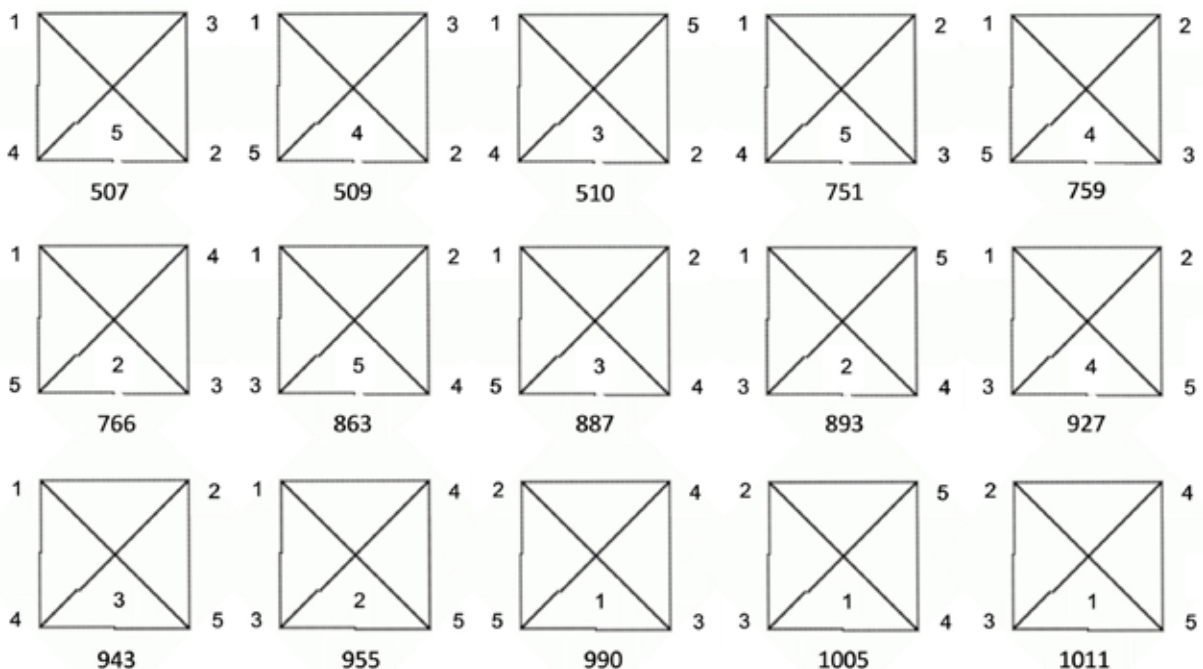
следует потенциальным возможностям, опущенным 3D пространством для полиэдров абстрактных?



Итак, считаем проблему обоснованной с геометрической и минералогической точек зрения и предлагаем её решение. Почти очевиден способ численного описания полиэдра. Рассмотрим рёберный граф тетраэдра (рис.). Произвольно нумеруем его вершины. Из-за высокой симметрии и малого числа вершин все нумерации эквивалентны. Строим матрицу смежности, симметричную относительно диагонали, заполненной нулями. Для определённости оставим верхний треугольник, который выпишем построчно. Полученный двоичный код и есть имя тетраэдра, оно короче в десятичной системе:

$$111111 = 10^5 + 10^4 + 10^3 + 10^2 + 10^1 + 10^0 \rightarrow 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 63.$$

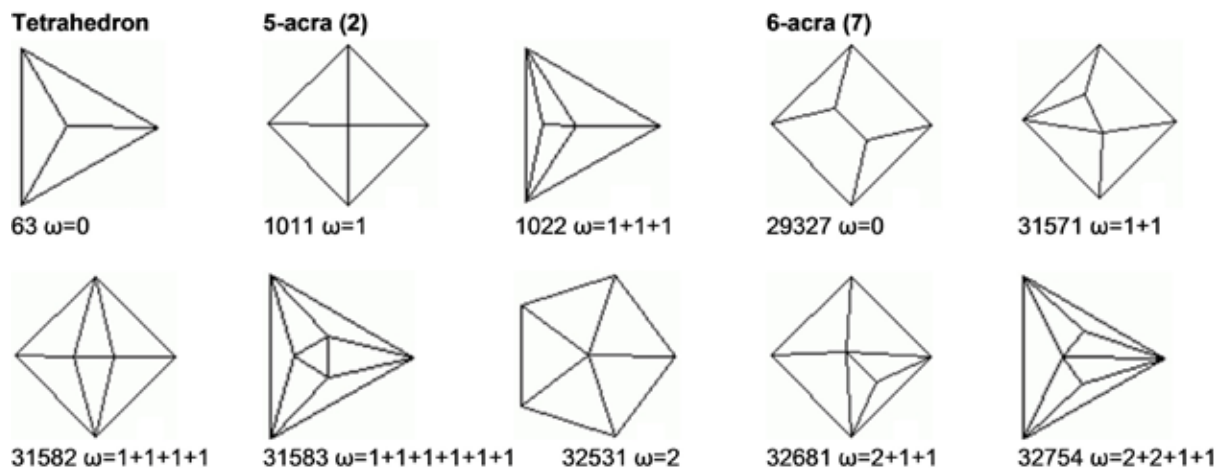
Ясно, что по нему тетраэдр восстанавливается однозначно: переводим имя из десятичной системы в двоичную, заполняем верхний треугольник матрицы смежности (снизу вверх), достраиваем её, рисуем по ней рёберный граф. Заметим, что предложенная форма описания рассматривает полиэдр как полиакрон (многовершинник).



Для полиэдра с большим числом вершин при их различных нумерациях получаются различные матрицы смежности и имена. Для 5-акров возможны $5! = 120$ нумераций вершин. Но 4-гранная пирамида имеет точечную группу симметрии $4m\bar{3}$ с порядком группы автоморфизмов 8. Поэтому не-

эквивалентных нумераций вершин и имён у неё будет $120 : 8 = 15$ (рис.). Для 3-гональной бипирамиды (второй возможный 5-акрон, точечная группа симметрии $-6m2$, порядок группы автоморфизмов 12) число имён равно $120 : 12 = 10$. Приведенное рассуждение обобщается: у n -акра есть $n! / p$ имён, где p – порядок группы автоморфизмов. Кстати, для рассмотренного выше тетраэдра с точечной группой симметрии $-43m$ получим: $n! / p = 4! / 24 = 1$ – единственное имя.

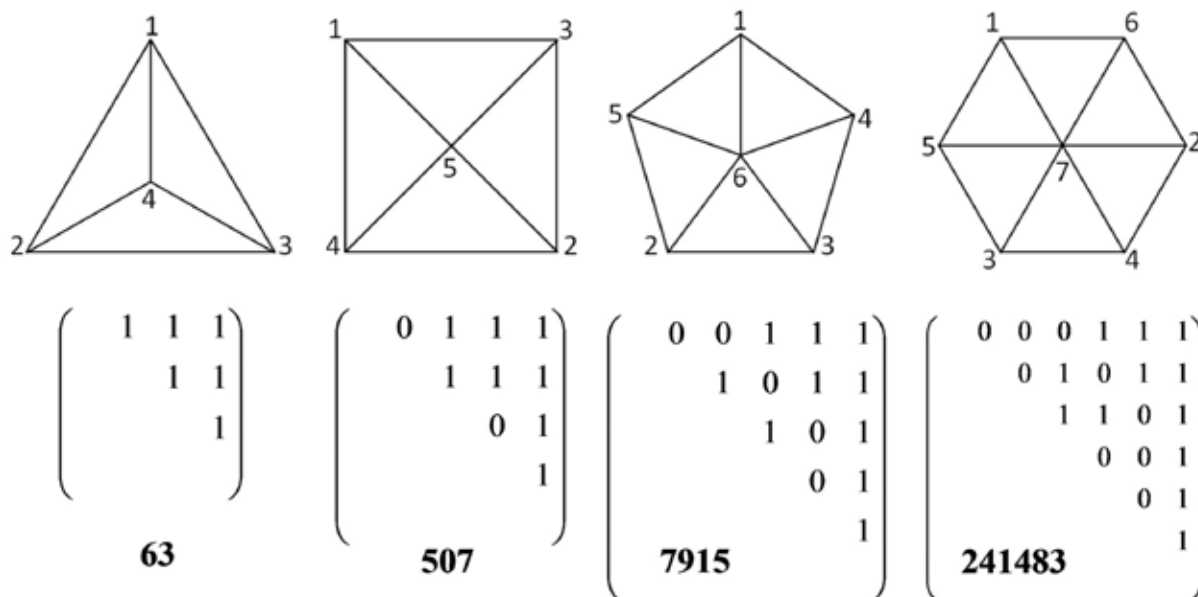
Из общего правила следует, что у комбинаторно асимметричных n -акров ($p = 1$) число имён равно $n!$. Этот результат интересен тем, что выражает свойство асимметричности полиэдра не через отрицание (отсутствие) симметричности, а через независимую характеристику (число вершин) и процедуру построения матрицы смежности, тоже не требующую теоретико-групповых преобразований. В указанном смысле всякий асимметричный полиэдр факториален, симметричный – афакториален. Число имён n -акра – показатель его симметричности: при данном n , чем больше имён – тем ниже симметрия.



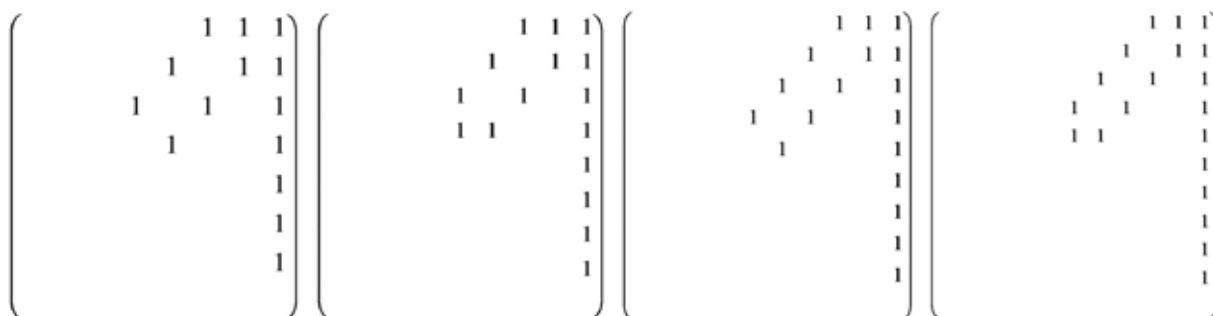
Теория развивается в разных направлениях. Так, установлена связь упорядочения выпуклых n -акров по именам (ведь они суть числа-коды) с упоминавшимся алгоритмом Е.С. Фёдорова. А именно, имеет место **теорема**: тах избыточные валентности в разложениях ω (число редукций, необходимых для получения непростого полиэдра из некоторого простого с тем же числом граней) образуют нестрогое упорядочение n -акров в классах по n , согласованное с их строгим упорядочением по тах именам. Важное **следствие**: при строгом упорядочении по тах именам непростые n -акры ($\omega \geq 2$) следуют сразу за простыми ($\omega = 0$).

Далее рассмотрим диапазоны имён для 4- ... 7-акров: [63], [507, 1022], [7915, 32754], [241483, 2096914] – они не перекрываются. Оказывается, это верно в общем случае и ведёт к упорядочению классов n -акров. Верна **теорема**: при любом упорядочении n -акров внутри классов диапазоны имён для разных n не перекрываются. Доказательство следует из сравнения матриц смежности рёберных графов n -акра с тах именем и $(n+1)$ -акра с \min именем.

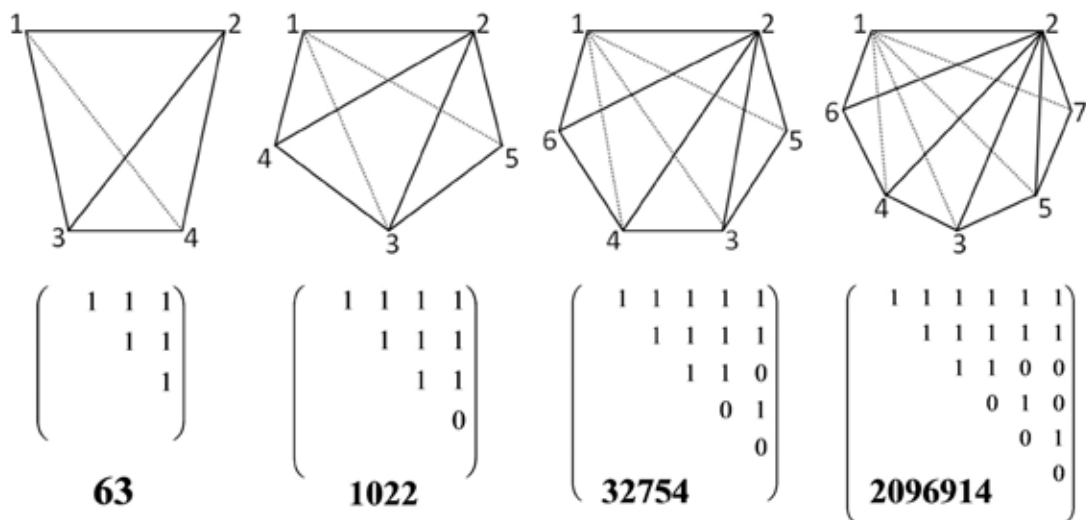
Перебором всех имён для всех 4- ... 7-акров установлено, что min имена достигаются для пирамид (рис.). Оказывается, это верно в общем случае, и верна **теорема**: в любом классе выпуклых n-акров min имена достигаются для пирамид.



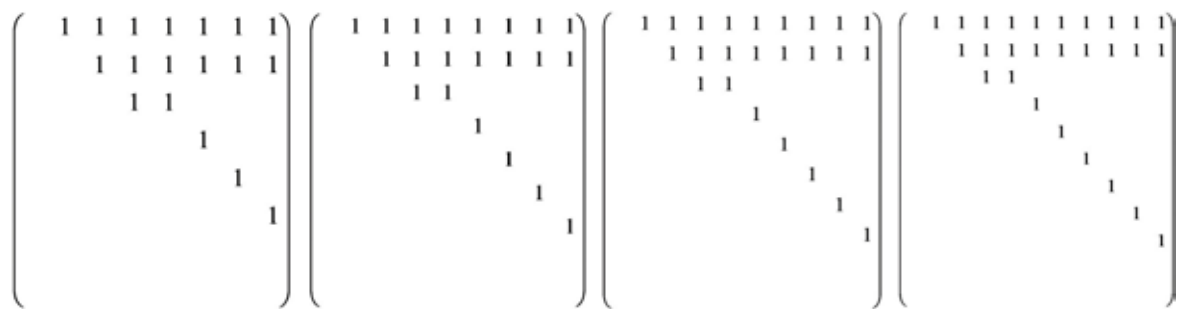
Она позволяет рассчитывать min имена выпуклых n-акров для любого n прямо из матриц смежности соответствующих рёберных графов, без их рутинного генерирования рекуррентным алгоритмом Е.С. Фёдорова и не менее рутинного перечисления всех имён для каждого n-акра при различных нумерациях вершин. Так, для 8- ... 11-акров из матриц смежности рёберных графов пирамид (рис., даны верхние треугольники, 0 опущены) при оптимальной нумерации вершин получим следующие min имена в классах: 15062603, 1902830667, 484034528331, 247052243600459.



Аналогично, перебором всех имён для всех 4- ... 7-акров установлено, что max имена достигаются для полиэдров типа «склеенных тетраэдров с общим ребром» (рис.). Доказана соответствующая **теорема**: в любом классе выпуклых n-акров max имена достигаются для полиэдров типа «склеенных тетраэдров с общим ребром».



В свою очередь, она позволяет рассчитывать тах имена выпуклых n -аэров для любого n прямо из матриц смежности соответствующих рёберных графов (рис.). Для 8- ... 11-аэров получены значения: 268427538, 68718960914, 35184305512722, 36028779906736402.



Что дают нам эти числа, убегающие по числовой оси в бесконечность? Посмотрим внимательно на интервалы $[\min_n, \max_n]$ для последовательных значений $n = 4 \dots 12$: $[63, 63]$, $[507, 1022]$, $[7915, 32754]$,

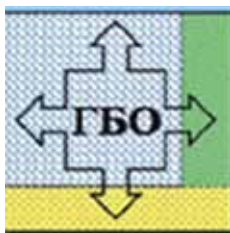


[241483, 2096914], [15062603, 268427538], [1902830667, 68718960914], [484034528331, 35184305512722], [247052243600459, 36028779906736402], [252590061511541835, 73786967515992695058]... На первый взгляд, ничего особенного, разве что интервалы не перекрываются, как это было указано выше. Не скажите! Гармония кроется в отношениях левых и правых границ интервалов. А именно, верны **теоремы**: при $n \rightarrow \infty$ имеют место пределы $\max_{n+1} / \max_n \rightarrow 2^n$, $\min_{n+1} / \max_n \rightarrow 7$, и др. Они показывают, что правые концы интервалов устремляются в бесконечность ускоренно, а левые спешат за ними так, что зазор между интервалами (в относительном смысле) остаётся постоянным. И это позволяет нам уподобить выпуклые n -акры разбегающимся галактикам, подобно им, таящим в себе ещё много задач для пытливого ума.

Кристаллы минералов всегда будут привлекать нас игрой цвета и блеском граней (рис., флюориты, Интернет). Большинству населения Земли этого достаточно. Тем же, кто получает от геометрии кристаллов интеллектуальное удовольствие, автор постарался показать, что кристалл далеко не исчерпан даже в своей поверхностной части. Что же говорить о его внутреннем содержании? Но это тема последующих статей... Обо всех затронутых аспектах можно прочесть в статьях автора [1-10].

Литература

1. Войтеховский Ю.Л., Степенщиков Д.Г. Комбинаторная кристалломорфология. Кн. IV. Выпуклые полиэдры. Т. I. 4- ... 12-эдры. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. 833 с.
2. Войтеховский Ю.Л., Степенщиков Д.Г. Комбинаторная кристалломорфология. Кн. IV. Выпуклые полиэдры. Т. II. Простые 13- ... 16-эдры. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. 828 с.
3. Voytekhovsky Y.L. On the symmetry of 4- to 11-hedra // Acta Cryst. 2001. A57. P. 112-113.
4. Voytekhovsky Y.L. The Fedorov algorithm revised // Acta Cryst. 2001. A57. P. 475-477.
5. Voytekhovsky Y.L., Stepenshchikov D.G. On the symmetry of 9- and 10-hedra // Acta Cryst. 2002. A58. P. 404-407.
6. Voytekhovsky Y.L., Stepenshchikov D.G. On the symmetry of simple 12- and 13-hedra // Acta Cryst. 2002. A58. P. 502-505.
7. Voytekhovsky Y.L., Stepenshchikov D.G. On the symmetry of 11-hedra // Acta Cryst. 2003. A59. P. 195-198.
8. Voytekhovsky Y.L., Stepenshchikov D.G. On the symmetry of simple 14- and 15-hedra // Acta Cryst. 2003. A59. P. 367-370.
9. Voytekhovsky Y.L., Stepenshchikov D.G. The variety of convex 12-hedra revised // Acta Cryst. 2005. A61. P. 581-583.
10. Voytekhovsky Y.L., Stepenshchikov D.G. On the symmetry of simple 16-hedra // Acta Cryst. 2006. A62. P. 230-232.



INEP
KSC RAS



ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОЗЁРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЕВРО-АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Кашулин Н.А.

Хибинское отделение Гидробиологического общества,

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, vladimir@inep.ksc.ru

Одно из направлений деятельности Хибинского отделения Гидробиологического общества – палеолимнологические исследования озёрных экосистем. Они проводятся методами стратиграфического анализа донных отложений (ДО) (хемо- и биостратиграфия) и реконструкции исторического развития водных экосистем. Наиболее информативными показателями, отражающими динамику изменений климата и интенсивности нагрузки элементов, являются содержание химических элементов и створок диатомовых водорослей в ДО. Пример палеолимнологических исследований долговременных изменений озёрных экосистем Евро-Арктического региона, проведенных Хибинским отделением Гидробиологического общества и лабораторией водных экосистем – оз. Раббватн (N 69°39'09.83», E 30°27'42.82»), расположенное на побережье Баренцева моря (Ярфьорд, Норвегия). Озеро находится в 30 км по направлению преобладающих направлений ветров от основных производственных площадок (рудники, цеха плавильные, обжиг руды и получения фэйнштейна) комбината «Печенганикель». Поэтому профили распределения ТМ в ДО озера достоверно отображают все изменения, связанные с деятельностью комбината.

Колонка ДО в оз. Раббватн длиной 45 см взята в глубоком месте озера отборником колонок ДО открытого гравитационного типа (внутренний диаметр 44 мм) с автоматически закрывающейся диафрагмой. Отборник изготовлен из плексигласа по образцу, разработанному Скогхеймом [1], позволяющему транспортировать колонки ДО ненарушенными для дальнейшего использования. Колонки ДО разделены на слои по 1 см (первые 10 см на слои по 0.5 см), помещены в полиэтиленовые контейнеры и отправлены в лабораторию, где хранились при 4 °С до анализа. Первичная обработка проб ДО (высушивание, определение влажности, прокаливание и определение потерь при прокаливании) и определение содержания элементов (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, Hg, Mn, Fe, Cr, Na, K, Ca, Mg, Sr, Al, P) проводились в Центре коллективного пользования ИППЭС КНЦ РАН. Методика определения содержания элементов описана в [2-4].

Анализ скоростей осадконакопления в исследуемом озере выполнен в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, для чего проводили определение активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{210}Pb в пробах ДО с использованием метода неdestructивной гамма-спектрометрии на низкофоновом гамма-спектрометре Canberra Industries с полупроводниковым детектором на основе особо чистого Ge с активным диаметром 70 мм и толщиной 25 мм. Рассчитанное значение абсолютных скоростей осадконакопления в озере составило 0.065 см/год, поэтому возраст исследуемой колонки около 620 лет.

На основе динамики содержания химических элементов и видового состава и структуры диатомовых комплексов в колонке ДО озера выделены стадии их накопления, соответствующие периодам развития экосистемы озера (рис. 1, 2). Увеличение содержания Ni, Cu и Co в ДО озера обнаруживается в слоях, возраст которых оценивается 1920-ми – 1930-ми гг., когда началась разработка Печенегских Cu-Ni месторождений совместной канадско-финской компанией (после Октябрьской революции территория

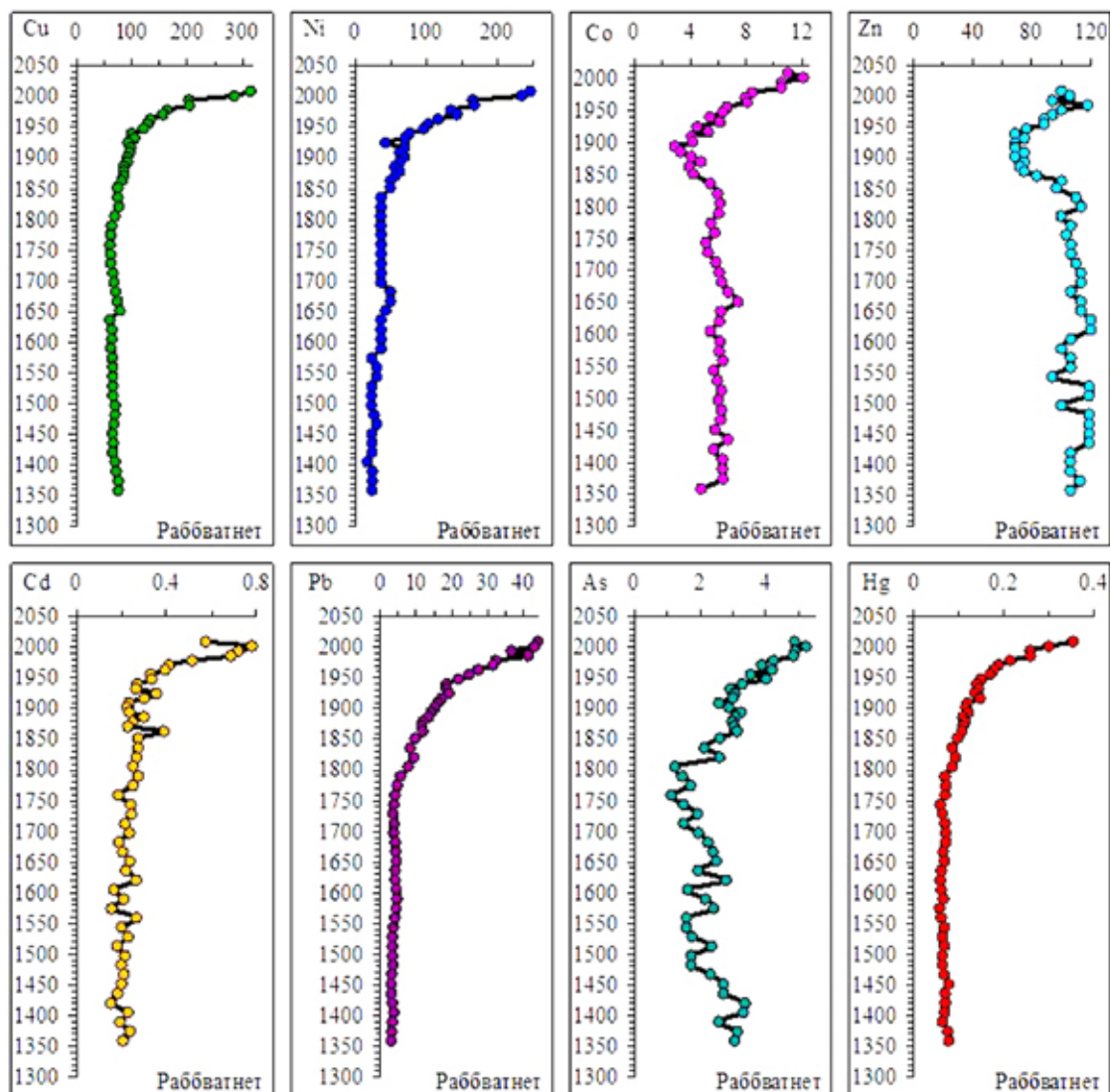


Рис. 1. Вертикальное распределение концентраций ТМ (мкг/г сухого веса) в ДО оз. Раббватнет.

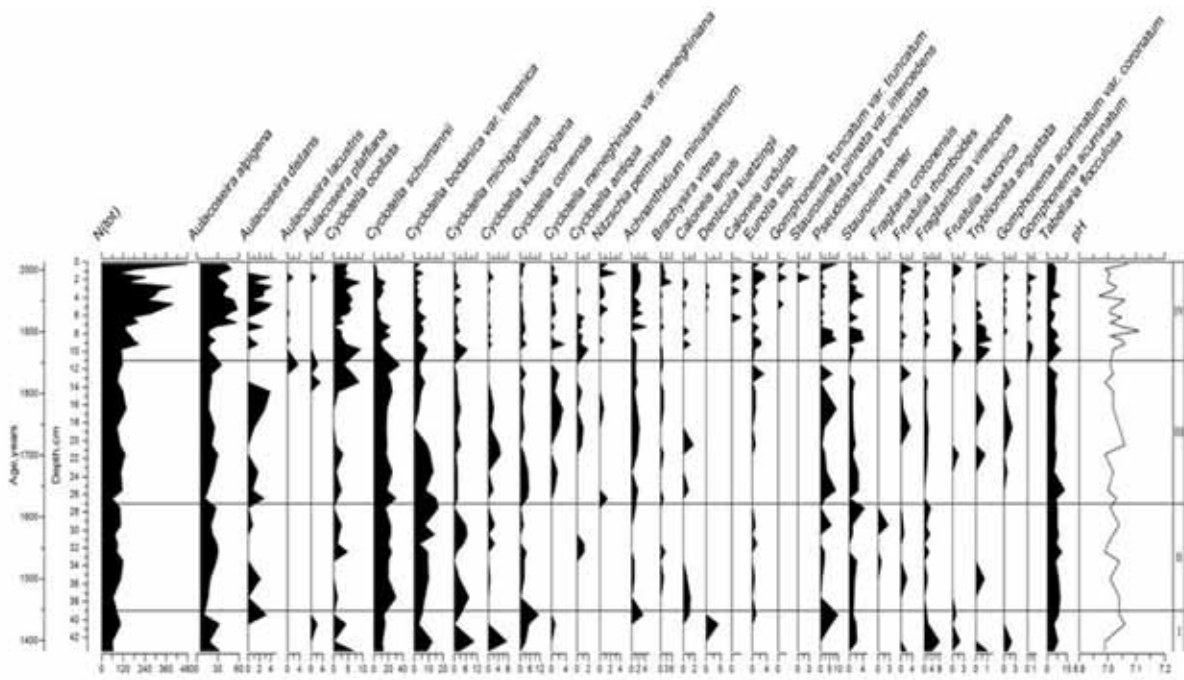


Рис. 2. Диатомовая диаграмма (%) донных отложений оз. Раббватн (Норвегия). $N(tot)$ – общая численность створок диатомей, млн.экз./г.сух.в-ва, pH – реконструированные по диатомеям значения.

нынешнего Печенегского р-на отошла к Финляндии до возвращения в состав СССР по окончании Великой отечественной войны), а максимальный рост зафиксирован в 1970-1980-е гг. прошлого столетия, во время максимального производства и наибольших атмосферных выбросов ТМ (рис. 1).

Халькофильные высокотоксичные элементы Cd, Pb, As и Hg в последние десятилетия рассматриваются многими экологами как глобальные элементы-загрязнители [5]. Заметный рост концентраций Pb, As и Hg в ДО оз. Раббватн зафиксирован в середине XIX в. (рис. 1), что может быть связано с развитием промышленности в Европе, увеличением атмосферных выбросов в окружающую среду и воздушной миграцией в направлении Арктики. С этого времени происходит постоянное увеличение их содержания вследствие усиления металлургического производства. Особенно заметно увеличение Pb в ДО в середине прошлого века. Это связано с интенсивным развитием промышленности после II мировой войны, в том числе с усиливающимся использованием этилированного бензина и возобновлением металлургического производства в регионе. Снижение Pb в поверхностном слое ДО датируется 1-2 десятилетиями, что может быть связано со снижением производства ТМ после распада СССР и глобального выброса Pb в последние десятилетия. Возможно, основной причиной снижения Pb в последние годы является запрещение использование этилированного бензина в Европе и России.

Таксономический состав диатомей в ДО оз. Раббватн изучен селективно с помощью сканирующей электронной микроскопии (рис. 2). На основе динамики видового состава и структуры диатомовых комплексов в колонке выделено 4 зоны осадконакопления, соответствующие периодам развития

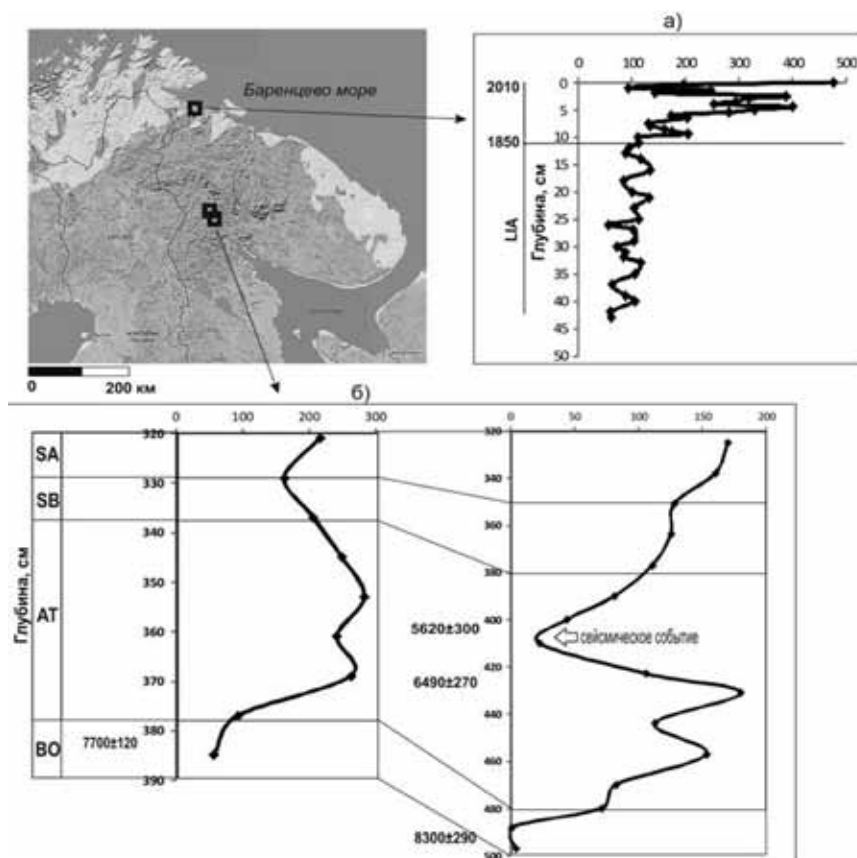


Рис. 3. Карта-схема расположения исследованных озёр и историческая динамика содержания диатомей в ДО (млн./г сух. в-ва): а) современные ДО оз. Раббватн, датированные по ^{210}Pb и ^{137}Cs ; б) голоценовые отложения, датированные по ^{14}C . Хронологические периоды голоцена: BO – бореальный, AT – атлантический, SB – суббореальный, SA – субатлантический, LIA – малый ледниковый период.

экосистемы озера.

Зона I – самые древние отложения, вероятно, сформированные в средневековый климатический оптимум, о чем свидетельствует наличие *Fragilariforma virescens* (Ralfs) D.M. Will. & Round и *Cyclotella kuetzingiana* Thw., предпочитающие сравнительно мягкий климат и мезотрофным воды.

Зона II соответствует периоду некоторого похолодания климата и уменьшения объёма воды в озере. Происходило уменьшение доли планктонных форм с увеличением бентосных; термофильные виды исчезли из ДО.

Зона III соответствует снижению обилия доминирующих видов рода *Cyclotella* и доли бореальных видов. Возможно, происходило дальнейшее снижение уровня воды в водоёме.

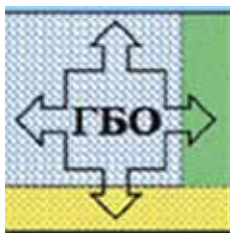
Зона IV отражает начало антропогенного воздействия в результате глобального промышленного развития в Европе в XIX в. и начало деятельности комбината «Печенганикель» в XX в. Радикально отличается от предыдущих резким увеличением общей численности диатомей в результате окончания Малого ледникового периода (LIA) после 1850 г., что хорошо согласуется с реконструкцией температур [6]. Увеличение доли планктонных видов указывает на рост глубины озера. Несмотря на выбросы диоксида серы, резкого снижения pH выявлено не было.

Диатомовые зоны I – III соответствуют Малому ледниковому периоду (LIA). Оз. Раббватн является типичным арктическим озером с коротким периодом открытой воды и низкой продуктивностью водорослей. Диатомовые комплексы не претерпели кардинальной трансформации: все изменения в экосистеме водоёма были, вероятно, сглажены под воздействием морской климатической системы. Зона IV соответствует современному периоду развития (с 1850 г.). Общее обилие диатомовых увеличилось в 4 раза, в результате потепления климата после окончания LIA. Таким образом, важным показателем климатических изменений в Арктических регионах является общая численность диатомей в ДО.

Структура диатомовых комплексов ДО и их количественные показатели могут использоваться в качестве индикатора палеосейсмических событий (землетрясений) в историческом прошлом (рис. 3). Так, показано резкое сокращение содержания створок диатомей с последующей сменой доминантных таксонов в ответ на палеосейсмическое событие в среднем голоцене, которое получило подтверждение литостратиграфическими и палинологическими данными [7]. Анализ современных ДО с датировками высокого разрешения (^{210}Pb , ^{137}Cs) позволил выявить резкое увеличение продукционных показателей с 1850 г. как результат потепления после окончания Малого ледникового периода (рис. 3а). В слоях ДО, соответствующих последним десятилетиям, зафиксирована максимальная для исследованной колонки численность диатомей, что является отражением современного потепления климата в Арктике.

Литература

1. Skogheim O.K. Rapport fra Arungenprosjektet. Oslo: As-NLH. 1979. N 2. 7 p.
2. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озёр. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
3. Даувальтер В.А., Кашулин Н.А., Сандимиров С.С. Тенденции изменений химического состава донных отложений пресноводных Субарктических и Арктических водоёмов под влиянием природных и антропогенных факторов // Тр. Кольского НЦ РАН. Прикладная экология Севера. 2012. № 2(9). С. 54-87.
4. Даувальтер В.А. Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской Субарктики (природоохранные аспекты проблемы). Автореф. дис. уч. ст. д.г.н. Москва: ИВП РАН, 1999. 52 с.
5. Расуна J.M., Расуна E.G. An assessment of global and regional emissions of trace elements to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide // Environ. Rev. 2001. V 4. P 269-298.
6. Клименко В.В., Слепцов А.М. Комплексная реконструкция климата Вост. Европы за последние 2000 лет // Изв. РГО. 2003. № 6. С. 45-53.
7. Николаева С.Б., Лаврова Н.Б., Денисов Д.Б. и др. Следы катастрофических процессов в донных осадках озер западного побережья оз. Бабинская Имандра, Кольский регион // Изв. РГО. 2016. № 4. С. 38-52.



УНИКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

Даувальтер В.А., Кашулин Н.А.

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

Если кому-то задать вопрос, что такое вода, то первой реакцией будет удивление, второй – скорее всего, формула H_2O . Потом, наверное, последует разъяснение о том, что вода – это широко распространённое вещество и к тому же крайне полезное, но в целом в нём нет ничего особенного. Действительно, что может быть проще H_2O ? Два атома водорода соединены с одним атомом кислорода. Трудно поверить в необыкновенность, а тем более таинственность такого обыкновенного соединения. Но оказывается, что воде свойственны и необыкновенность, и таинственность, и уникальность. Анализ обыкновенной воды показывает, что на самом деле это смесь нескольких разновидностей воды с общей формулой H_2O , представляющих собой соединения изотопов кислорода и водорода. Кроме обычного водорода в природе встречается водород с массой 2 – дейтерий (D), и ещё более тяжёлый водород с массой 3 – тритий (T). У кислорода выявлены, кроме обычного с атомным весом 16, ещё два более тяжёлых изотопа: с атомными весами 17 и 18.

Теоретически могут существовать 42 изотопных разновидности воды, из которых только 7 устойчивы, т.е. не радиоактивны. Но пока обнаружены далеко не все. Вот их-то смесь и образует реальную гидросферу. 99.73 % гидросферы состоит из обычной воды с молекулярным составом H_2O^{16} . Ещё 0.04 % – тяжелоокислородная вода H_2O^{17} и 0.02 % – вода H_2O^{18} . Доля тяжёлой воды DO_2 в природных водах составляет в среднем 1/6800, примерно 0.15 мл

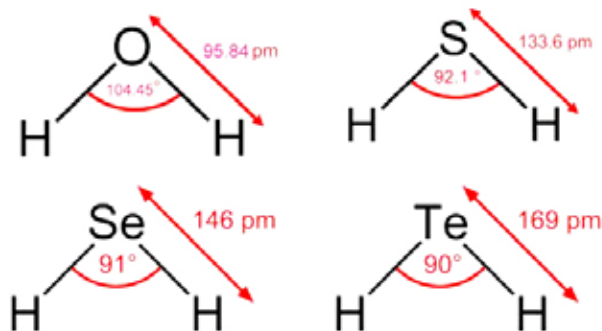


Рис. 1. Структура молекул соединений водорода с элементами VI группы таблицы Д.И. Менделеева.

на 1 л природной воды. Тяжёлая вода имеет плотность 1.104 г/см^3 , кипит при $101.43 \text{ }^\circ\text{C}$, а лёд из тяжёлой воды плавится при $3.813 \text{ }^\circ\text{C}$. Тяжёлая вода испаряется медленнее, чем обыкновенная, и может быть, поэтому в некоторых замкнутых водоёмах происходит обогащение тяжёлой водой. Она угнетает живые организмы, а в больших дозах даже вызывает их гибель, поэтому носит название «мёртвая вода».

Во второй половине XIX века Д.И. Менделеев, демонстрируя возможности созданной им системы химических элементов, предсказал существование ещё не известных науке элементов, а также свойств этих элементов и их соединений, в соответствии со сформулированным им законом: «Свойства химических элементов в образуемых ими простых и сложных соединениях находятся в периодической зависимости от молекулярной массы». Аналогом кислорода по таблице Д.И. Менделеева служит ряд: сера (S), селен (Se), теллур (Te). Их соединения с водородом, подобные воде: H_2S , H_2Se и H_2Te (рис. 1). Заряд ядра определяет физические свойства веществ этого ряда. Действительно, если H_2Te – вещество с самым тяжёлым молекулярным весом этого ряда – кипит при $-2\text{ }^\circ\text{C}$, а замерзает при $-49\text{ }^\circ\text{C}$, то два других, более лёгких соединения H_2Se и H_2S кипят и замерзают при более низкой температуре, прямо пропорциональной их молекулярным весам. Но самое лёгкое из этого ряда соединений – вода – не признает никаких закономерностей: она должна была бы замерзнуть при $-88\text{ }^\circ\text{C}$, а замерзает при $0\text{ }^\circ\text{C}$, кипеть при $-70\text{ }^\circ\text{C}$, а кипит при $100\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 2, табл. 1).

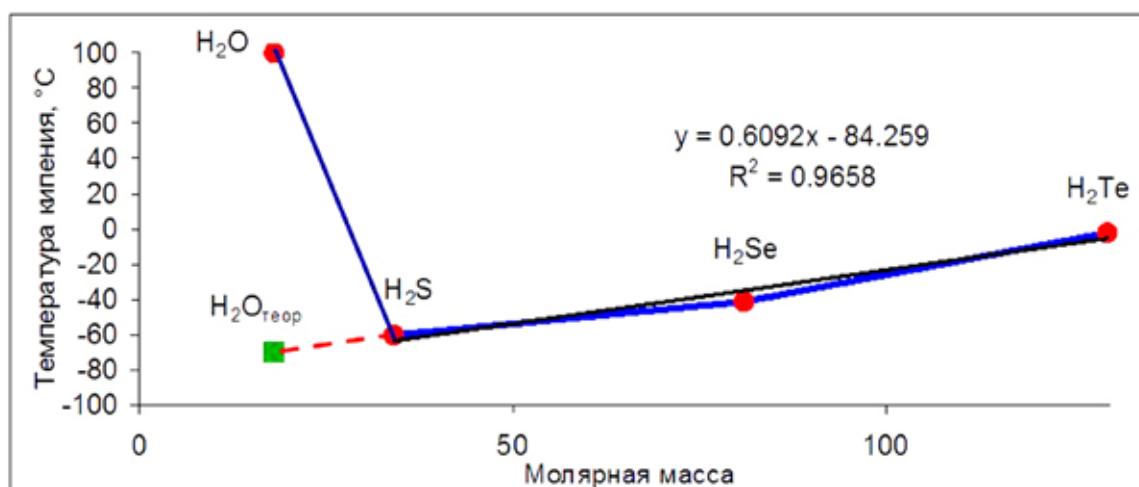
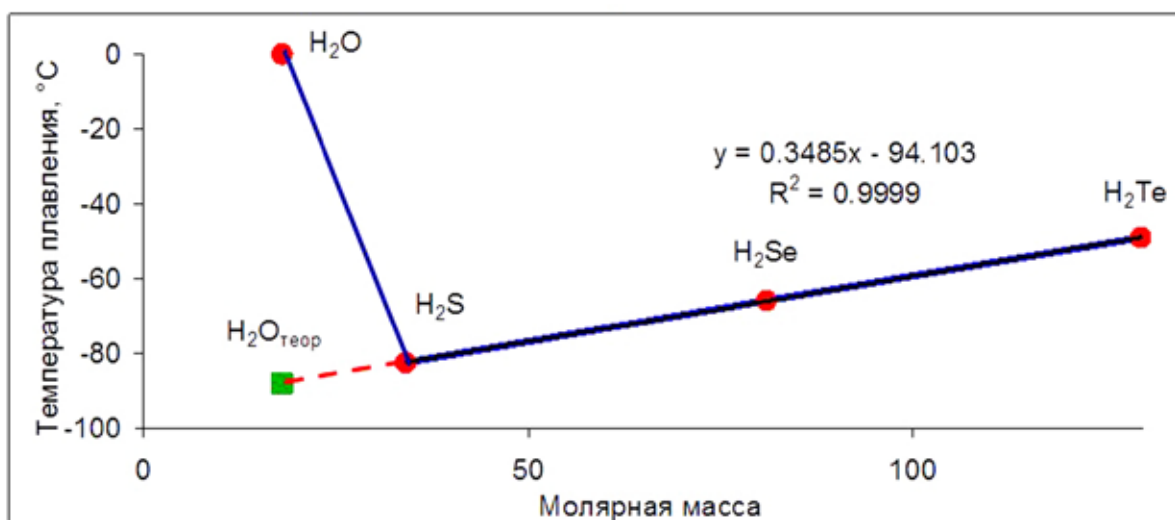


Рис. 2. Температуры плавления и кипения воды – реальные и теоретические.

Таблица 1. Физические показатели соединений водорода с элементами VI группы таблицы Д.И. Менделеева. ¹ Для стандартных условий 25 °С, 100 кПа.

Показатель	H ₂ O	H ₂ S	H ₂ Se	H ₂ Te
Температура плавления, °С	0.00	-82.30	-65.73	-49.00
Температура кипения, °С	99.97	-60.28	-41.25	-2.20
Период в таблице Менделеева	2	3	4	5
Молекулярная масса	18.0153	34.0820	80.9758	129.6159
Плотность ¹ , г/см ³	0.9982	1.5206×10 ⁻³	3.31×10 ⁻³	3.31×10 ⁻³

Вода отличается и по другим свойствам от «родственных» соединений водорода с элементами VI группы таблицы Д.И. Менделеева. Она представляет собой нейтральную бесцветную жидкость без вкуса и запаха. Все другие соединения водорода с аналогами кислорода – сероводород H₂S, селеноводород H₂Se, теллуридоводород H₂Te – в нормальных условиях представляют собой ядовитые сильно пахнущие газы, особенно H₂Se, который намного более токсичен, чем H₂S. Он имеет настолько отвратительный запах, что отравиться им весьма проблематично: его запах ощущается уже при объёмном соотношении в 0.05 ‰. При 0.3 ‰ газ начинает раздражать органы дыхания, а с 1.5 ‰ запах становится совершенно невыносимым. Воздействие более высоких концентраций менее чем за минуту вызывает поражение органов дыхания с симптомами, сходными с простудой.

Молекула воды характеризуется значительной полярностью вследствие того, что в ней оба атома водорода располагаются не на прямой, проведенной через центр атома кислорода, а по одну сторону от него. Сторона молекулы с атомом кислорода имеет некоторый избыток отрицательного заряда, а противоположная сторона, в которой размещены атомы водорода – избыток положительного заряда. Наличием полярности и некоторых других сил обусловлена способность молекул воды объединяться в агрегаты по несколько молекул. Простая, не объединившаяся с другой молекула воды H₂O называется *гидроль*, образование из двух объединившихся молекул воды, т.е. (H₂O)₂

– *дигидроль*, а соединение из трёх молекул (H₂O)₃ – *тригидроль* (рис. 3).

Во льду преобладают молекулы тригидроля, имеющие наибольший объём, а простые, необъединившиеся молекулы в нём отсутствуют (табл. 2). В парообразном состоянии, при температуре выше 100 °С, вода состоит главным образом из молекул гидроля, так как значительная скорость движения молекул при этой температуре нарушает ассоциацию молекул.

В жидком состоянии вода представляет собой смесь гидроля, дигидроля и тригидроля, соотношение между которыми меняется с изменением температуры.

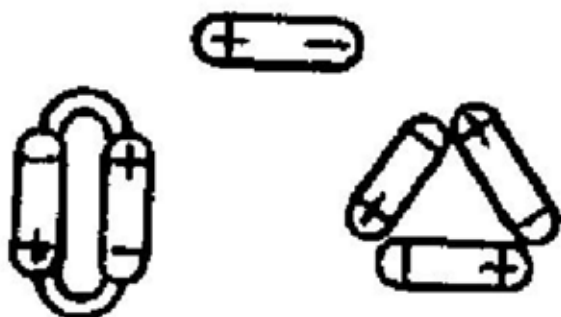


Рис. 3. Образование диполями воды ассоциированных молекул дигидроля и тригидроля.

Таблица 2. Соотношение между формами молекул воды в зависимости от температуры, %.

Форма молекулы	Лёд	Вода			
		0 °С	4 °С	38 °С	98 °С
H ₂ O	0	19	20	29	36
(H ₂ O) ₂	41	58	59	50	51
(H ₂ O) ₃	59	23	21	21	13

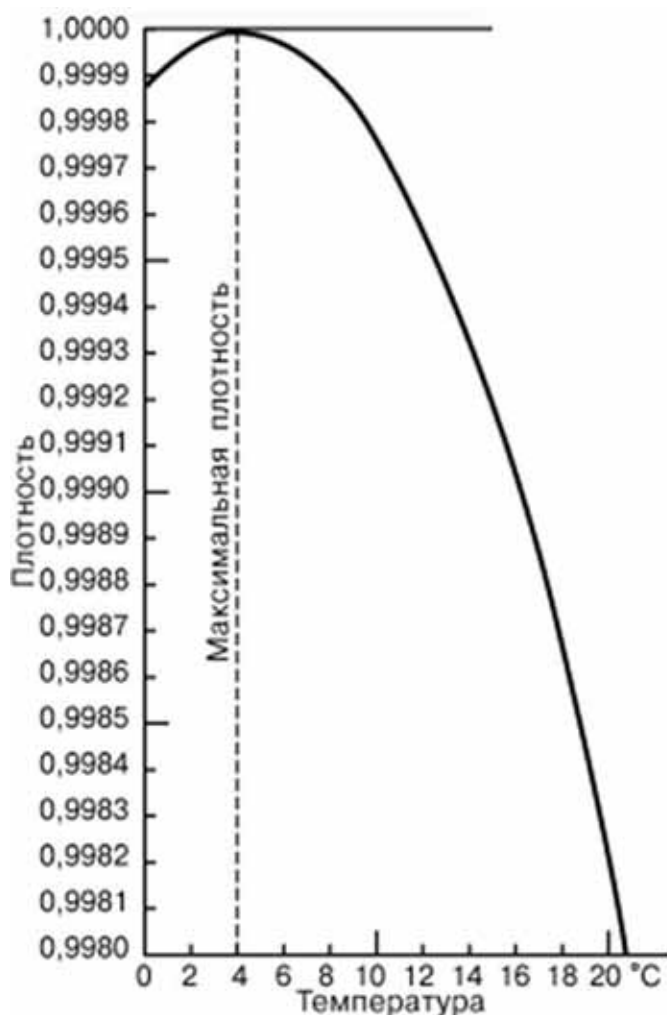


Рис. 4. Зависимость плотности воды от температуры.

Плотность воды зависит от её температуры, минерализации, давления, количества взвешенных частиц и растворённых газов. С повышением температуры плотность всех жидкостей, как правило, уменьшается. Вода ведёт себя аномально: при температурах выше 4 °С её плотность с повышением температуры уменьшается, а в интервале температур 0-4 °С увеличивается (рис. 4). При нагревании воды идут два параллельных процесса: первый — нормальное увеличение объёма за счёт увеличения расстояния между молекулами, второй — уменьшение объёма благодаря возникновению более плотных гидролей и дигидролей. В зоне температур выше 4 °С интенсивнее происходит первый процесс, в интервале 0-4 °С — второй.

При переходе воды из жидкого состояния в твёрдое

(лёд) плотность скачкообразно изменяется приблизительно на 9%; плотность дистиллированной воды при 0 °С равна 0,99987, а плотность льда, образовавшегося из той же воды при 0 °С, равна 0,9167. С понижением температуры плотность чистого льда несколько возрастает и при – 20 °С достигает 0,92.

С повышением температуры исчезает твёрдая фаза — лёд, с понижением температуры — жидкая фаза — вода (рис. 5). Система из трёхфазной становится двухфазной. Тройная точка (0) — место пересечения кривых I, II, III — соответствует инвариантной системе, т.е. число её степеней свободы равно нулю. Изобара с давлением $1,013 \cdot 10^5$ Па пересекает кривую I при температу-

ре кипения воды. Точки кривой I соответствуют таким значениям температуры и давления, при которых жидкая вода и водяной пар находятся в равновесии (кривая кипения). Аналогично, кривая II – кривая плавления, III – кривая сублимации. Отклонение кривой II к оси ординат с повышением давления указывает на снижение температуры плавления, что обусловлено меньшей плотностью льда по сравнению с водой.

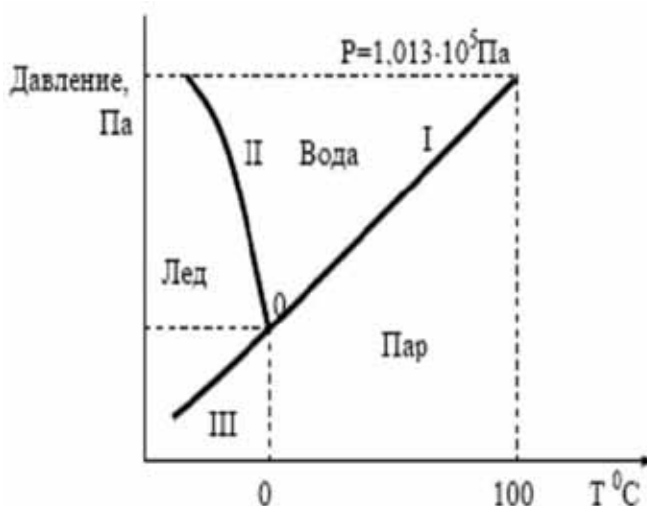


Рис. 5. Фазовая диаграмма воды.

Если очень чистую воду охлаждать, тщательно предохраняя её от сотрясения, то лёд долго не образуется, несмотря на низкую температуру; практически такое охлаждение производилось до $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$. Но переохлаждённая вода неустойчива: при внесении в неё кристаллика льда или при встряхивании она сразу превращается в лёд. Переохлаждение воды в естественных водоёмах на $0.005\text{--}0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ встречается часто. В грунтах вследствие повышенной минерализации переохлаждение воды может быть более значительным. Способность чистой воды к переохлаждению приводит к таким явлениям на пресноводных водоёмах, как образование внутриводного льда, который забивает решётки водоприёмных устройств в зимний период.

Своеобразный режим изменения плотности воды в связи с изменением температуры имеет колоссальное значение в природе. Благодаря этому естественные водоемы (например, озёра) при отрицательных температурах воздуха зимой даже в условиях сурового климата не промерзают до дна в случае достаточной глубины водоёма. При этом под ледяным покровом остается жидкая вода, потому что при промерзании лёд, значительно более лёгкий, чем вода, остаётся на поверхности водоёма, на дно которого опускаются охладившиеся до $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ наиболее плотные массы воды.

Если бы вода не обладала способностью уменьшать свою плотность при затвердевании (льдообразовании) за счёт увеличения объёма, то формирующийся в водоёмах лёд осел бы на дно, и вся гидросфера очень быстро могла бы превратиться в огромную глыбу льда. Это привело бы к необратимым изменениям на Земле, которая, обледенев, не смогла бы выйти из этого состояния. Характер изменения плотности воды создаёт условия для расслоения (стратификации) воды по плотности подо льдом таким образом, что зимой в пресных водоемах с глубиной вода становится теплее. Её температура от нижней поверхности льда до дна повышается от 0 до $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. температуры наибольшей плотности.

Пары воды в атмосфере играют важную роль: они перехватывают и поглощают тепловое (инфракрасное) излучение Земли, создавая парниковый

эффект. Роль водяного пара в парниковом эффекте намного существеннее, чем роль углекислого газа (табл. 3).

Таблица 3. Основные парниковые газы атмосферы Земли.

Газ	Формула	Вклад в парниковый эффект, %
Водяной пар	H ₂ O	36-72
Диоксид углерода	CO ₂	9-26
Метан	CH ₄	4-9
Озон	O ₃	3-7

Атмосферную влагу можно сравнить с тёплым одеялом, окутывающим нашу Землю. Главный вклад в парниковый эффект земной атмосферы вносит водяной пар или влажность воздуха тропосферы. Влияние других газов менее существенно по причине их малой концентрации. В последнее время нас пугают парниковым эффектом в связи с «глобальным потеплением климата», главную роль в этом отводят выбросам углекислого газа из антропогенных источников. Как мы видим, главную роль в парниковом эффекте играет вода, точнее её пары. На фоне запугивания последствиями «глобального потепления климата», если задать вопрос обычным людям: «Парниковый эффект – это хорошо или плохо?», большинство однозначно ответит: «Плохо!». Подсчитано, что поток энергии от нашего главного источника тепла – Солнца – и поток внутреннего тепла Земли обеспечили бы среднюю температуру поверхности Земли –21 °С. На самом деле средняя температура земной поверхности в настоящее время равна +15 °С, т.е. на 36° больше. Это объясняется свойствами земной атмосферы задерживать тепловое длинноволновое излучение, которое и называется парниковым эффектом. Именно благодаря парниковому эффекту на Земле имеются столь благоприятные условия для развития органической жизни – тепловые и световые режимы. И вода, точнее её пары, играет в этом ведущую роль.

В атмосфере содержится 58×10^{15} моль углерода в составе углекислого газа. В отличие от кислорода, основная масса которого заключена в атмосфере, лишь около 2 % свободного CO₂ находится в газообразном состоянии в воздухе. Оставшиеся 98 % углекислого газа (2943×10^{15} моль углерода) растворены в гидросфере и, таким образом, заключены в Мировом океане.

Запасы кислорода в атмосфере составляют порядка 1.5×10^{20} моль. Единственным источником поступления кислорода в окружающую среду являются процессы фотосинтеза. Зелёные растения биосферы ежегодно выделяют в атмосферу около 4.67×10^{17} г кислорода. Из этого количества 11.3 % (5.3×10^{16} г) производят наземные растения и 88.7 % (4.14×10^{17} г) водные растения. Таким образом, растения и особенно растения океана играют исключительную роль в накоплении кислорода в атмосфере Земли. Доклад подготовлен по монографии [1].

Литература

1. Даувальтер В.А., Кашулин Н.А. Геоэкология озёр Мурманской области. В 3 ч. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2014.



КВАНТОВАЯ УПРУГОСТЬ И МАКРОСКОПИЧЕСКИЙ ГРАВИТАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ (ВОЛНА ТВЁРДОГО ПРИЛИВА)

Ильченко В.Л.

Геологический институт КНЦ РАН,
vadim@geoksc.apatity.ru

Введение

Поиск пути объединения теорий (гравитационной и квантовой) затруднен слабостью гравитационных волн, из-за чего их нельзя обнаружить современными приборами [2]. При этом не прекращаются работы в «нетрадиционных» направлениях, наиболее перспективным среди которых выглядит «Ритмодинамика» Ю. Иванова [3], построенная на исследовании волновых свойств материи; здесь элементарные частицы (атом, электрон и т. п.) в кристаллах и прочих объектах рассматриваются как осцилляторы, самоорганизующиеся в системы (пакеты) стоячих волн, что обеспечивает (в т. ч.) прочность межатомных связей. Важнейшее достижение «Ритмодинамики» – открытие эффекта сжимания стоячих волн (ССВ) [3] (реакция на изменение динамических условий в волновой среде).

Приливная волна, по её свойствам (компактная форма, долгий срок жизни, внешний источник энергии) напоминает солитон. Лунный прилив на Земле – пара волн-антиподов на противоположных ее сторонах – делает это явление весьма схожим с двойным солитоном – бризером. Бризер и внешне выглядит как волна, внутри которой действительно пульсирует стоячая волна сжатий и разрежений среды [4]. Луна и область твердого прилива на Земле образуют «гравитационный диполь» [5], благодаря чему приливная волна вечно мигрирует в оболочке Земли (по мере вращения). Солитоны проявляют корпускулярно-волновой дуализм [4], что указывает на определённое родство с микроскопическими (квантовыми) объектами (протон, электрон и др.).

Как уже было сказано, приливные волны, которые очень похожи на нелинейные объекты — солитоны, играют важную роль в геодинاميке. Например, важность состоит в том, что наложение «приливно-волновой нелинейности» на линейные (вроде бы вполне предсказуемые) геодинамические процессы ведет к тому, что процессы эти развиваются «нелинейно» и, следовательно, непредсказуемо (землетрясения и т. п.).

Механизм тектонического расслоения

Приливную волну в земной оболочке (твердый прилив) вызывает притяжение Луны, снижающее гравитационный потенциал Земли вдоль ее ра-

диуса (вертикальная компонента поля напряжений в геомеханике – ось Z), который входит в состав «силовой линии», соединяющей центры планетных масс. Ослабление вертикальной компоненты на «гребне» приливной волны ($\Delta\sigma_{z\text{земли}} = \sigma_{z\text{земли}} - \sigma_{z\text{Луны}}$) создает эффект растяжения пород (возможно, с раскрытием трещин), превращая «породный столб» [6] вдоль силовой линии в натянутую «струну» с динамическими условиями стоячей волны, чье звучание – из-за «отключения» от источника энергии («ухода» Луны) – вынуждено перейти в режим затухания.

Затухание стоячей волны в натянутой струне протекает в шаговом ритме: каждый шаг начинается с появления в середине струны (пучность стоячей волны) неподвижной узловой точки («пучность деформации» [7]), которая делит прежнюю волну на пару полуволн (мод), по закону: $\lambda_n = \lambda/2^n$ (λ – длина струны; λ_n – длина моды; n – ее порядковый номер, $n = 0, 1, 2, \dots$ целые числа); последовательность длин мод образует геометрическую прогрессию [8].

Затухание колебаний в горном массиве принципиально не отличается от затухания звука в натянутой струне. Затухание стоячей волны происходит в шаговом ритме; каждый шаг приводит к удвоению количества узлов и мод, длина которых всякий раз сокращается вдвое. Период «звучания» каждой моды (как и при затухании звука в натянутой струне) ограничен появлением новых узловых точек, куда «отжимается» часть упругих напряжений из колеблющихся пучностей. В итоге каждый узел со временем превращается в точечный концентратор напряжений. Этот механизм был применен в расчете граничных параметров модели тектонического расслоения земной коры Печенгского блока по формуле $M_n = M/2^n$ (M_n – длина моды (мощность элемента расслоения); M – мощность земной коры, n – номер моды. Модельные границы совпали с породными интервалами – концентраторами избыточно высоких напряжений в разрезе СГ-3 с вполне удовлетворительной точностью ($\approx 74\%$ [13, 15 и др.]), что подтверждает верность выбранного принципа расчета.

Сейсмологические границы и принцип ЭГМ

Для оболочки Земли типичным является дискретное (блочно-глыбовое и расслоенное) строение; элементы тектонического расслоения разделены сейсмическими границами, которые расположены на самой разной глубине. Все сейсмические границы (кроме «Мохо» и отделяющей верхний рыхлый слой от фундамента) имеют прерывистое распространение [9]; до недавнего времени этот факт не имел приемлемого объяснения.

Считается [10], что гравитационное воздействие Луны проникает в недра Земли на глубину около 300 км, способствуя развитию «зон дезинтеграции» на глубинах от 8 до 20-40 км. Но это мнение не объясняет приро-

ду множества прочих сейсмических границ, которые делят на глобальные (100, 410, 520, 670, 2900 км) и промежуточные (60, 80, 220, 330, 710, 900, 1050, 2640 км) границы. По мере изучения Земли сейсмологи продолжают находить все новые границы (800, 1200–1300, 1700, 1900–2000 и др.) [11].

Поскольку любая научная теория базируется на системе постулатов и представляется как субъективная модель объективной действительности [3], предлагаемые в данной работе методы ничем не хуже уже имеющихся. Альтернативное мнение (постулат): волны твердого прилива формируются в оболочках планет вследствие их взаимодействия по принципу эквивалентности гравитирующих масс (ЭГМ) (просьба не путать с тождеством инертной и гравитационной масс Ньютона – Эйнштейна): *гравитационное взаимодействие планет создает во внешней оболочке каждой из них область возмущений (приливную волну), масса которой эквивалентна массе источника возмущений; таким образом, размер (радиус, объем) приливной области зависит лишь от средней плотности вещества в ее составе.*

По закону всемирного тяготения, на материальные точки с массой m_1 и m_2 действует сила взаимного притяжения, прямо пропорциональная произведению их масс и обратно пропорциональная квадрату расстояния между их центрами: $F_{12} = (F_{12} = (\gamma m_1 m_2 / R^2) R_{12} R$ (γ – гравитационная постоянная, F_{12} — сила, действующая на точку m_1 , R_{12} — радиус-вектор из точки m_1 в точку m_2 , $R = R_{12}$). Твердое ядро Земли отделено от твердой мантии «жидким» слоем внешнего ядра, не имеет жесткой связи с мантией и, как груз в падающем лифте, должно испытывать состояние невесомости, что не влияет на момент инерции Земли (и эквивалентность масс Ньютона – Эйнштейна). Эта агрегатная неоднородность геосфер исключает Землю из списка «точечных масс», делая законы И. Ньютона непригодными к расчету приливного взаимодействия масс в системе Земля – Луна. Волну твердого прилива в твердой оболочке Земли вызывает лунная «точечная масса», которая и должна быть сопоставима (простым соотношением) с массой вещества области приливного возмущения (в составе пары приливных волн — антиподов).

Простейшее решение вытекает из принципа ЭГМ, откуда следует, что вес области твердого лунного прилива на Земле равен лунной массе ($M_L = 7.35 \cdot 10^{22}$ кг [12]). Массу планеты ($m = V\rho$) определяют объем (V) и плотность (ρ); объем шара: $V = 4\pi r^3/3$ (r – радиус). Теперь выведем формулу для радиуса $R_{\text{ЛПВ}}$ приливной волны во внешней оболочке Земли: $R_{\text{ЛПВ}} = (3M_L/4\pi\rho_{\text{ЗКМО}})^{1/3}$; если $M_L = 7.35 \cdot 10^{22}$ кг, $\pi = 3.14$, $\rho_{\text{ЗКМО}} \approx 4.5$ г/см³ – средняя плотность корово-мантийной оболочки Земли, тогда: $R_{\text{ЛПВ}} \approx 1.58 \cdot 10^3 \approx 1600$ км. Поскольку плотность вещества земной оболочки отличается заметными пространственными вариациями, глубина воздействия приливных волн-

антиподов в разных точках Земли также варьирует. Другой вывод принципа ЭГМ был сделан ранее через анализ механизма тектонического расслоения земной оболочки, где масса Луны принята за эталон и константу [13, 14 и др.].

Свойство упругости в «квантовом» масштабе

Идея построения модели тектонического расслоения земной коры Печенгского блока как колебательной системы [15 и др.] взята из соотношения Луи де Бройля, которое в свое время использовал Э. Шрёдингер для вывода волнового уравнения, сохраняющего важность и в современной квантовой механике [8]. Гравитационное взаимодействие тел порождается их массами, которые зависят от количества (обладающих массой) элементарных частиц в составе тел, природу приливного возмущения следует искать во взаимодействиях этих самых элементарных частиц.

Волны де Бройля и корпускулярно-волновой дуализм: любая частица с импульсом \mathbf{p} создает волну, длина которой вычисляется по формуле де Бройля: $\lambda_{\text{де Бр}} = h/p = h/mv$ (m – масса, v – скорость, h – постоянная Планка). Длина волны де Бройля связана с радиусом электронной орбиты: $2\pi r = n\lambda_{\text{де Бр}}$ (n – количество электронов) [16]. Волны де Бройля иногда называют электронными волнами, хотя они и не являются электромагнитными.

Электронная орбита – это замкнутая (кольцевая) *стоячая волна*, сформированная взаимодействием осцилляторов – электронов, которые размещены в ее узловых точках ($\lambda_{\text{де Бр}}$ – это расстояние между электронами: $\lambda = 2\pi r/n$ (n – число электронов)).

Отрицательные электроны взаимно отталкиваются и, в то же время, притягиваются к ядру атома (положительный заряд). Видимо, упругая энергия орбитальной стоячей волны не дает электронам «упасть» на ядро, т. е. волна де Бройля работает в атоме как упругая связь.

Принимая гравитационное влияние лунной массы за единицу «энергии воздействия» – аналог «кванта действия» (h – постоянная Планка) и полагая постулат о принципе ЭГМ (и все его следствия) справедливым, продолжим это рассуждение.

Средняя мощность слоя в составе внешней земной оболочки, который регулярно превращается в колебательную систему и обладает ритмичным тектоническим расслоением с переменной латеральной мощностью (Главная колебательная система или слой ГКС) $M_{\text{ГКС}} = H \approx 1600$ км, а наблюдаемое превышение земной поверхности в приливной волне — $h \approx 0.5$ м [1 и др.]; результат гравитационного возмущения — упругое «растяжение струны» (радиус приливной области), длина которой в «невозмущенном» состоянии также равна $M_{\text{ГКС}} = H$. Деформация растяжения этой «струны»:

$\Delta h = h/H = 0.5 \text{ м}/1600000 \text{ м} = 3.125 \cdot 10^{-7}$, т. е. каждый метр этой «струны» удлиняется на $3.125 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ — почти в 6000 раз больше радиуса 1-й Боровской орбиты атома водорода: $a_0 \approx 5.292 \cdot 10^{-11} \text{ м}$ [16]. Считается, что «средний» радиус атома $r_a \approx 1 \text{ \AA}$ (ангстрем) равен 10^{-10} м ; так как в планетном веществе атомы связаны между собой, их большинство (кроме инертных газов) пребывает в ионной форме, что может «сокращать» радиусы атомов приблизительно в 2–3 раза [17]. Если 1 метр = 10^{10} \AA , его можно представить «цепочкой» из примерно 10^{10} атомов и, соотнеся с приливным удлинением, можно оценить порядок «средней упругой деформации растяжения каждого атома» в составе этой «цепочки»: $\Delta h_a = 10^{-17} \text{ м}$.

Верность расчета подтверждает информация в журнале «Природа»: «Четырнадцатого сентября 2015 г. в 09:50:45 по всемирному времени (UTC) или в 12:50:45 – по московскому, 40-килограммовые зеркала двух гигантских, с длиной плеча 4 км, лазерных интерферометров Advanced LIGO, расположенных на расстоянии 3 тыс. км друг от друга в штатах Вашингтон и Луизиана в США, почти одновременно (задержка ≈ 7 мс) исполнили довольно затейливый танец, форма которого задолго до этого была предсказана и детально просчитана астрофизиками. Амплитуда этого танца, с «обычной» точки зрения, была ничтожно мала — порядка 10–18 м. Тем не менее, она в несколько раз превысила амплитуду случайных дрожаний зеркал, вызванных сейсмикой и тепловыми шумами, что позволило участникам этого проекта с высокой степенью уверенности заявить о регистрации гравитационно-волнового сигнала от произошедшего примерно 1,3 млрд лет назад слияния двух черных дыр. Это событие завершило тянувшийся почти полвека эмбриональный период развития гравитационно-волновой астрономии, за все время которого гравитационных волн обнаружено не было» [18].

Заключение

Полученная величина «приливной упругой деформации» ничтожно мала и может лишь подтверждать правомерность отнесения гравитации к числу «слабых взаимодействий» с большим дальнодействием (и, возможно, «времендействием»). Макроскопичность твердого прилива («горб» на земной поверхности) обусловлена «упругой деформацией» электронных оболочек множества атомов в составе приливо-волновой области с «растяжением» каждой круговой электронной орбиты на ничтожную величину. Это растяжение выглядит аналогом (только со знаком «минус») эффекта ССВ [3].

Приведенной информации хватает, чтобы рассматривать макроскопическое явление — волну твердого прилива — как совокупный «квантовый эффект» и, таким образом, для дальнейшего изучения гравитации и роли приливных волн в геодинамических процессах целесообразнее использовать подходы и методы, применяемые в квантовой механике.

Литература

1. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.
2. Владимиров Ю.С. Классическая теория гравитации. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. 264 с.
3. Иванов Ю.Н. Ритмодинамика. М.: Энергия, 2007. 215 с.
4. Филиппов А.Т. Многоликий солитон. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 224 с. (Библиотечка «Квант». Вып. 48).
5. Евзикова Н.З. Концепция дипольного строения геологических тел // Рос. геофиз. журн. 1994. № 3-4. С. 89-95.
6. Поликарпов В.К. Энергетическая характеристика гравитационного поля // Рос. геофиз. журн. 2007. № 45-46. С. 101-104.
7. Кабисов Т.С., Камалов Т.Ф., Лурье В.А. Колебания и волновые процессы: Теория. Задачи с решениями. М.: КомКнига, 2005. 360 с.
8. Пономарёв Л.И. Под знаком кванта. 2-е изд., испр. и доп. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 368 с.
9. Шаров Н.В. Литосфера Балтийского щита по сейсмическим данным: автореферат дис. д. г.-м. н. Киев, 1991. 32 с.
10. Адушкин В.В., Спивак А.А. Физические поля в приповерхностной геофизике. М.: ГЕОС, 2014. 360 с.
11. Пушаровский Д.Ю., Пушаровский Ю.М. Состав и строение мантии Земли // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 11. С. 111-119.
12. Ранцини Ж. Космос. Сверхновый атлас Вселенной: пер. с англ. М.: Эксмо, 2004. 216 с.
13. Ильченко В. Приливные волны и динамическая эволюция Земли. Саарбрюккен: LAMBERT AcademicPublishing, 2013. 292 с.
14. Ильченко В.Л. Космические факторы (влияние Луны и Солнца) в геодинамике и возможность их применения в нефтегазовой отрасли (для некоторых видов прогноза) // Новые идеи в геологии нефти и газа - 2015: сб. науч. тр. (по материалам междунар. науч.-практ. конф.) [Электронный ресурс] / отв. ред. А.В. Ступакова. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015. С. 33-36.
15. Ильченко В.Л. Тектоностратиграфическая модель блока земной коры как колебательной системы (на примере Печенгского блока, Кольский полуостров) // Вестник КНЦ РАН. 2012. № 1. С. 173-178.
16. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: 1974. 944 с.
17. Лебедев В.И. Ионно-атомные радиусы и их значение для геохимии и химии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1969. 156 с.
18. Халили Ф.Я. Лазерная интерферометрия: за занавесом триумфа // Природа. 2016. № 6. С. 54-61.



РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЛЕНОВ КОЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА СРЕДИ ДЕТЕЙ И МОЛОДЕЖИ

Корнейкова М.В., Фокина Н.В.

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН,
korneykova@inep.ksc.ru, voronina@inep.ksc.ru

Кольскому отделению Межрегионального микробиологического общества (КО ММО), входящего в Европейскую ассоциацию микробиологических обществ, более 40 лет. Оно основано в 1974 г. по инициативе д.б.н. Г.А. Евдокимовой и активной поддержке члена Президиума ВМО (Всесоюзного микробиологического общества) д.б.н. Д.И. Никитина. Основная задача Общества – содействие развитию творческой деятельности учёных, преподавателей, учащейся молодежи в области микробиологии и сопре-



Рис. 1-4. Занятия с воспитанниками детского сада.

дельных дисциплин. Мы активно пробуждаем и поддерживаем интерес к окружающему миру у детей и школьников. И наш труд не безрезультативен. Образовательная деятельность членов общества охватывает все уровни: дошкольное образование, начальное общее (1-4 кл.), основное общее (5-9 кл.), среднее общее (10-11 кл.) и высшее (бакалавриат, специалитет, магистратура, подготовка кадров высшей квалификации).

На уровне дошкольного образования работа проходит на базе д/с № 48 «Ивушка». Для детей 6-7 лет разработан обучающий курс эколого-оздоровительного просвещения и воспитания «Юный эколог». Он предполагает серию бесед, практических занятий и экскурсий. Дети знакомятся с микроорганизмами (бактерии, грибы, водоросли), их ролью в природе и жизни человека. Продолжительность занятий не превышает 30 мин. Они проходят в лёгкой, весёлой обстановке, включающей подвижные игры, способствующие лучшему усвоению материала, развитию творческого подхода (рис. 1-4).

На уровнях начального, основного и среднего общего образования работа заключается в специализированных лекциях, практических занятиях и экскурсиях в лабораторию экологии микроорганизмов, а также в оказании профессиональной помощи заинтересованным учащимся в выполнении научно-исследовательских работ и их представлении на конкурсах регионального и федерального уровней. В последние годы дети проявляют очень большой интерес к микробиологии и активно проводят собственные научные исследования и представляют научно-исследовательские проекты на конференциях различного уровня.

Обзор работ учащихся за 2008-2015 гг.

Д. Лобанова, В. Стурова. «Изучение хлеба, производимого в г. Апатиты, и выявление его воздействия на здоровье человека». Научный руководитель – учитель технологии Н.В. Узденова, научный консультант – к.б.н. М.В. Корнейкова. Награды: сертификат на Всероссийском заочном конкурсе научно-исследовательских, изобретательских и творческих работ обучающихся, г. Москва; диплом I ст. на VI Всероссийском молодёжном форуме по проблемам культурного наследия экологии и безопасности жизнедеятельности «ЮНЭКО – 2008», г. Москва; диплом за I место на XV научно-практической конференции молодёжи и школьников «Шаг в будущее», г. Апатиты; диплом I ст. на XII Межрегиональной (с международным участием) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, г. Апатиты.

А. Чуйко. «Плесневые грибы в воздушной среде школы и их влияние на здоровье человека». Научный руководитель – учитель технологии Н.В. Узденова, научный консультант – к.б.н. М.В. Корнейкова. Цель: изучение численности плесневых грибов в воздухе школьных кабинетов, их влияния на здоровье человека. Задачи: установить наличие плесневых грибов в воздухе школьных помещений и на поверхности компьютеров; произвести подсчёт численности колоний; идентифицировать колонии плесневых



грибов; выяснить, какой вред условно-патогенные грибы могут нанести здоровью человека. Награды: дипломы за I место на XVI и XVII городских научно-практических конференциях молодежи и школьников «Шаг в будущее», г. Апатиты; диплом I ст. на IV и V соревнованиях молодых исследователей программы «Шаг в будущее» в СЗФО, г. Мурманск; диплом за лучшую работу на XII региональной научной и инженерной выставке «Будущее Севера», г. Мурманск; диплом I ст. на Всероссийском конкурсе научно-исследовательских, изобретательских и творческих работ обучающихся «Национальное достояние России 2010», г. Москва; диплом I ст. на XIII Межрегиональной (с международным участием) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, г. Апатиты.

Д. Пирогов. «Микроскопические грибы в почве территории школы № 10», «Условно-патогенные микроскопические грибы в почве пришкольной территории МБОУ СОШ № 10 и их влияние на человеческий организм». Научный руководитель к.б.н. М.В. Корнейкова. Цель: провести микологическую оценку почвы пришкольной территории. Задачи: отобрать почвенные образцы на пришкольной территории СОШ № 10; определить численность микроскопических грибов в почве исследуемых участков; изучить видовое разнообразие микроскопических грибов в почве исследуемых участков; выявить долю условно-патогенных грибов. Награды: диплом I ст. на XX и XXI научно-практической конференции «Шаг в будущее», г. Апатиты; диплом I ст. в VIII и IX соревнованиях молодых исследователей «Шаг в будущее» в СЗФО, г. Мурманск; диплом III ст. на Всероссийском фестивале творческих открытий и инициатив «Леонардо», г. Москва; диплом II ст. на Всероссийской научно-инновационной конференции для школьников «Открой в себе учёного», г. Санкт-Петербург; диплом I ст. на Всероссийском конкурсе региональных проектов «Система приоритетов» (Лифт в будущее), г. Москва.

К. Антонова. «Чистый воздух дарит здоровье», «Влияние воздуха в помещении на здоровье школьников». Научный руководитель – учитель начальных классов Л.Г. Старосоцкая, научный консультант – к.б.н. М.В. Корнейкова. Цель: выяснить, содержатся ли вредные микробы в классе. Задачи: изучить литературные данные по теме; провести анкетирование среди уче-



ников 4-ых классов начальной школы; провести эксперимент по определению качественного и количественного состава воздуха; зафиксировать результаты эксперимента в дневнике наблюдений; составить буклет «Чистый воздух дарит здоровье!». Награды: диплом победителя XII Межмуниципальной конференции «Я открываю мир»; диплом абсолютного победителя Научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в области естественно-математических наук»; дипломы II ст. на XXI и XXII научно-практической конференции «Шаг в будущее»; диплом лучшей научно-исследовательской работы Всероссийской олимпиады «Человек – Земля – Космос».

А. Черняев. «Чист ли белый снег?». Научный руководитель – учитель начальных классов Л.Г. Старосоцкая, научный консультант – к.б.н. М.В. Корнейкова. Цель: выявить уровень загрязнённости снежного покрова в районе школы № 7. Задачи: изучить литературные данные по теме; провести анкетирование среди учеников начальной школы и родителей; изучить физико-химические свойства снега с разных площадок; провести микробиологическое исследование снега; составить информационный буклет. Награды: диплом победителя XII Межмуниципальной конференции «Я открываю



мир»; диплом призера Научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в области естественно-математических наук»; диплом I ст. XXI научно-практической конференции «Шаг в будущее»; диплом Лауреата Российской научно-социальной программы для молодежи и школьников «Шаг в будущее»; диплом XII Региональных соревнований юных исследователей «Будущее Севера. Юниор»; диплом лучшей научно-исследовательской работы Всероссийской олимпиады «Человек – Земля – Космос».

А.-М. Бурцева. «Микроорганизмы вокруг нас». Научный руководитель – к.б.н. М.В. Корнейкова. Цель: изучить микрофлору на коже рук учащихся 1 и 10 класса МБОУ СОШ № 15 г. Апатиты. Задачи: определить численность и разнообразие микроорганизмов на коже рук учащихся 10 класса МБОУ СОШ № 15 г. Апатиты; определить эффективность различных видов очищающих средств; определить выживаемость штаммов при температуре +37 °С – температуре человеческого тела; определить выживаемость штаммов в среде с рН ≈ 1 (рН желудочного сока); определить выживаемость штаммов в среде с рН ≈ 6.5 (рН желчи); подтвердить или опровергнуть распространенное мнение, что у детей на руках больше микробов, чем у взрослых; определить численность и разнообразие микроорганизмов в водопроводной воде; определить эффективность бытовых фильтров для очистки воды. Награды: диплом за I место на XVIII Межрегиональной научно-практической конференции КФПетрГУ; диплом призёра Научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в области естественно-математических наук»; сертификат участника региональной научной и инженерной выставки молодых исследователей «Будущее Севера».

А. Канивец. «Микобиота воздушной среды Дома детского творчества». Научный руководитель – сотрудница Дома детского творчества им. А.Е. Ферсмана Н.А. Титова, научный консультант – к.б.н. М.В. Корнейкова. Цель: изучение и сравнительная характеристика микобиоты воздуха в различных помещениях Дома детского творчества. Задачи: провести отбор проб воздуха в помещениях Дома детского творчества; определить численность и





видовое разнообразие микроскопических грибов в воздухе исследуемых помещений; определить долю условно-патогенных грибов в воздухе помещений ДДТ; провести анализ результатов; составить план профилактических мероприятий. Награды: диплом за I место на XXII городской научно-практической конференции молодежи и школьников «Шаг в будущее», г. Апатиты; диплом I ст. на X соревнованиях молодых исследователей программы «Шаг в будущее» в СЗФО, г. Мурманск; диплом за лучшую работу на XVIII региональной научной и инженерной выставке «Будущее Севера», г. Мурманск.

На уровне высшего образования члены КО ММО руководят дипломными проектами, магистерскими и кандидатскими диссертациями. Д.б.н. проф. Г.А. Евдокимовой подготовлено 9 кандидатов наук по специальностям «Экология», «Геоэкология» и «Почвоведение». Темы дипломных работ студентов КФ Петр ГУ в 2010-2015 гг., научный руководитель – к.б.н. М.В. Корнейкова: Маршутина А.В. Микроорганизмы воздушной среды жилых помещений; Щелкунова Н.И. Современное состояние почвенной микробиоты в зоне воздействия комбината «Североникель»; Касьянов Ю.А. Комплексы микроскопических грибов в почвах, загрязнённых дизельным топливом в условиях Кольского Севера; Чапоргина А.А. Комплексы микроскопических грибов воздуха и почвы в зоне воздействия выбросов Кандакшского алюминиевого завода; Мосендз И.А. Комплексы почвенных микроскопических грибов по градиенту загрязнения от комбината «Печенганикель» к заповеднику Пасвик.

Темы магистерских и кандидатский диссертаций: магистрант Янишевская Е.С. «Исследование функционирования микроорганизмов в процессе флотации сульфидных медно-никелевых руд на комбинате «Печенганикель», научный руководитель – д.б.н. Евдокимова Г.А.; аспирант Чапоргина А.А. «Оценка биотехнологического потенциала микроскопических грибов по отношению к нефтяным углеводородам при загрязнении почв в условиях Евро-Арктического региона», научный руководитель – к.б.н. Корнейкова М.В.



ВКЛАД ТЕРИОЛОГОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ В ИЗУЧЕНИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Макарова О.А.

Государственный природный заповедник «Пасвик»
Териологическое общество при РАН,
makarova5137@mail.ru

Териология – раздел зоологии, изучающий млекопитающих. Териологическое общество в нашей стране возникло относительно недавно. Официальная дата создания – январь 1973 г. Тогда по инициативе московских териологов во главе с акад. В.Е. Соколовым был созван Учредительный съезд Всесоюзного териологического общества при АН СССР. Уже на следующий год масштабно прошёл I международный конгресс териологов в Москве. Это было важное мероприятие, оказавшее большое влияние на развитие этого научного направления. На сегодня в нашей стране проведено 10 териологических съездов. Начиная с московского, уже более 10 международных конгрессов проведено в разных странах с участием учёных России. Невозможно указать весь список разнообразных конференций, проведенных в России и других странах в рамках деятельности этого общества. Их результат – огромное количество публикаций (<http://ru.wikipedia.org>, theriofauna2016).

В Мурманской обл. зоологи занимаются в основном наземной териофауной, работают в заповедниках. Они являются членами Териологического общества и регулярно участвуют в работе съездов и международных конгрессов. Для этой справки автор попыталась оценить вклад заповедных зоологов в изучение млекопитающих Мурманской обл. Устные сообщения





Г.Д. Катаева (Лапландский заповедник), Н.С. Бойко (Кандалакшский заповедник) и собственные подсчёты показали, что со времени вступления в члены Общества опубликовано не менее 500 научных статей, книг, тезисов докладов. Кроме того, подготовлены учебники, учебные пособия, брошюры и буклеты для работы со школьниками и учителями, проведено большое количество лекций, разнообразные материалы размещены на сайтах заповедников для просвещения населения по экологии млекопитающих. Большое количество публикаций освещает экологию мелких млекопитающих.

Есть немало достижений в изучении крупных хищников и копытных зверей. Немало собрано и опубликовано материалов по редким видам, например, бобру. Большое количество наблюдений по млекопитающим рассеяно в «Летописях природы» заповедников. Но уже давно требуется объединение усилий, развертывание сотрудничества заповедников и других научных учреждений для углублённого анализа и оценки вклада заповедных териологов в изучение млекопитающих Мурманской обл. К сожалению, общей сводки по млекопитающим Кольского п-ова нет. У нас есть общие статьи по экологии какого-либо вида или группы видов, но целого представления о териофауне региона мы не имеем. Это – новая цель для подготовки монографии, где были бы подведены итоги большой работы по изучению наземной фауны на рубеже XX и XXI вв., в том числе в рамках деятельности Териологического общества.



ИЗОТОПНОЕ ID-TIMS И SHRIMP ДАТИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД КОМПЛЕКСА TTG ИНГОЗЕРСКОГО БЛОКА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Ниткина Е.А.

ГИ КНЦ РАН, Апатиты, nitkina@rambler.ru

Ингозерский массив расположен в Терском блоке Беломорского террейна Кольского полуострова и сложен гнейсами и гранитоидами архея [1; 7; 10], которые представляют собой комплекс основания. Архейские комплексы основания, как картируемые геологически значимые структуры имеют название тоналит-трондьемит-гнейсового комплекса – TTG [8]. Датировок древнее 3.0 млрд. лет по детритовым цирконам по Кольскому полуострову достаточно много [6; 3]. Кроме того породы Архея метаморфизованы в гранулитовых фациях метаморфизма, есть лишь малая доля террейнов, где комплекс основания (инфраструктуры) метаморфизован в амфиболитовой фации, в том числе Ингозерский массив.

В ранее проведенных исследованиях [1; 2; 4; 5; 9] в пределах Ингозерского блока выделены следующие типы пород: биотитовые, биотит-амфиболовые, амфибол-биотитовые гнейсы, гранитогнейсы, амфиболиты, гранодиориты и пегматиты.

В породах Ингозерского комплекса наблюдается следующая последовательность эндогенных процессов (по материалам [7]):

1 этап – образование пород, исходных для биотитовых гранитогнейсов; 2 этап – внедрение даек основных пород, впоследствии превращенных в полевошпатовые амфиболиты; 3 этап – деформация пород, рассланцевание; 4 этап – внедрение тел гранитов и послойная микроклинизация биотитовых гнейсов; 5 этап – внедрение крупных тел пегматитов (гнейсы сохраняются в виде не развернутых ксенолитов); 6 этап – образование разноориентированных пегматитовых и гранитных жил небольшой мощности, с гранатом и без него; 7 этап – внедрение кварцевых жил; 8 этап – мелкие разрывы со смещениями (как левосдвиговые, так и правосдвиговые).

Для биотитовых гнейсов Ингозерского массива методом датирования единичных цирконов (ID-TIMS) установлен возраст 3149 ± 49 млн. лет [11]; по данным SHRIMP датирования установлен возраст метаморфизма: 2725.5 ± 2 млн. лет для амфибол-биотитовых гнейсов и 2733.6 ± 6.6 млн. лет для биотит-амфиболовых гнейсов [11].

Цель данного исследования – установление временной шкалы геологических процессов, проявленных в Ингозерском блоке.

Пробы на изотопное U-Pb датирование были отобраны из биотито-

вых гнейсов (Н-10-01), амфибол-биотитовых гнейсов (Н-10-07) и биотит-амфиболовых гнейсов (Н-10-08). Предварительное изотопное U-Pb датирование циркона и других акцессорных минералов было проведено для гранитов (Н-10-06), послонных жил пегматоидного материала в гнейсах (Н-10-10), жильных гранитов (Н-10-09).

Химический состав проб приведен в таблице (табл.1). Распределение редкоземельных элементов (нормализованное к хондриту) для проб биотитовых, амфибол-биотитовых и биотит-амфиболовых гнейсов показано на рисунке (рис. 1).

Для гнейсов Ингозерского массива характерны высокие содержания Na, Ca и низкие K; а также распределение редкоземельных элементов схожие с таковыми для пород комплексов TTG, известных в Мире [12; 13].

Из мономинеральных фракций циркона пробы **Н-10-01** отобраны четыре популяции циркона для изотопного U-Pb датирования. На изотопной U-Pb диаграмме с конкордией фигуративные точки популяций представлены следующими типами циркона: из фракции – 0.075 мм навеска – все цирконы фракции (№ 1); из фракции + 0.15 мм – тёмно-коричневый прозрачный циркон от короткопризматического до призматического облика слабо-трещиноватый (№ 2); из фракции от -0.15 до + 0.1 мм – тёмно-коричневый прозрачный слабо-трещиноватый циркон от короткопризматического до призматического облика (№ 3); из фракции от -0.1 до +0.075 мм – все типы, представленные во фракции (№ 4). На U-Pb диаграмме дискордия, построенная по четырем фигуративным точкам, имеет верхнее пересечение, равное 2697 ± 9 млн. лет, СКВО = 1.8.

Таблица 1. Химический состав пород Ингозерского блока.

Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Н-10-01	71.12	0.26	14.22	0.22	2.94	0.037	0.65	2.46	5.20	1.70
Н-10-07	67.81	0.49	13.90	0.11	4.77	0.075	1.69	3.95	4.13	1.37
Н-10-08	66.55	0.47	13.85	1.09	4.40	0.059	2.00	4.29	4.26	1.32
Н-10-06	73.01	0.14	13.06	---	3.13	0.03	0.16	1.28	3.57	4.45
Н-10-09	73.22	0.06	13.96	---	1.64	0.02	0.04	0.45	4.39	4.99
Н-10-10	68.25	0.04	16.78	---	1.71	0.08	0.04	0.64	5.13	6.06

На изотопной U-Pb диаграмме с конкордией для амфибол-биотитовых гнейсов (**Н-10-07**) фигуративные точки популяций представлены следующими типами циркона: первая – второй стадией двустадийного растворения тёмно-коричневого прозрачного слабо-трещиноватого циркона призматического облика; вторая - темно-коричневыми полупрозрачными призматически-

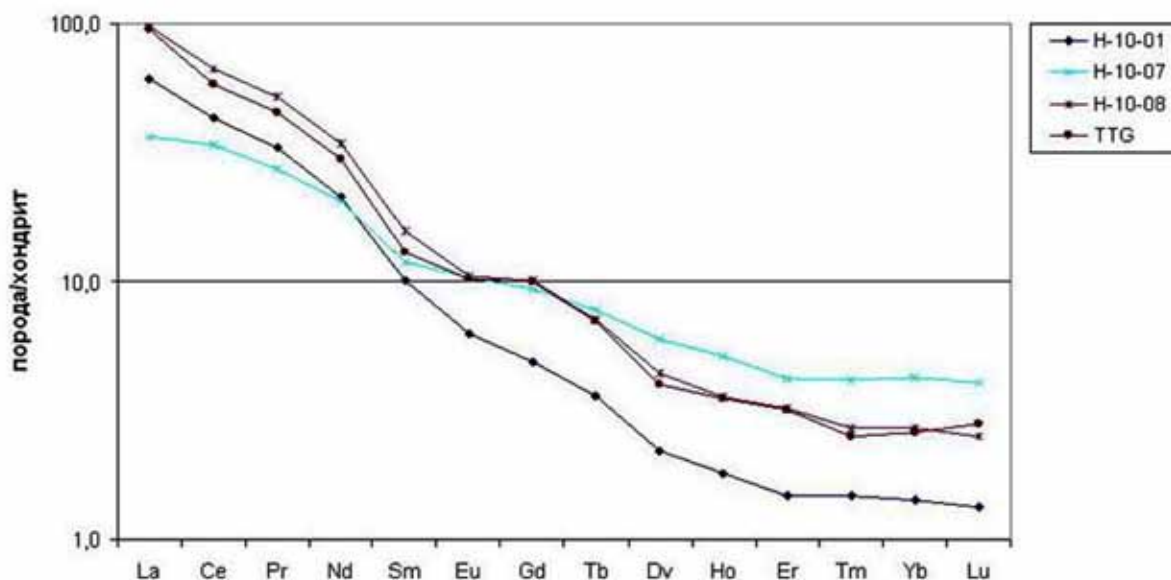


Рис. 1. Распределение РЗЭ нормированное к хондриту для биотитовых, амфибол-биотитовых и биотит-амфиболовых гнейсов Ингозерского массива (анализы выполнены д.г.-м.н. О.М. Туркиной, ИГ СО РАН).

ми кристаллами гиацинтово-цирконового типа; третья – светло-коричневыми полупрозрачными призматическими и короткопризматическими кристаллами гиацинтово-цирконового типа; четвертая – темно-коричневыми полупрозрачными длиннопризматическими кристаллами цирконового типа; пятая – второй стадией двустадийного растворения темно-коричневого мутного полупрозрачного слабо-трещиноватого циркона от короткопризматического до призматического облика. На U-Pb диаграмме фигуративная точка первой популяции имеет конкордантный возраст 2667 ± 7 млн. лет, СКВО = 1.2; тогда как дискордия, построенная по четырем фигуративным точкам, имеет верхнее пересечение с конкордией, равное 2725 ± 2 млн. лет, СКВО = 0.061.

На изотопные U-Pb исследования из коренного обнажения на юго-восточном берегу оз. Ингозеро отобрана проба биотит-амфиболовых гнейсов **Н-10-08**. Из пробы отобраны шесть популяции циркона, представленные следующими типами: (№ 1) – первый этап двустадийного растворения темно-коричневого прозрачного трещиноватого циркона призматического облика; (№ 2) – розовый прозрачный циркон от короткопризматического до призматического облика; (№ 3) – темно-коричневыми прозрачными кристаллами гиацинтово- цирконового типа; (№ 4) – коричневыми полупрозрачными кристаллами игольчатого типа; (№ 5) – коричневыми прозрачными кристаллами гиацинтового типа; (№ 6) – бледно-розовыми прозрачными призматическими кристаллами гиацинтово-цирконового типа. На U-Pb диаграмме дискордия, построенная по шести фигуративным точкам, имеет верхнее пересечение с конкордией, равное 2727 ± 5 млн. лет, СКВО = 1.13.

В результате проведения изотопного U-Pb датирования различных пород ТТГ комплекса Ингозерского блока получен наиболее древний возраст

3149±46 млн. лет для биотитовых гнейсов методом U-Pb датирования единичных цирконов. Время проявления процессов метаморфизма в породах данного массива, определенное TIMS методом (ГИ КНЦ РАН) и подтвержденное методом SHRIMP при датировании проб во Всероссийском Геологическом Институте (ВСЕГЕИ), составляет для биотитовых гнейсов – 2697±9 млн. лет; для амфибол-биотитовых гнейсов – 2725 ± 2 и 2667 ± 7 млн. лет; и для биотит-амфиболовых гнейсов – 2727 ± 5 млн. лет. Полученные при предварительном U-Pb датировании циркона и других акцессорных минералов возраста составляют для проб гранитов – 2615 ± 8 млн. лет, послонных жил пегматоидного материала в гнейсах – 2549 ± 30 млн. лет и среднезернистого гранита из жил – 1644 ± 7 млн. лет.

Выводы. Установлены следующие возрастные этапы формирования массива: кристаллизация протолита биотитовых гнейсов – 3149±46 млн. лет; метаморфизм, деформация пород, расланцевание – 2727 ± 5 – 2725 ± 2 – 2697 ± 9 – 2667 ± 7 млн. лет; внедрение тел гранитов – 2615 ± 8 млн. лет и послонная микроклинизация биотитовых гнейсов – 2549 ± 30 млн. лет; образование разноориентированных пегматитовых и гранитных жил небольшой мощности 1644 ± 7 млн. лет.

Литература

1. Батиева И.Д., Бельков И.В. Гранитоидные формации Кольского полуострова. // Очерки по петрологии, минералогии и металлогении Кольского полуостров. Л. 1968. с. 5-143.
2. Бельков И.В., Загородный В.Г., Предовский А.А. и др. Стратиграфическое расчленение и корреляция докембрия С-В части Балтийского щита. Л. 1971. с. 141-150.
3. Вревский А.Б., Богомолов Е.С., Зингер Т.Ф., Сергеев С.А. Полихронность источников и изотопный возраст вулканогенного комплекса (Арваренчская свита) Имандра-Варзугской структуры, Кольский полуостров. // ДАН. 2010. Т. 431. № 3. С. 377-381.
4. Докембрийская тектоника северо-восточной части Балтийского щита (Объяснительная записка к тектонической карте С-В части Балтийского щита м-ба 1:500000). / отв. редактор Ф.П. Митрофанов. Апатиты: КФАН СССР. 1992. 112 С.
5. Загородный В.Г., Радченко А.Т. Принципы и главные черты тектонического районирования северо-восточной части Балтийского щита. // Тектоника и глубинное строение северо-восточной части Балтийского щита. Апатиты: КФАН СССР. 1978. с. 3-12.
6. Кожевников В.Н., Скублов С.Г., Марин Ю.Б., Медведев П.В., Сыстра Ю., Валенсия В. Хадей-Архейские детритовые цирконы из ятулийских кварцитов и конгломератов Карельского кратона // ДАН. 2010. Т. 431. №1. С. 85-90.

7. Козлов Н.Е., Сорохтин Н.О., Глазнев В.Н., Козлова Н.Е., Иванов А.А., Кудряшов Н.М., Мартынов Е.В., Тюремнов В.А., Матюшкин А.В., Осипенко Л.Г. Геология архея Балтийского щита. СПб.: Наука. 2006. 329 с.
8. Митрофанов Ф.П. Современные проблемы и некоторые решения докембрийской геологии кратонов // Литосфера. 2001. № 1. С. 5-14.
9. Объяснительная записка к геологической карте северо-восточной части Балтийского щита масштаба 1:500 000 / Ред. Ф.П. Митрофанов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. 95 с.
10. Харитонов Л.Я. Структура и стратиграфия карелид востока Балтийского щита. М.:Недра. 1966.
11. Bayanova T.B., Kunakkuzin E.L., Serov P.A., Fedotov D.A., Borisenko E.S., Elizarov D.V. and Larionov A.V. Precise U-Pb (ID-TIMS) and SHRIMP-II ages on single zircon and Nd-Sr signatures from Achaean TTG and high aluminum gneisses on the Fennoscandian Shield / 32nd Nordic Geological Winter Meeting, Helsinki, Finland, 13-15 January 2016. Abs. Spec. P. 172.
12. Bleeker W. The late Archean record: a puzzle in ca. 35 pieces // Lithos. 71. 2003. P. 99-133.
13. Martin H., Moyen J.-F., Guitreau M., Blichert-Toft J., Pennec J.-L. Why Archean TTG cannot be generated by MORB melting in subduction zones // Lithos. 198-199. 2014. P. 1-13.



ФОТОРЕПОРТАЖ

V конференции Ассоциации научных обществ
Мурманской области (8 февраля 2017 г.) и
VIII научной сессии Геологического института КНЦ РАН
(10 февраля 2017 г.), посвящённых Дню российской науки















Содержание

Предисловие редактора	3
V конференция Ассоциации научных обществ Мурманской области VIII научная сессия Геологического института КНЦ РАН 8, 10 февраля 2017 г.	
<i>Бодрова О.А.</i> Научная, просветительская и полевая деятельность Мурманского областного регионального отделения Ассоциации антропологов и этнологов России в 2016 г.	7
<i>Боровичёв Е.А., Королёва Н.Е.</i> Деятельность Мурманского отделения Русского ботанического общества в 2016 г..	10
<i>Войтеховский Ю.Л.</i> Шёл лорд Кельвин по набережной Темзы.....	14
<i>Войтеховский Ю.Л.</i> Разбегающиеся галактики выпуклых полиэдров: новая глава кристалломорфологии.	21
<i>Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Кашулин Н.А.</i> Палеолимнологические исследования долговременных изменений озёрных экосистем Евро-Арктического региона.	29
<i>Даувальтер В.А., Кашулин Н.А.</i> Уникальные свойства воды	34
<i>Ильченко В.Л.</i> Квантовая упругость и макроскопический гравитационный эффект (волна твёрдого прилива).	40
<i>Корнейкова М.В., Фокина Н.В.</i> Результаты образовательной деятельности членов Кольского отделения межрегионального микробиологического общества среди детей и молодежи	46
<i>Макарова О.А.</i> Вклад териологов Мурманской области в изучение млекопитающих.	52
<i>Ниткина Е.А.</i> Изотопное ID-TIMS и SHRIMP датирование геологических процессов и геохимические особенности пород комплекса TTG Ингозерского блока (Кольский полуостров)	54
Фоторепортаж	59

Материалы
V конференции Ассоциации научных обществ Мурманской области и
VIII научной сессии Геологического института КНЦ РАН,
посвящённых Дню российской науки

Апатиты, 8 и 10 февраля 2017 г.

Геологический институт КНЦ РАН
Комиссия по истории РМО
Кольское отделение РМО

Научное издание

Тираж 50 экз.

Отпечатано в ООО К & М

184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, 17 а

Тел. / факс (81555) 77329

