Научные результаты ГЕОХИ 2011-2015гг.

Академик Э.М. Галимов

(доклад на Ученом Совете ГЕОХИ 30 ноября 2015 года)

Весной и осенью этого года на заседаниях недавно созданного Научного Совета ГЕОХИ были заслушаны доклады заведующих лабораториями Института. Заслушаны все 24 лаборатории.

Сегодня Учёному Совету представляется Итоговый доклад, включающий наиболее заметные достижения Института за прошедшее пятилетие.

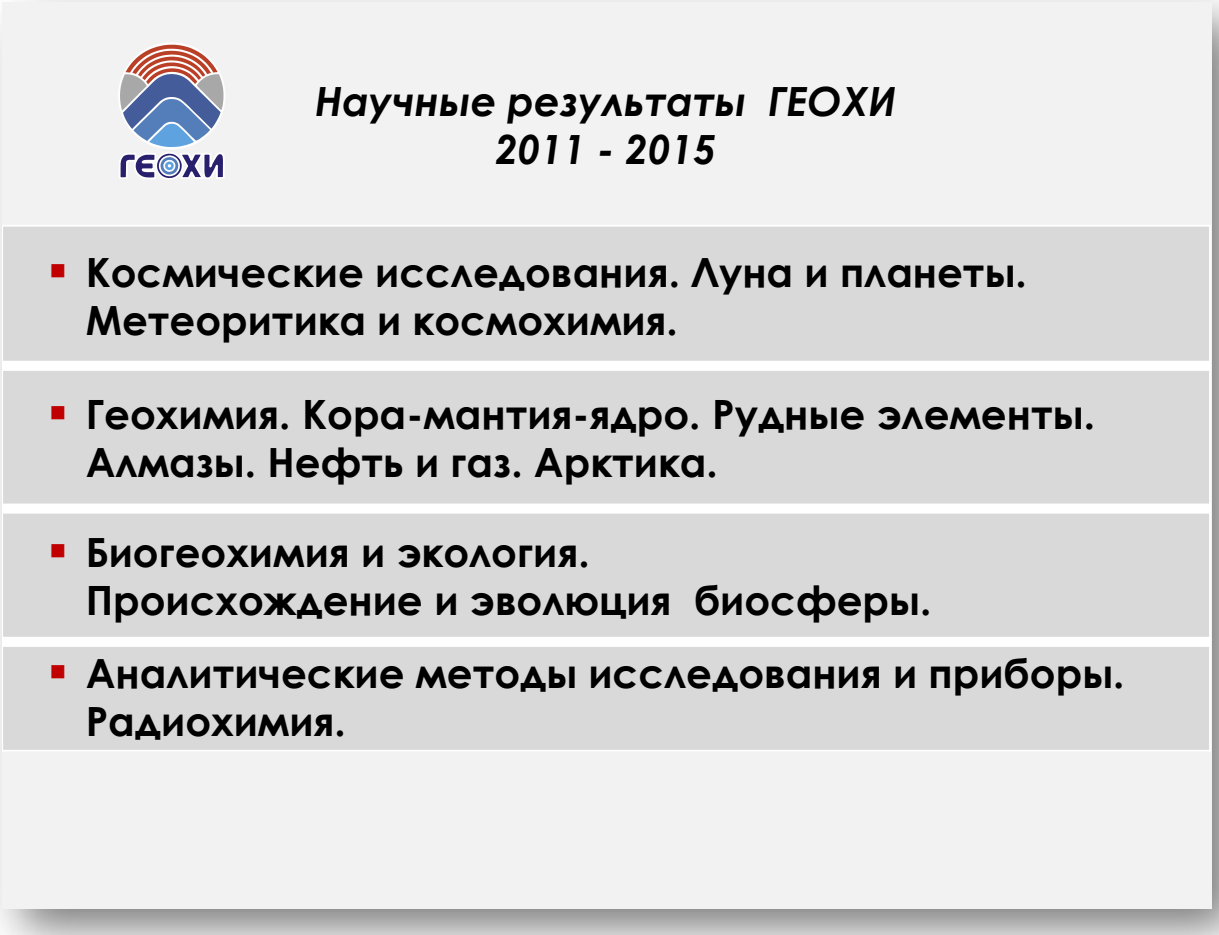


Рис. 1

Научные результаты получены в указанных на слайде направлениях.

Космические исследования. Луна и планеты. Метеоритика и космохимия

Начну с космических исследований.

Рис. 2

Не удалось осуществить два космических проекта. Это - проекты «Луна - Глоб» и «Фобос-Грунт». Главной целью проекта «Луна-Глоб» было изучение внутреннего строения Луны и исследование возможного присутствия воды в полярных кратерах. Главной целью проекта «Фобос – Грунт» была доставка грунта с поверхности Фобоса. В ГЕОХИ была разработана лабораторная схема исследования доставленного образца.

Если бы эти проекты, инициированные ГЕОХИ, были осуществлены, мы занимали бы сегодня лидирующее положение в фундаментальных космических исследованиях в мире. Но этого не случилось.

Я не буду останавливаться на разработках, которые были сделаны в прошедшие годы. Упомяну только, разработанные в ГЕОХИ оригинальные приборы, которые были поставлены на космический аппарат «Фобос-Грунт», неудачно запущенный в 2011 году.

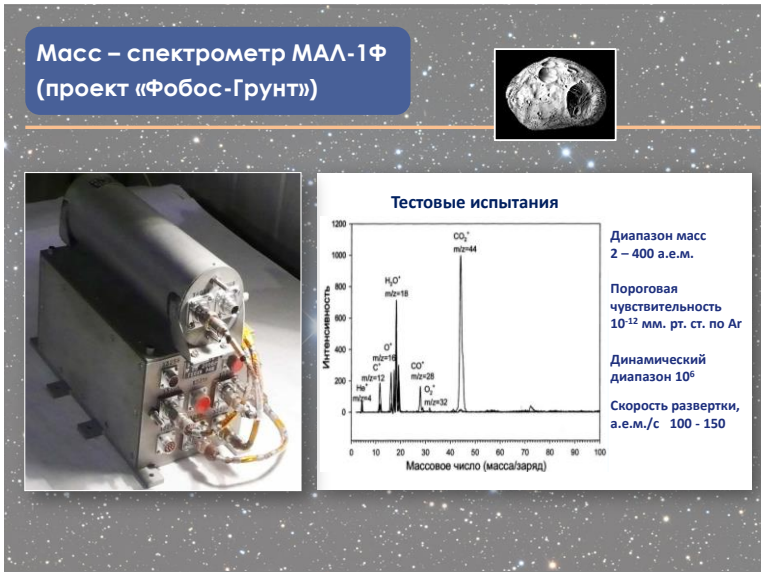


Рис. 3

Это масс-анализатор МАЛ-1Ф, включавший портативный хроматограф и масс-спектрометр с хорошим диапазоном масс и чувствительностью. Работа выполнена в лаборатории геохимии планет (зав. лабораторией доктор Л.П. Москалева), и в лаборатории химических сенсоров (зав. лабораторией доктор Б.К. Зуев) в сотрудничестве с ИКИ.

Рис. 4

Это – общий вид космического аппарата «Фобос-Грунт» в НПО Лавочкина перед отправкой на Байконур. Указано место установки прибора МАЛ – 1Ф.

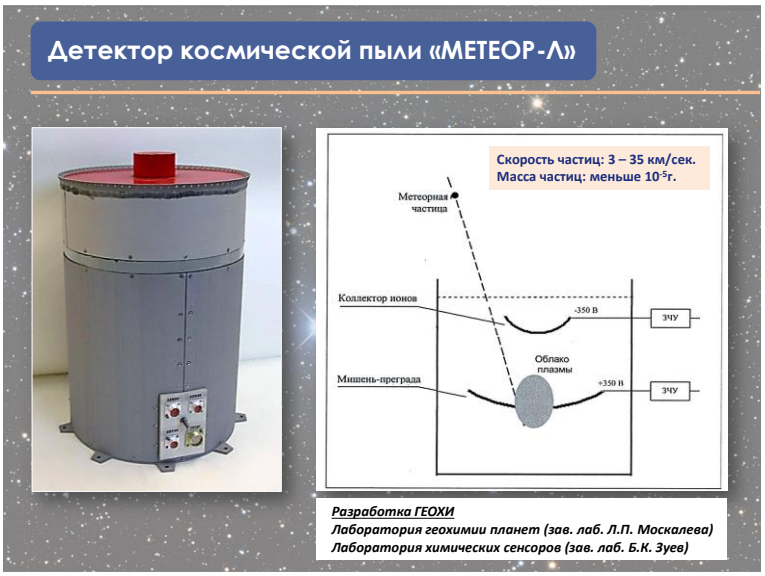


Рис. 5

Другой прибор, который следует упомянуть – это детектор космической пыли. Знание плотности пылевых частиц в космическом пространстве важно, помимо всего прочего, с точки зрения безопасности полетов. Многочисленные аварии космических аппаратов, в окрестностях Марса, возможно, объясняются существованием в зоне Марса повышенной концентрации частиц, обусловленной пылением его спутников: Фобоса и Деймоса.

Несмотря на неудачу с запуском космического аппарата, разработанные приборы и выполненные научные исследования не теряют своего значения, так как они могут быть использованы как в случае возобновления проекта «Фобос-Грунт», так и в других проектах с доставкой грунта.

Рис. 6

В настоящее время в Федеральную Космическую Программу на 2020-2030гг. включено предложение ГЕОХИ по разработке лунохода следующего поколения «Робот-геолог» с буровой установкой на борту.

Создание такой установки является одним из элементов концепции исследования Луны, разрабатывавшейся в ГЕОХИ в рамках договора с Роскосмосом.

Работа, связанная с обоснованием космических миссий и созданием приборов для космических аппаратов, является лишь одной стороной космической деятельности ГЕОХИ. Другая, не менее важная сторона, состоит в развитии планетологии, как науки.

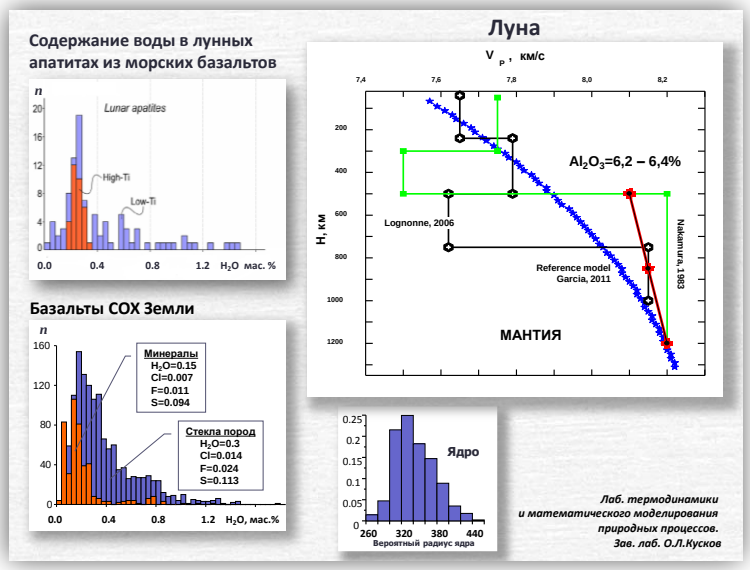


Рис. 7

В лаборатории термодинамического моделирования (зав. лабораторией член-корреспондент О.Л. Кусков) разработана программа, которая позволяет увязать чисто физические параметры, например сейсмику, с химическим и минералогическим составом пород.

Используя данные по сейсмическому зондированию Луны, полученные в экспедиции «Аполлон», удалось смоделировать химико-минералогическое строение нижней мантии Луны. Существуют разные интерпретации сейсмических профилей, но расчет во всех случаях приводит к выводу о высоком содержании тугоплавких элементов в Луне (например, Al_2O_3 порядка 6,2 – 6,4%). Это гораздо выше, чем на Земле, где содержание оксида алюминия только около 4%. Вывод - важный для понимания происхождения Луны.

Сделана ориентировочная оценка размера ядра Луны, порядка 300 – 320 км.

Рис. 8

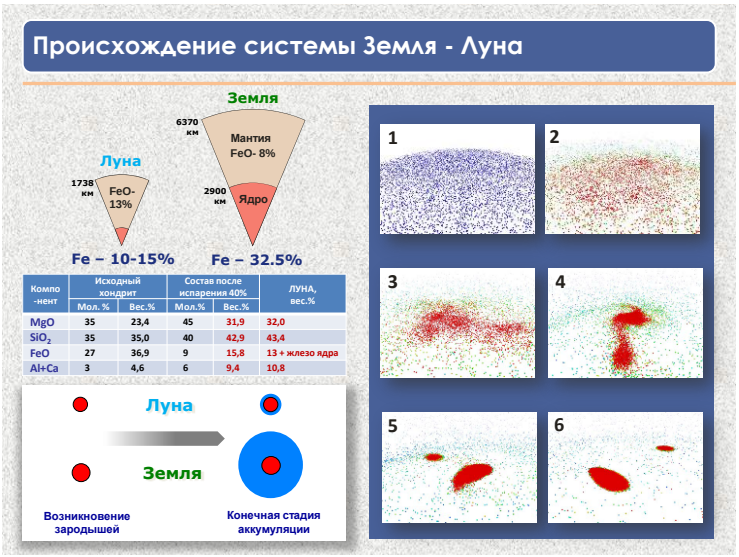
Аналогичный термодинамический расчет был применен к оценке внутреннего строения спутников Юпитера и Сатурна. Было, в частности, показано, что на спутнике Юпитера Каллисто под толщей льда с большой вероятностью должен присутствовать океан воды.

Возможность присутствия океана воды или толщи льда было показано также для Титана, спутника Сатурна.

Рис. 9

Одна из центральных проблем современной планетологии – это происхождение системы Земля – Луна. Существующее объяснение состоит в том, что Луна образовалась в результате катастрофического столкновения Земли с другим телом планетного размера (гипотеза мегаимпакта). Это достаточно обоснованная гипотеза. Она доминирует в западной литературе, преподается в школах и университетах.

В последнее время, однако, эта гипотеза встречается с большими трудностями. Расчеты показывают, что по этой схеме Луна образуется из материала ударника. А измерения показали, что Земля и Луна абсолютно совпадают по изотопному составу элементов, что говорит об их генетическом родстве. Это не согласуется с образованием Луны из состава чужеродного планетного тела.



Компо-нент	Исходный хондрит		Состав после испарения 40%		ЛУНА, вес.%
	Мол. %	Вес.%	Мол.%	Вес.%	
MgO	35	23,4	45	31,9	32,0
SiO_2	35	35,0	40	42,9	43,4
FeO	27	36,9	9	15,8	13 + железо ядра
Al+Ca	3	4,6	6	9,4	10,8

Рис. 10

Мы показали, что Земля и Луна могут иметь совпадающий изотопный состав, если они образовались в результате сжатия и фрагментации общего газо-пылевого сгущения. При этом модель объясняет и дефицит железа на Луне, и обогащение ее тугоплавкими элементами: Al, Ca, Ti. Компьютерное моделирование иллюстрирует динамику процесса фрагментации.

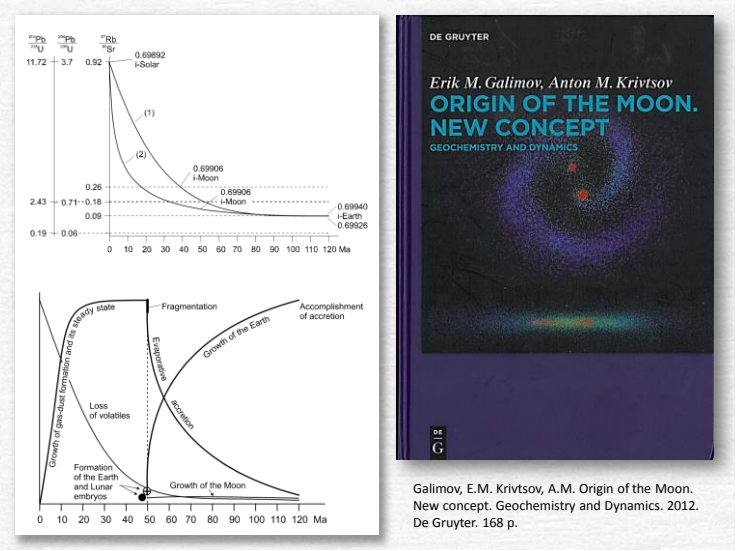


Рис. 11

В последнее время мы произвели анализ изотопных систем: Hf-W, Rb-Sr, J-Pu-Xe, U-Pb. Получены количественные параметры процесса.

Анализ $^{182}Hf/^{184}W$ и Rb/Sr систем показало, что фрагментация исходного облака, и образование основной массы Луны произошло

ко времени ~ 50-70 млн. лет от начала возникновения солнечной системы, а полная конденсация исходного облака завершилась к ~120 млн лет, когда планета Земля сформировалась окончательно как консолидированное тело. Наша концепция и вытекающие из нее геологические следствия изложены в книге, заказанной и выпущенной издательством De Gruyter в 2012 году (E.M.Galimov, A.M.Krivtsov “Origin of the Moon. New concept. Geochemistry and dynamics”).

Модель хорошо работает, но она предполагает, что планеты образуются не путем соударения твердых тел, как это сейчас считается, а из облака частиц. Предстоит создать теорию аккумуляции исходного протопланетного сгущения. Над этим сегодня работают группа проф. А.М. Кривцова в Петербурге и акад. М.Я. Марова у нас. Есть определенные идеи и достижения. Если теория получит успешное завершение, мы будем, по-видимому, иметь дело с новым пониманием механизма формирования планет солнечной системы.

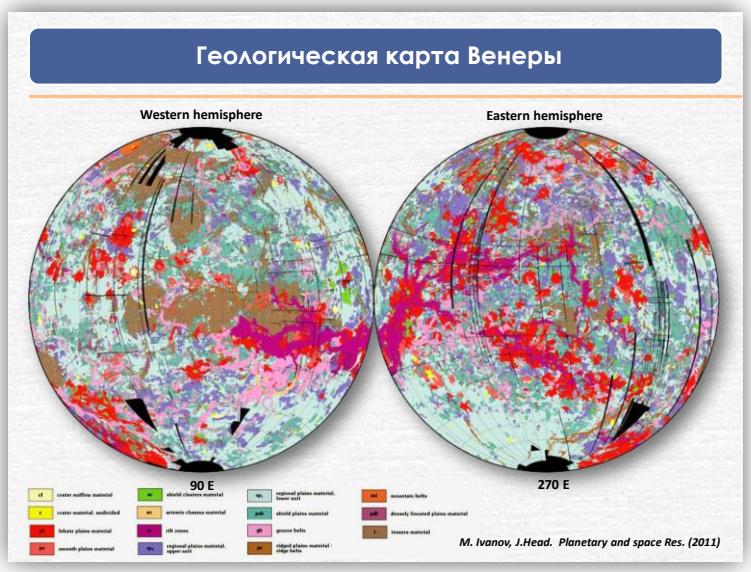


Рис. 12

Наши специалисты подолгу работают в США и, благодаря этому, имеют доступ к первичным материалам американских съемок и иногда делают важные открытия, идущие в копилку не только американской, но и отечественной науки.

Как результат совместной работы ГЕОХИ и Университета Брауна (США) была составлена и опубликована первая Геологическая карта Венера. Она составлена на основе геологической интерпретации радарных изображений, полученных американским космическим аппаратом «Магеллан». Работа опубликована в 2011 году.

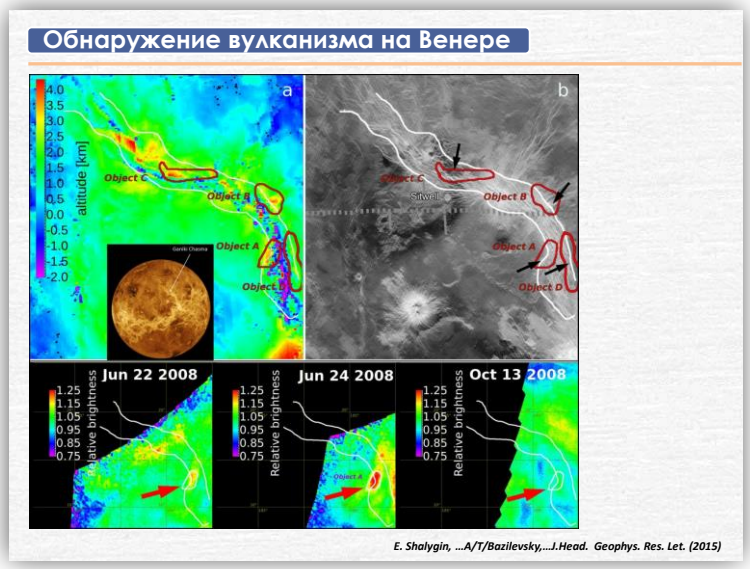


Рис. 13

Это – еще одна российско-американская работа. На съемках, сделанных в разные дни видно, как возникает, увеличивается и затем исчезает пятно, фиксирующее тепловую аномалию. Наблюдение вулканической деятельности на Венере является совершенно новым фактом.

Подобные работы позволяют поддерживать нашу школу планетных космических исследований, несмотря на многолетнее отсутствие собственных космических проектов.

К счастью мы имеем богатую коллекцию внеземного вещества. В ГЕОХИ размещена Российская коллекция метеоритов.

Рис. 14

Здесь хранится также все вещество лунного грунта, доставленного советскими космическими аппаратами Луна-16, Луна-20 и Луна-24. На базе ГЕОХИ функционирует Комитет по метеоритам РАН, работает лаборатория метеоритики.

В сложное время ГЕОХИ сохранил бесценную коллекцию метеоритов и лунного грунта. Более того метеоритная коллекция продолжает увеличиваться. Около 750 новых метеоритов было добавлено в коллекцию за последние 15 лет.

Эти метеориты исследуются в лаборатории метеоритики (зав. лабораторией доктор М.А. Назаров). Были открыты и зарегистрированы новые минералы метеоритов.

Рис. 15

15 февраля 2013 года произошло событие, привлекшее к себе общественное внимание, произошло падение крупного метеорита в районе Челябинска.

Институт уже на следующий день командировал группу сотрудников для поиска метеорита.

Был исследован химический состав, изотопный состав, выполнен петрологический анализ. Установлен петрологический тип (LL) и космическая история метеорита.

Полученные результаты были представлены в Международный Номенклатурный комитет.

На основе анализа метеоритов в лаборатории космохимии (зав. лаб. доктор В.А. Алексеев) установлена закономерность в изменении плотности галактических космических лучей в околосолнечном пространстве.

Это сделано путем анализа в метеоритах короткоживущих изотопов ^{54}Mn, ^{22}Na, ^{26}Al, возникающих в результате жесткого облучения галактическими космическими лучами. Всего исследовано 39 метеоритов, выпавших в разное время, последний в 2013 году.

Градиенты скоростей образования космогенных радионуклидов в 39 хондритах, выпавших в 1959-2013 гг. Анализ космогенных изотопов ^{54}Mn, ^{22}Na, ^{26}Al.

В.А.Алексеев и др. Известия РАН, серия физическая, №5, 650-653, 2015

Рис. 16

В принципе галактическое излучение постоянно и изотропно. Но, в околосолнечном пространстве оно модулируется солнечной активностью. Солнечный ветер как бы выметает галактическое излучение из околосолнечного пространства. Действительно, пики изменения плотности галактических лучей совпадают с максимумами солнечной активности и обнаруживают приблизительно 11-летнюю периодичность.

Это – уникальная, построенная в ГЕОХИ закономерность, имеет фундаментально значение для оценки риска и выбора времени пилотируемых длительных межпланетных экспедиций, например, экспедиций к Марсу.

Проблемы геологии и геохимии.

Наш институт отличается, следуя принципам В.И. Вернадского, общепланетарным подходом к проблемам геологии и геохимии.

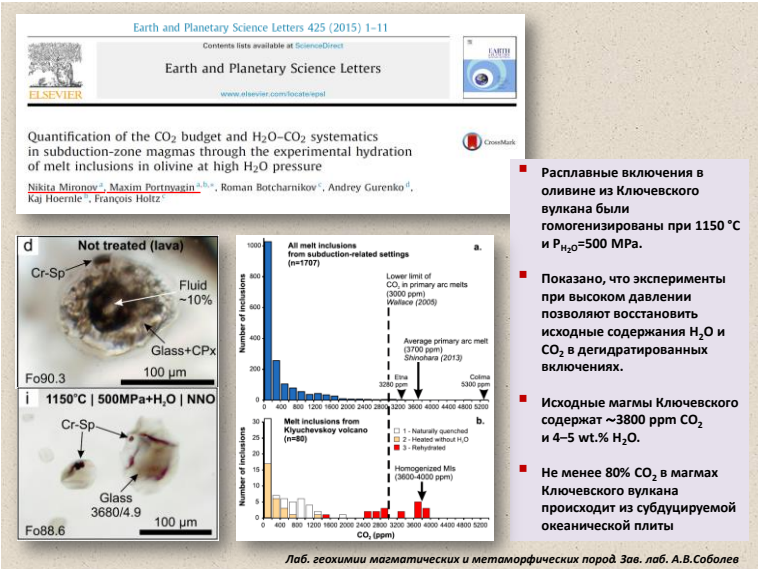


Рис. 17

Уже в течение более 50 лет существует понимание того факта, что часть материала земной коры погружается в мантию в процессе субдукции океанической коры и рециклируется в процессе планетарной конвекции. Однако, количественная сторона этого процесса до сих пор остается неясной.

Группа М. Портнягина (лаборатория члена-корреспондента А.В. Соболева), изучив расплавные включения в оливинах Ключевского вулкана, показала, что исходные магмы содержали 4-5% воды и что до 80% CO_2 в магмах происходит из материала океанической коры.

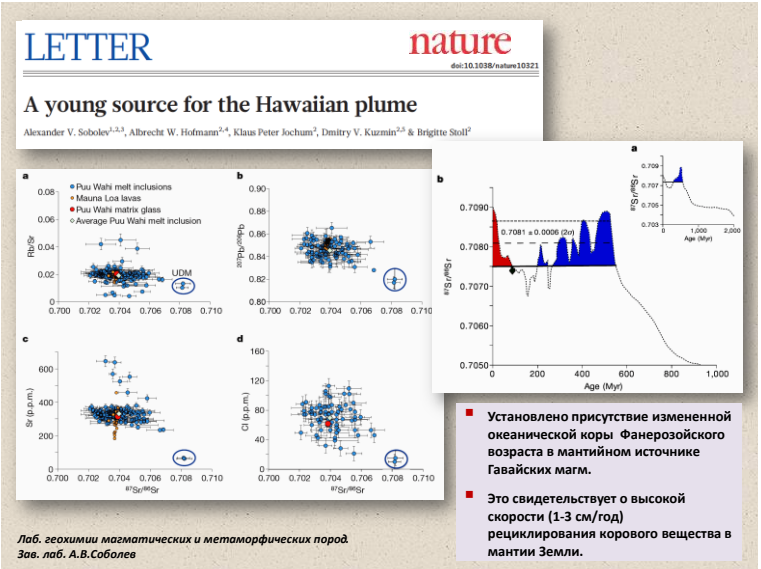
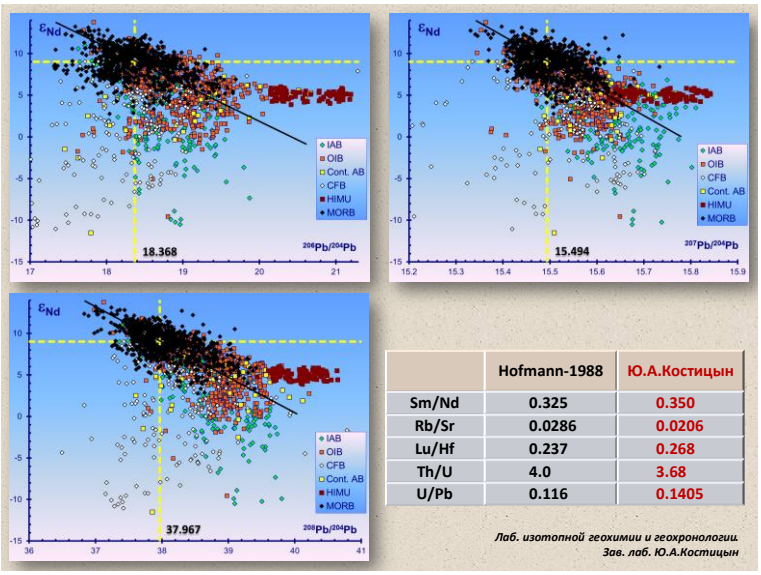


Рис.18

В другой работе, выполненной А.В. Соболевым с зарубежными соавторами, было установлено присутствие молодого корового материала фанерозойского возраста в мантийных источниках Гавайских магм. Это позволило оценить скорость рециклирования материала коры в мантии Земли. Оценки дали величину 1-3 см в год, т.е. весьма высокую скорость.

Таким образом, получены весьма важные количественные характеристики процесса взаимодействия коры и мантии Земли.



	Hofmann-1988	Ю.А.Костицын
Sm/Nd	0.325	0.350
Rb/Sr	0.0286	0.0206
Lu/Hf	0.237	0.268
Th/U	4.0	3.68
U/Pb	0.116	0.1405

Рис. 19

В геохимии считается общепринятым, что Земля имеет первично хондритовый состав.

Профессор Ю.А. Костицын, проведя анализ собственных и доступных литературных данных по Sm/Nd системе в породах, пришел к выводу, что исходное значение Sm/Nd для Земли несколько отличается от хондритового.

Это имеет фундаментальное значение, поскольку современные глобальные геохимические модели строятся на основе представлений об обедненности или обогащенности мантии по отношению к хондритовому составу.

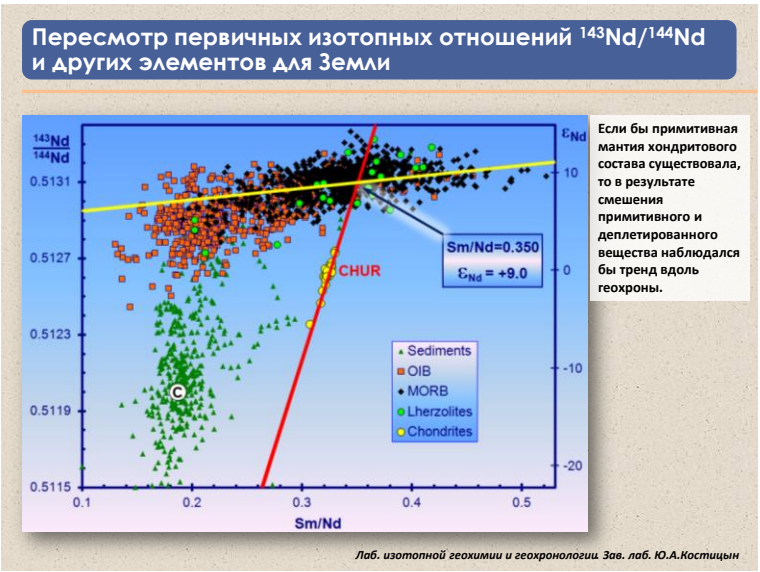


Рис. 20

Существующая корреляция соотношений элементов приводит к необходимости пересчета и ряда других важных соотношений. Соотношение Rb/Sr следует принять 0,0205, а не 0,0286, как принято сегодня, соотношение Th/U становится равным 4.0 и т.д.

Это действительно существенное изменение наших представлений о составе первичной Земли.

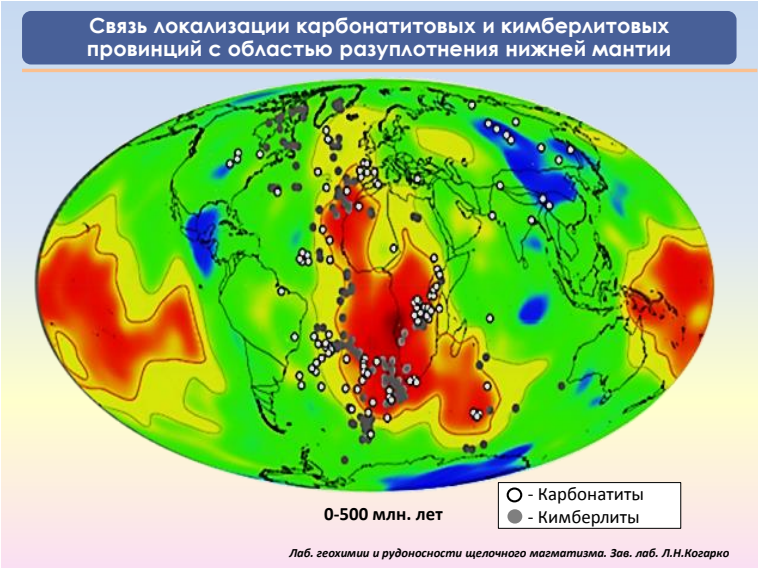


Рис.21

В лаборатории академика Л.Н. Когарко собрана огромная база данных по карбонатитовым месторождениям мира. Выяснилось, что размещение карбонатитовых массивов обнаруживает отчетливую связь с глобальной зоной разуплотнения в мантии, которая выявлена современными методами сейсмической томографии.

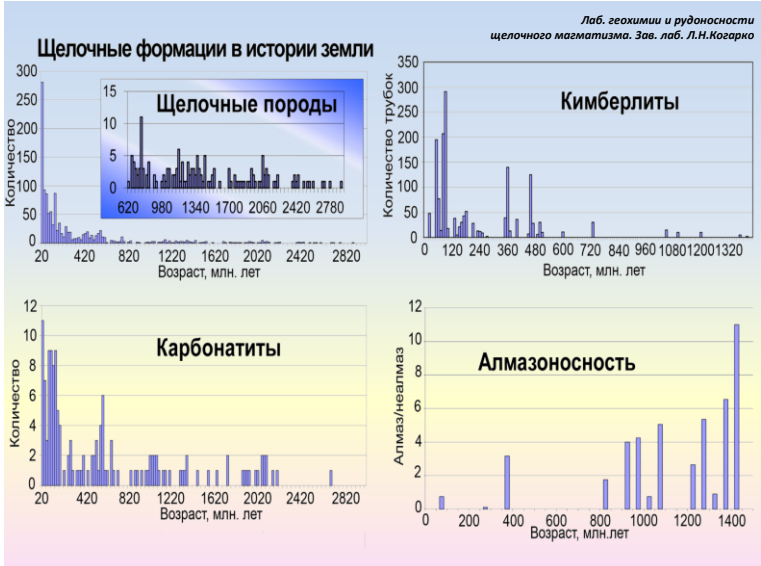


Рис. 22

Более того, глобальный характер имеет не только пространственное размещение карбонатитовых месторождений, но и их эволюция в геологическом времени. Начиная приблизительно с возраста 2,8 миллиарда лет, проявляется и нарастает интенсивность щелочного магматизма. Увеличивается число проявлений карбонатитового и кимберлитового магматизма. Алмазоносность кимберлитов, напротив, падает. Скорее всего, это отражает эволюцию редокс-потенциала мантии в сторону более окисленных состояний.

Увеличение массы H_2O – CO_2 флюида, по мнению Л.Н. Когарко, приводит к крупномасштабной миграции несовместимых элементов, вызывая формирование источников месторождений стратегических металлов.

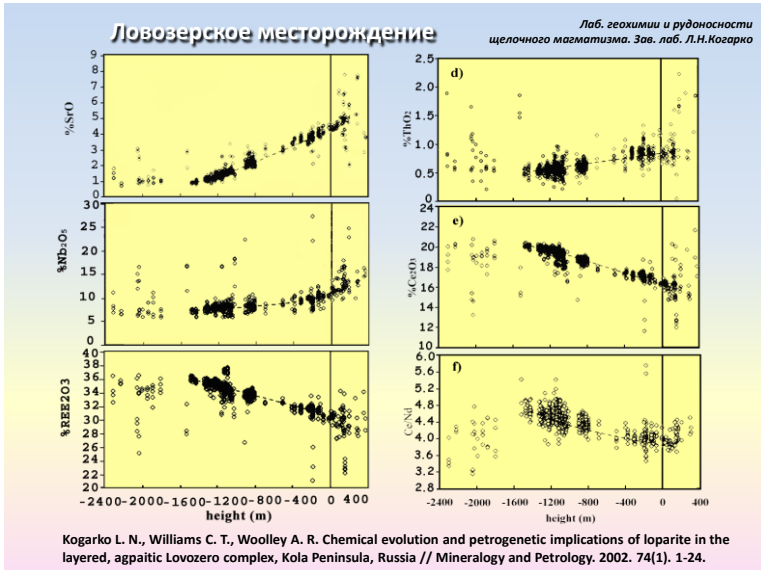


Рис.23

Детальные исследования Ловозерского щелочного массива показали, что существуют отчетливые тренды в содержании элементов в рудных минералах. Нижняя зона месторождения перспективна на редкие земли и Ti, а верхние горизонты на Nb, Ta и радиоактивные металлы.

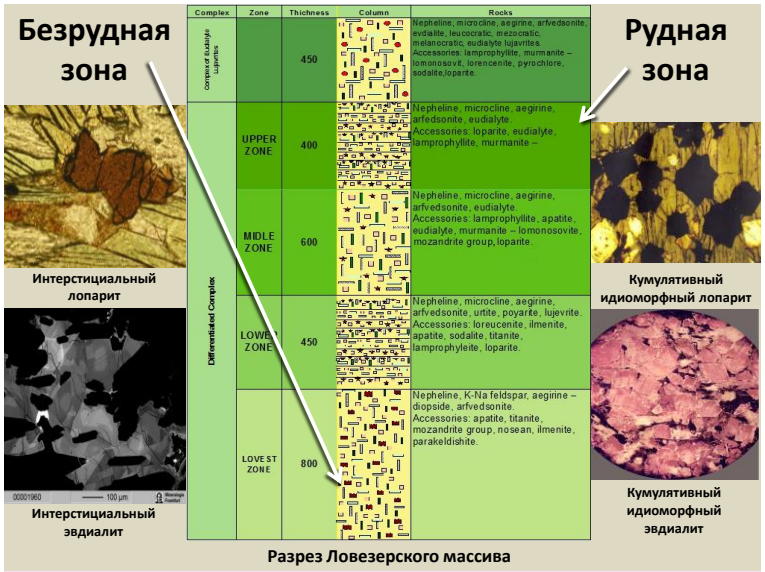


Рис. 24

В минералогическом отношении рудоносными зонами на редкометальное сырье являются те, что содержат ранний идиоморфный лопарит и эвдиалит.

Зоны же, содержащие поздние интерстициальные выделения эвдиалита и лопарита, оказываются не перспективными на руды стратегических металлов.

Это представляет собой новый поисковый прогнозно-геохимический критерий.

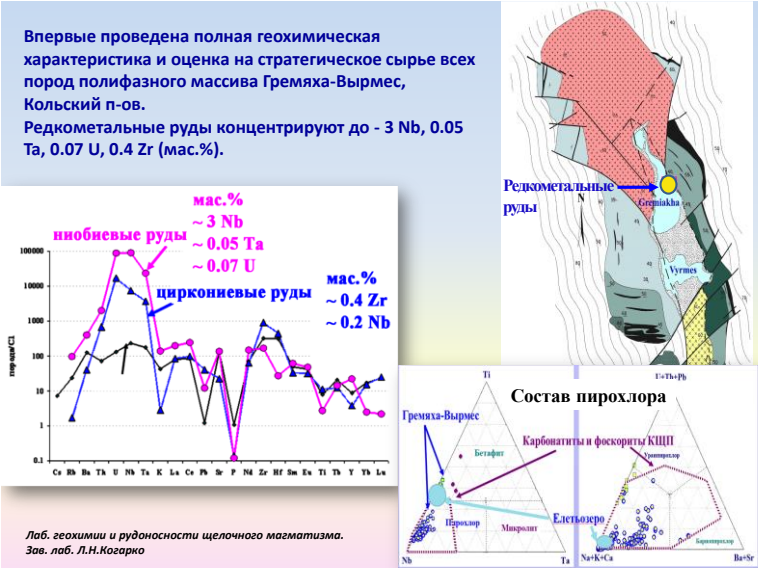


Рис. 25

Оценка на стратегическое сырье месторождения Гремяха-Вырмес на Кольском полуострове показала, что редкометальные руды концентрируют ураганные содержания ниобия (Nb до 3%), Zr до 0.4%.

Есть, таким образом, непосредственная связь между пониманием общих закономерностей дифференциации мантии Земли, формирования щелочно-карбонатитовых формаций и прогнозом месторождений стратегических металлов.

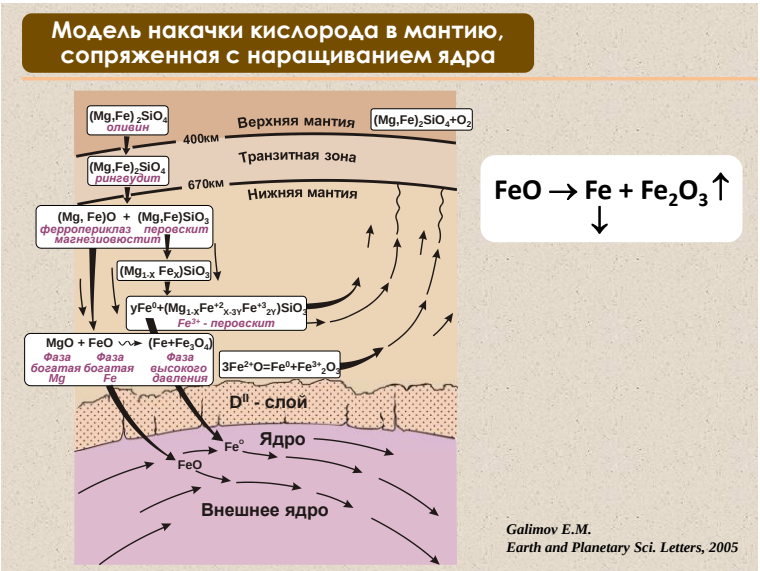


Рис. 26

Проблема эволюции окислительно-восстановительного режима мантии – это одна из центральных тем института, затрагивающая работы во многих направлениях от проблем от рудообразования до условий зарождения биосферы

В ГЕОХИ разработана модель эволюции окислительного режима, связанная с наращиванием ядра.

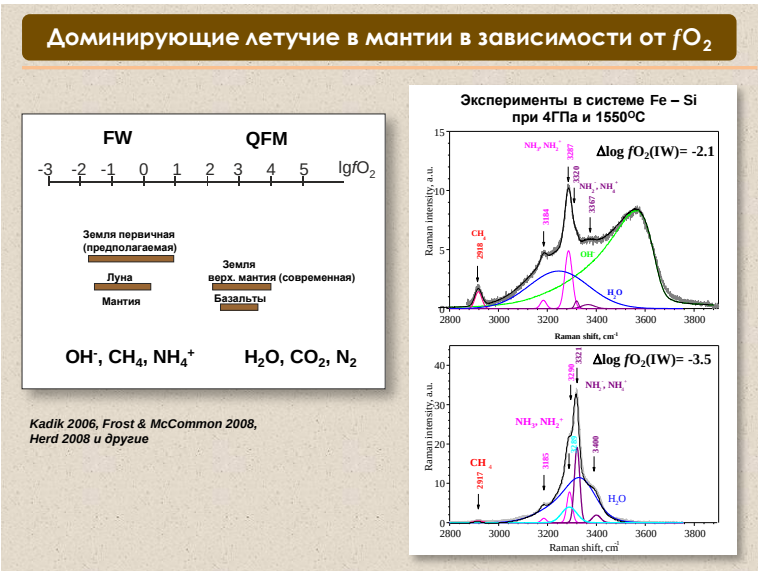


Рис.27

Лаборатория А.А. Кадика является одним из ведущих центров исследования поведения летучих в зависимости от окислительно-восстановительного режима мантии. Здесь были установлены фундаментальные закономерности, связывающие соотношения CO_2/CH_4 с фугитивностью кислорода в мантии.

В последнее время под руководством профессора А.А. Кадика были продолжены эксперименты по изучению поведения летучих при весьма низких значениях фугитивности кислорода, на 5-8 порядков ниже фугитивности кислорода в современной мантии. Оказалось, что при этом начинает исчезать метан (CH_4) и доминировать аммиак (NH_3). Удивительно, что вода, хотя ее содержание и уменьшается, продолжает присутствовать в составе летучих. Это может объяснить, в частности, неожиданно обнаруженное американским исследователями присутствие воды в мантийных минералах Луны.

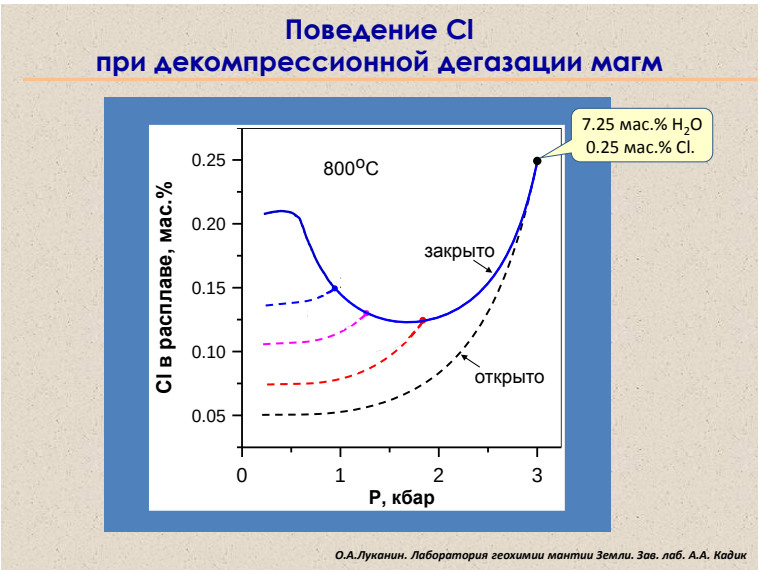


Рис.28

Геохимически важным летучим является хлор. Способность хлора при магматических PT-параметах образовывать устойчивые комплексы со многими элементами, в том числе редкими, определяет его роль в миграции и отложении рудных элементов.

О.А. Луканиным в лаборатории профессора А.А. Кадика были получены экспериментальные и теоретические данные о распределении хлора в системе флюид-расплав в процессе последовательной декомпрессии. Оказалось, что поведение хлора нелинейно.

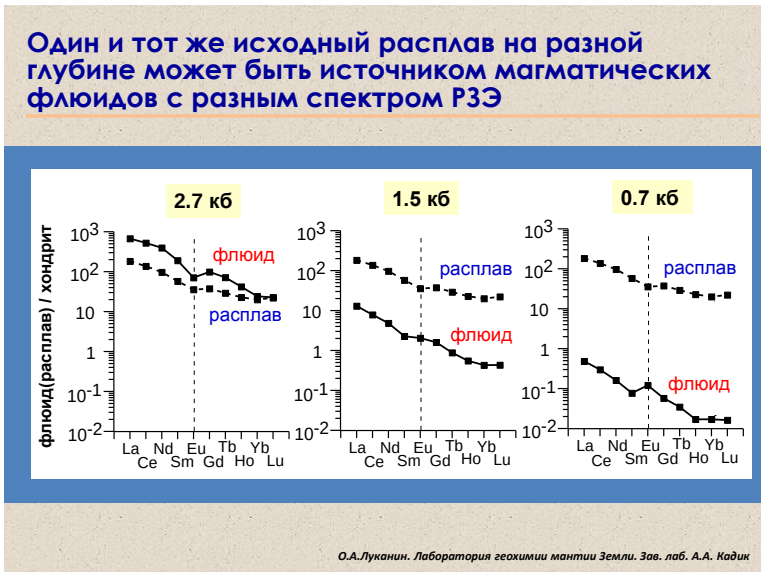


Рис.29

Важным следствием установленной зависимости является тот факт, что один и тот же исходный расплав при разных давлениях дегазации, например на разной глубине, может быть источником магматических флюидов с разным содержанием и спектром элементов.

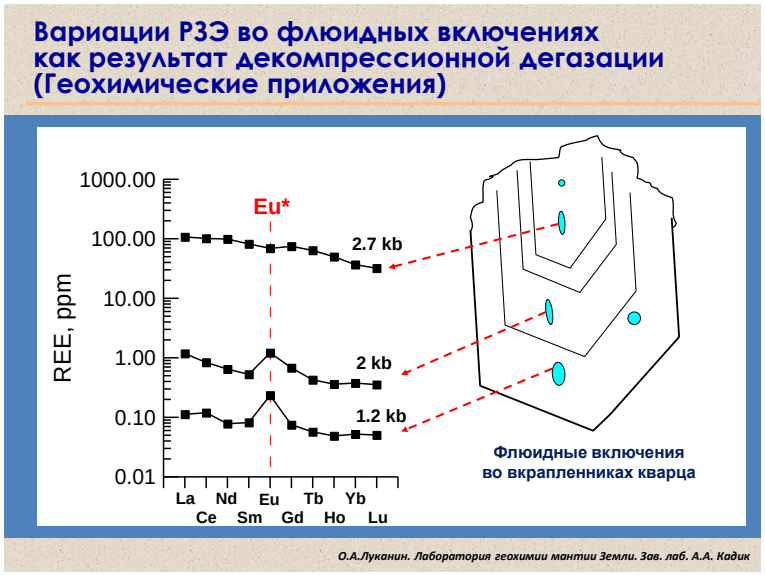


Рис.30

Флюидные включения, образовавшиеся на разных стадиях формирования даже отдельного кристалла, могут иметь разный состав редких земель. Это обстоятельство имеет значение для правильной интерпретации данных по флюидным включениям, в том числе для прогноза перспектив рудоносности.

Рис.31

Остановлюсь теперь еще на одной работе, связанной с динамикой флюида. Речь пойдет о кавитационных алмазах.

Напомню, что возможность образования алмаза в процессе кавитации была показана еще в 1973 году.

При возникновении кавитации во флюиде, стремительно продвигающемся в недрах, как это бывает при образовании кимберлитовых трубок, давления в точках схлопывания кавитационных пузырей могут достигать десятков и даже сотен тысяч атмосфер, достаточных для синтеза алмаза.

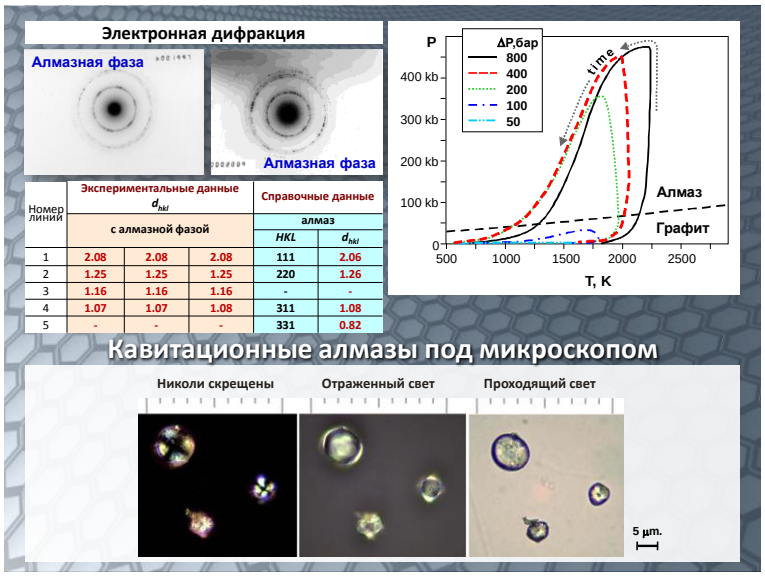


Рис.32

В 2004 году мы, совместно с МГТУ им. Баумана, построили установку, в которой впервые получили кавитационные алмазы экспериментально при возбуждении кавитации в бензоле. Была тщательно проведена идентификация алмазов.

В последнее время было показано, что получаемые наноалмазы могут быть легированы другими элементами, что не только алмазы, но и другие нано структу-

ры углерода возникают в процессе кавитации. Детально изучена динамика процесса. В частности, показано, что условия термодинамической стабильности алмаза возникают при создании внешнего давления по отношению к схлопывающимся пузырькам порядка 200 атм.

Рис.33

Получив уточнение параметра процесса, мы приступили к созданию у нас в Институте более крупной пилотной установки для кавитационного синтеза алмазов.

Установка позволит получать более высокий выход кавитационных алмазов, чем мы имели возможность получать до сих пор.

В медицине сейчас проявляется интерес к точечной доставке лекарственных препаратов к больному органу при помощи наноалмазов. Нами начаты в этом направлении работы вместе с медиками.

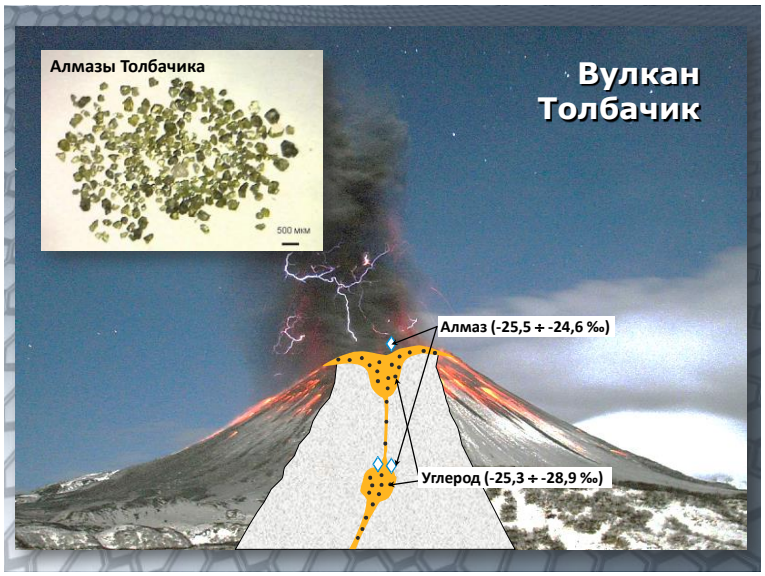


Рис.34

Недавно были обнаружены алмазы при извержении вулкана Толбачик на Камчатке. Находка этих алмазов вызвала недоумение и даже недоверие, поскольку в минеральном составе вмещающих пород отсутствуют следы того высокого давления, которое необходимо для синтеза алмаза.

Однако есть явные признаки связи образования алмазов Толбачика с флюидодинамикой. Алмазы встречаются только в продуктах первой взрывной фазы извержения вулкана, в пирокластике и пузырчатой лаве, но отсутствуют в массивных лавах последующих спокойных фаз извержения.

Мы интерпретировали происхождение этих алмазов как связанное с кавитацией. Если это так, то это позволяет принципиально пересмотреть условия и распространенность алмазов в природе. Существует большое число геологических процессов, связанных с быстрым перемещением флюида в горных породах по трещинам, например, как результат тектонических движений. Алмазы

тогда могут встречаться в условиях, не предполагающих тех сверхвысоких давлений в среде, которые казались необходимым условием синтеза алмазов в природе.

Уместно подчеркнуть, что кавитационный синтез алмазов от первой идеи до практического воплощения является целиком отечественным продуктом.

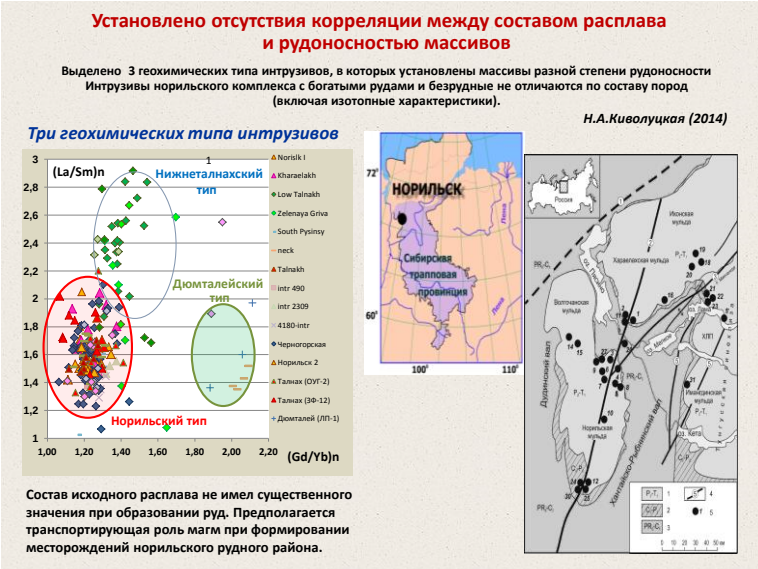


Рис.35

Наш институт известен своими работами в области геохимии элементов платиновой группы и золота.

Доктором Н.А. Криволуцкой разработана модель формирования Pt – Cu – Ni месторождений Норильского района. Новое состоит в доказательстве того, что рудное вещество генетически не связано с рудовмещающими магмами. Сульфидные руды накапливались в условиях нижней коры и выносились на верхние этажи трапповыми магмами.

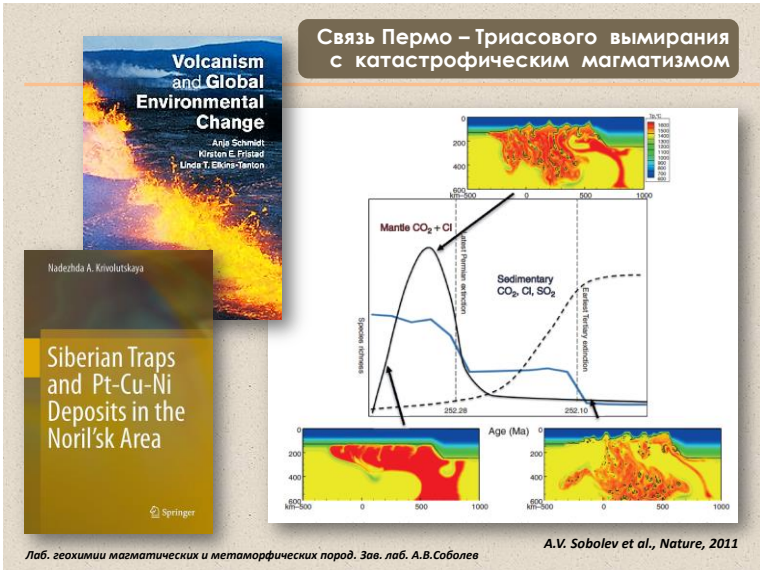


Рис.36

Эта работа базируется на фундаментальной модели формирования обширного траппового магматизма в Восточной Сибири под действием мантийного плюма. А.В. Соболев с сотрудниками считают, что это привело к выделению гигантской массы ядовитых газов, которые явились причиной известного массового вымирания организмов в пермо-триасовое время, т.е.оказали влияние на эволюцию биосферы.

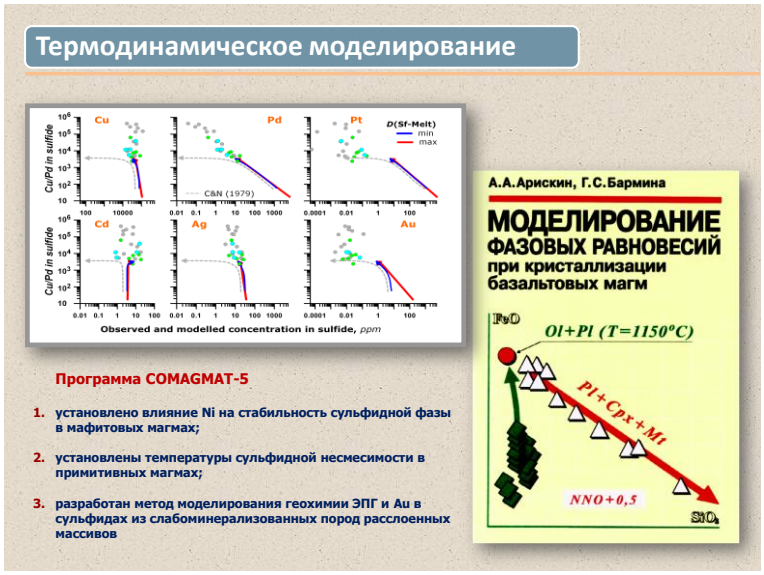


Рис.37

А.А. Арискин и Г.С. Бармина разработали термодинамическую модель (программа КОМАГМАТ-5) кристаллизации ультраосновных магм в условиях их насыщения сульфидами. Программа позволяет оценить эволюцию содержаний высокохалькофильных элементов, элементов платиновой группы, золота в сульфидах на разных стадиях кристаллизации магматических расплавов. Они опубликовали в 2014 году монографию.

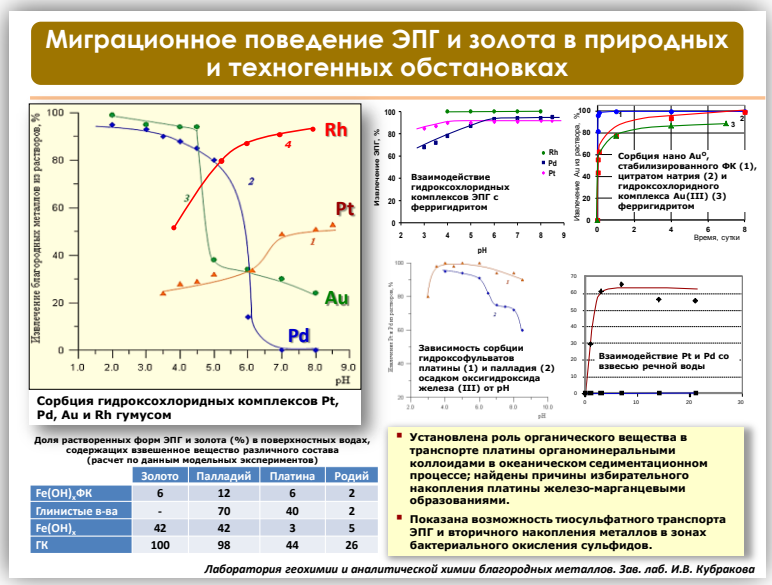


Рис.38

Поведение элементов платиновой группы и золота в поверхностных средах изучалось в лаборатории И.В. Кубраковой. Были получены результаты, указывающие на значительную роль органического вещества (гуминовых соединений) в миграции этих элементов. Я прокомментирую только один график.

Эксперименты показали, что сорбция разных элементов платиновой группы гуминовыми веществами зависит от pH раствора. Например, в кислых водах почти стопроцентно сорбируются золото (Au) и палладий (Pd). В щелочных водах прекрасно сорбируется родий (Rh), платина (Pt) на 50%, в то время как палладий (Pd) и золото (Au) почти полностью остаются в растворе.

Таким образом, эксперименты показали, что элементы платиновой группы могут существенно разделяться в разных геохимических обстановках, например, Pt и Pd, хотя их средние содержания в земной коре (кларки) практически одинаковы, и они принадлежат к элементам одной и той же группы, встречаются иногда в совершенно разных концентрациях.

Арктика.

Я отдельно выделяю работы Института по Арктике, которая сейчас перемещается в центр внимания не только с научной, но и с экономической точки зрения.

В свое время мировую известность снискала школа осадочной геохимии ГЕОХИ, созданная академиком А.Б. Роновым. На основе построения литолого-фациальных карт А.Б. Роновым была произведена глобальная инвентаризация химического и литологического состава осадочной оболочки земной коры.

Сегодня бывшая лаборатория А.Б. Ронова, руководимая доктором М.А. Левитаном, использует тот же подход при исследовании Арктического бассейна. К настоящему времени построены литолого-фациальные карты отложений нижнего триаса, верхней юры, верхнего мела, плиоцена, на основе которых получена количественная картина изменения параметров седиментации в мезозое-кайнозое (Mz – Kz).

Рис.39

Рис.40

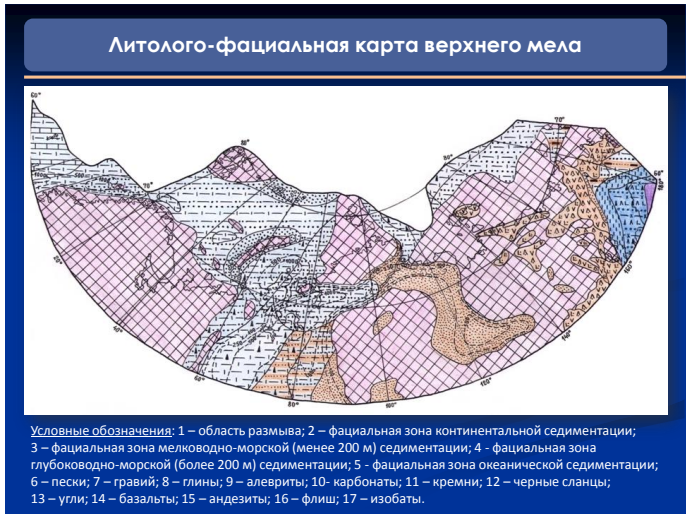


Рис.41

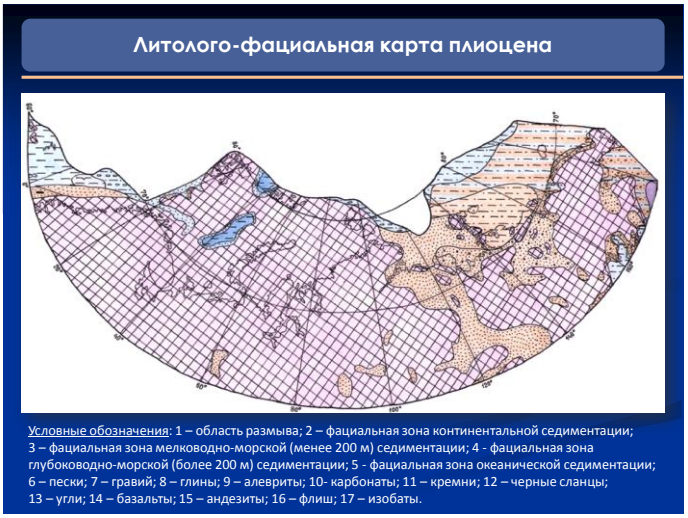


Рис.42

Рис.43

Установлено существенное преобладание в Арктическом бассейне терригенной седиментации над карбонатной.

Выявлены периоды повышенного накопления органического вещества (черных сланцев) в осадочном разрезе Арктического бассейна.

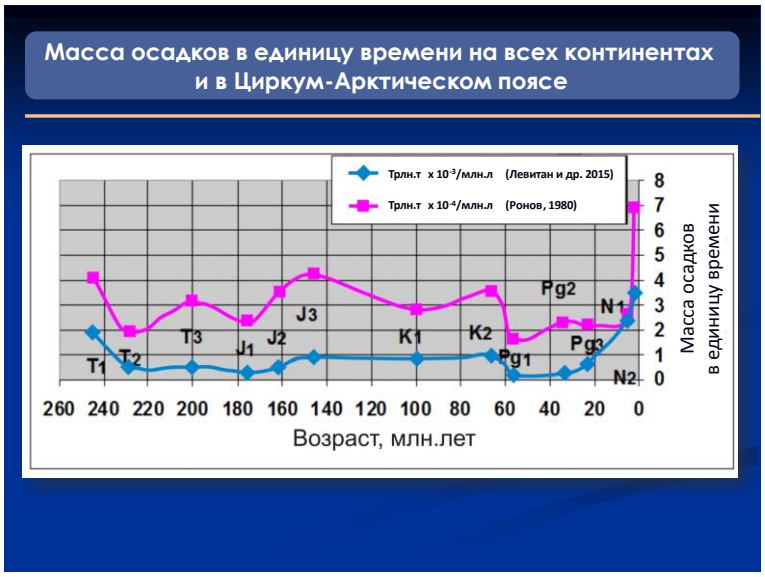


Рис.44

Показано, что интенсивность седиментации в Арктическом бассейне (синяя кривая) повторяет глобальную картину (красная кривая).

Выполненная в ГЕОХИ реконструкция химического строения осадочной оболочки Арктического бассейна является необходимой основой прогноза нефтегазоносности Арктики.

К этому следует добавить ведущуюся группой доктора А.С. Немченко-Ровенской работу по сравнительному анализу Российской Арктики с продуктивным регионом американской Аляски, и на этой основе оценку перспектив нефтегазоносности Российской Арктики.

Рис.45

Особенность радиоэкологии российской Арктики состоит в том, что в арктические воды, непосредственно в Карское море, происходит сток рек Оби, Енисея, в гидрографической сети которых расположены гиганты российской радиохимической индустрии, имеющими дело с большими массами радиоактивных отхо-

дов. Это комбинат «Маяк». Это Красноярский горно-химический комбинат.

Помимо этого, на Новой Земле, как известно, производились ядерные испытания, а в заливах Новой Земли производили захоронения снятых с подводных лодок отработавших атомных реакторов. В недавнем прошлом, используя судно «Академик Борис Петров», наш институт в нескольких экспедициях произвел тщательное радиоэкологическое картирование Карского моря. Были получены карты распределения ^{137}Cs в акватории Карского моря, распределения Pu в осадках, распределения ^{90}Sr в воде.

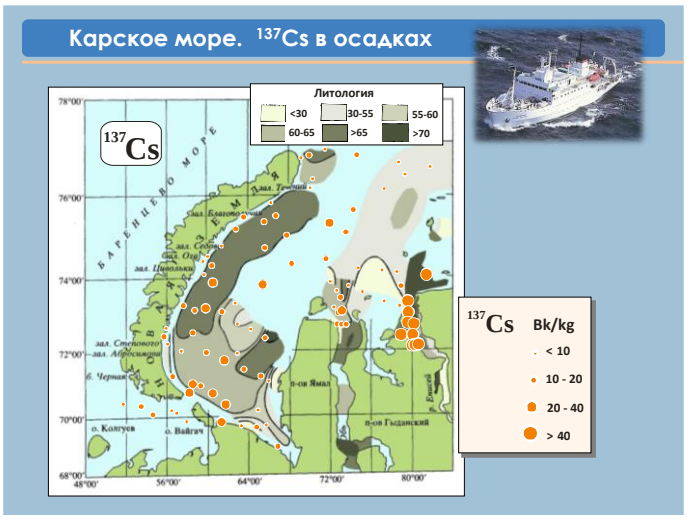


Рис.46

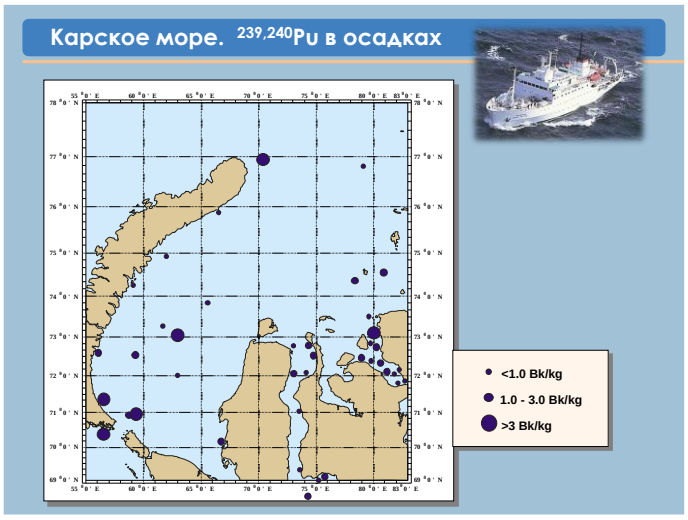


Рис.47

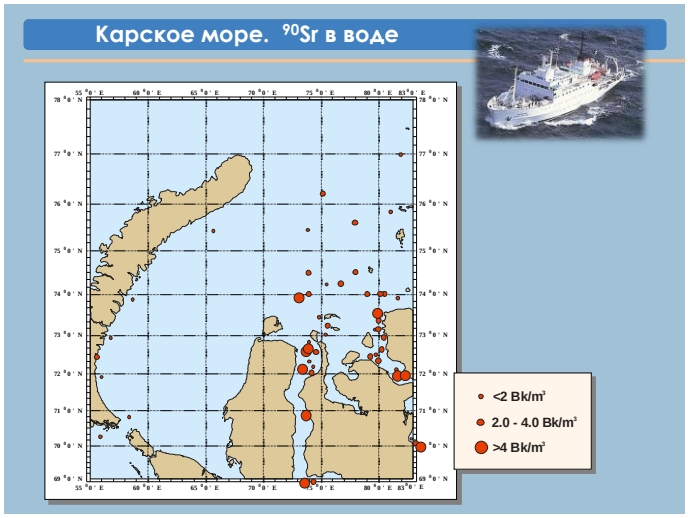


Рис.48

Особенность и уникальность работы, которую производил наш Институт была в том, что радиоэкологический мониторинг производился одновременно и в связи с биогеохимическими исследованиями.

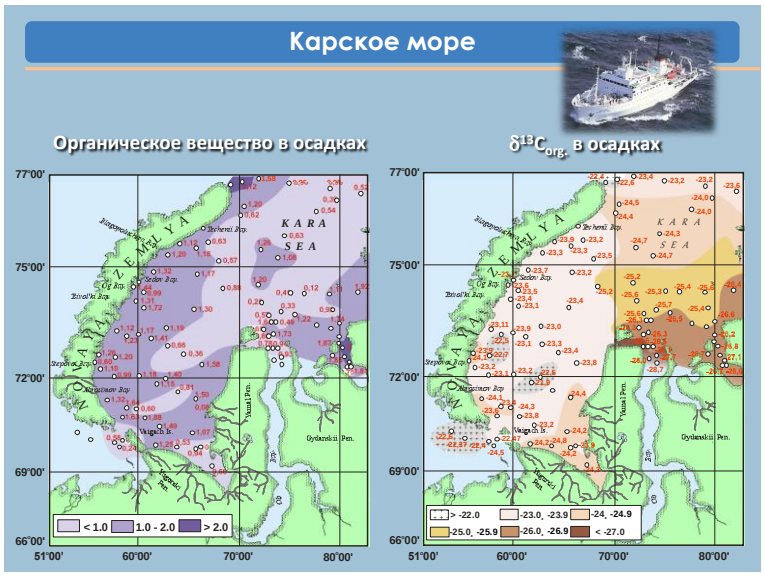


Рис.49

Были получены карты распределения изотопного состава углерода $\delta^{13}C$ и содержания органического вещества в осадках, окислительно-восстановительного потенциала в осадках.

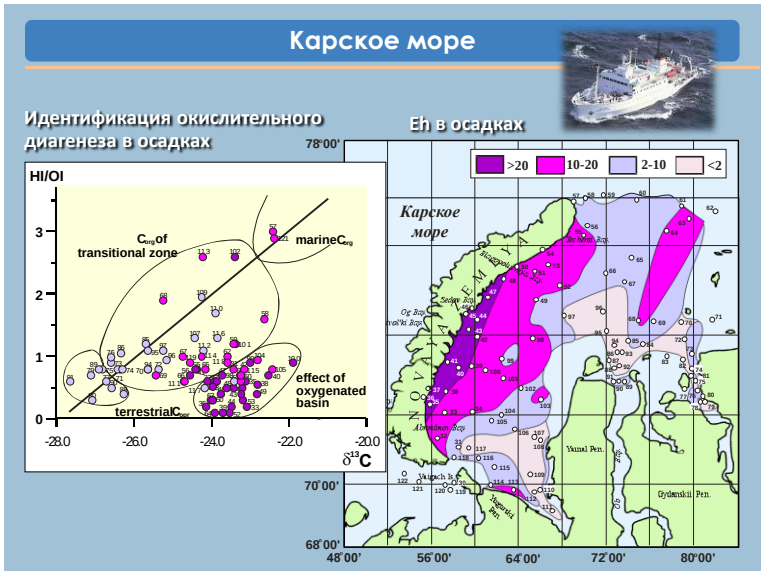


Рис.50

Таким образом были получены данные, составляющие сегодня фундамент нашего знания о состоянии радиоэкологической обстановки в арктических водах России.

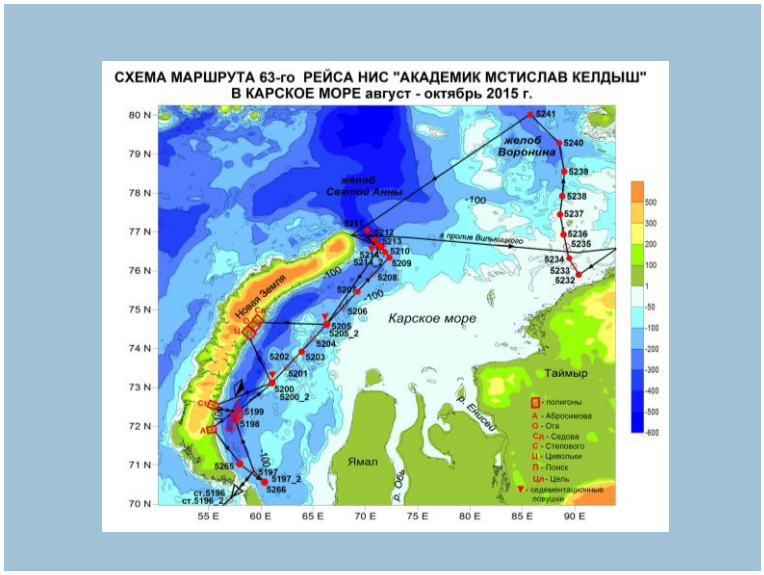


Рис.51

В этом году группа исследователей из нашего Института участвовала в экспедиции судна «Академик Мстислав Келдыш» в Арктике и отобрали образцы, в том числе в неисследованной нами ранее при-Таймырской части Арктических вод. Эти исследования запланированы и на следующий год.

Следует подчеркнуть, что в ходе предшествующих исследований мы убедились, что присутствие радионуклидов в Карском море не превышает допустимых значений. Это было важно в связи с обеспокоенностью, звучавшей в прессе, относительно опасной загрязненности Российской Арктики. Но, постоянный мониторинг и контроль радиохимического состояния Арктических вод по-прежнему необходим.

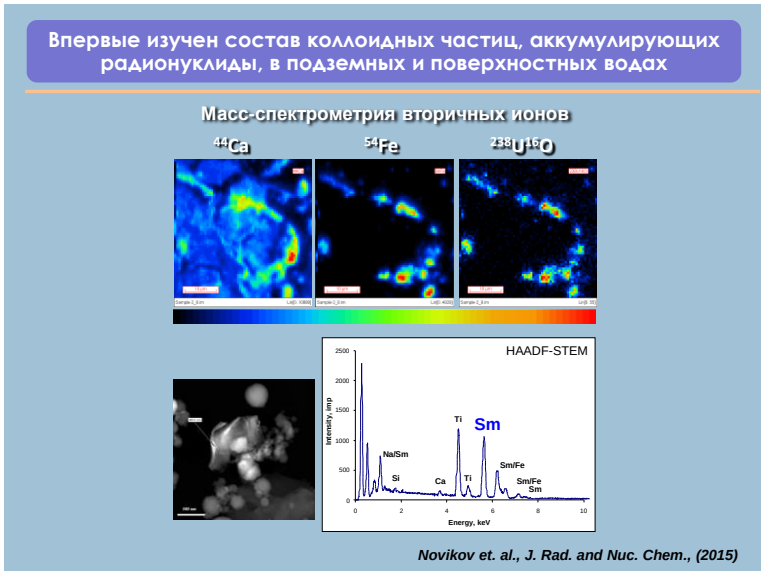


Рис.52

Задача, которая стоит перед радиоэкологами - это распознавание источников и выявление физико-химических форм поступления радионуклидов в моря Российской Арктики. В этом направлении и ведется работа. В лаборатории доктора А.П. Новикова разработан метод идентификации коллоидных частиц, несущих радионуклиды.

Рис.53

В той же лаборатории радиоэкологии разработан автоматический буй для радиационного контроля. Имеется в виду его установка вблизи подводных потенциально опасных объектов. Например, в местах захоронения атомных реакторов в заливах Новой Земли. Информация передается через спутник.

Совместно с Институтом общей и неорганической химии РАН им. Курчатова был разработан негигроскопичный сцинтилляционный детектор. Создание негигроскопичного сцинтиллятора критически важно для долговременной подводной работы буя.

Биогеохимия. Геоэкология.

Биогеохимия – это научная дисциплина, созданная В.И.Вернадским.

Рис.54

В лаборатории биогеохимии, возглавляемой профессором В.В. Ермаковым, ведется изучение эндемий, связанных с избытком или недостатком тех или иных элементов. В предшествующие годы были выявлены районы с Se-дефицитной патологией. Это активировало исследования в области биохимии селена и послужило основанием для широкого применения соединений Se в коррекции сердечно сосудистых и опухолевых заболеваний. В последнее время в лаборатории биогеохимии ведутся исследования по биогеохимическому районированию и изучению причин Уровской болезни.

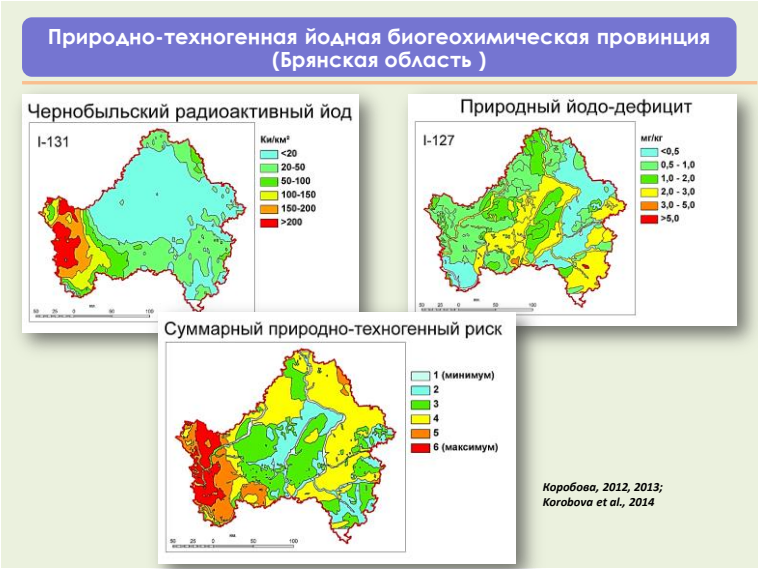


Рис.55

Со времени Чернобыльской аварии ГЕОХИ постоянно участвует в экологическом контроле зараженных территорий.

Опасный продукт радиоактивных выпадений, йод-131, накапливается в щитовидной железе, что ведет к онкологическим заболеваниям. Риск заболевания значительно возрастает, если выпадения сконцентрированы в зонах, где существует природный дефицит йода. Е.М. Коробова составила карту природного фона иода по Брянской области, сопоставила с картой выпадений и построила карту максимальных рисков. Такая карта является базой для профилактики заболеваний щитовидной железы. Она предоставлена медикам.

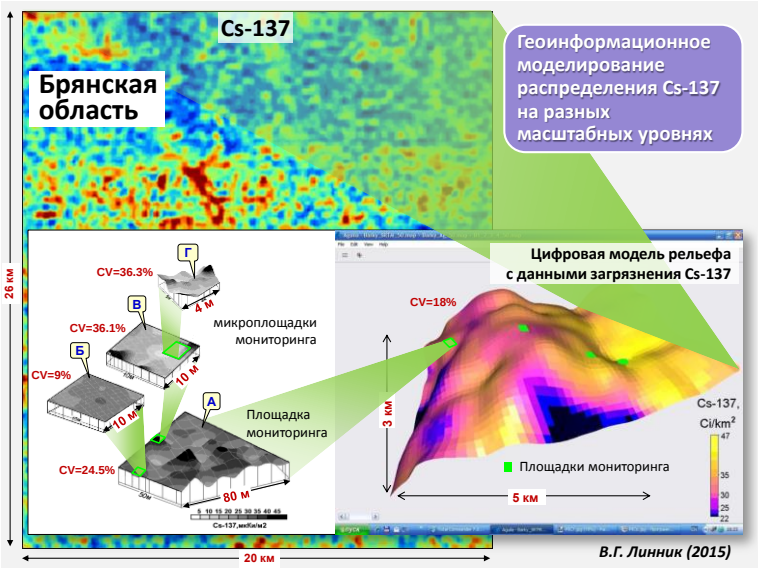


Рис.56

Сложная картина миграции радионуклида Cs-137 реконструирована В.Г. Линником с использованием геоинформационных технологий. На разных масштабных уровнях разные факторы включаются в процесс миграции Cs-137.

По - существу, мы используем сегодня техногенные радионуклиды как метку для выяснения закономерностей геохимической миграции элементов вообще, т.е для решения основной задачи биогеохимии.

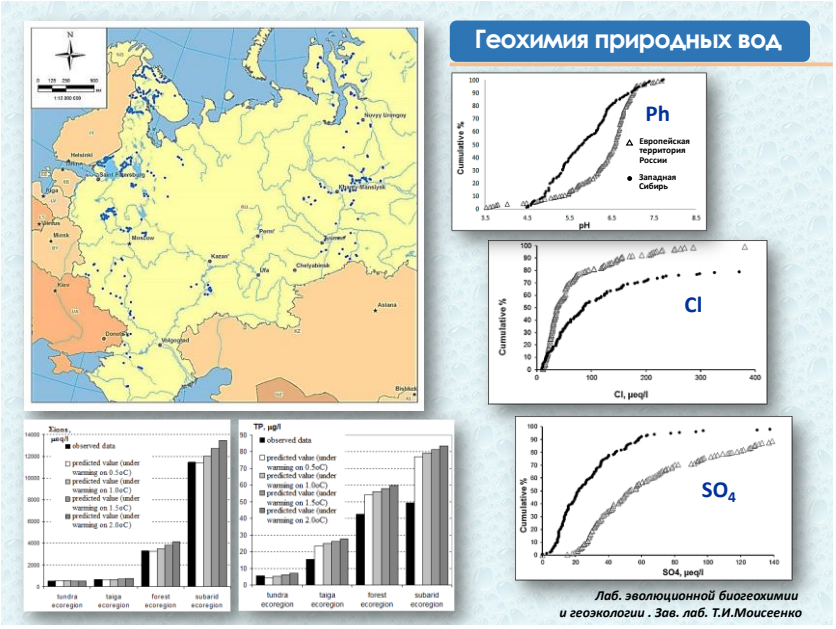


Рис.57

Член-корр. Т.И. Моисеенко с сотрудниками завершила большой цикл работ по исследованию состава малых озер России. Малые озера являются наиболее чувствительным индикатором региональной экологической обстановки. Данные охватывают разные географические, ландшафтные и климатические зоны. Сравнительный анализ выявил значимые тренды.

Графики передают, например, установленные различия в составах озерных вод Европейской части России и Западной Сибири. Составы вод европейской части сдвинуты в сторону обилия сульфатов, отражающих её промышленно-сельскохозяйственной освоение, а Западной Сибири – в сторону преобладания хлора.

Рис.58

В ГЕОХИ (лаборатория доктора В.Н. Носова) разрабатываются методы обнаружения локальных аномалий, возбуждаемых на морской поверхности как природными явлениями, например, подводным вулканизмом, цунами, тектоническими сдвигами, так и техническими средствами.

В 2013-2915 году производилась фоторегистрация следных аномалий на морской поверхности с борта Международной космической станции.

В соответствии с результатами наблюдений разрабатываются методы эффективного обнаружения источников аномалии.

Проблемы зарождения и эволюции биосферы.

Имеется программа Президиума под таким названием, в которой институт ГЕОХИ выполняет координирующую роль.

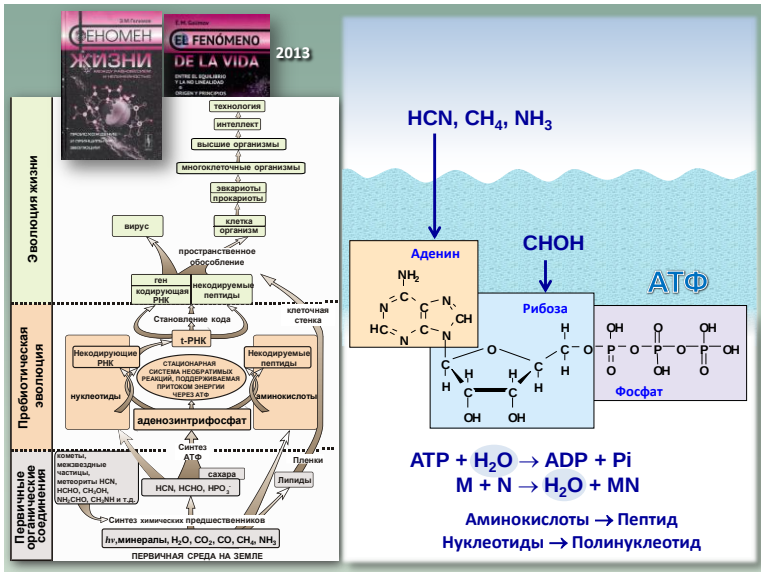


Рис.59

У нас сформулирован некий физический принцип производства химического упорядочения. Молекулярным воплощением этого механизма является реакция, идущая с участием аденозинтрифосфата (АТФ).

Рис.60

В биологии существует представление, что исходным состоянием предбиологического органического мира был так называемый «мир РНК» (рибонуклеиновых кислот). Концепция «мира РНК» предполагает, что изначально доминировали нуклеиновые кислоты. Они дали начало другим процессам биосинтеза.

Наша модель предлагает другую логику.

Первым шагом, запустившим эволюцию жизни, был синтез АТФ. Упорядочение, которое совершается с участием АТФ, сводится к молекулярной селекции. Поэтому следующим шагом был синтез не нуклеиновых кислот, а пептидов – селективных катализаторов.

Нуклеиновые основания были вторичными. В нашем понимании носители генетического кода ДНК и РНК являются не некой исходной субстанцией, задавшей организацию жизни, а возникли всего лишь как форма опосредованного воспроизведения пептидов.

Эти положения были развиты в выпусках нашей программы и в других публикациях.

Предложенная концепция предполагает ряд следствий.

Одно из следствий состоит в том, что ожидается принципиальное различие в распределении изотопов в биогенных и абиогенных соединениях. Сейчас, вместе с институтом биохимии им. Баха, мы ведем соответствующие эксперименты.

Создание инструмента распознавания биогенных и абиогенных форм органических соединений является одной из самых актуальных задач при развернувшейся сейчас программе поиска следов жизни в солнечной системе.

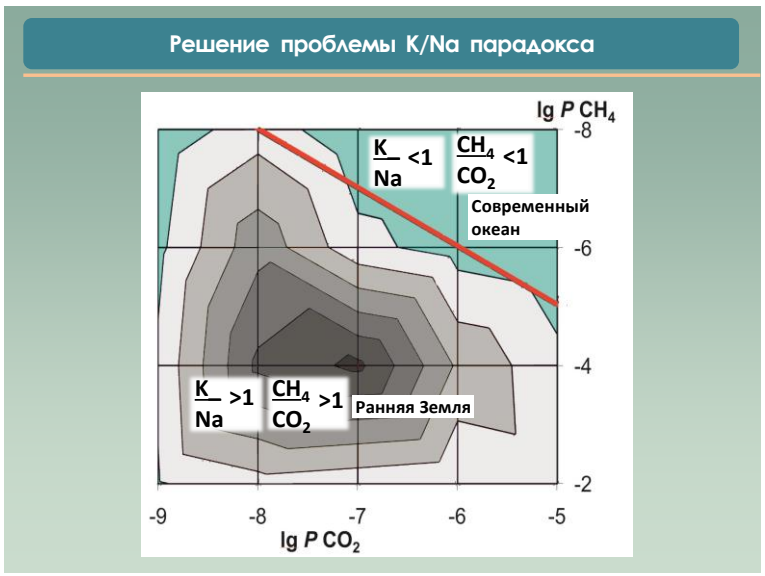


Рис.61

В рамках программы получил разрешение так называемый K/Na парадокс. Мы эту работу вели вместе с акад. Ю.В. Наточиным и доктором Б.Н. Рыженко.

Суть проблемы состоит в следующем.

Известно, что синтез белков возможен в среде, где калий (K) преобладает над натрием (Na).

Но мы знаем, что в океане в течение всего геологического времени Na преобладает над K (K/Na=0.03).

В современных организмах клеточная мембрана содержит насос, который поддерживает внутри клетки необходимое отношение K/Na>1. Но клеточная мембрана и солевой насос возникли на некотором этапе эволюции. А как мог тогда осуществляться синтез пептидов на самом раннем этапе?

В лаборатории Б.Н. Рыженко создана компьютерная термодинамическая программа, позволяющая моделировать поведение системы вода-порода.

Применение этой программы показало, что калий-натриевое отношение может быть больше единицы (K/Na>1), когда в среде преобладает метан над диоксидом углерода (CH_4/CO_2>1).

Таким образом, найдено еще одно подтверждение восстановленного состояния атмосферы на ранней Земле и получил логическое разрешение K/Na парадокс.

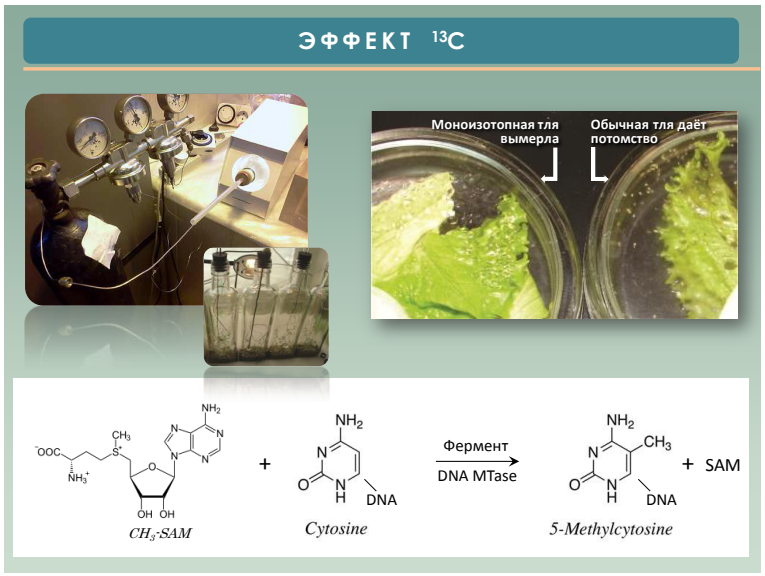


Рис.62

Интересный результат дала серия экспериментов по изучению влияния изотопного состава на физиологию организмов. Суть эксперимента состояла в том, что организмы выращивали в условиях, когда исходный углерод имел моноизотопный состав. А.А. Иванов в лаборатории геохимии углерода обнаружил, что насеко-

мые, питавшиеся моноизотопным углеродом, теряли способность к производству потомства.

Из этого следовало, что изотопия как-то сказывается на генетическом уровне.

Возможно, это связано со спиновым изотопным эффектом в реакции метилирования ДНК.

Спиновый эффект проявляется в радикальных реакциях.

Сейчас мы делаем попытки установить характер реакции метилирования вместе с сотрудниками физико-технического института в Казани, возглавляемого академиком К.М. Салиховым. У них есть хороший импульсный ЭПР. Если удастся разобраться в механизме этого явления, могут открыться интересные перспективы.

Нефть и газ

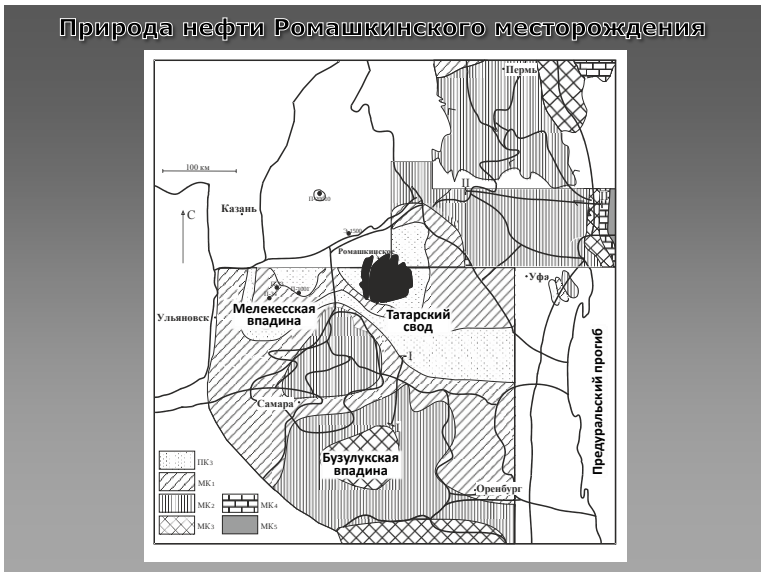


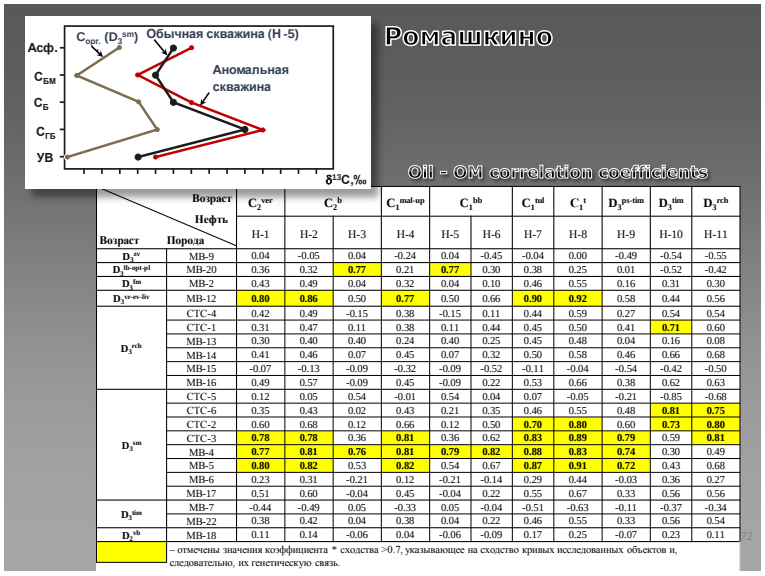
Рис.63

Надо сказать, что в последние годы оживились представления о якобы подтоке в осадочную оболочку углеводородов, синтезированных в глубинах земной коры и мантии.

Конкретно в Татарстане, например, эти взгляды получили распространение и поддержку крупных геологов и влиятельных администраторов. Аргументы основаны на многолетних наблюдениях за эксплуатацией Ромашкинского месторождения.

Это – супергигантское месторождение, входящее с запасами порядка 5 миллиардов тонн нефти в десятку крупнейших месторождений мира. Залежи нефти находятся в отложениях, залегающих близко к кристаллическому фундаменту. Причем некоторые, давно эксплуатируемые скважины, вдруг начинали давать высокий приток нефти. Это и вызвало представление о якобы подпитке месторождения подтоком углеводородов из глубины.

Мы заинтересовались этим явлением.



Возраст	Порода \ Нефть	C_2^{ver}	C_2^{b}		C_1^{mal-up}	C_1^{bb}		C_1^{tul}	C_1^{t}	D_3^{ps-tim}	D_3^{tim}	D_3^{rch}
		Н-1	Н-2	Н-3	Н-4	Н-5	Н-6	Н-7	Н-8	Н-9	Н-10	Н-11
D_3^{zv}	МВ-9	0.04	-0.05	0.04	-0.24	0.04	-0.45	-0.04	0.00	-0.49	-0.54	-0.55
$D_3^{lb-apt-pl}$	МВ-20	0.36	0.32	**0.77**	0.21	**0.77**	0.30	0.38	0.25	0.01	-0.52	-0.42
D_3^{fm}	МВ-2	0.43	0.49	0.04	0.32	0.04	0.10	0.46	0.55	0.16	0.31	0.30
$D_3^{vr-ev-liv}$	МВ-12	**0.80**	**0.86**	0.50	**0.77**	0.50	0.66	**0.90**	**0.92**	0.58	0.44	0.56
D_3^{rch}	СТС-4	0.42	0.49	-0.15	0.38	-0.15	0.11	0.44	0.59	0.27	0.54	0.54
	СТС-1	0.31	0.47	0.11	0.38	0.11	0.44	0.45	0.50	0.41	**0.71**	0.60
	МВ-13	0.30	0.40	0.40	0.24	0.40	0.25	0.45	0.48	0.04	0.16	0.08
	МВ-14	0.41	0.46	0.07	0.45	0.07	0.32	0.50	0.58	0.46	0.66	0.68
	МВ-15	-0.07	-0.13	-0.09	-0.32	-0.09	-0.52	-0.11	-0.04	-0.54	-0.42	-0.50
	МВ-16	0.49	0.57	-0.09	0.45	-0.09	0.22	0.53	0.66	0.38	0.62	0.63
D_3^{sm}	СТС-5	0.12	0.05	0.54	-0.01	0.54	0.04	0.07	-0.05	-0.21	-0.85	-0.68
	СТС-6	0.35	0.43	0.02	0.43	0.21	0.35	0.46	0.55	0.48	**0.81**	**0.75**
	СТС-2	0.60	0.68	0.12	0.66	0.12	0.50	**0.70**	**0.80**	0.60	**0.73**	**0.80**
	СТС-3	**0.78**	**0.78**	0.36	**0.81**	0.36	0.62	**0.83**	**0.89**	**0.79**	0.59	**0.81**
	МВ-4	**0.77**	**0.81**	**0.76**	**0.81**	**0.79**	**0.82**	**0.88**	**0.83**	**0.74**	0.30	0.49
	МВ-5	**0.80**	**0.82**	0.53	**0.82**	0.54	0.67	**0.87**	**0.91**	**0.72**	0.43	0.68
	МВ-6	0.23	0.31	-0.21	0.12	-0.21	-0.14	0.29	0.44	-0.03	0.36	0.27
	МВ-17	0.51	0.60	-0.04	0.45	-0.04	0.22	0.55	0.67	0.33	0.56	0.56
D_3^{tim}	МВ-7	-0.44	-0.49	0.05	-0.33	0.05	-0.04	-0.51	-0.63	-0.11	-0.37	-0.34
	МВ-22	0.38	0.42	0.04	0.38	0.04	0.22	0.46	0.55	0.33	0.56	0.54
D_2^{vb}	МВ-18	0.11	0.14	-0.06	0.04	-0.06	-0.09	0.17	0.25	-0.07	0.23	0.11

– отмечены значения коэффициента * сходства >0.7, указывающее на сходство кривых исследованных объектов и, следовательно, их генетическую связь.

Рис.64

У нас разработана методика, позволяющая установить по характеру распределения изотопов во фракциях генетическое сродство нефти к органическому веществу конкретного пласта, т.е. нефтематеринской породе.

Результат оказался в данном случае следующим: нефти из продуктивных горизонтов Ромашкинского месторождения показали генетическую связь с органическим веществом отложений девона (доманикоидов). Мерой сродства является коэффициент корреляции, вычисленный по определенной методике.

Анализы показали также, что нефть из аномальных скважин ничем не отличается от нефтей из обычных скважин. Их аномальное поведение, очевидно, объясняется особенностями флюидодинамики, связанной с длительным применением технологии законтурного заводнения.

Мы пришли к выводу, что нефть в район Ромашкино мигрировала из впадин, примыкающих к Татарскому своду, где органическое вещество доманикоидов девона прошло стадию нефтеобразования.

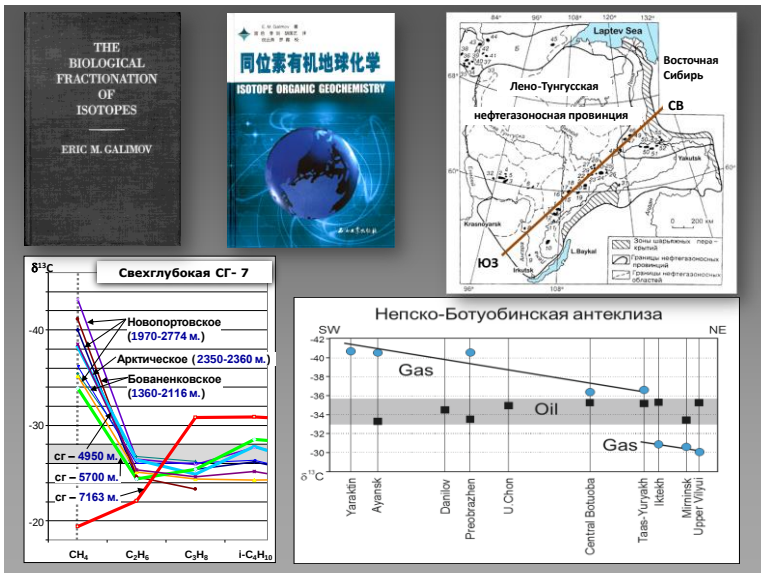


Рис.65

В лаборатории геохимии углерода в предшествующие годы были заложены основы органической геохимии изотопов и биологического фракционирования изотопов углерода, изложенные в монографиях, выпущенных у нас и за рубежом. Они послужили основой для интерпретации закономерностей, установленных в геологических объектах, исследованных в последнее время.

Исследование газов в Ен-Яхинской сверхглубокой скважине в Западной Сибири показало, что до определенной глубины происходит постепенное из-

менение изотопного состава газов, а на глубинах свыше 6000 метров происходит резкая трансформация. Это объясняется изменением механизма образования газов.

Интересно что закономерность, наблюдаемая по стволу одной скважины, проявляет себя в пространстве целой нефтегазоносной области. Большинство крупных месторождений Восточной Сибири сосредоточено в Лено-Тунгуской нефтегазоносной провинции. С ЮЗ на СВ в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы прослеживается закономерное изменение изотопного состава газа (метана) в залежах. При этом углерод метана в составе газа содержит изотопа С-13 чуть меньше, чем углерод нефти (изотопные данные - из базы данных для Восточной Сибири), что характерно для газа, образующегося за счет деструкции нефти. А в крайней северо-восточной части области происходит резкое изменение, так же как в сверхглубокой скважине. Появляется метан, обогащенный тяжелым изотопом относительно нефти. Это позволяет утверждать на основе ранее изученных механизмов, что докембрийские газы Восточной Сибири – результат деструкции ранее образовавшихся нефтяных месторождений, а докембрийские нефти происходят из органического вещества преимущественно бактериального генезиса.

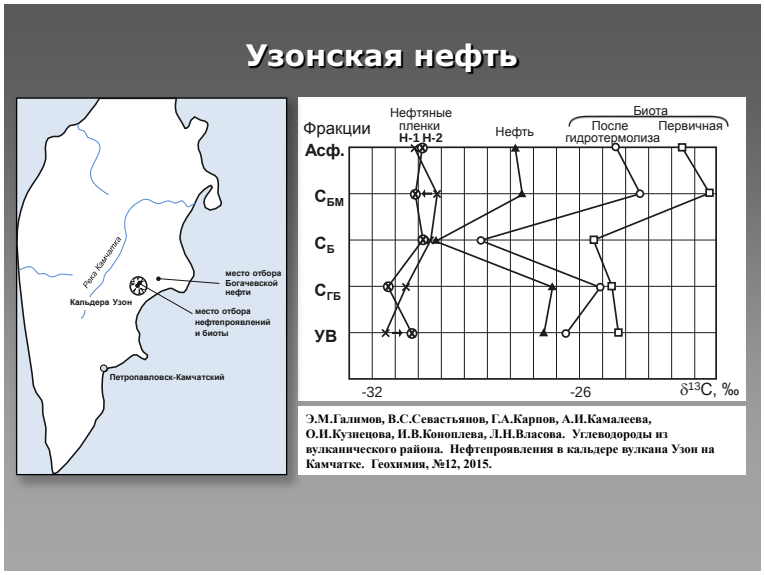


Рис.66

Упомяну еще одну работу, связанную с проблемой генезиса углеводородов - это исследование нефти из вулканического района. В кальдере вулкана Узон на Камчатке давно известны нефтепроявления. Эти проявления многими рассматривались как пример неорганического источника углеводородов. Мы отобрали в прошлом году образцы нефти из кальдеры вулкана Узон. Одновременно был отобран материал бактериальных матов и растительности с поверхности, который в лаборатории был повергнут термолизу.

Результаты показали, что нефтепроявления в этой вулканической области являются результатом вовлечения первичного биологического материала в гидротермальный цикл.

Таким образом, пока ни в одном исследованном случае нет оснований говорить о глубинном неорганическом источнике углеводородов в залежах.

Аналитические методы и приборы.

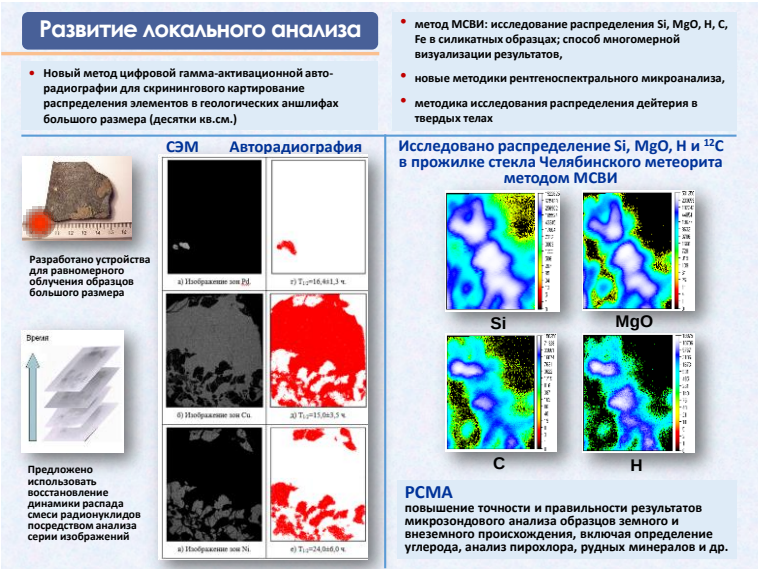


Рис.67

Лаборатория профессора В.П. Колотова, возглавляющего аналитический отдел, участвует во многих проектах, которые осуществляет институт.

Развитие локального анализа является основной задачей лаборатории. Микроанализ – это главный инструмент геохимических исследований. Однако в геологии часто необходим скрининг в образцах крупного размера, которые просто не помещаются в микроанализатор.

В этой связи В.П. Колотов с сотрудниками разработали метод авторадиографии, совмещенный с установкой равномерного облучения и компьютерной программой, разделяющей элементы по скоростям распада элементов с наведенной активностью.

Полученные картины распределения, например, Pd, Cu, Ni совпадают с картой распределения, полученной на том же участке при помощи сканирующего электронного микроскопа.

Рис.68

В лаборатории ведется поиск материалов, устойчивых к облучению нейтронами в ядерных реакторах. Это одна из важных сторон проблемы минимизации ядерных отходов в виде дефектных конструкционных материалов.

Последняя разработка – это предложение карбида Li в качестве тритий воспроизводящего материала в термоядерном реакторе.

Рис.69

Под руководством члена-корреспондента Б.Я.Спивакова разрабатывается технология разделения и концентрирования веществ при наложении комбинации разных физических полей. Например, при использовании комбинации акустического и магнитного полей удается значительно улучшить извлечение органических молекул, в том числе молекул ДНК из воды и водных растворов.

Лаборатория известна своими прежними разработками, в которых использовалось сочетание жидкостной хроматографии с центрифугированием.

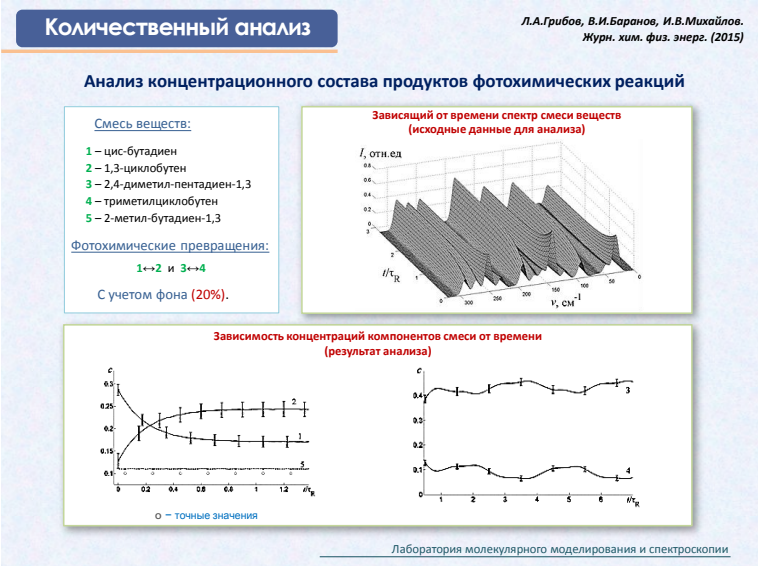


Рис.70

В лаборатории молекулярного моделирования и спектроскопии (Заведующий профессор В.И. Баранов) создана общая теория строения молекул. На этой основе разработаны методы расчета молекулярных спектров и создан безэталонный метод определения концентрационных составов смесей.

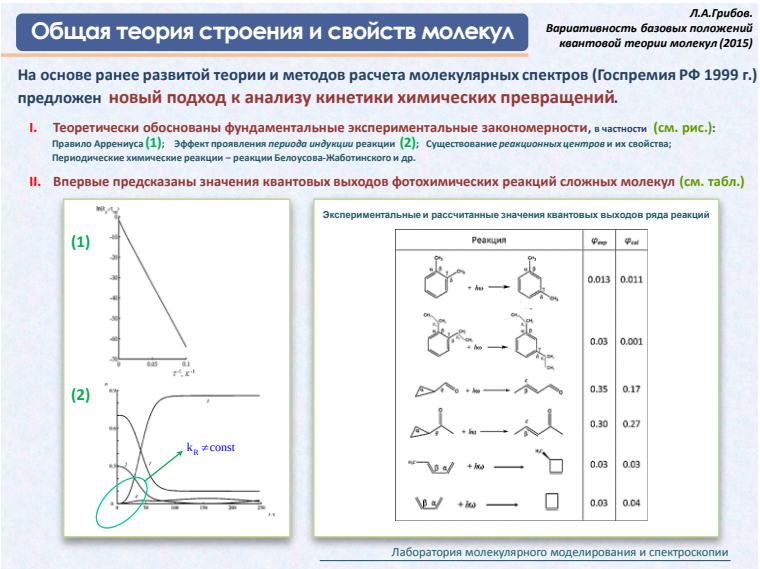


Рис.71

Другой пример использования общих принципов – это теоретическое получение известных эмпирических закономерностей, например, правила Аррениуса или квантовые выходы реакции с хорошим совпадением расчетных и измеренных величин. Это – замечательные теоретические работы, выполненные член-корр. Л.А. Грибовым и его сотрудниками и учениками.

Рис.72

В лаборатории химических сенсоров (заведующий профессор Б.К. Зуев) разработаны новые источники атомизации и возбуждения на основе разрядов с электролитным катодом: капельно - искрового (КИР) разряда и при вскипании в канале (РВК).

Они требуют малой энергии для возбуждения эмиссионного спектра и поэтому соответствующие приборы могут быть выполнены в виде миниатюрных мобильных устройств, в том числе для использования в полевых условиях. Был создан прибор для целей медицинской диагностики.

Метод был тестирован в центральной клинической больнице РАН.

В другом варианте микроплазменный анализатор на основе капельно - искрового разряда был применен для контроля состава технологических растворов.

Рис.73

В той же лаборатории химических сенсоров создан люминесцентный прибор для экспрессного определения урана в объектах окружающей среды. Прибор изготовлен в варианте использования в полевых условиях.

Рис.74

В лаборатории радиохимии окружающей среды (зав. лаб. доктор А.П. Новиков) разработан люминесцентный анализатор актинидов. Анализатор обладает на сегодня самой высокой чувствительностью определения нептуния. Этот актинид отличает высокая биоаккумуляция и одновременно большой период полу-

выведения из организмов, что делает его одним из наиболее экологически опасных радионуклидов.

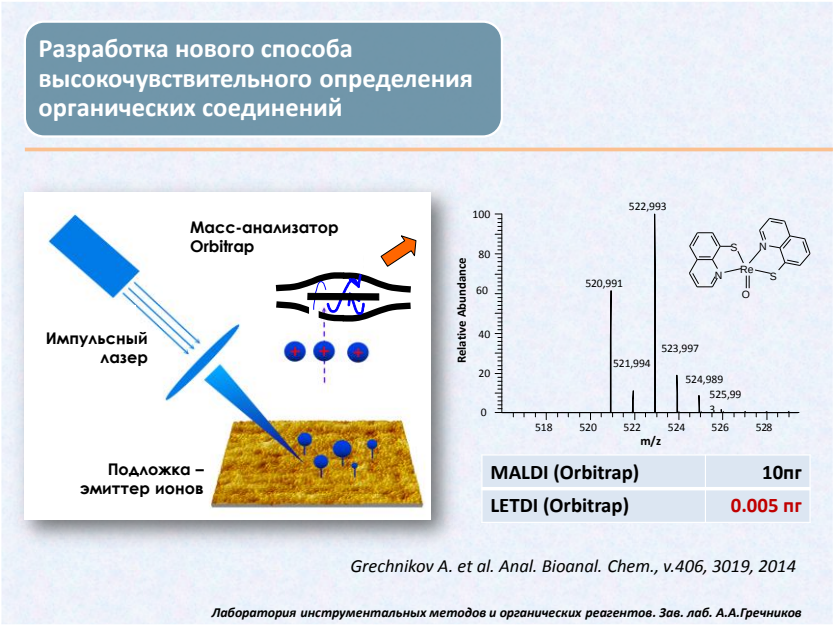


Рис.75

Известно, что основная сложность анализа органических соединений на масс-спектрометре состоит в том, что они требуют очень мягкой ионизации. При жесткой ионизации, например, электронным пучком, анализируемые соединения просто разваливаются. В существующем методе MALDI, например, используется ионизация посредника – какого-нибудь матричного вещества, которое путем передачи протона мягко ионизирует исследуемое вещество. Однако органические соединения, не склонные к протонированию, не поддаются анализу методом MALDI. В лаборатории инструментальных методов и органических реагентов (зав. лаб. доктор А.А. Гречников) предложен метод, использующий в качестве матрицы полупроводник с передачей не протона, а электрона, индуцирующего мягкую ионизацию. Метод назвали LETDI по аналогии с MALDI, т.е. Laser Induced Electron Transpher Desorbtion Ionization. Во многих случаях чувствительность его оказалась поразительно высокой. Вот пример – 10 пг на MALDI и 0,005 пг на LETDI.

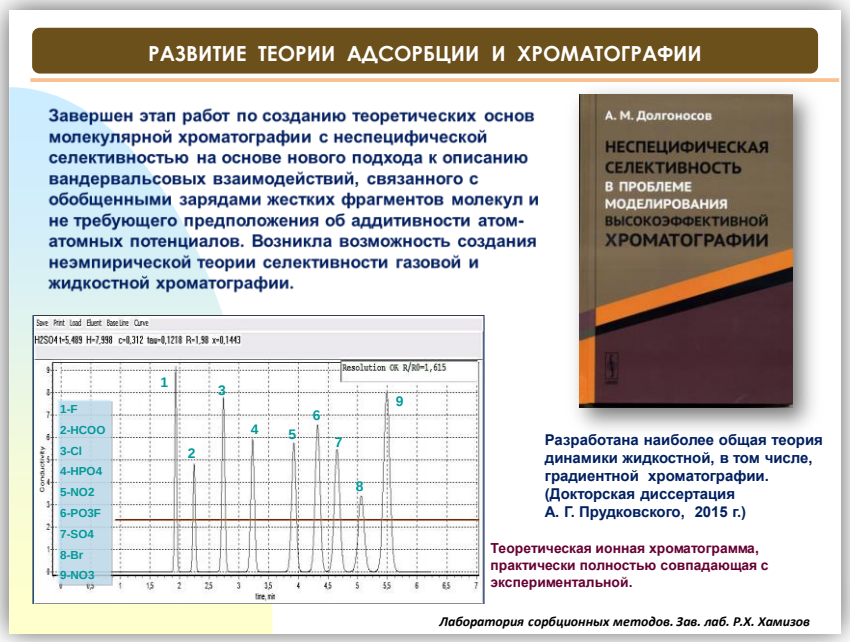


Рис.76

В лаборатории сорбционных методов (зав. лаб. доктор Р.Х. Хамизов) завершена работа по созданию теории селективной газовой жидкостной хроматографии. Показанные на графике рассчитанные теоретически времена задержки указанных здесь компонентов точно соответствуют экспериментальным.

Рис.77

Развит новый метод очистки промышленной фосфорной кислоты с одновременным выделением редкоземельных элементов. Метод запатентован, и разработанная технология принята к реализации на Белореченском заводе минеральных удобрений.

Радиохимия

Отдельно следует сказать о радиохимии. Радиохимия в ГЕОХИ имеет давнюю традицию с момента участия Института в атомном проекте. Институт в свое время играл определяющую роль в обеспечении аналитического контроля над производством оружейного плутония. В последующем, Институт занимал лидирующее положение в России в химии трансурановых элементов. Долгое время лабораторию возглавлял лидер отечественной радиохимии - академик Б.Ф. Мясоедов. Сейчас заведует лабораторией доктор Ю.М. Куляко.

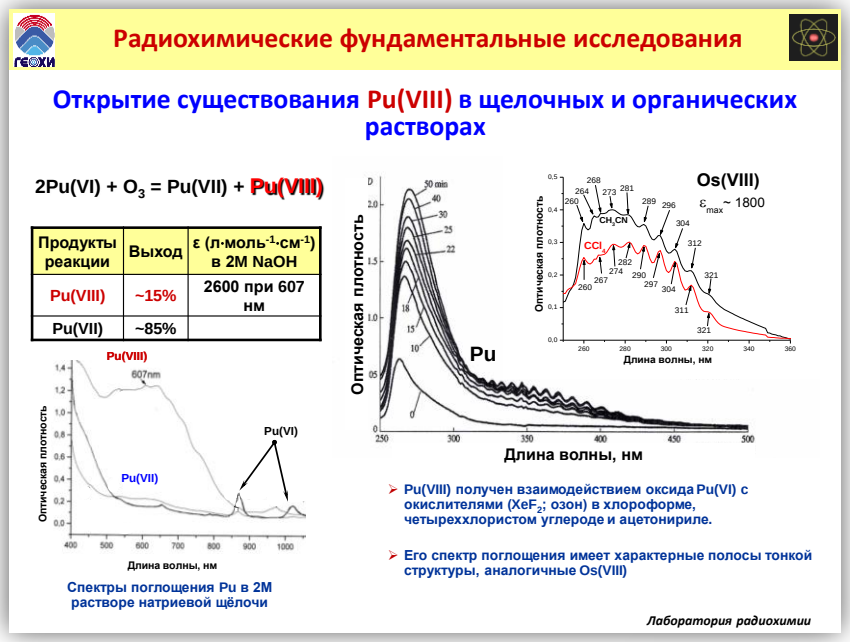


Рис.78

Одно из последних достижений - открытие существования Pu (VIII), т.е. плутония в высшей степени окисления в форме PuO_4.

Рис.79

Важным достижением ГЕОХИ в области радиохимии является разработка новой технологии переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ) на основе растворения в слабокислых растворах нитрата железа.

При этом исключается обычное применение на стадии переработки концентрированной азотной кислоты (6-8 М HNO_3) и других токсичных веществ.

Метод обеспечивает отделение U, Pu и Np от продуктов деления.

Рис.80

При формировании таблеток для ТВЭЛов определенная часть их оказывается некондиционной и нуждается в переработке. Обычно разрушение керамических таблеток довольно трудоемкая и длительная процедура, связанная с использованием сильных реагентов. При помощи микроволнового излучения, как показали исследования в ГЕОХИ, это можно сделать проще и быстрее.

Метод будет внедрен в 2016 году на Горно-химическом комбинате.

Рис.81

В ГЕОХИ разработана магний-калий-фосфатная матрица для отверждения растворов, содержащих радиоактивные отходы.

Преимуществом метода является:

- отверждение при низкой температуре,

- высокое накопление компаунда до 60%,

- механическая прочность и радиационная устойчивость,

Проведена апробация на предприятиях «Маяк» и Сибирском хим. комбинате.

Рис.82

В заключение следует сказать, что Институт в отчетный период продолжал издавать научные журналы: «Геохимия» (версия на английском - «International Geochemistry») и «Журнал аналитической химии» (версия на английском - «Journal of Analytical Chemistry»).

К сожалению, наше судно «Академик Борис Петров», с которым были связаны успешные экспедиции до 2010 года, в последние годы по известным Вам причинам не использовалось.

В 2013 году мы отметили 150-летний юбилей В.И. Вернадского. Было издано 24-томное собрание сочинений В.И. Вернадского.

В Институте функционируют кабинет-музей В.И. Вернадского, кабинет-музей А.П. Виноградова, музей внеземного вещества и Комитет по метеоритам, о которых я уже упоминал, ряд других Межведомственных и академических Комиссий и Советов.