



**О работе Отделения наук о Земле РАН и  
важнейших  
научных достижениях российских ученых в  
области  
геологии, геофизики, геохимии и горных  
наук в 2021 г**

**Отчетный доклад академика-секретаря ОНЗ РАН  
А.О.Глико**

**28 марта 2022 г**

**«Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 г.», утвержденная Указом Президента РФ №642 от 1 декабря 2016 г.**

**Национальный проект «Наука»**

**Государственная программа «Научно-технологическое развитие Российской Федерации на 2019 – 2030 гг»**



**Распоряжение Правительства РФ 3684-р**



**Программа фундаментальных исследований на 2021 – 2030 гг (на 2021 г предусмотрены бюджетные ассигнования в размере 202 млрд руб)**

**РАН – координатор Программы и один из 14 исполнителей.**

**Координация осуществляется через Большой координационный Совет и Советы по направлениям науки**

**Проведено два Общих собраний Отделения :**

**Научная сессия**

**«Вклад Российской академии наук в развитие космических исследований»**

**доклады**

**академика Марова М.Я. и академика Савиных В.П.**

Подробная информация о проведении Общего собрания ОНЗ РАН размещена в журнале «Вестник ОНЗ РАН»:

<https://onznews.wdcb.ru/apr21/>

## Научная сессия

«Климатические изменения и проблемы низкоуглеродного развития России».

### Доклады

**чл.-корр. РАН Гулев С.К.** «Наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата по результатам 6-го оценочного Доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата»;

**чл.-корр. РАН Захаров В.Н.** «Роль угля в реализации стратегии низкоуглеродного развития России»;

**чл.-корр. РАН Богоявленский В.И.** «Дегазация Земли в Арктике: генезис мощных выбросов и взрывов газа»;

**проф. РАН Головацкая Е.А.** «Развитие системы мониторинга климатически активных газов в рамках проекта «Карбоновые полигоны»;

**проф. РАН Макаров А.С.** «Мониторинг природной среды Арктики с использованием сети российских обсерваторий и ледостойкой самодвижущейся платформы. Перспективы развития Арктической пространственно-распределенной обсерватории».

Информация размещена в «Вестнике ОНЗ РАН»:

<https://onznews.wdcb.ru/dec21/obshchee-sobranie-onz-ran-13-12-21-priglasenie-v-istoricheskij-fakt.htm>

Секция океанологии, физики атмосферы и географии ОНЗ РАН провела в 2021 г. два выездных заседания (июнь – Ростов-на-Дону; сентябрь – Севастополь).

## Бюро ОНЗ РАН в 2020 г. - 10 заседаний

### Научные доклады:

**чл.-к. РАН Лобанов К.В.** «Кольская сверхглубокая – космический полет в недра планеты Земля» (к 50-летию с начала бурения скважины);

**д.г.-м.н. Герман А.Б.** «Позднемеловые динозавры Арктики: оседлые обитатели или кочевники?»);

### Научно-организационные вопросы

( издание журналов, утверждение главных редакторов журналов, состава редколлегии, рекомендации кандидатур на руководящие должности, награды и т.д.), экспертные заключения, положения и составы Научных советов

Предложения к плану фундаментальных исследований Российской Федерации на период до 2030 г., а также предложения по составу соответствующего Экспертного Совета

Подготовка аналитической записки о состоянии, перспективах развития наук о Земле и важнейших результатах, полученных в отчетном году.

## Экспертная деятельность

- актуализирован реестр экспертов ОНЗ РАН – 469 чел (329 чел., 2020)
- анализ и оценка проектов и предложений по линии органов государственной власти .

Общее количество ответов, подготовленных ОНЗ РАН в 2020 г. для органов государственной власти, - 82.

В том числе на запросы:

Поручения Правительства РФ –6; Администрация Президента РФ – 2; Аппарат Правительства Российской Федерации – 4; Аппарат Совета Безопасности Российской Федерации - 7; МИД – 4; Минвостокразвития – 6; Минобороны России –1; Минобрнауки России - 22; Минприроды России - 13; Минэкономразвития России - 1; Минсельхоз – 1; Росгидромет – 4; Роснедра – 1, Роспотребнадзор - 1, Росприроднадзор – 1; Правительства регионов– 2.

Как и в предыдущие годы, подготовлен ряд документов, справочных и аналитических материалов, связанных с проблемами Арктической зоны Российской Федерации.

Деятельность Отделения наук о Земле тесно связана с вопросами изменения климата и экологической ситуации. По тематике, связанной с вопросами изменения климата и экологии, были подготовлены аналитические материалы в Совет Безопасности Российской Федерации.

- ▶ При ОНЗ РАН в 2021 г. активно работали **25** Научных советов, комитетов и комиссий.
- ▶ В течение года актуализированы составы **9** Научных советов и Комитетов при Отделении наук о Земле РАН, в том числе: Научный совет по проблемам геохимии, Научный совет по проблемам обогащения полезных ископаемых, Научный совет «Водные ресурсы суши», Межведомственный стратиграфический комитет, Национальный комитет геологов России, Межведомственный петрографический комитет.

## Экспертиза отчетов, проектов, программ НИР. Всего - более 1400 экспертных заключений

- ▶ В том числе:
- ▶ на отчеты по НИР за 2021 г. – 600, включая отчеты по темам госзадания НИИ, вузов и научных организаций Минприроды РФ, в том числе организаций Росгидромета;
- ▶ - 9 экспертных заключений на 6 отчетов о проведенных в 2020 году крупных научных проектов Минобрнауки РФ по приоритетным направлениям научно-технологического развития РФ;
- ▶ - сводное экспертное заключение на отчет о реализации программ создания и развития научных центров мирового уровня по теме «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты».
- ▶ - порядка 800 экспертных заключений на проекты тематик, включая проекты тем государственного задания НИИ на 2022 г., масштабные проекты, проекты создания новых лабораторий, проекты тематик вузов, научных организаций подведомственных Минприроды РФ, Росреестру;
- ▶ -38 экспертных заключений было подготовлено на другие виды объектов экспертиз (результативность научной деятельности, программы развития научных организаций, доклады о реализации программ развития научных организаций и др.).



## Пропаганда и популяризация научных знаний

- ▶ В целях пропаганды и популяризации научных знаний члены Отделения наук о Земле в 2021 г. активно работали со средствами массовой информации, выступали с публичными лекциями (ежеквартальные отчеты своевременно передавались в НОУ РАН).
- ▶ В 2020 г. продолжал выходить научно-информационный журнал «Вестник ОНЗ РАН», который издается в формате электронного мультимедийного журнала с сентября 2009 г. Интернет адрес журнала: <http://onznews.wdcb.ru/>. Журнал публикуется Геофизическим Центром РАН, новости обновляются ежедневно.
- ▶ Большое внимание работе со СМИ уделяли академики Гвишиани А.Д., Матишов Г.Г., Флинт М.В., Пушаровский Д.Ю., Чибилев А.А., члены-корреспонденты РАН Лобанов К.В., Богоявленский В.И., Петров В.А. и др.
- ▶ Состоялись просветительские фотовыставки «Архипелаги Российской Арктики» (г. Москва, дом-музей «Усадьба Муравьевых-Апостолов») и «Древний и загадочный Мангыстау» в Дарвиновском музее, организатором и участником которых выступил академик РАН М.В. Флинт.

## Научно-издательская деятельность

При ОНЗ РАН состоят 19 научных журналов. На заседаниях Бюро ОНЗ РАН в 2021 г. заслушаны отчеты главных редакторов 3 журналов: «Геология рудных месторождений» (ак. Бортников Н.С.), «Физика Земли» (чл-к. Морозов Ю.А.). «Геоморфология» (д.г.н. Чичагов В.П.).

В рамках выполнения госзадания РАН в 2021 году по представлению Бюро ОНЗ РАН было выпущено 5 изданий (Левитан М. А. «Плейстоценовые отложения мирового океана»; Румянцев В.А. «Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата»; «Труды академика А.П. Виноградова, тома 2, 3, 4»..

Постановлением Бюро ОНЗ РАН от 10.11.2021 представлены предложения по выпуску в 2022 г. 6 изданий в рамках госзадания РАН: «Азовское море. Океанография, физическая география, гидробиология (в научных трудах академика Г.Г. Матишова и сотрудников ЮНЦ РАН)», Том III (Юбилейное издание); Филатов Н.Н. «Термогидродинамика и экосистемы внутренних водоемов: исследование состояния и изменений»; Коллектив авторов под научным руководством чл-к. А.Н. Гельфана и чл-к. В.И. Данилова-Данильяна «Водные проблемы Крыма и пути их решения», «Полное собрание трудов академика А.П. Виноградова» - тома 2, 5, 6.

## Государственные награды и премии 2021 г.

**Академик Маров Михаил Яковлевич -**

**Орден Александра Невского**

**Академик Пушаровский Дмитрий Юрьевич –**

**Орден Александра Невского**

**Член-корреспондент РАН Аксютин Олег Евгеньевич –**

**Орден "За заслуги перед Отечеством IV степени"**

**Академик Глико Александр Олегович - медалью ордена «За**

**заслуги перед Отечеством II степени**

**Академик Конторович Алексей Эмильевич** (в составе группы ученых и геологов) **Премия Правительства РФ в области науки и техники за 2021 г. за создание и развитие сырьевой базы углеводородов Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия).**

## Академические награды 2020 г.

Золотая медаль имени А.П. Карпинского 2021 г. - **академику Федонкину М.А. (ГИН РАН)** за выдающиеся работы в области стратиграфии и палеонтологии протерозоя, ранней истории биосферы и эволюционной биогеохимии;

Золотая медаль РАН имени Ю.А. Израэля - д. ф.-м.н **Семенову С.М. (ИГКЭ)** за цикл работ «Парниковые газы и климатические изменения»;

Премия им. В.А. Обручева - **член-корр. РАН Д.П. Гладкочубу, д.г-м.н. Т.В. Донской и член-корр. РАН Е.В. Склярову (ИЗК СО РАН)** за цикл работ «Основные этапы становления консолидированной литосферы Сибири: от архея до кайнозоя»;

Премия им. А.Д. Архангельского - **д.г.-м.н. Лучицкой М.В. (ГИН РАН)** за монографию «Гранитоидный магматизм и становление континентальной коры северного обрамления Тихого океана в мезозое-кайнозое»;

Премия им. А.П. Виноградова - **академику РАН Соболеву А.В. (ГЕОХИ РАН)** за серию статей на тему «Геохимия мантийного магматизма по данным изучения включений расплава в минералах»;

Медаль Дж. Дэна Минералогического общества Америки –**члену-корреспонденту РАН Кривовичеву Сергею Владимировичу** (<http://www.minsocam.org/msa/Awards/Dana.html>) – эта награда впервые присуждена российскому ученому.

**Академик РАН Бакланов Петр Яковлевич** награжден Золотой медалью им. академика В.Л. Комарова, указом Президента РФ № 83 от 12 февраля 2021 г. ему присвоено звание Заслуженного географа РФ.

**Член-корреспондент РАН Горячев Николай Анатольевич** удостоен Премии академика Ю.А. Косыгина ДВО РАН в области геологии, лауреат премии «Человек 2021 года» г. Магадана в сфере науки.

**Член-корреспондент Масленников В.В.** награжден медалью УрО РАН им. академика А.Н.Заварицкого.

**Члену-корреспонденту РАН Яковлеву Виктору Леонтьевичу** присуждена Золотая медаль Академии наук Республики Саха (Якутия).

Удостоены медалей Русского географического общества **академик РАН Тулохонов Арнольд Кириллович (Золотая медаль им. Н.М. Пржевальского** за исследования рисков, конфликтов и кризисов в природопользовании азиатской России и в особенности Байкальского региона), **чл.-корр. РАН Филатов Николай Николаевич (Золотая медаль им. Ф.П. Литке** за исследования влияния изменений климата на крупные озера и моря Севера Евразии), **чл.-корр. РАН Дьяконов Кирилл Николаевич (Малая золотая медаль** за исследования структуры, динамики и функционирования ландшафтов суши).

## Престижные награды членов ОНЗ РАН

**Академик Матишов Геннадий Григорьевич** удостоен Благодарности Президента Российской Федерации за добросовестный труд и активное участие в работе Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ РФ.

**Академику Гвишиани Алексею Джерменовичу, членам-корреспондентам РАН Филатову Николаю Николаевичу и Глинских Вячеславу Николаевичу** присвоено почетное звание «Почетный работник науки и высоких технологий Российской Федерации» (Ведомственная награда Минобрнауки России).

Ведомственными наградами Минобрнауки России - медалями «За вклад в реализацию государственной политики в области научно-технологического развития» награждены **академики Тулохонов Арнольд Кириллович и Чернышев Игорь Владимирович, члены-корреспонденты РАН Гармаев Ендон Жамьянович, Гельфан Александр Наумович, Петров Владислав Александрович, Соловьев Анатолий Александрович.**

**Академику Эпову Михаилу Ивановичу** присвоено звание «Лидер Росгеологии».

**Академику Осипову Виктору Ивановичу** присвоено звание заслуженного члена Международной ассоциации по инженерной геологии и охране окружающей среды.

- ▶ **Академик Касимов Николай Сергеевич** - благодарность мэра Москвы.
- ▶ **Член-корреспондент РАН Петров Олег Владимирович** получил почетную грамоту Федерального агентства по недропользованию с вручением нагрудного знака «За заслуги в изучении и освоении недр» и премию им. А.П. Карпинского Правительства Санкт-Петербурга в области геологических, геофизических наук и горного дела за 2021 г.
- ▶ **Академик РАН Тулохонов Арнольд Кириллович** награжден медалью Госкорпорации «Роскосмос» за личный вклад в сохранение и преумножение героических традиций отечественной космонавтики и в ознаменование 60-летия полета в космос второго космонавта Земли Г.С. Титова (1 ноября 2021 г.)
- ▶ **Член-корреспондент РАН Макоско Александр Аркадьевич** - Благодарность Председателя Российского общества «Знание» Л.Н.Духаниной за заслуги в просветительской деятельности.

- ▶ **Академик Гвишиани Алексей Джерменович** получил Благодарность РФ «За фундаментальный вклад в работу экспертного совета Российского научного фонда».
- ▶ **Член-корреспондент РАН Гармаев Ендон Жамьянович** награжден медалью Министерства высшего образования и науки Республики Бурятия «За значительный вклад в развитие образования Республики Бурятия», почетной грамотой Президиума СО РАН и почетной грамотой Русского географического общества «За плодотворную научную деятельность и значительный вклад в развитие Бурятского республиканского отделения Русского географического общества».
- ▶ **Член-корреспондент РАН Собисевич Алексей Леонидович** - Благодарность Минобрнауки за высокие достижения и успехи в работе
- ▶ **Член-корреспондент РАН Богоявленский В.И.** - Благодарность Председателя Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации В.И.Матвиенко «за многолетний добросовестный труд и большой вклад в развитие отечественной науки» №403зпк/л от 22 декабря 2020 г.
- ▶ **Член-корреспондент РАН Богоявленский В.И.** - Диплом за активное участие в работе круглого стола в рамках научно-деловой программы Международного военно-технического форума «Армия-2021







**Важнейшие научные достижения  
российских ученых в области  
геологии, геофизики, геохимии и  
горных наук в 2021 г**

Некоторые крупные результаты, опубликованные в 2020 г, не были поданы институтами.

Lithos, 2020 .

▶ **Kaminsky F.V.** Basic problems concerning the composition of the lower mantle -

▶ July

▶ **Sagatova D., Shatskiy A., Sagatov N., Gavrushkin P.N., Litasov K.** Calcium orthocarbonate  $\text{Ca}_2\text{CO}_4$   $P_{\text{nma}}$  : A potential host for subducting carbon in the transition zone and lower mantle

▶ October

▶ **Zedgenizov D., Kagi H., Ohtani E., Tsiyumori T., Komatsu K.** Retrograde phases of former bridgmanite inclusions in superdeep diamond

▶ October

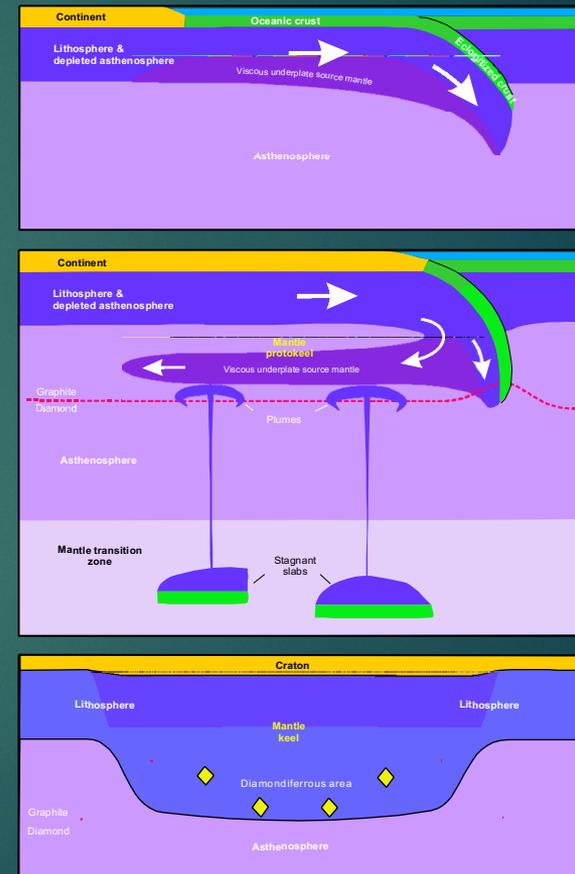
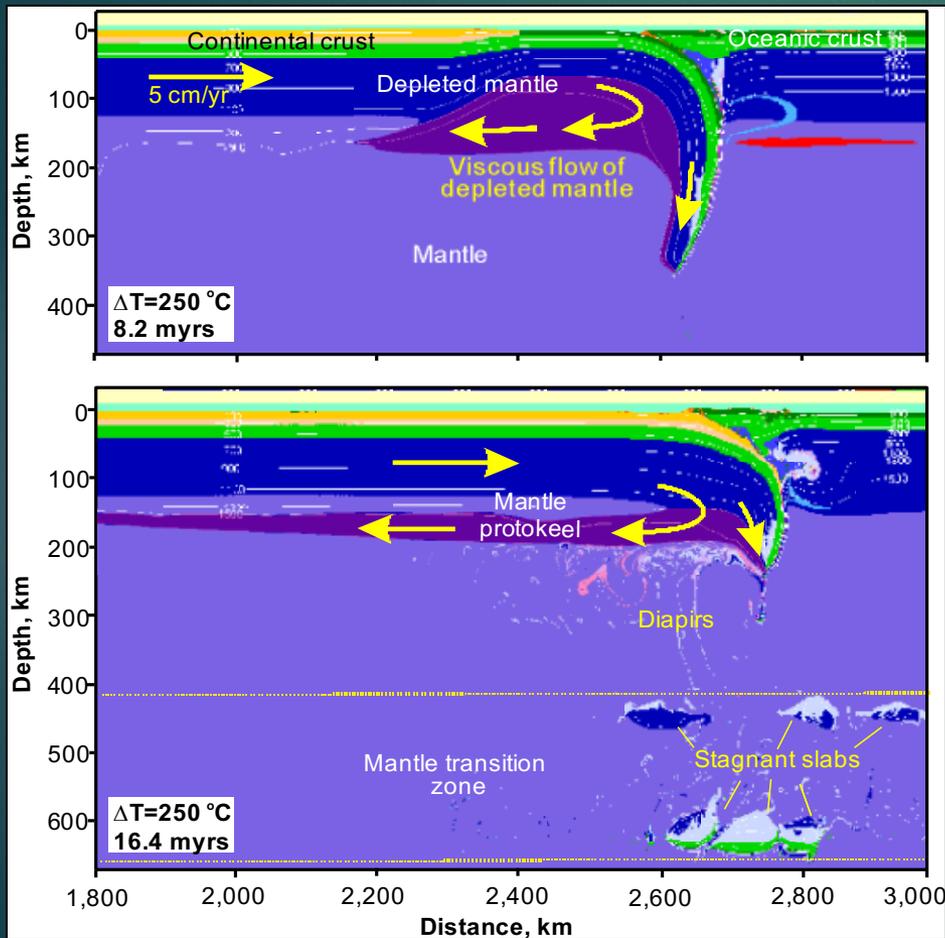
▶ **Iskina A., Spivak A., Bobrov A., Eremin N., Dubrovinsky L.** Synthesis and crystal structures of new high-pressure phases  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  and  $\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{O}_{11}$

▶ November

# Механизм образования мантийных килей архейских кратонов

Геологический факультет МГУ, ETH (Цюрих), Университет Сидней

Рост алмазоносных мантийных килей, подстилающих архейские кратоны, начинается с подтекания мантии океанических плит под континент при докембрийской субдукции 2 млрд. лет назад. Впоследствии эти малоплотные области изолируются и остывают.

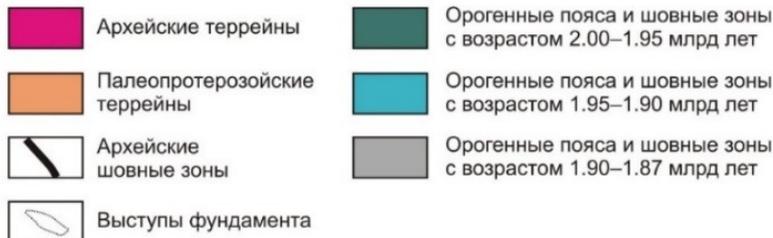
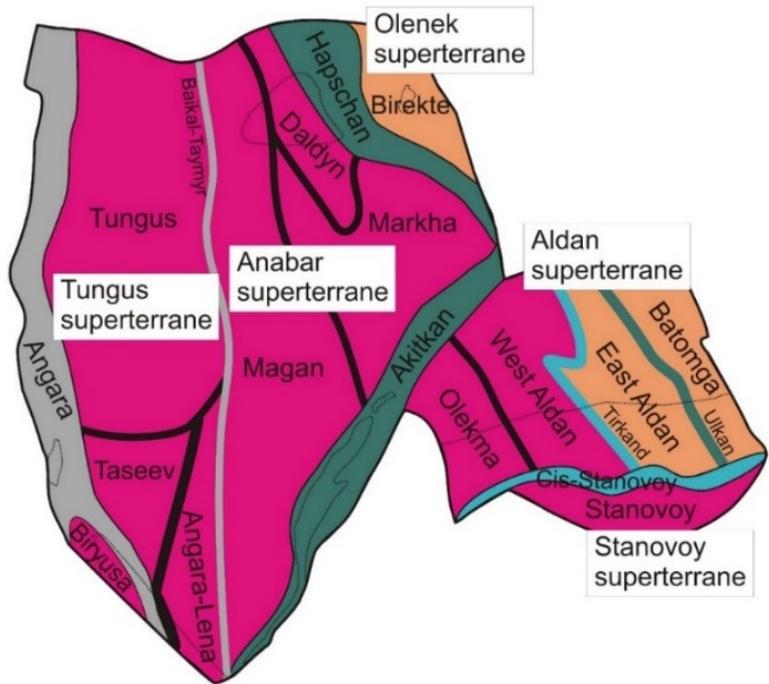


Perchuk, Gerya, Zhakharov, Griffin (2020) Nature

# Основные этапы раннепротерозойского гранитоидного магматизма в пределах Сибирского кратона

Институт земной коры СО РАН

Donskaya T.V. Assembly of the Siberian Craton: Constraints from Paleoproterozoic Granitoids // Precambrian Research, 2020,



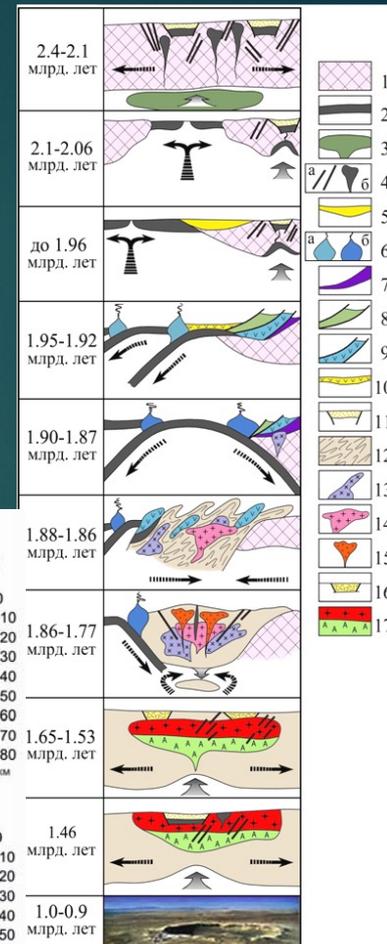
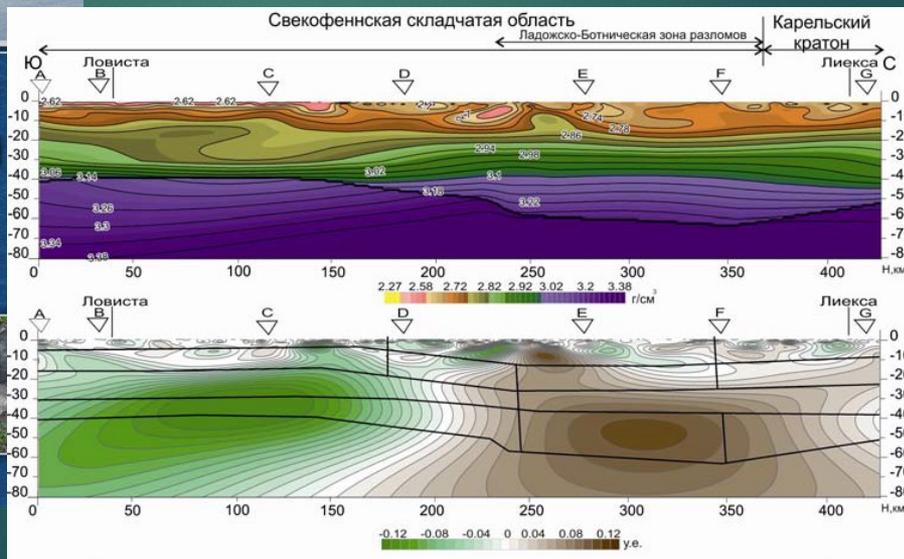
- ▶ Впервые выделены основные этапы раннепротерозойского гранитоидного магматизма в пределах Сибирского кратона и обоснованы ключевые стадии становления структуры кратона и его эволюции. Установлено, что ранние этапы гранитоидного магматизма (2.52 – 2.40 млрд лет и 2.15 – 2.04 млрд лет), проявленные в пределах кратона, предшествовали процессам его формирования. Магматизм с возрастом 2.06 – 2.00 млрд лет был связан с процессами субдукции под архейские террейны, вошедшие в последующем в структуру кратона. Гранитоиды возрастного диапазона 2.00 – 1.87 млрд лет являются индикаторами трех последовательных этапов проявления аккреционно-коллизийных событий: 2.00–1.95, 1.95–1.90 и 1.90–1.87 млрд лет, приведших к образованию кратона как единой структуры консолидированной континентальной литосферы. Гранитоидный магматизм с возрастом 1.88 – 1.84 млрд лет фиксирует пост-коллизийное растяжение, отражающее окончание процесса становления Сибирского кратона. Гранитоиды с возрастом 1.76 – 1.71 млрд лет являются индикаторами процессов локального внутриконтинентального растяжения в пределах кратона. Таким образом, на основании изучения раннепротерозойских гранитоидов расшифрован сценарий образования Сибирского кратона – крупнейшей тектонической единицы Северной Евразии

# Монография: Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Н. В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020.

Предложена новая геодинамическая модель формирования Ладожской структуры в интервале 2.4-0.9 млрд лет.

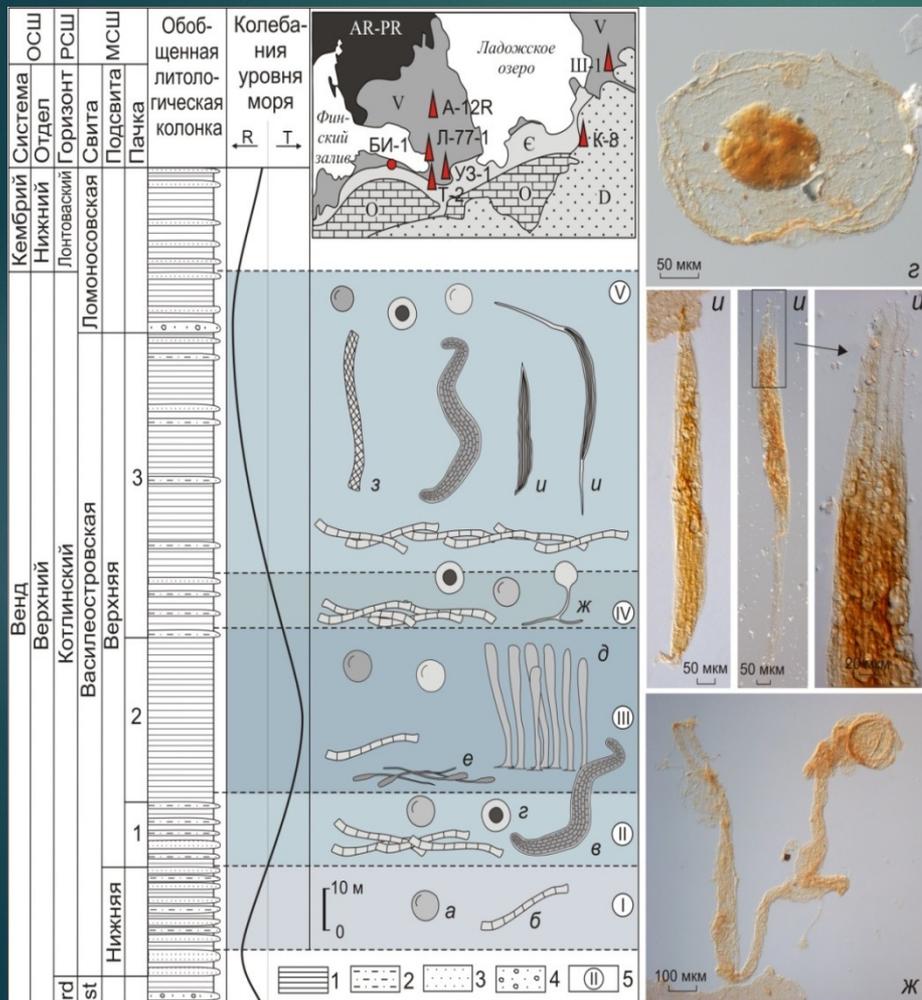


## ЛАДОЖСКАЯ ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ СТРУКТУРА (ГЕОЛОГИЯ, ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ и МИНЕРАГИЯ)



Разработана модель распространения ископаемых организмов в вендском палеобассейне северо-запада Восточно-Европейской платформы (550-535 млн лет) на основе пяти ассоциаций: одна – транзитная (I) и четыре – котлинского возраста (II-V). В отложениях венда найден новый вид акритарх *Pterospermtorsimorpharigida*. Впервые в позднем докембрии изучены стратиграфически значимые микрофоссилии *Vicuspidatafusiformis*, сравнимые с современными цианобактериями *Oscillatoriales*.

ИГГД РАН



▶ Распространение ископаемых организмов в котлинском горизонте (550-535 млн лет назад) северо-запада Восточно-Европейской платформы при изучении скважин.

▶ **Голубкова Е.Ю., Кушим Е.А., Тарасенко А.Б.** Ископаемые организмы котлинского горизонта верхнего венда северо-запада Русской плиты (Ленинградская область) // Палеонтологический журнал. 2020. № 4. С. 99-108. DOI: 10.31857/S0031031X20040066 DOI: 10.1134/S0031030120040061

# Выдвинута и обоснована концепция субглобального шельфового дезоксидно-аноксидного события (SDAE) на рубеже юра/мел в средних широтах.

ГИН РАН

► Бореальные черные сланцы - Северное море, Норвежское море, Восточная Гренландия, Шпицберген, Баренцево море, Восточная и Северная Сибирь.

► Суббореальные черные сланцы - Англия, Шотландия, Франция, Польша, Европейская Россия, Приполярный Урал.

► Длительность SDAE ~ 20 млн лет (161 – 140 млн лет назад) – беррианский ярус нижнего мела и три яруса верхней юры – тифон, киммеридж, оксфорд)

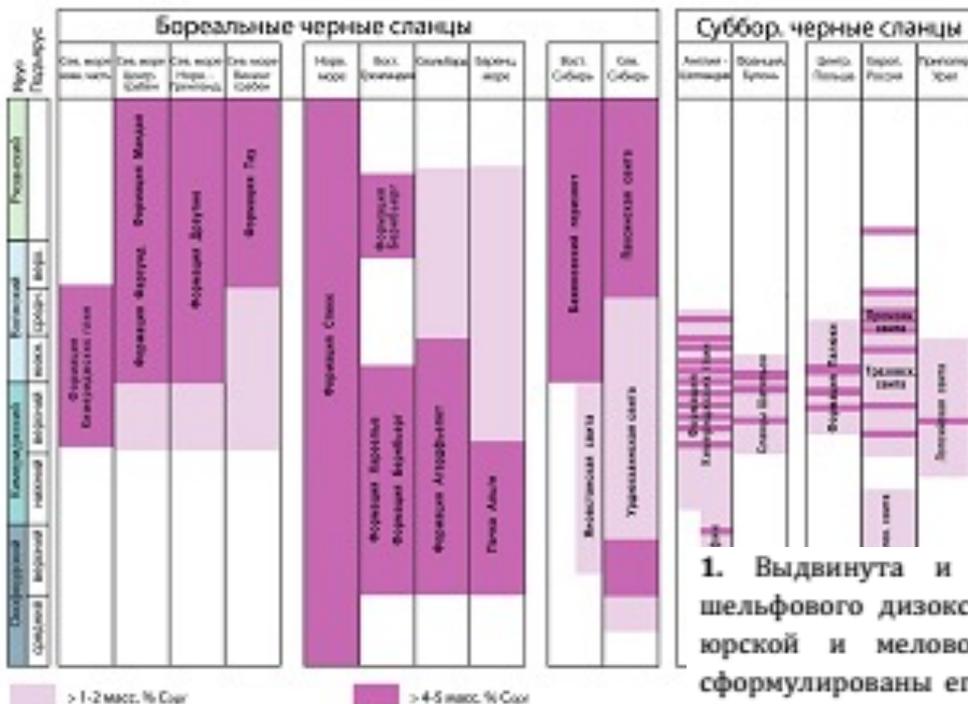


Рисунок 2 – Распространение высокоуглеродистых сланцев бореали дипноксидно-аноксидного события (SDAE) в Северном полушарии [R 2020]

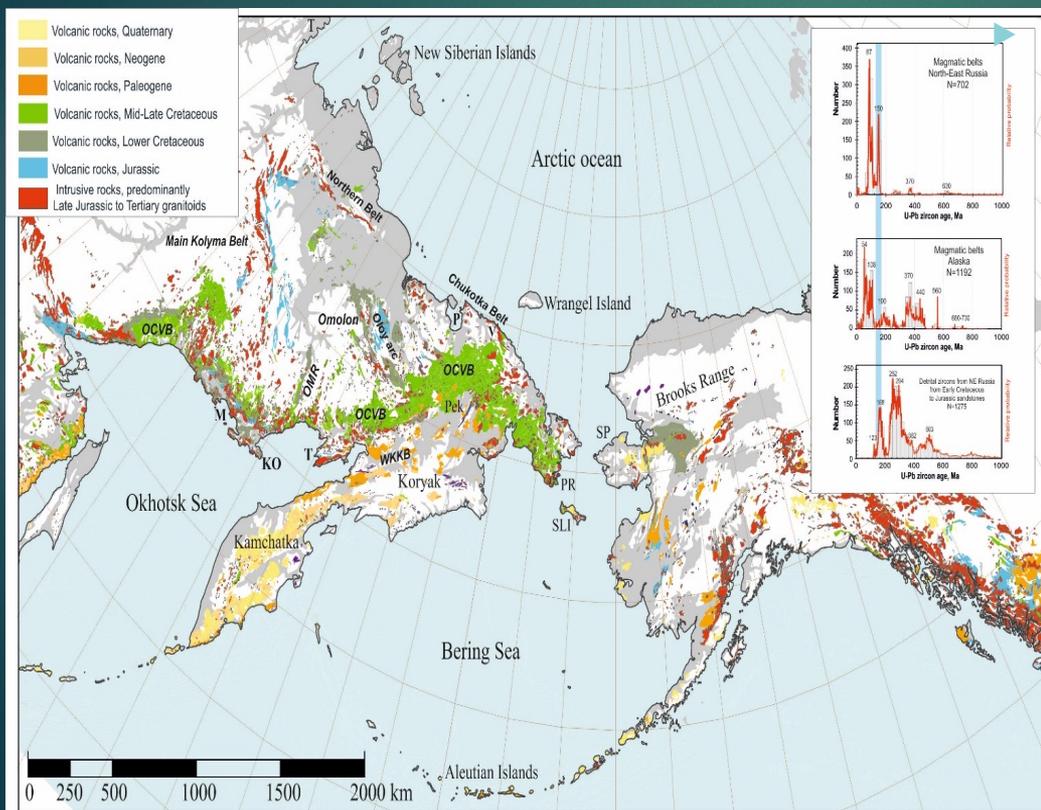
\*\*\*

1. Выдвинута и обоснована концепция продолжительного субглобального шельфового дезоксидно-аноксидного события (SDAE), проявившегося на рубеже юрской и меловой эпох в высоких и средних широтах Земного шара; сформулированы его основные особенности (диахронность наступления в разных регионах, отсутствие изотопных аномалий и нарушений углеродного цикла, значимых биотических кризисов). Причиной этого события, повлекшего за собой масштабное накопление углеродистых (нефтематеринских и нефтеносных) сланцев в Северном полушарии, могла быть дестабилизация планктонных сообществ – расширение ареалов обитания первичных продуцентов органического вещества в результате экспансии из аридных регионов низких широт (где в основном происходило карбонатное накопление) – в прохладные, богатые нутриентами центральные водоемы умеренных и высоких широт, и тивности на начальных этапах освоения.

4. Результат изложен: Rogov M.A., Shchepetova E.V., V.A. Zakharov Late Jurassic – earliest Cretaceous prolonged shelf dysoxic–anoxic event and its possible causes // Geological Magazine. – 2020. – V. 157. – P. 1622–1642. – DOI: 10.1017/S001675682000076X

# Пространственно-временная эволюция магматических поясов Северо-Востока Азии и ее связь с тектоническими процессами в северной части Тихого океана ((СВКНИИ ДВО РАН, ИГАБМ СО РАН, университеты Стэнфордский и штата Западная Виргиния)

**Akinin V.V., Miller E.L., Toro J., Prokopiev A.V., Gottlieb E.S., Pearcey S., Polzunenkov G.O., Trunilina V.A.** *Episodicity and the dance of late Mesozoic magmatism and deformation along the northern circum-Pacific margin: north-eastern Russia to the Cordillera // Earth-Science Reviews. 208 (2020) 103272. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103272. IF JCR2019=9,724, Q1.*

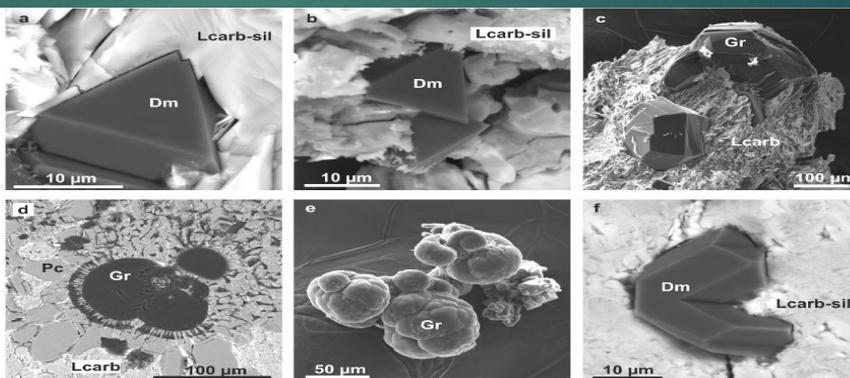
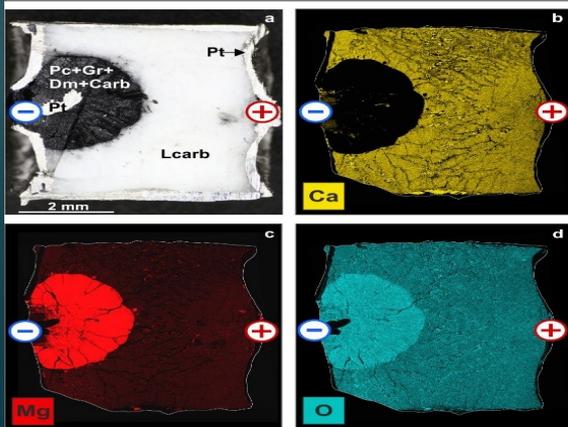


На основе новых изотопно-геохронологических и геохимических данных охарактеризованы и сопоставлены главные позднемезозойские магматические пояса СВ России, Аляски и североамериканских Кордильер, уточнен возраст и состав протяженных магматических поясов СВ России, установлена их пространственно-временная эволюция, главные эпизоды асинхронности (200–145 млн лет) магматизма и различия в геодинамических условиях проявления (сжатие в Кордильерах против растяжения и субдукции на СВ России и Аляске в интервале 125–60 млн лет), связь с плитотектоническими событиями в северной Пацифике и Арктике.

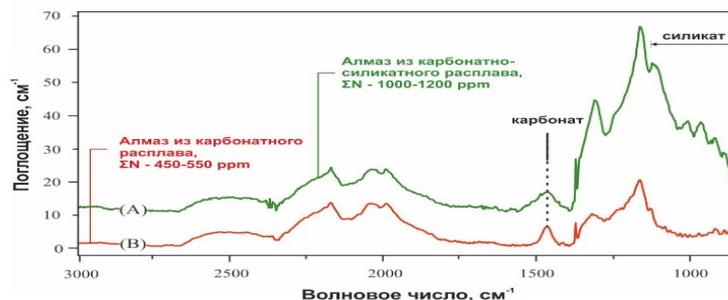
# Образование алмаза под действием электрического поля в условиях мантии Земли (ИГМ СО РАН)

Эксперимент показал возможность образования алмаза в условиях мантии Земли при воздействии электрического поля на карбонатные и карбонатно-силикатные расплавы, соответствующие по составу природным алмазообразующим средам. Установлено, что за счет разности потенциалов (0,4-1 вольт) происходит экстракция углерода из карбонатов и кристаллизация алмаза на катоде в ассоциации с мантийными минералами. В изученном процессе карбонаты являются главными компонентами среды кристаллизации алмаза и единственным источником углерода. Полученные результаты показывают, что электрические поля могут значимо влиять на мантийные минералообразующие процессы, изотопное фракционирование углерода (полученные алмазы обогащены легким углеродом) и глобальный углеродный цикл. Условия эксперимента  $P = 6.3$  и  $5.6$  GPa,  $T = 1300 - 1600$  C.

**Y.N. Palyanov, Y.M. Borzdov, A.G. Sokol, Y.V. Bataleva, I.N. Kupriyanov, V.N. Reutsky, M. Wiedenbeck, N.V. Sobolev. Diamond Formation in an Electric Field under Deep Earth Conditions. Science Advances, 2021**



Кристаллы алмаза и графита, полученные в зоне катода



ИК-спектры алмазов, синтезированных в карбонатно-силикатном (A) и карбонатном расплаве (B)

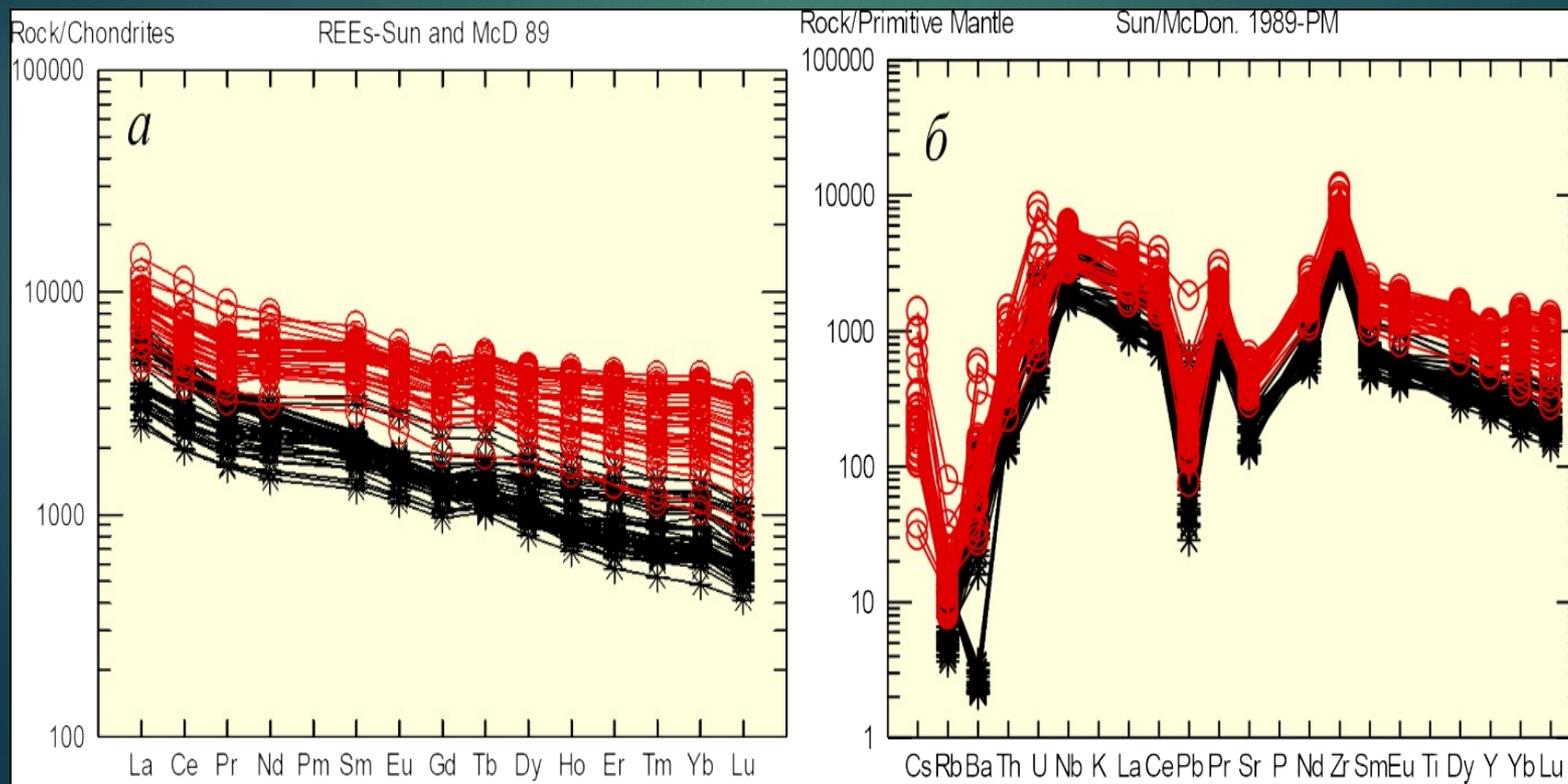
Карты распределения Ca, Mg и O в образце после электрохимического эксперимента с доломитовым составом. Pc - периклаз, Dm - алмаз, Gr - графит, Lcarb - карбонатный расплав;

Впервые на количественном уровне был установлен потенциал стратегических металлов и оценена комплексность эвдиалитовых руд Ловозерского редкометального месторождения для использования в промышленности редкоземельных элементов, Zr, Sc, Hf, U, Th, Mn

ГЕОХИ

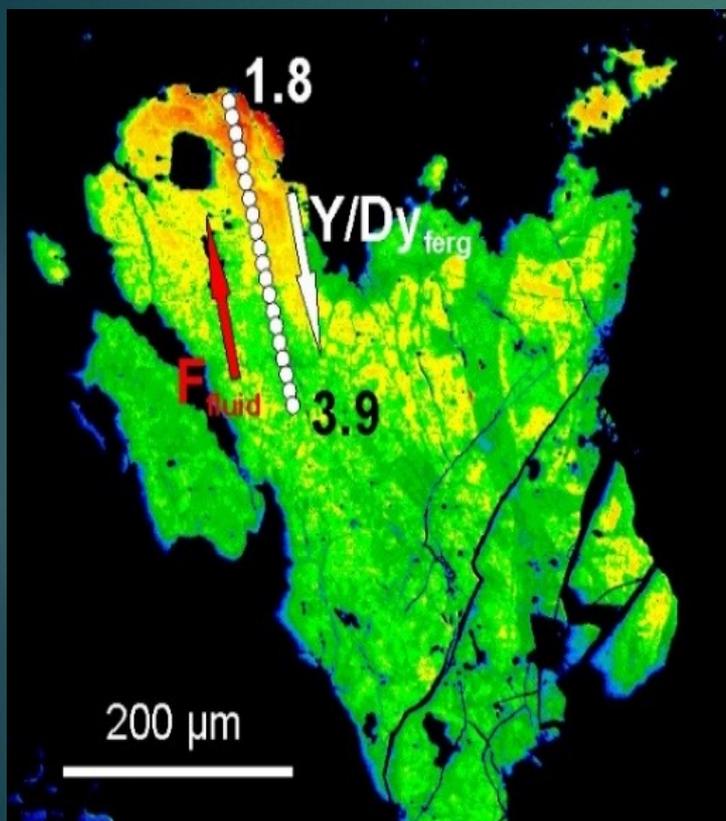
Рисунок 1.а – Распределение РЗЭ в Ловозерском эвдиалите II фазы (черный) и III фазы (красный); б – Спайдерграмма эвдиалитов II фазы (черные) и рудного комплекса (красные) Ловозеро.

**Kogarko L., Nielsen T.F.D.** Chemical Composition and Petrogenetic Implications of Eudialyte-Group Mineral in the Peralkaline Lovozero Complex, Kola Peninsula, Russia // Minerals 2020, 10, 1036; DOI:10.3390/min10111036. Q2.



Открыто явление фракционирования REE в ходе роста фергусонита-(Y) ( $YNbO_4$ ) из пегматитового раствора-расплава, что может быть использовано для создания высокотехнологичных REE-содержащих материалов с постепенным изменением свойств по объему единого кристалла.

ГИ КНЦ РАН

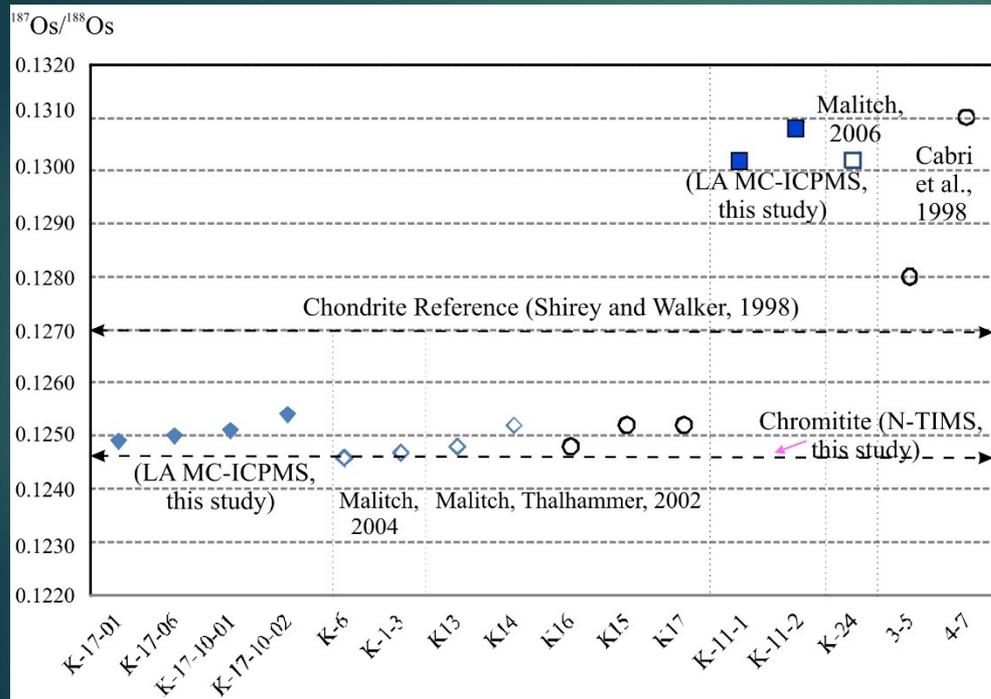


- ▶ Zozulya D., Macdonald R., Bagiński, B. REE fractionation during crystallization and alteration of fergusonite-(Y) from Zr-REE-Nb-rich late- to post-magmatic products of the Keivy alkali granite complex, NW Russia // Ore Geology Reviews. 2020. 125. 103693. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103693>
- ▶ Обогащение фтором во время кристаллизации приводит к последовательному увеличению отношения Y/Dy во флюиде до тех пор, пока не произойдет кристаллизация богатых фтором минералов .

# Выявление источников рудного вещества платиноидной минерализации

## ИГГ УрО РАН

Malitch, K.N., Puchtel, I.S., Belousova, E.A., Badanina I.Y. (2020) Contrasting platinum-group mineral assemblages of the Kondyor massif (Russia): Implications for the sources of HSE in zoned-type ultramafic massifs. *Lithos* 376-377,

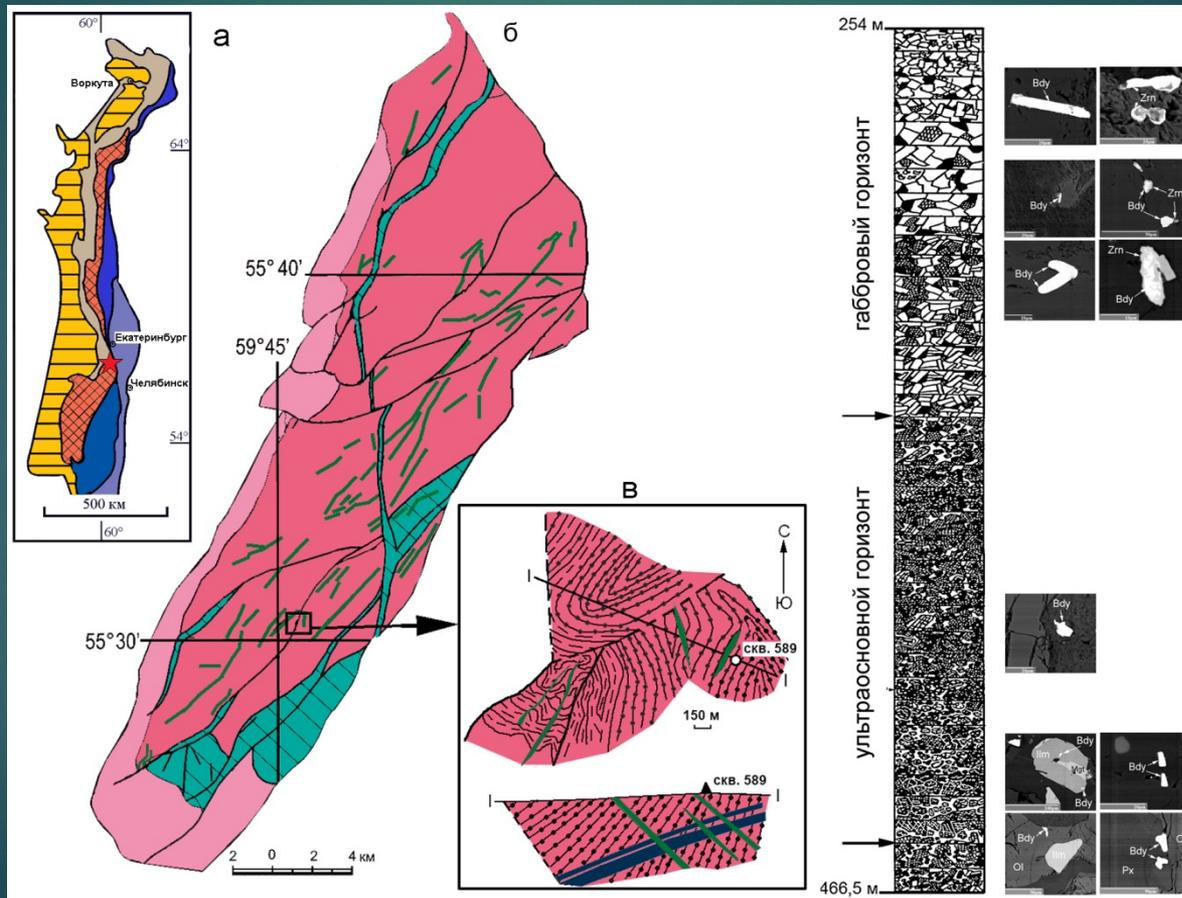


- ▶ Выполнены прецизионные определения изотопного состава осмия в минералах платиновой группы из ультраосновных пород зонального Кондёрского массива (юго-восток Сибирской платформы), с которым ассоциирует уникальное россыпное месторождение платины. Впервые установлено, что минералы платиновой группы хромититов и апатит-флогопит-магнетитовых клинопироксенитов связаны соответственно с хондритовым универсальным резервуаром (CHUR) и «супрахондритовым» источником с повышенными отношениями  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ . Полученные данные свидетельствуют в пользу двух контрастных источников элементов платиновой группы в ультраосновных породах Кондёрского массива и являются новым индикатором промышленного платиноидного оруденения в зональных клинопироксенит-дунитовых массивах

# Исследована бадделеит-цирконовая минерализация в дифференцированных интрузиях Башкирского мегантиклия (Южный Урал) ИГ УфНЦ РАН

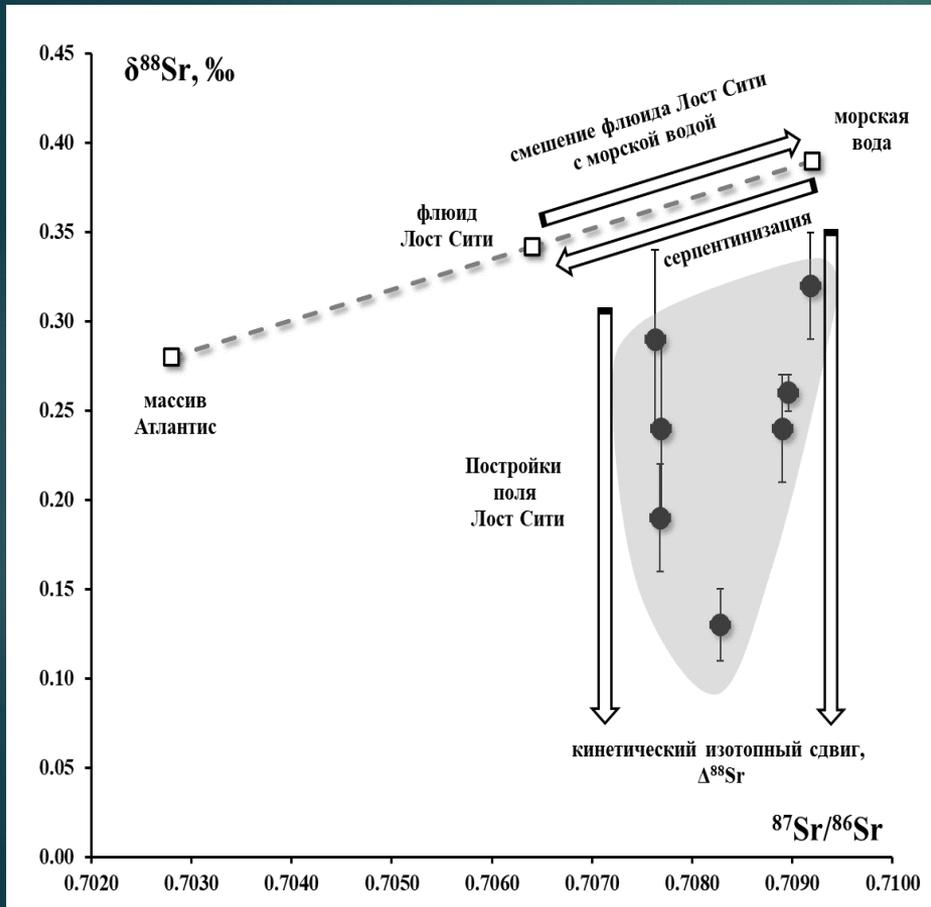
Впервые в мировой практике установлено, что бадделеит распространен по всему разрезу интрузивного тела, а циркон встречается только в габбровом горизонте, где детально описано замещение бадделеита цирконом.

Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Ковалев С.С., Высоцкий С.И. Зап. Минерал. общ. 2020



# Изучено поведение четырех изотопных систем ( $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{88}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) в процессе подводного осаждения неорганических карбонатов (на примере гидротермального поля Lost City, 30° с.ш. САХ)

ИГЕМ



- ▶ Изучено поведение четырех изотопных систем ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{88}\text{Sr}$  и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) в процессе подводного осаждения неорганических карбонатов. Показано, что осаждение карбонатов из флюида происходит с высокой скоростью в условиях градиента температуры и pH растворов, что приводит к несоответствию величин  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{88}\text{Sr}$  равновесным соотношениям в системе карбонат-вода. Величины  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  карбонатов Лост Сити близки к равновесию в системе DIC-вода. Величина кинетического изотопного сдвига  $\Delta^{88}\text{Sr}$  в карбонатах поля Лост Сити близка к опубликованным экспериментальным данным.

▶ **Dubina E.O., Kramchaninov A.Y., Silantye V.S., Bortnikov N.S.**

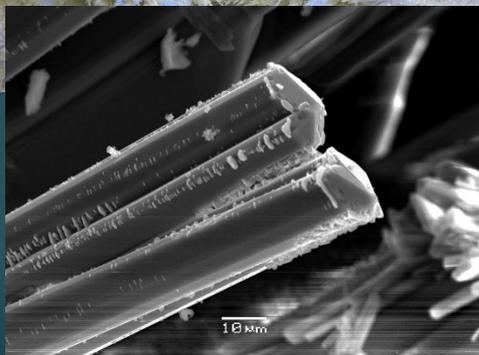
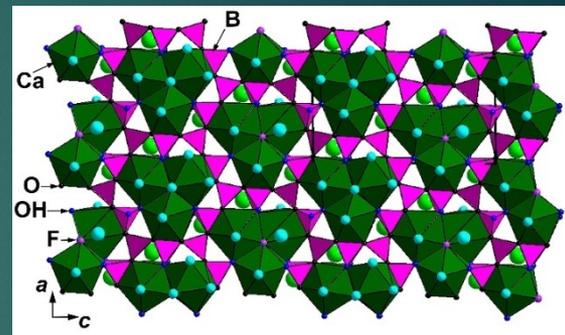
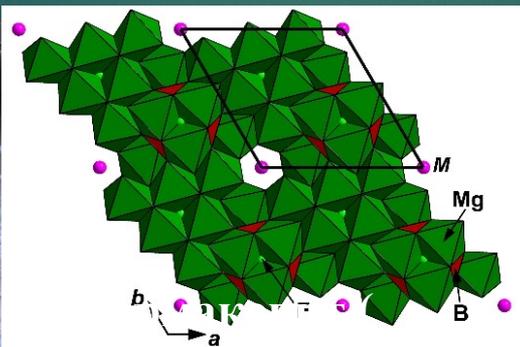
▶ Petrology, V.28, No.4, 2020

# Открыты 26 новых минералов, среди которых – концентраторы редких элементов и носители технологически важных свойств.

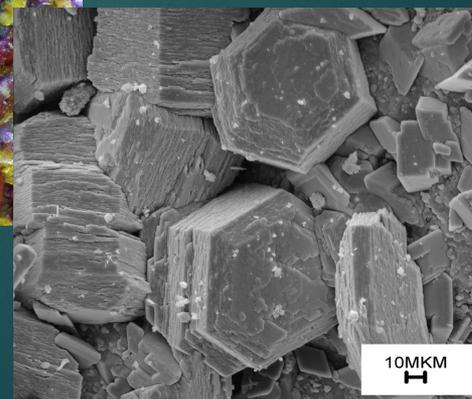
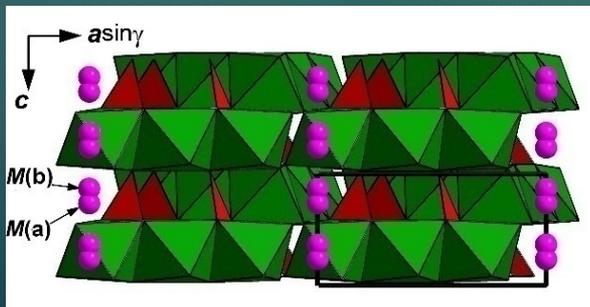
МГУ геологический факультет, Минмузей им. А.Е.Ферсмана

**Рабдобрит-(Мо)**  $Mg_{12}(Mo, W)^{6+}_{1\frac{1}{3}}O_6(BO_3)_6F_2$  –  
главный концентратор Мо и W в НТ-экспляциях  
вулкана Толбачик

**Попугаевит**  $Ca_3[B_5O_6(OH)_6]FCl_2 \cdot 8H_2O$ ,  
(кимберлитовая трубка Интернациональная, Якутия)



**Ермаковит**  $NH_4(As_2O_3)_2Br$   
(Фан-Ягнубское угольное месторождение-ние)

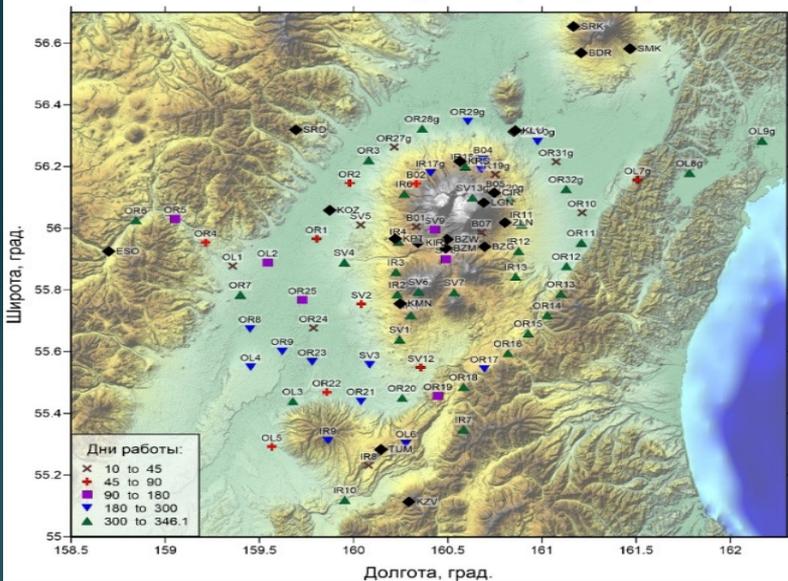


# Детальная структура магматических источников под Северной группой вулканов на Камчатке

ИНГГ СО РАН, ЕГС РАН, ИВиС РАН,  
Geoforschungszentrum (Potsdam), Институт физики Земли (Париж)

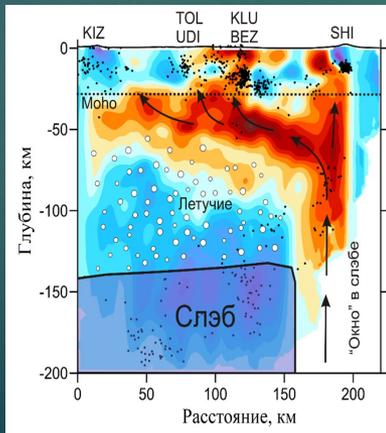


Сеть KISS и постоянные станции на Северной группе вулканов



Koulakov, I., Shapiro, N. M., Sens-Schönfelder, C., Luehr, B. G., Gordeev, E. I., Jakovlev, A., Abkadyrov I. F., Chebrov D. V., Droznina S. Ya., Senyukov S. L., Novgorodova A., Stupina T. J. *Geophys. Res. Solid Earth* - 2020. - 125, e2020JB020097.  
Green G.R., Sens-Shonfelder C., Shapiro N., Koulakov I., Tilmann F., Dreiling J., Luehr B., Yakovlev A., Abkadyrov I., Droznin D., Gordeev E. J. *Geophys. Res. Solid Earth* – 2020. – Vol. 125. P. 1 – 22.

В результате постановки масштабной сети наблюдений KISS (более 100 станций и обработки уникального массива данных, получена беспрецедентная по детальности модель строения коры и верхов мантии под Северной группой вулканов на Камчатке (одной из самых активных в мире). Выявленные сейсмические структуры и зарегистрированные землетрясения маркируют подъем горячего вещества под Шивелучем через разрыв в Тихоокеанской плите. При достижении подошвы коры, этот поток распространяется в сторону Ключевской группы и Кизимена, формируя там магматические очаги. Однако существует вероятность питания вулкана Кизимен из другого источника, что согласуется с концепцией дискретных “hot fingers”.

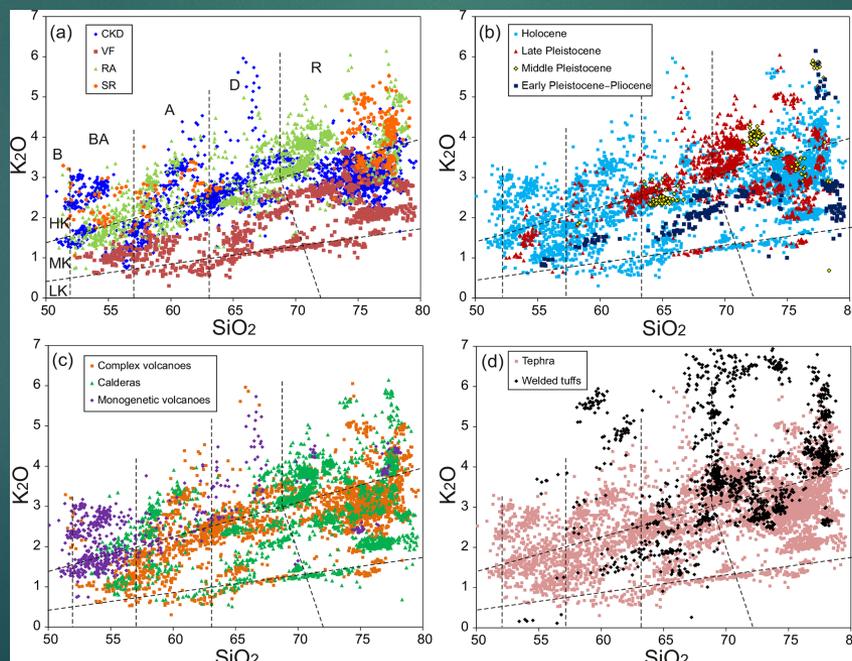
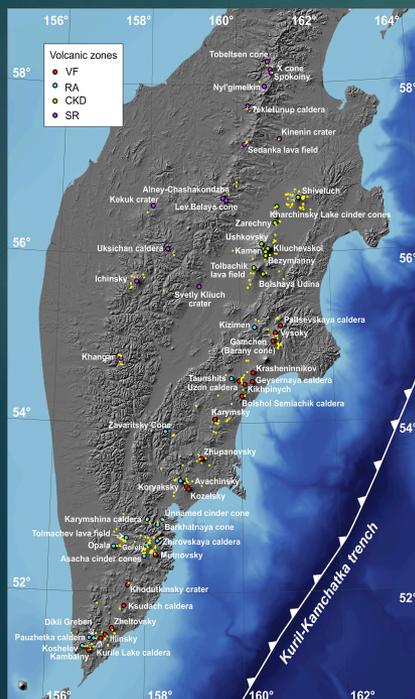


# Завершена работа над созданием уникальной общедоступной базой данных ТефраКам (TephraKam) по составам вулканических стекол тефр и игнимбритов Камчатки. ИВиС ДВО РАН

Горизонты тефры, сформировавшиеся в результате извержений вулканов, широко используются для датирования отложений и форм рельефа, корреляции удаленных палеоклиматических разрезов и реконструкции эволюции магматических очагов. Необходимым условием для этого является наличие референсной коллекции эруптивных продуктов определенного региона

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23627.13606P> (Portnyagin, M. V., Ponomareva, V. V., Zelenin, E. A., Bazanova, L. I., Pevzner, M. M., Plechova, A. A., Rogozin, A. N., and Garbe-Schönberg, D. 2020. *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 469–486, 10.5194/essd-12-469-2020)

В базе приводятся результаты 7049 микронзондовых анализов единичных вулканических стекол и 738 анализов редкоземельных элементов, полученных по образцам пирокластики отобранных на разном расстоянии от вулкана-источника во всех вулканических зонах Камчатки.



▶ Диаграмма вариаций SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O в стеклах Камчатки. Стекла сгруппированы по вулканическим зонам (a), возрасту (b), типу вулкана (c) и типу пород (d). Также обозначены поля низко(LK)-, умеренно (МК) и высококалийных (HK) базальтов (B), андезибазальтов (BA), андезитов (A), дацитов (D) и риолитов (R).

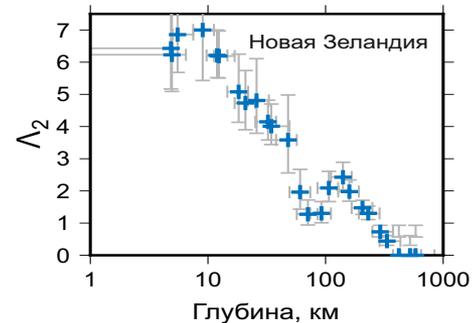
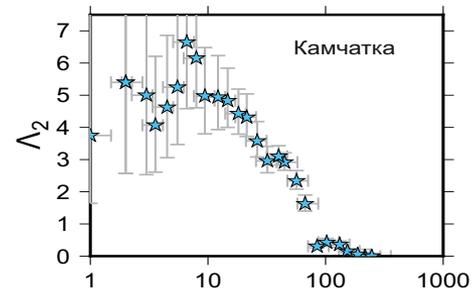
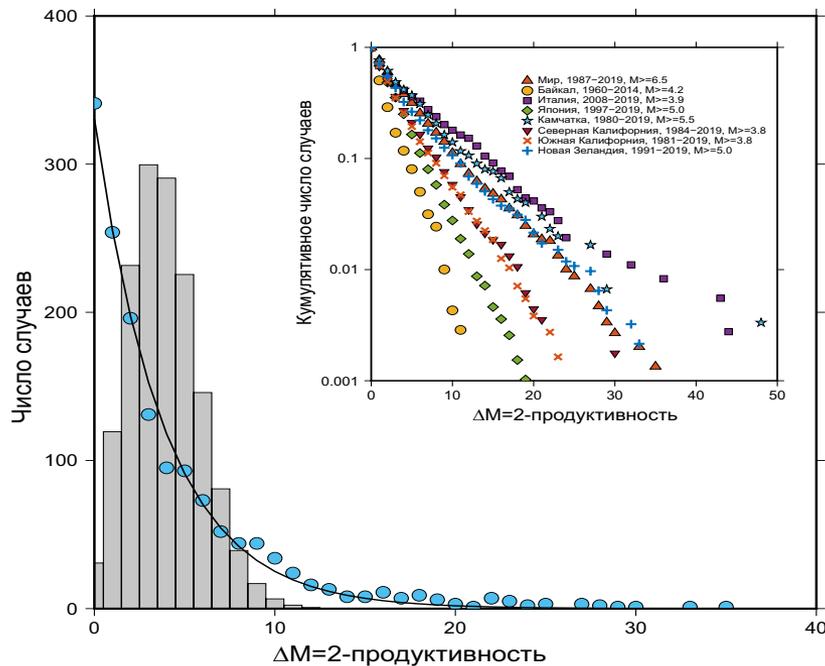
# Экспоненциальный закон продуктивности для землетрясений ИТПЗ РАН

Установлено неизвестное ранее свойство сейсмичности – экспоненциальная форма распределения относительной продуктивности землетрясений, определяемой как число афтершоков в фиксированном относительном магнитудном интервале. Случайный характер продуктивности опровергает справедливость широко используемой модели ETAS.

Усредненная по какому-либо пространственно-временному объему продуктивность отражает свойства среды. Установлены сильная зависимость от глубины и значительные региональные вариации.

Результаты исследования могут быть использованы для описания активных систем разломов и совершенствования моделей сейсмического режима.

Shebalin P.N., Narteau C., Baranov S.V. *Geophysical Journal International*. 2020.



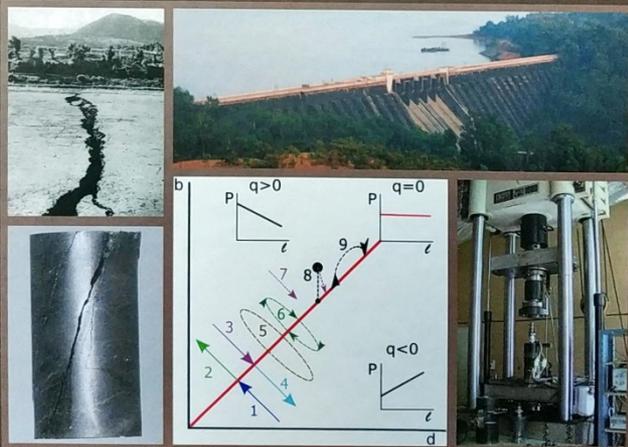
# В.Б.Смирнов, А.В.Пономарев **Физика переходных режимов сейсмичности**

ИФЗ РАН, Физический факультет МГУ

Российская академия наук

В. Б. Смирнов, А. В. Пономарёв

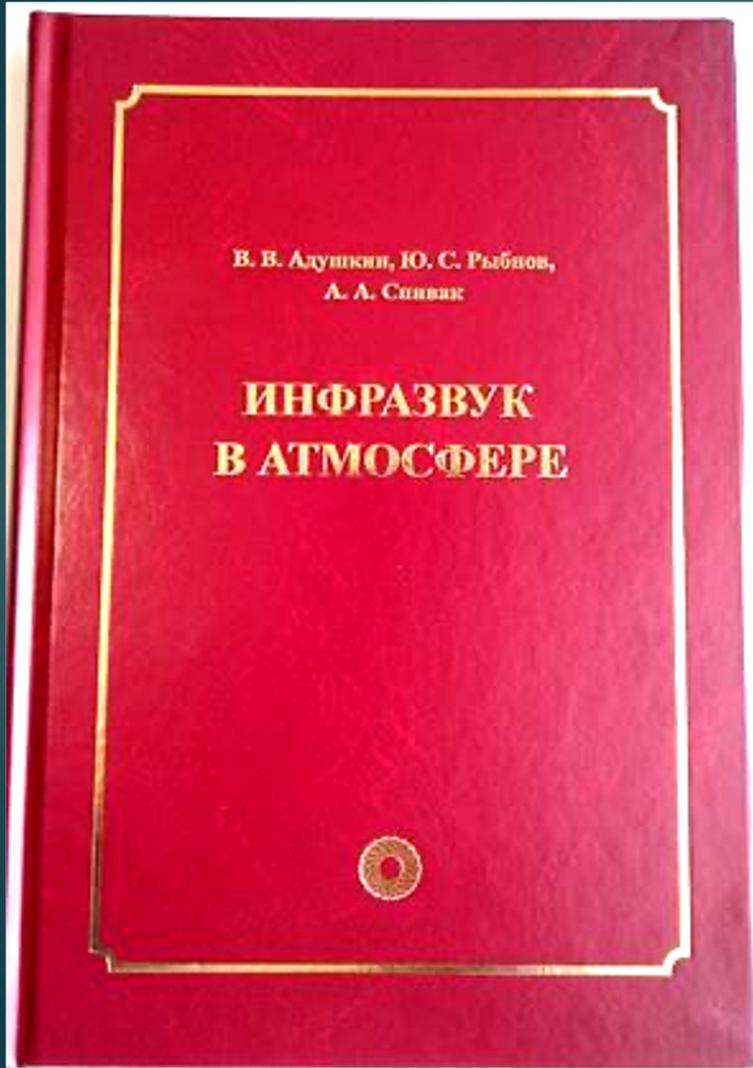
## ФИЗИКА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ СЕЙСМИЧНОСТИ



- ▶ Выполнено крупное обобщение исследований отклика геофизической среды на воздействие как природных тектонических, так и техногенных факторов. На огромном фактическом материале показано многообразие сейсмических режимов (типов развития сейсмических процессов во времени) и выявлены основные закономерности, позволяющие определить основные подходы к прогнозированию сейсмичности.
- ▶ Важной частью книги является полный и тщательный анализ лабораторного моделирования сейсмичности - направление, в разработку которого большой личный вклад внесли авторы книги. Рассмотрены проблемы, связанные с масштабным эффектом.

**Адушкин В.В., Рыбнов Ю.С., Спивак А.А. Инфразвук в атмосфере. – М.: ТорусПресс, 2020. – 319 с.**

**ИДГ РАН**

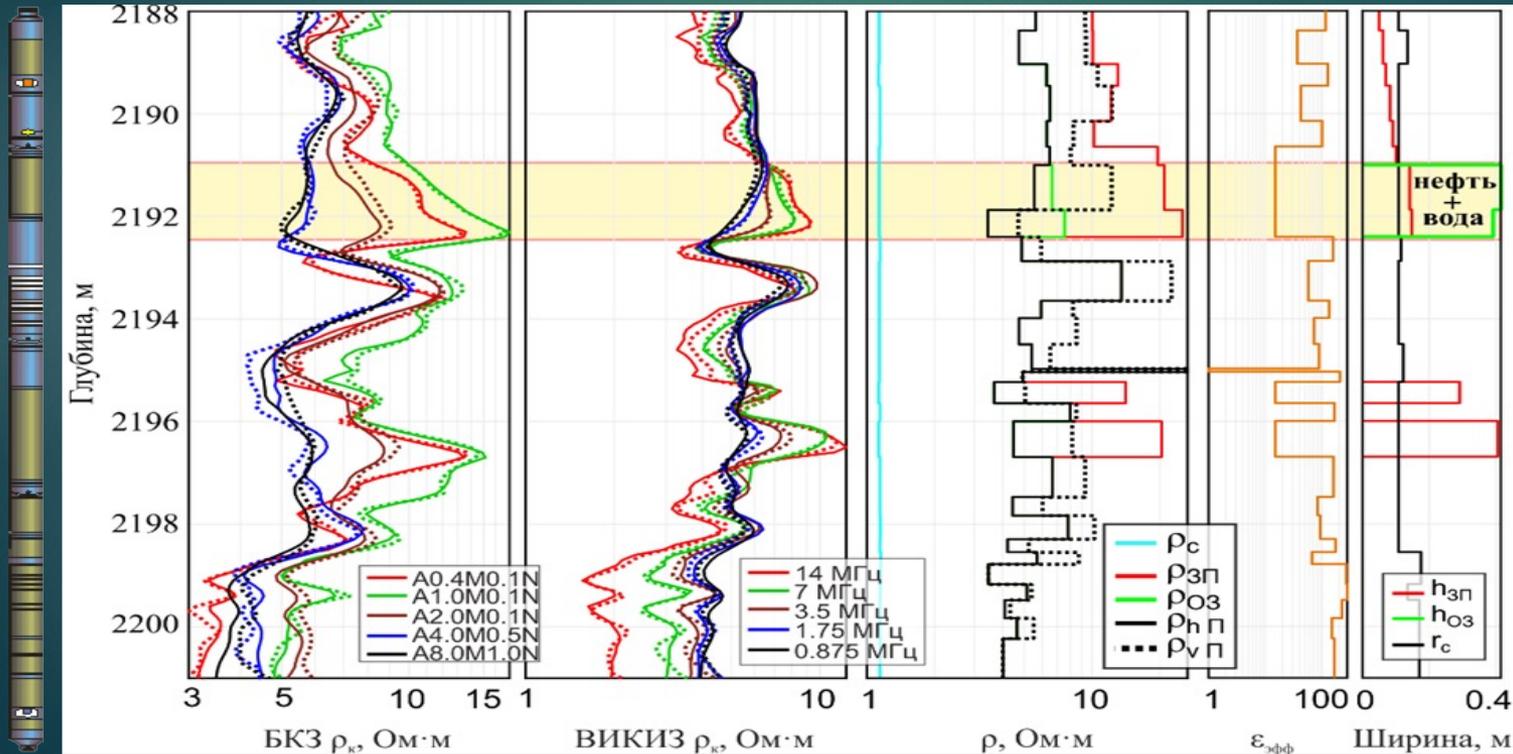


- ▶ Представлен обобщающий анализ результатов инструментальных наблюдений за инфразвуковыми возмущениями в атмосфере, вызванными процессами взрывного типа, сильными землетрясениями, вулканическими извержениями, сильными атмосферными явлениями (смерчи, торнадо), сходом лавин и прохождением атмосферных фронтов, а также связанными с падением космических тел, полярными сияниями, солнечными затмениями, и солнечным терминатором. Наряду с этим рассмотрены акустические эффекты, вызванные техногенными источниками в виде аварий на трубопроводах, складах боеприпасов, работой нагревных стенов, крупными пожарами, полетами самолетов и ракет.

# Новый программно-методический инструментарий обработки и интерпретации данных полного комплекса методов скважинной электротометрии в масштабе реального времени (ИГГ СО РАН)

Еров М.И., Sukhorukova K.V., Nechaev O.V., Petrov A.M., Rabinovich M., & oth. Petrophysics. – 2020

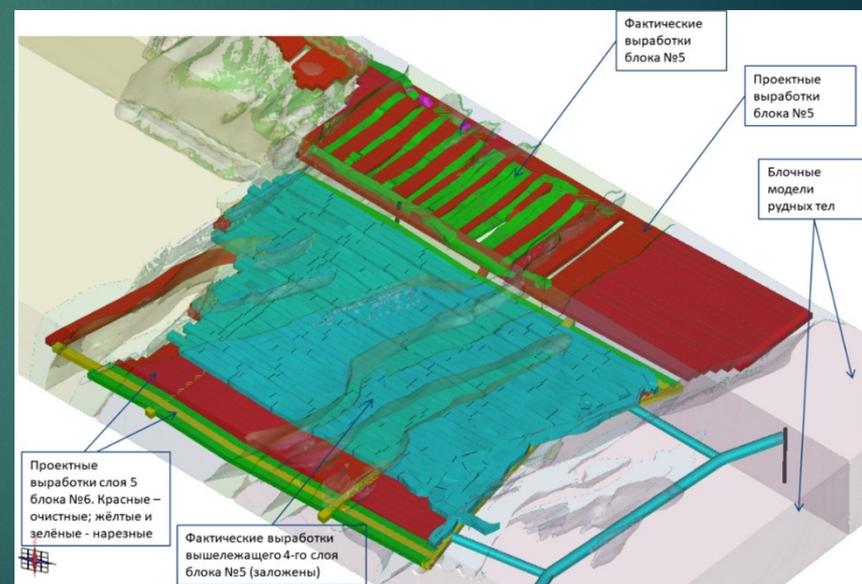
Программно-методический комплекс разработан на основе высокопроизводительных алгоритмов численных решений многомерных задач в полных математических постановках в рамках макроанизотропной частотно-зависимой геоэлектрической модели. С его использованием выполняется совместная численная обработка всех методов скважинной электротометрии современных комплексов каротажа. Эффективность применения показана при интерпретации каротажных данных для выявления пропущенных сложнопостроенных нефтяных коллекторов и уточнения их флюидонасыщения.



# Цифровая технология планирования подземных горных работ, основанная на имитационном моделировании технологических процессов добычи и транспортировки горной массы ГоИ КНЦ РАН

В основе алгоритма лежит декомпозиция технологических процессов на объединённые в циклы операции, выбор которых осуществляется в автоматическом режиме с учётом технологических и геомеханических ограничений. Сценарий развития горных работ рассчитывается на основе целевых показателей с оптимизацией использования парка горной техники и персонала, а также минимизацией затрат на выполнение технологических операций.

**Лукичев С.В., Наговицын О.В.** Цифровая трансформация горнодобывающей промышленности: прошлое, настоящее, будущее // Горный журнал. 2020. № 9. С. 13-18.



# Внедрение магнитно-гравитационной сепарации на основе разработанного промышленного магнитно-гравитационного сепаратора МГС-2.0

ГоИ КНЦ РАН

Авторы: к.т.н. Опалев А.С., Новикова И.В., Матвеева Е.А., Черезов А.А., Цырятьев И.В.



Завершено внедрение на АО «Карельский окатыш» (ПАО «Северсталь») – установлено 48 сепараторов;

Внедрение на обогатительной фабрике ООО "ГРК "Быстринское" (ПАО «ГМК «Норильский никель») – 8 сепараторов;

Проведены промышленные испытания четырех магнитно-гравитационных сепараторов МГС-2.0 на АО «Стойленский ГОК» (ПАО «НЛМК»);

Проведены промышленные испытания магнитно-гравитационных сепараторов МГС-2.0 на фабрике обогащения Соколовско-Сарбайского ГОКа (ФРПО АО «ССГПО», Казахстан)

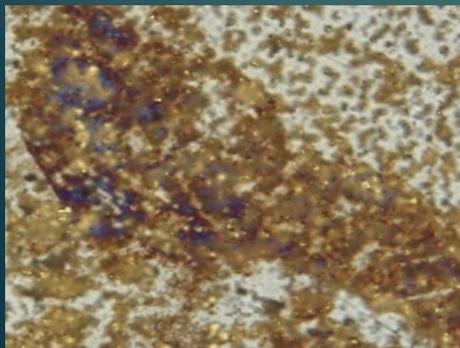
## Поиск новых реагентов для повышения содержания золота в концентрате в условиях флотации.

ИПКОН РАН

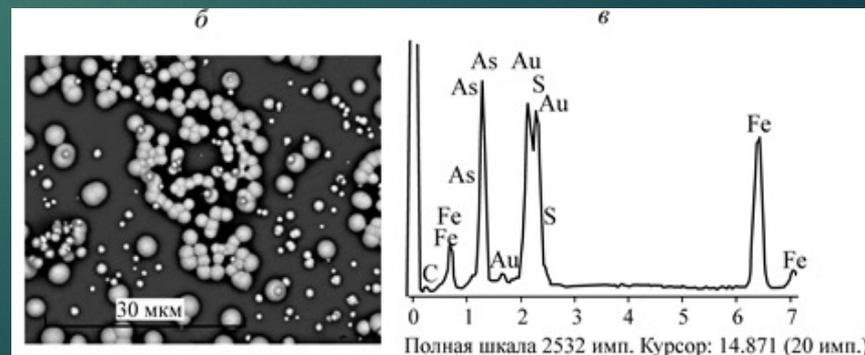
На основе комплекса современных методов UV и IR спектроскопии, SLM и ASEM микроскопии научно обоснован и экспериментально подтвержден механизм сорбции новых комплексообразующих реагентов группы пиразолов (ДТМ) и дитиокарбаматов (МДТК), обеспечивающих селективную гидрофобизацию золотосодержащих сульфидов и эффективное извлечение микро- и наноразмерного золота из труднообогатимых руд. Применение данных реагентов позволяет повысить содержание золота в концентрате более, чем в 2 раза при повышении извлечения на 8-10 % в условиях флотации руды Олимпиадинского месторождения.

**T. N. Matveeva, N. K. Gromova, and L. B. Lantsova.** Analysis of Complexing and Adsorption Properties of Dithiocarbamates Based on Cyclic and Aliphatic Amines for Gold Ore Flotation. *Journal of Mining Science*. 2020. (56) 2:268–274. **WoSQ2**

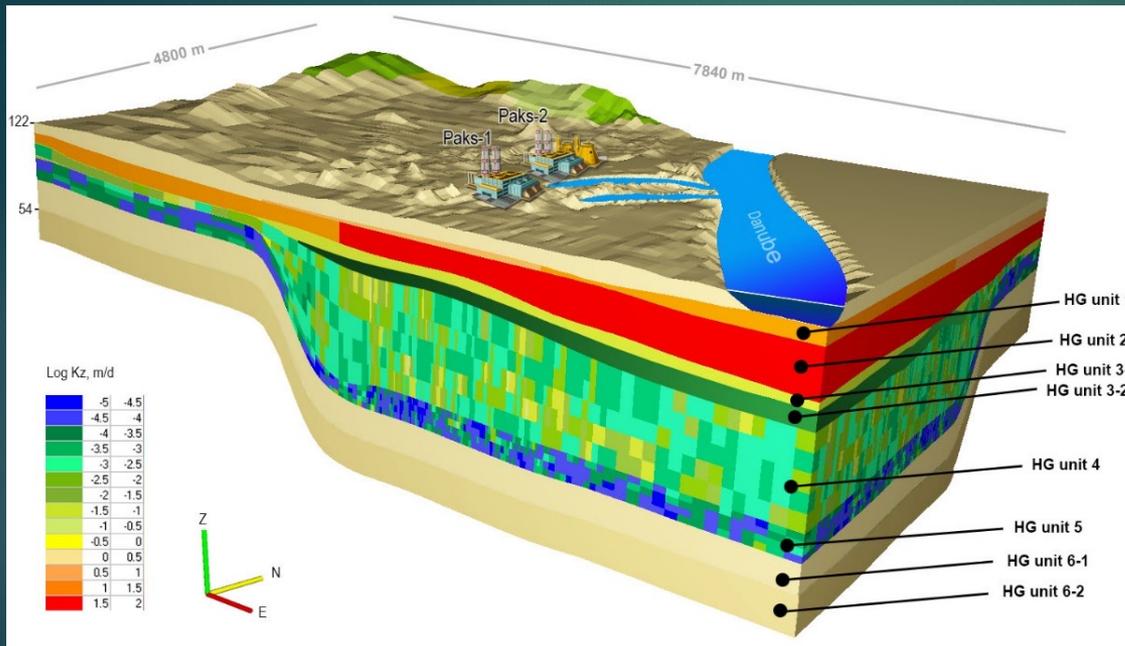
**T. N. Matveeva, V. A. Chanturiya, V.V. Getman.** Thermo-sensitive polymers and modified reagents for flocculation and flotation of Au and Pt in the processing of complex ores. *Proc. XXX IMPC – 2020*. Cape-Town.



Химическое соединение ДТМ  
с золотом на арсенопирите



# Созданы геолого-гидрогеологические модели площадок проектирования и строительства зарубежных АЭС ГК «Росатом» (в Венгрии Пакш-2, Узбекистане и Иране Бушер-2) ИГЭ РАН



Проведена интерпретация большого объема инженерных изысканий и данных мониторинга, на основе которых осуществлены схематизация природных условий районов строительства АЭС, калибровка и верификация моделей. Предложены инженерные решения по защите сооружений, входящих в инфраструктуру АЭС, от подземных вод. Оценено радиационное воздействие выбросов АЭС на природные (поверхностные и подземные) воды регионов.

**Rumynin V.G., Sindalovskiy L.N., Nikulenkov A.M., Leskova P.G.**

Journal of Hydrology. 2020,

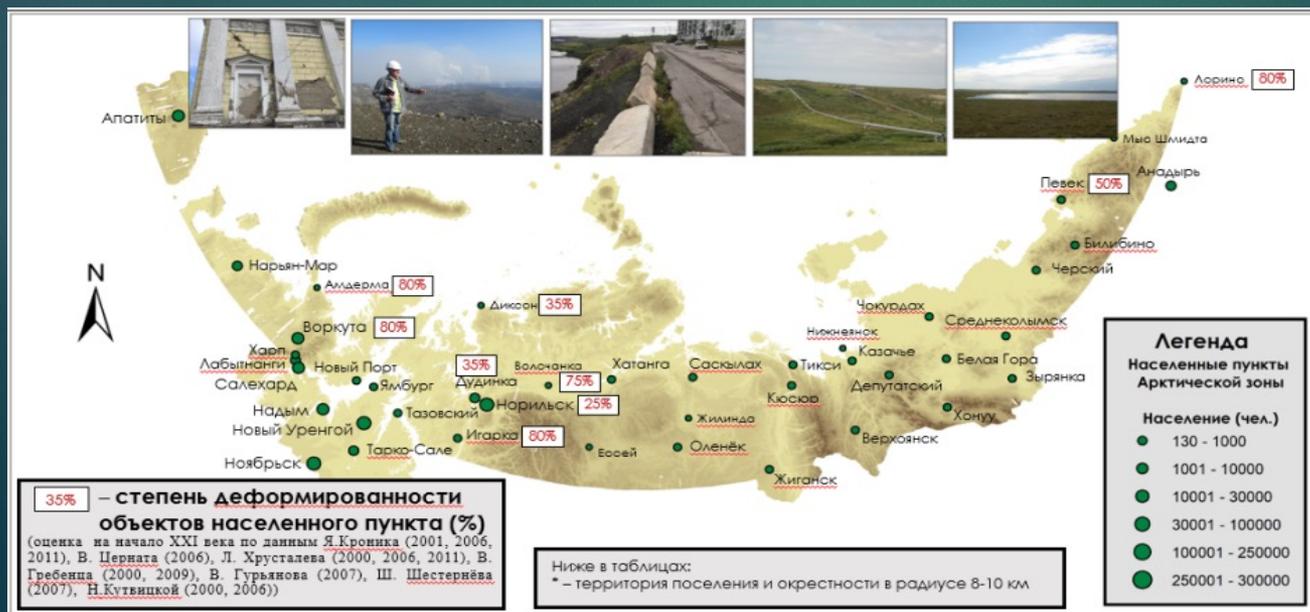
**Румынин В.Г.** Теория и методы изучения загрязнения подземных вод. СПб, 2020, Наука, 559 с.

# Опасные нивально-гляциальные и криогенные процессы и их влияние на инфраструктуру в Арктике

## Географический ф-т МГУ

Исследования выявили активизацию в последнее десятилетие деструктивных криогенных процессов и нарастание угроз для хозяйственных и жилых объектов от возникновения воронок газового выброса, термокарста, термоэрозии и термоабразии берегов, криогенных оползней и морозного пучения. Установлена степень деформированности инженерной инфраструктуры и доля таких от общего количества зданий. Деформации объектов в различных секторах Арктики могут достигать 50–60%, а в некоторых национальных поселках Заполярья практически все здания и системы жизнеобеспечения находятся в критическом (аварийно м или предаварийном) состоянии. Вклад потепления климата в это состояние вечномерзлых оснований оценён в 10–15%, тогда как вклад техногенной составляющей—в 85–90%. **Kizyakov A., Leibman M., Zimin M., Sonyushkin A., Dvornikov Y., Khomutov A., Dhont D., Cauquil E., Pushkarev V., Stanilovskaya Y.**

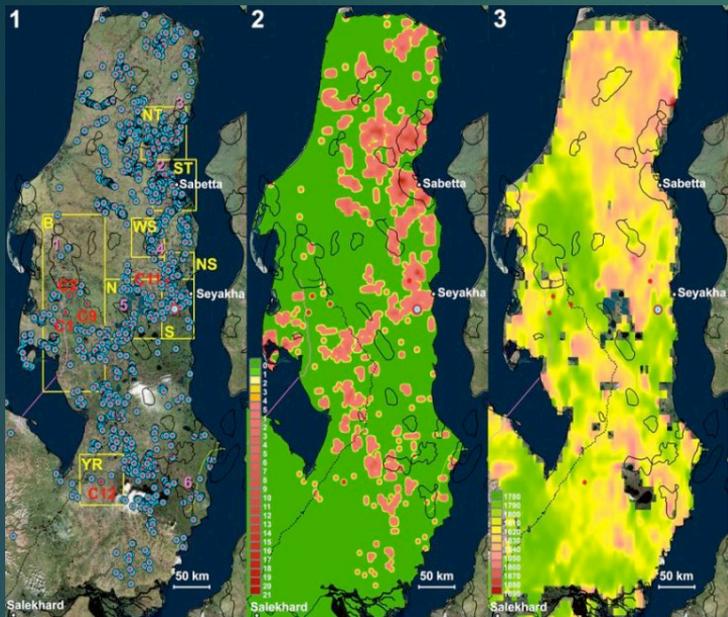
**Remote Sensing, 12:2182. doi: 10.3390/rs12142182; Maslakov A.A., Nyland K.E., Komova N.N., Yurov F.D., Yoshikawa K., Kraev G.N. (2020) Geography, Environment, Sustainability, 13(3):49–56. doi: 10.24057/2071-9388-2020-71; Ванштейн Б.Г., Стрелецкая И.Д., Письменюк А.А. (2020). Арктика: экология и экономика, 3(39):73–86. doi:10.25283/2223-4594-2020-3-73-86.**



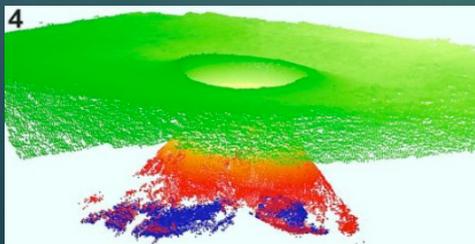
# Изучение расположения зон дегазации на Ямале ИПНГ РАН

**Vogoyavlensky V., Bogoyavlensky I., Nikonov R., Kishankov A.** Geosciences, 2020

Нефтегазоносные провинции морей России и сопредельных стран. Книга 2. Нефтегазоносные провинции морей Западной Арктики (авторы **Б.В.Сенин, В.Ю.Керимов, В.И.Богоявленский и др.**) Недра, 2020

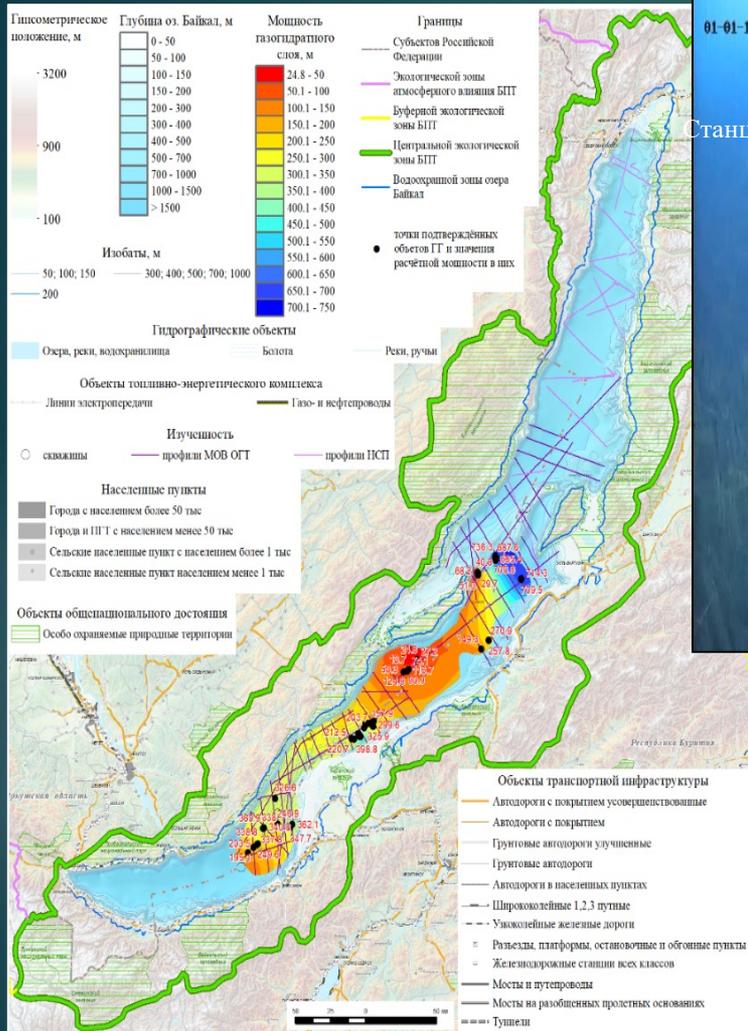


При обработке данных широкого комплекса геолого-геофизических исследований на полуострове Ямал построены цифровые трех- и четырехмерные модели газозрывоопасных объектов, свидетельствующие о существовании до взрывов газонасыщенных термокарстовых полостей в массивах подземного льда. Построена не имеющая аналогов картографическая схема распространения 1860 зон мощной дегазации со дна термокарстовых озер, рек и заливов полуострова Ямал, базирующаяся на комплексном анализе данных космосъемки высокого разрешения и экспедиционных исследований. Установлена региональная связь выявленных зон дегазации с районами аномально повышенной концентрации метана в атмосфере, зафиксированной спектрометром TROPOMI с космического аппарата Sentinel-5P. Обосновано, что наиболее газозрывоопасной является восточная часть Ямала, где выделены Южно-Тамбейская и Сеяхинская экстремальные зоны. Впервые обоснована возможность картографирования и мониторинга теплоизоляционных свойств (теплопроводности) типичных видов тундрового почвенного покрова нарушенных и ненарушенных ландшафтов по данным космосъемки среднего разрешения в видимом и тепловом диапазонах длин волн. Результаты НИР позволяют снизить риски возникновения аварийных и катастрофических ситуаций на объектах нефтегазового комплекса в Арктике.

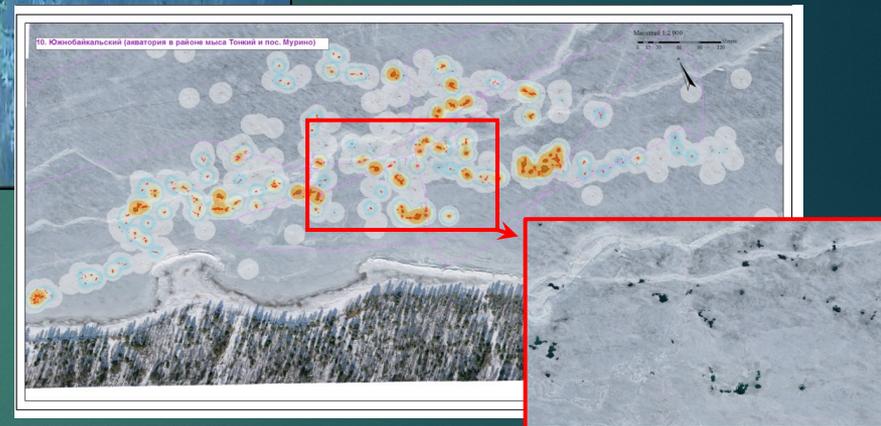


Трехмерная цифровая модель полости кратера в массиве подземного льда

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ И МИГРАЦИИ УГЛЕВОДОДОРОВ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ



ВСЕГЕИ



О.В.Петров и др. 2020

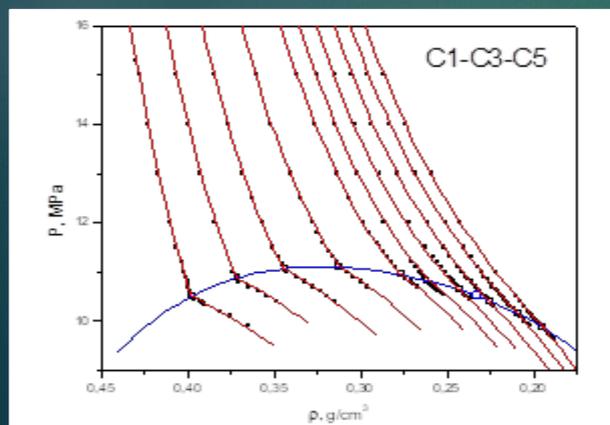
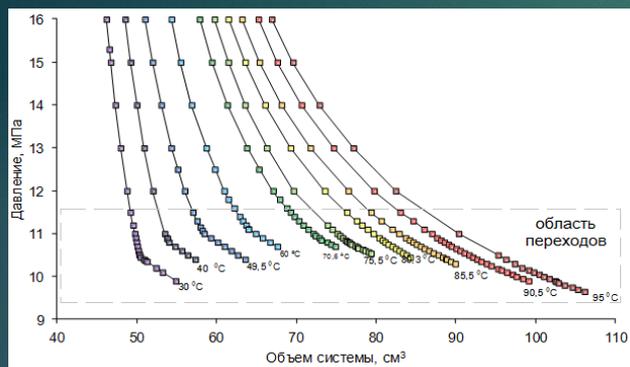
Карта мощности газогидратного слоя на дне оз. Байкал 1:1М «Атлас опасных геологических процессов Байкальской природной территории» (2021).

## Исследование термодинамических свойств углеводородных смесей, с целью повышения эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов нефти и газа.

ИПНГ РАН

**M.Yu. Belyakov, V.D. Kulikov, A.R. Muratov, and A.F. Sharipov**, Thermodynamic properties of a model hydrocarbon ternary mixture in the vicinity of critical point: Measurements and modeling with crossover equation of state, Fluid Phase Equilibria, 518 (2020)

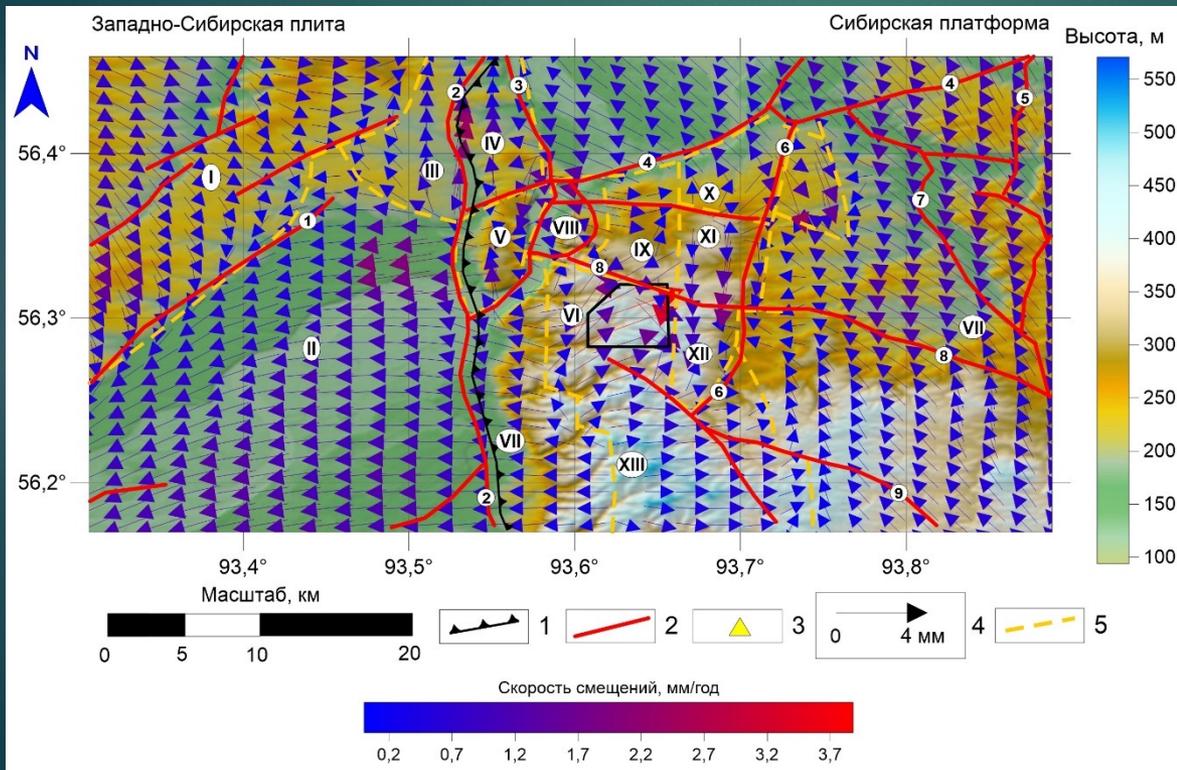
- ▶ Разработана методика математического моделирования аномального фазового поведения многокомпонентных УВ смесей в окрестности критических точек жидкость-газ с использованием масштабного (скейлинг) уравнения состояния околокритических флюидов. При наличии относительно небольшого объема экспериментальных данных методика позволяет качественно улучшить описание поведения основных термодинамических величин смеси в окрестности критической точки, включая их флуктуационные аномалии, корректно определить область околокритического состояния смеси и определить с высокой точностью ее критические параметры. Методика апробирована на ряде модельных и пластовых УВ смесей с использованием экспериментальных данных, полученных PVT методом, в котором выделение околокритической области и определение критических параметров смеси осуществляется субъективным (визуальным) способом по интенсивности наблюдаемой критической опалесценции.



# Структурно-кинематическая модель блоковых движений в южной части Енисейского кряжа по результатам ГНСС-наблюдений ГЦ РАН

Гвишиани А.Д., Татаринов В.Н., Кафтан В.И., Маневич А.И., Дзедобоев Б.А., Лосев И.В. ДАН, Науки о Земле. 2020, том 493, №1

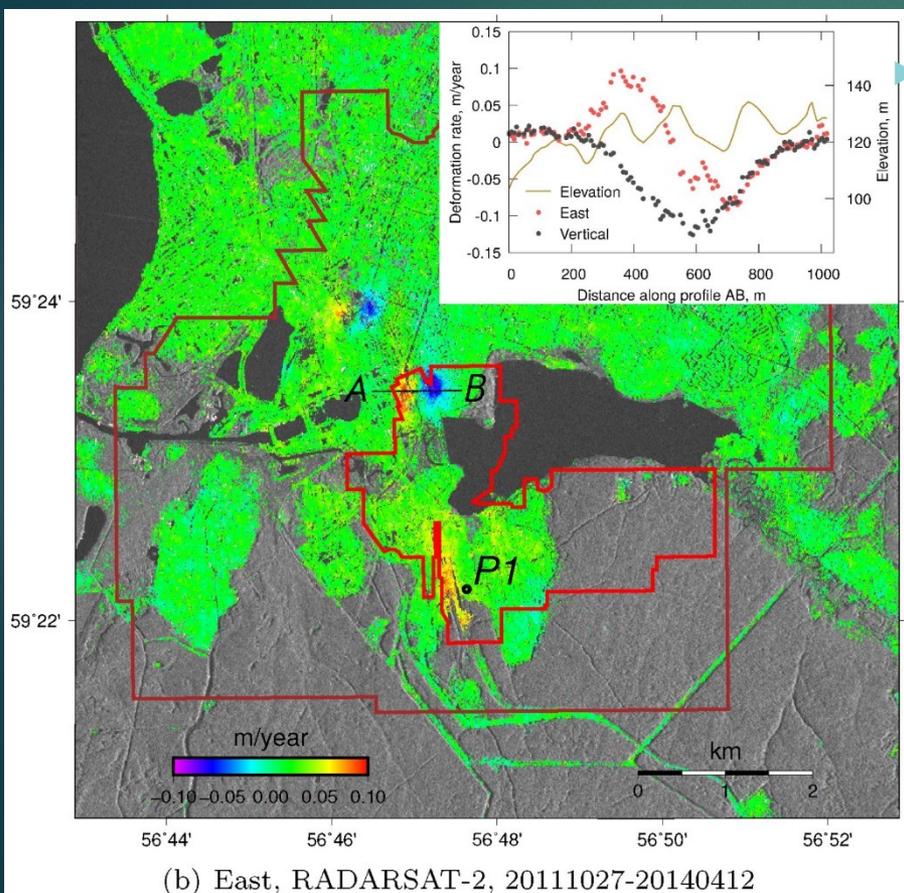
На основе системного анализа данных ГНСС-наблюдений выполнен расчет средних скоростей современных горизонтальных движений земной коры и построена структурно-кинематическая модель блоковых движений в южной части Енисейского кряжа на контакте Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы. Основой для обработки данных ГНСС-измерений и их интерпретации стали векторы базовых линий и их корреляционные матрицы, полученные в результате статической обработки и диагностического уравнивания многолетних наблюдений с 2010 по 2020 гг., включая две экспедиции, выполненные в рамках проекта РФ в 2019-2020 гг. Модель использована при разработке рекомендаций по оценке геодинамической безопасности захоронения высокоактивных радиоактивных отходов в гранитогнейсовых породах Нижне-Канского массива.



# Мониторинг уровня техногенной опасности разрушения зданий и объектов инфраструктуры на подработанных территориях в районе калийных рудников

Горный институт филиал ПФИЦ УрО РАН

*Samsonov S., Baryakh A. Estimation of Deformation Intensity above a Flooded Potash Mine Near Berezniki (Perm Krai, Russia) with SAR Interferometry/ Remote Sens. 2020*



Для оценки горизонтальных компонент деформации земной поверхности, обусловленной подземными горными работами использован метод DInSAR измерений восходящего и нисходящего треков канадского спутника RADARSAT-2, обработанных в программном комплексе MSBAS (Рис. 15). Сравнение полученных результатов с предельными величинами позволяют непосредственно в мониторинговом режиме отслеживать уровень техногенной опасности разрушения зданий и объектов инфраструктуры на подработанных территориях.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗ КОСМОСА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСШЕСТВИЯ НА КАМЧАТКЕ ОСЕНЬЮ 2020 Г., СВЯЗАННОГО С КРАСНЫМ ПРИЛИВОМ

Осуществлен космический мониторинг чрезвычайной экологической ситуации у полуострова Камчатка, вызвавшей массовую гибель гидробионтов осенью 2020 г.

На основании анализа долговременных рядов спутниковых данных (более 20 тыс. сцен) о температуре морской поверхности (с 1981 по 2020 гг.), концентрации хлорофилла-а (с 2000 по 2020 гг.) и других параметров установлено, что в июле-сентябре 2020 г. в исследуемом районе наблюдались сильные положительные аномалии температуры (отклонения от климатической нормы до 6°C), которые привели к аномальному росту концентрации хлорофилла (в 5-8 раз выше фоновых значений) в конце сентября-начале октября 2020 г. В результате этого существенно изменился биогенный режим, что привело к вредоносному цветению водорослей (красный прилив), вызвавшему гибель гидробионтов как в Авачинском заливе, так и в прибрежных акваториях всего полуострова Камчатка.

## НИИ “АЭРОКОСМОС”

В.Г. Бондур, В.В. Замшин, О.И. Чверткова. ДАН, 2021. т. 497, №1, с. 61-68;

В.Г. Бондур, В.В. Замшин, О.И. Чверткова, и др. Исследование Земли из космоса №3, 2021

