РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

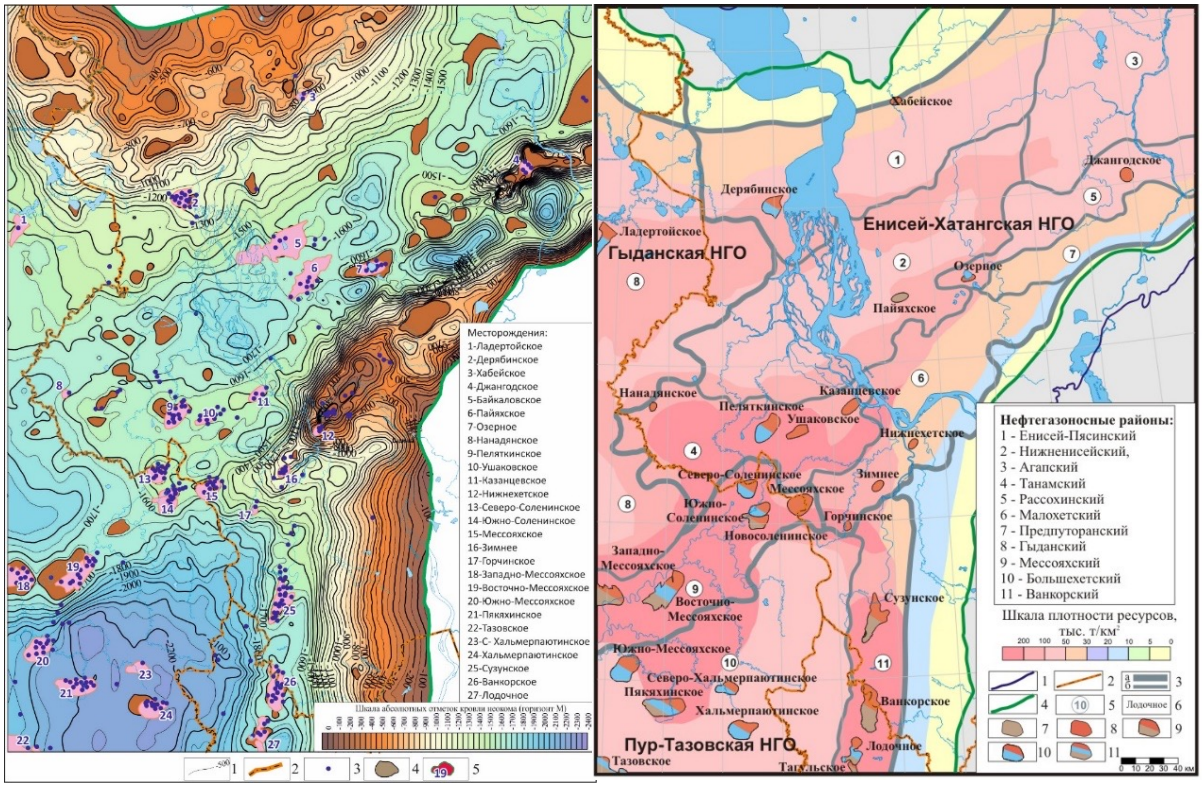
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ

ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

2021 год

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ, 28 марта 2022 года

Новейшие модели геологического строения арктических регионов Сибири и количественная оценка перспектив их нефтегазоносности (ИНГГ СО РАН)



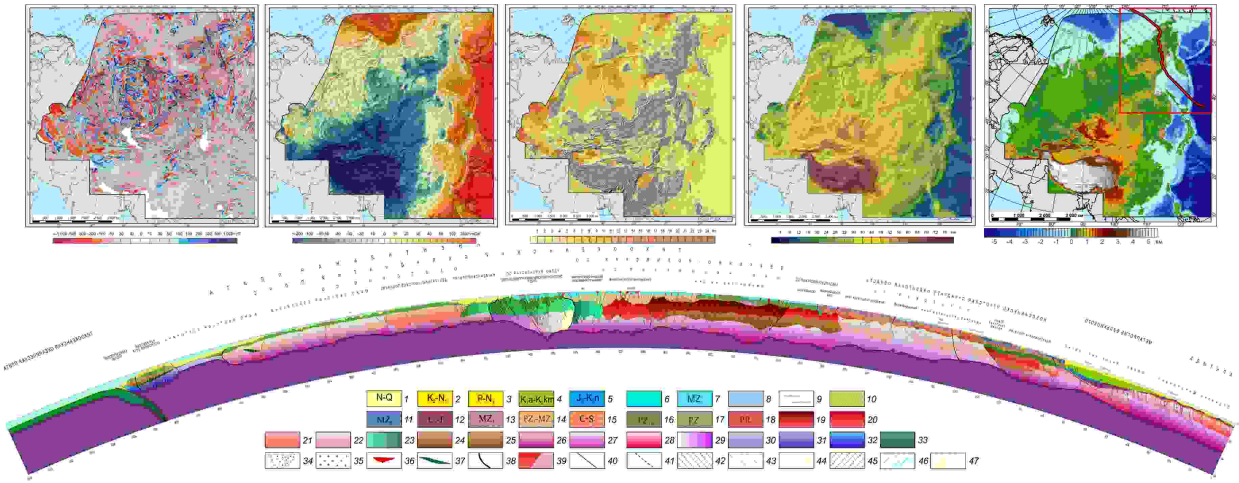
Структурная карта по кровле неокомского осадочного комплекса

Карта плотностей ресурсов углеводородов

Выполнено научное обобщение ретроспективных и новых геолого-геофизических материалов. Созданы новейшие модели геологического строения арктических регионов северо-востока Западно-Сибирской геосинеклизы (Гыданская НГО), Сибирской платформы (Енисей-Хатангская, Анабаро-Хатангская и Лено-Анабарская НГО) и шельфа моря Лаптевы. Разработаны критерии выявления и картирования нефтегазоперспективных объектов и залежей углеводородов в конкретных сейсмогеологических условиях районов исследований. Оценены перспективы нефтегазоносности и обоснованы приоритетные направления работ по укреплению сырьевой базы действующих и формированию новых центров добычи нефти и газа в Сибирском секторе Арктической зоны России.

Egorov A.S., Prischepa O.M., Nefedov Y.V., Kontorovich V.A. et al. Deep structure, tectonics and petroleum potential of the western sector of the Russian arctic // J. Mar. Sci. Eng. 2021, 9, 258. Q2. 3

МОДЕЛЬ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЕВРАЗИИ И ЕЕ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОКРАИН



Модель представлена комплектом карт, отражающих мощностные параметры земной коры, и геотрансектом протяженностью 5400 км

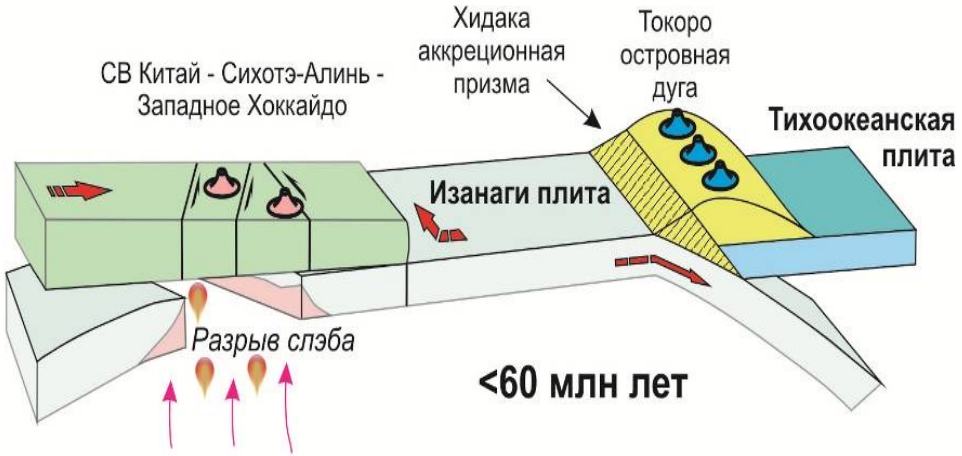
Комплект цифровых карт, охватывающих область в 50 млн км^2, включает карты глубины залегания поверхности Мохоровичича, мощности основных подразделений земной коры (осадочный чехол и консолидированная земная кора), аномального поля силы тяжести и аномального магнитного поля, использованных для районирования территории, а также карту типов земной коры.

Геотрансект пересекает северо-восточную часть Евразии и характеризует вертикальный срез земной коры и верхней мантии пассивной окраины Евразийского континента, активную восточную континентальную окраину и выходит в область Тихоокеанской плиты.

ВСЕГЕИ *Petrov O.V. and Dong S. (eds.), 2021. Tectonics of Asia (Northern, Central and Eastern Asia). Springer Geology*
Petrov O.V. and Smelror M. (eds.), 2021. Tectonics of the Arctic. Springer Geology
Kashubin S.N., Petrov O.V., Shokalsky S.P., Milshtein E.D., Androsov E.A., Vinokurov I.Yu., Tarasova O.A., 2021. Deep crustal structure in Northeastern Eurasia and its continental margins. Geodynamics & Tectonophysics 12 (2)

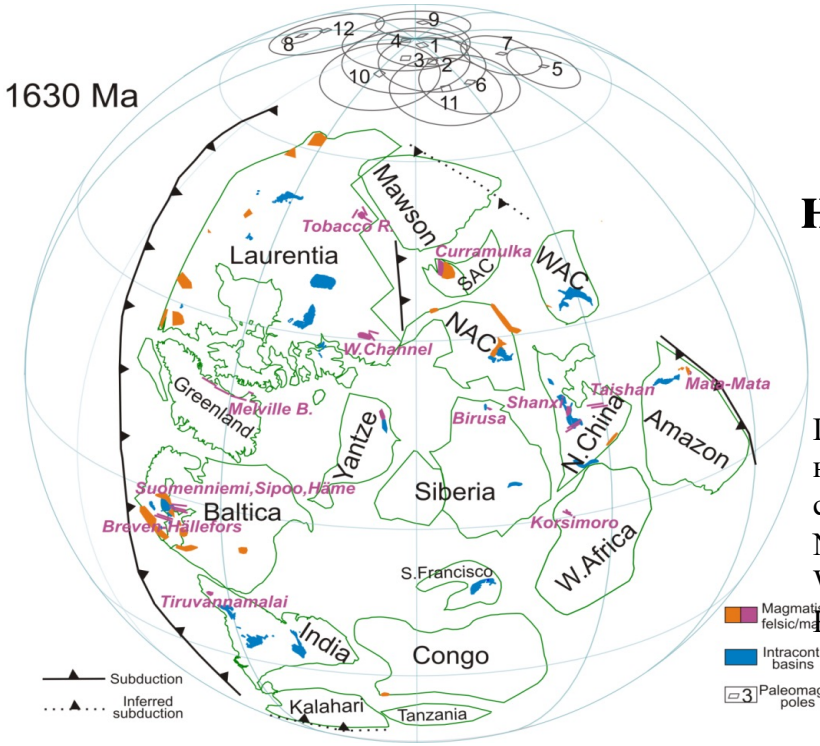
Геодинамическая модель разрыва плиты и образования континентальной окраины Восточной Азии

Новые геохимические данные не совместимы с существующей моделью субдукции Изанаги-Тихоокеанского хребта под континентальную окраину Восточной Азии 60–50 млн лет назад!



Обосновано широкое распространение в среднем палеоцене до раннего эоцена (60–53 млн лет назад) пост-субдукционного кислого магматизма на всей территории Сихотэ-Алиня. Показано, что эти магматические породы А-типа образовались при взаимодействии океанической плиты с деплетированной мантией при ее подъеме через «окно» на окраине континента. Этот процесс протекает синхронно со сдвиговой тектоникой, а не субдукцией, и прекращением развития аккреционной призмы. Происходит смещение тектонического режима от субдукции плиты на конвергентной окраине к параллельному скольжению и образованию трансформации континентальной окраины.

Внутриконтинентальный рифтогенез на южном фланге Сибирского кратона



Впервые выделено ранее неизвестное геологическое событие 1.65–1.60 млрд лет назад

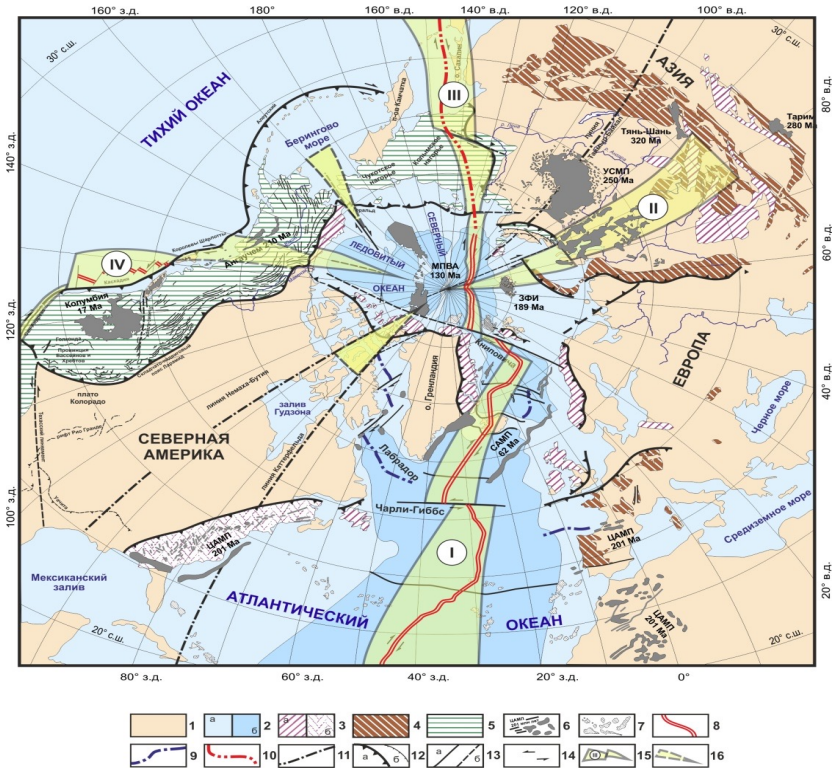
Палеогеографическая реконструкция суперконтинента Нуна (Колумбия) на временной рубеж 1.63 млрд лет и расположение роев даек основного состава с возрастом 1.65–1.58 млрд лет.
NAC = Северо-Австралийский кратон, SAC = Южно-Австралийский кратон, WAC = Западно-Австралийский кратон.
Реконструкция выполнена с помощью программы GPLATES.

Свидетельства: внедрение даек и силлов долеритов в породы Бирюсинского выступа фундамента, образование рифтогенных впадин на сопредельных территориях кратона (Урикско-Ийский грабен) U-Pb возраст бадделеита из долериты 1613 ± 5 млн лет (поздний палеопротерозой).

Сделан вывод: эти рифтогенные события являются отражением растяжения континентальной литосферы во внутренних областях суперконтинента Нуны (Колумбии) как ответ на субдукционные процессы вдоль его периферии, поскольку в его древних кратонах известны магматические комплексы Земли с возрастом 1.65–1.58 млрд лет и близкие по возрасту им бассейнам внутриконтинентального растяжения

ИЗК СЩ РАН, ИГДД РАН Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Pisarevsky S.A., Salnikova E.B., Mazukabzov A.M., Kotov A.B., Motova Z.L., Stepanova A.V., Kovach V.P. Evidence of the latest Paleoproterozoic (~1615 Ma) mafic magmatism the southern Siberia: extensional environments in Nuna supercontinent // Precambrian Research, 2021

Эволюции мезозойско-кайнозойской Атлантико-Арктической рифтовой системы



Основные черты рифтовой системы - проградация к Северному полюсу, субмеридиональная ориентировка рифтов, рассечение их широтными разломами, левосдвиговое смещение отдельных сегментов

Строение отражает распределение литосферных масс под влиянием ротации.
Их стремление к равновесному положению относительно оси вращения реализуется за счет движений по направлению к экватору и вдоль него.
Отток масс к низким широтам обеспечивает рост рифтовой системы, но не способствуют ее дальнейшему развитию после достижения полюса.
Это явление определяет развитие всех меридиональных систем растяжения

I – Атлантико-Арктическая, II – Западно-Сибирская;
III – Охотско-Верхоянская, IV – Восточно-Тихоокеанская

Широкое развитие в Арктическом регионе долготных рифтогенных структур предполагает их встречное развитие, прекращающееся в околополюсном пространстве. Арктический регион - возможное окончание Западно-Сибирской, Охотско-Верхоянской и Восточно-Тихоокеанской рифтовых систем. Их развитие сопровождало деструкцию континентальной коры этого региона и влияло на последующие трансформации его структуры.

ГИН РАН Н.П. Чамов, С.Ю. Соколов

Реконструкция эволюции бассейна Паратетис в кайнозое

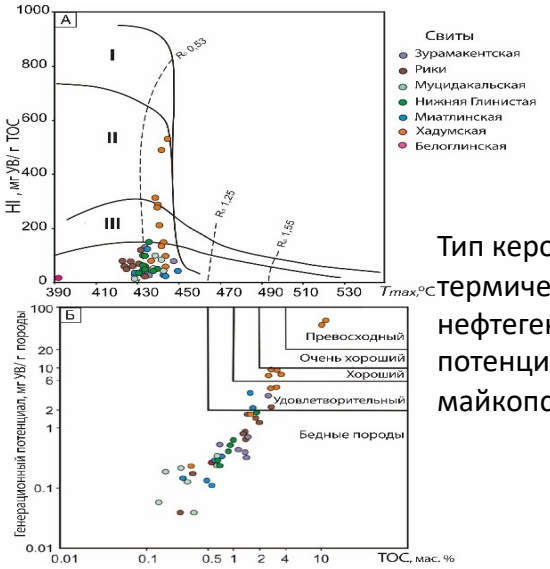
Палеогеографическая реконструкция эвстатических колебаний в палеобассейне Паратетис в позднем миоцене

Палеобассейн Паратетис в палеогене-начале неогена занимал огромную территорию от Восточных Альп до Центрального Казахстана

В позднем эоцене – раннем миоцене накопление мощных песчано-глинистых толщ майкопской серии в условиях длительных периодов дефицита кислорода в придонных водах

В восточной части палеобассейна впервые выявлено содержание органического углерода типа керогена, определена его термическая зрелость, оценен нефтегенерационый потенциал.

Хадумская свита наиболее высоко обогащена Сорг и обладает высоким потенциалом.



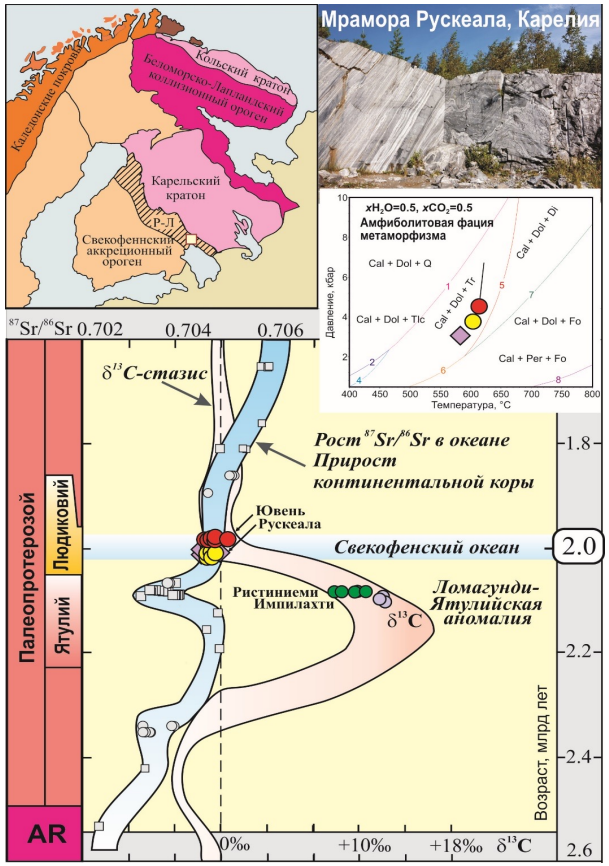
Тип керогена, степень его термической зрелости (А) и нефтегенерационный потенциал (В) пород майкопской серии

В миоценовое время (от 11 до 7,5 млн лет назад) в результате тектонических движений Центральной Европы и давления Аравийской плиты, эпиконтинентальный морской бассейн преобразовался в самое крупное в истории Земли озеро

В позднем миоцене произошло разделение Паратетиса на ряд крупных и мелких озер со слабосолеными и/или пресными водами

ГИН РАН Gavrilov Yu., Nedumov R., Shchepetova E., Shcherbinina E., Kozlova E., Golovanova O., Pokrovsky B. Stratigraphy, sedimentology and geochemistry of the Oligocene – Lower Miocene Maikop group in Dagestan, NE Caucasus // Journal of Petroleum Geology. 2021. V. 44. Iss. 3.
Palcu D.V., Patina I.S., Sandric I., Lazarev S., Vasilev I., Stoice M., Krigsman W. Late Miocene megalake regressions in Eurasia // Scientific Reports. – 2021. – V. 11. – P. 11471

Стронциевая аномалия в свекофенском океане



Впервые восстановленное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в свекофенском океане (0.70463–0.70493) показывает резкое увеличение доли радиогенного Sr в людиковийское время на рубеже около 2 млрд лет назад в ответ на прирост континентальной коры, а величина $\delta^{13}C$ (+1.2 ± 1‰) в людиковийских карбонатах определяет начало С-изотопного стазиса в океане после ломагунди-ятулийской аномалии.

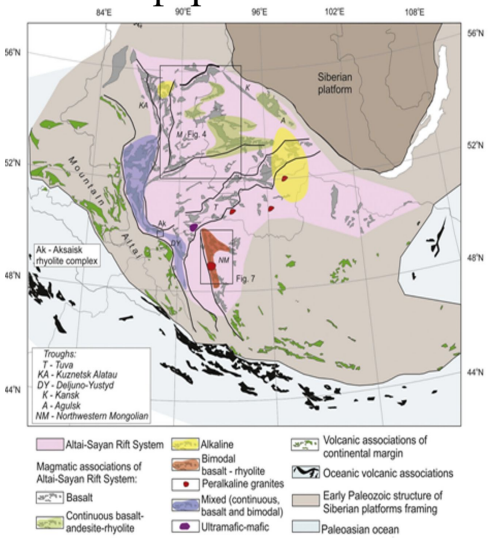
ИГДД РАН, ИГЕМ РАН

Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Азимов П.Я., Дубинина Е.О. Sr- и С-хемостратиграфический потенциал палеопротерозойских осадочных карбонатов в условиях среднетемпературного метаморфизма: мраморы Рускеалы, Карелия // Петрология. 2021. Т. 29. № 2. С. 172-194

Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Азимов П.Я., Дубинина Е.О., Васильева И.М., Ризванова Н.Г. Sr- и С-изотопная хемостратиграфия метакарбонатных пород палеопротерозойской сортавальской серии, Фенноскандинавский щит, северное Приладожье // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2021. Т. 29. № 2. С. 3-22.

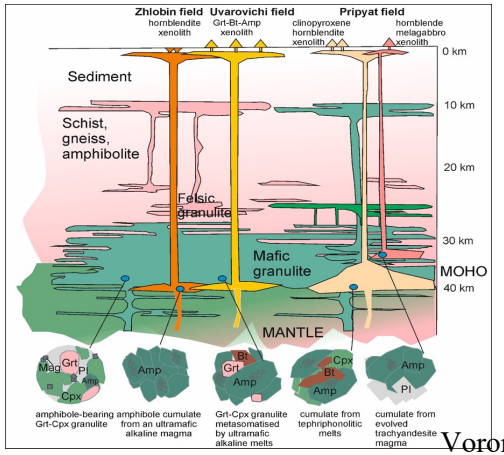
Магматизм в зонах рифтогенеза

В рифтовых областях магматические источники возникли при взаимодействии обогащенных мантийных магм с литосферной мантией и нижней корой, которые были метасоматизированы субдукционными процессами на предшествующих аккреционных стадиях формирования литосферы.



Алтае-Саянская рифтовая системы возникла при магматическом импульсе 407-392 Ма назад вдоль юго-западного обрамления Сибирской платформы

Высокая доля метасоматизированного компонента в источнике привела к появлению расплавов с надсубдукционными метками. При минимальном взаимодействии с нижней корой мантийные магмы сохранили обогащенные характеристики.
Щелочные граниты, обогащенные редкими элементами, образовались при минимальном участии контаминирующих компонентов

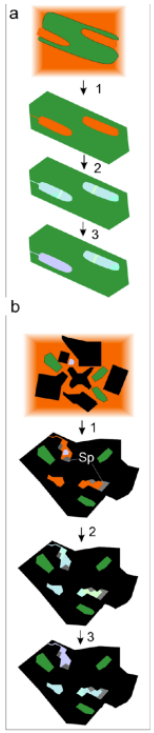


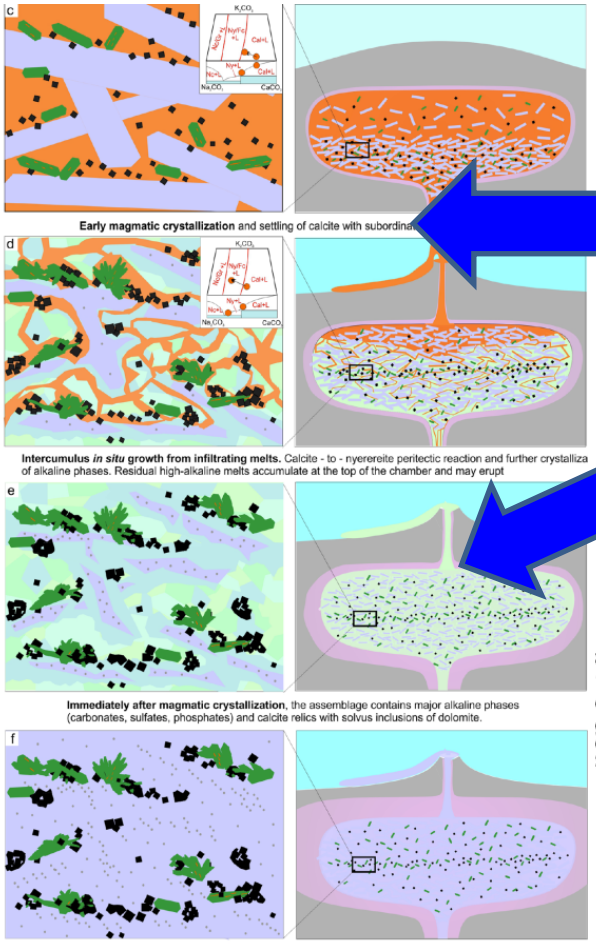
Орогенный и внутриплитный магматизм в Припятском прогибе вызвали метасоматоз нижней коры и ее обогащение амфиболом. Внутриплитный магматизм образовал богатые амфиболом домены в нижней коре при кристаллизации амфибол-содержащего кумулуса и при реакционном замещении пироксена амфиболом в объеме кумулуса и во вмещающих гранулитах

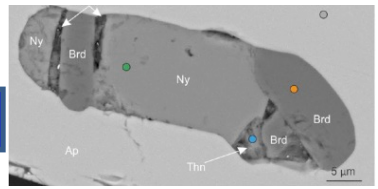
Vorontsov A., Yarmolyuk V., Dril S., Ernst R., Perfilova O., Grinev O., Komaritsyna T. Magmatism of the Devonian Altai-Sayan Rift System: Geological and geochemical evidence for diverse plume-lithosphere interactions // Gondwana Research. 2021

новая модель эволюции умеренно щелочных Ca-карбонатитов

На основе исследований расплавных включений в апатите и магнетите карбонатитов массивов Гули и Тагна (Сибирь) предложена новая модель, объясняющая связь умеренно щелочных Ca-карбонатитов через перитетическую реакцию «кальцит $CaCO_3$ + L = ниереррит $(Na, K)_2Ca_2(CO_3)_3$» с ультращелочными карбонатитовыми магмами.

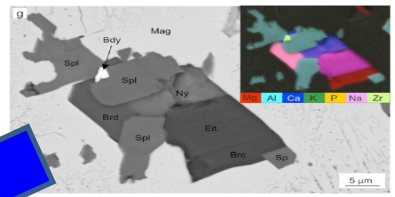






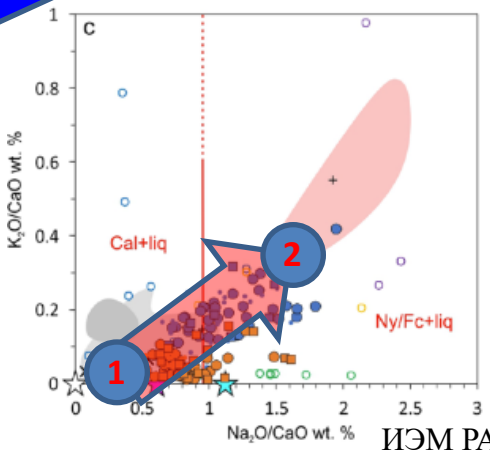
Включения в апатите
отражают состав расплава на ранней магматической стадии

1



Включения в магнетите
отражают состав межкумулятивного расплава

2



Scientific Reports | (2021) 11:17627

Origin of alkali-rich volcanic and alkali-poor intrusive carbonatites from a common parental magma

Ivan F. Chayka[1,2✉], Vadim S. Kamenetsky[1,3], Nikolay V. Vladykin[4,10], Alkiviadis Kontonikas-Charos[5,6], Ilya R. Prokopyev[2,7], Sergey Yu. Stepanov[8] & Stepan P. Krasheninnikov[9]

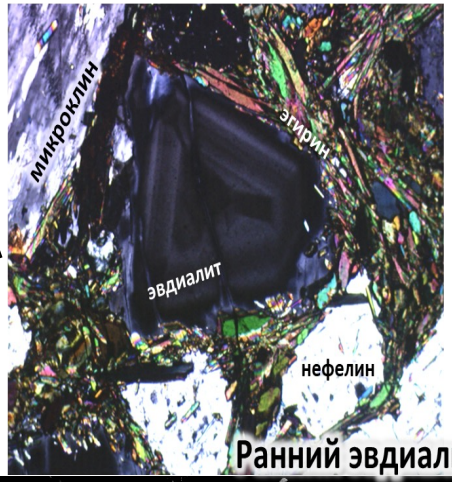
Melt
Magnetite
Apatite
Calcite (purple) with dolomite inclusions (grey)
Alkaline assemblage: carbonates, sulfates, phosphates
Fenite aureole

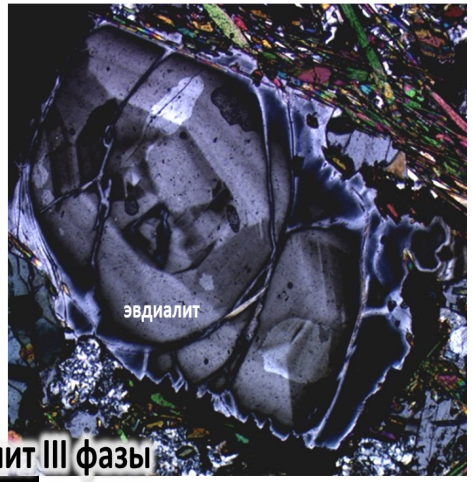
Разрез Ловозерского месторождения

Комплекс	Зона	Глубина (м)	Разрез	Минералы, горные породы
Комплекс эвдиалитовые луявриты		450		Эвдиалитовые руды, нефелин, микроклин, эгирин, арфведсонит, эвдиалит, лейкократовые, мезократовые, меланократовые, эвдиалитовые луявриты. Акцессорные минералы: лампрофилит, пирохлор, содалит, лопарит.
Дифференцированный комплекс	Верхняя зона	400		Нефелин, микроклин, эгирин, арфведсонит, эвдиалит, рудные лопаритовые уртиты Акцессорные минералы: лопарит, эвдлиалит, лампрофилит, мурманит.
	Средняя зона	600		Нефелин, микроклин, эгирин, арфведсонит, эвдиалит. Акцессорные минералы: лампрофилит, апатит, эвдлиалит, мурманит - ломоносовит, мозандритовая группа, лопарит.
	Нижняя зона	450		Нефелин, микроклин, эгирин, арфведсонит, рудные лопаритовые уртиты и луявриты. Акцессорные минералы: лоренсинит, ильменит, апатит, содалит, титанит, лампрофилит, лопарит.
	Самая нижняя зона	800		Нефелин, K-Na полевой шпат, диопсид, арфведсонит. Акцессорные минералы: апатиты, титанит, мозандритовая группа, нозеан, ильменит, паракельдишит, лопарит.

ГЕОХИ РАН Л.Н. Когарко)

Эволюция форм кристаллизации эвдиалита Ловозерского месторождения



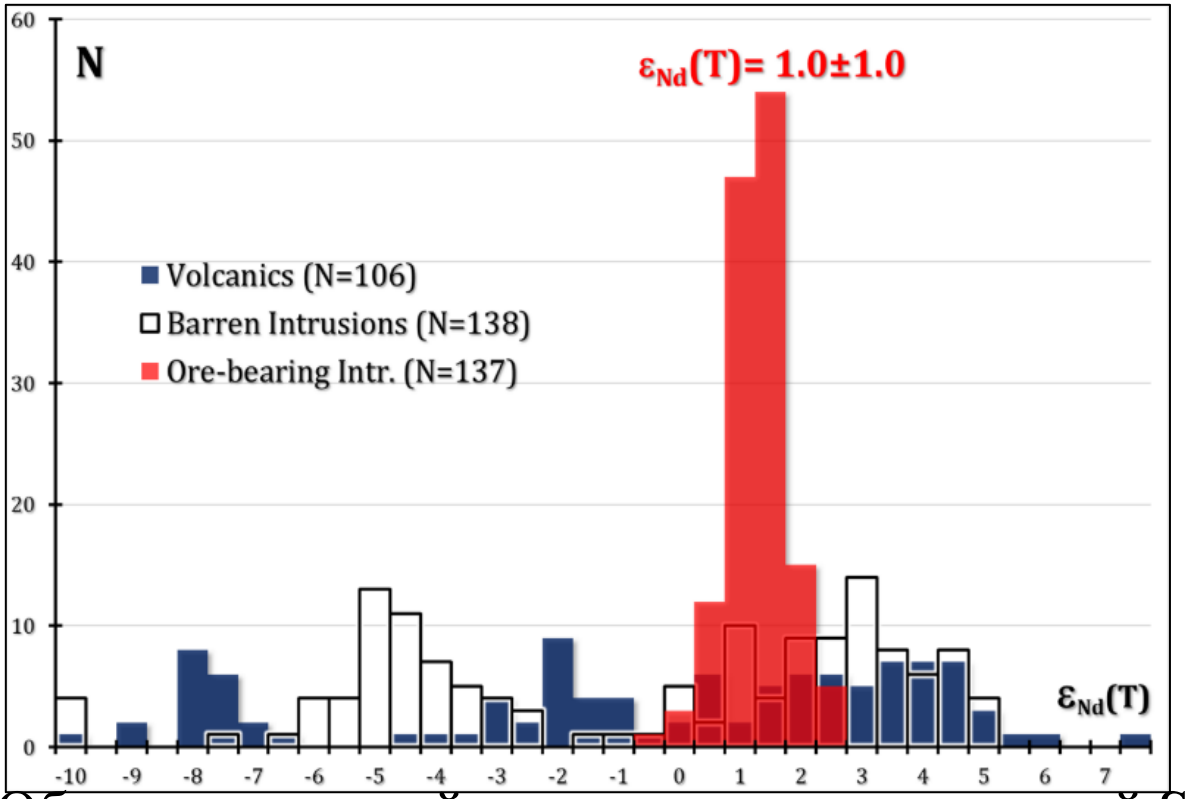


Ранний эвдиалит III фазы

Интерстициальный эвдиалит II фазы

Главное условие кристаллизации богатых руд РЗЭ - ранняя насыщенность щелочных магм в отношении эвдиалита при активной гравитационно-конвективной дифференциации

Геохимические особенности и критерии рудоносности ультрабазит-базитовых комплексов Норильского региона



Сводная гистограмма для $\varepsilon_{Nd}(T)$ в вулканитах, рудоносных и безрудных интрузивах Норильского региона

Обнаружено устойчивое попадание значений $\varepsilon_{Nd}(T)$ рудоносных интрузивных пород в диапазон 1.0±1.0

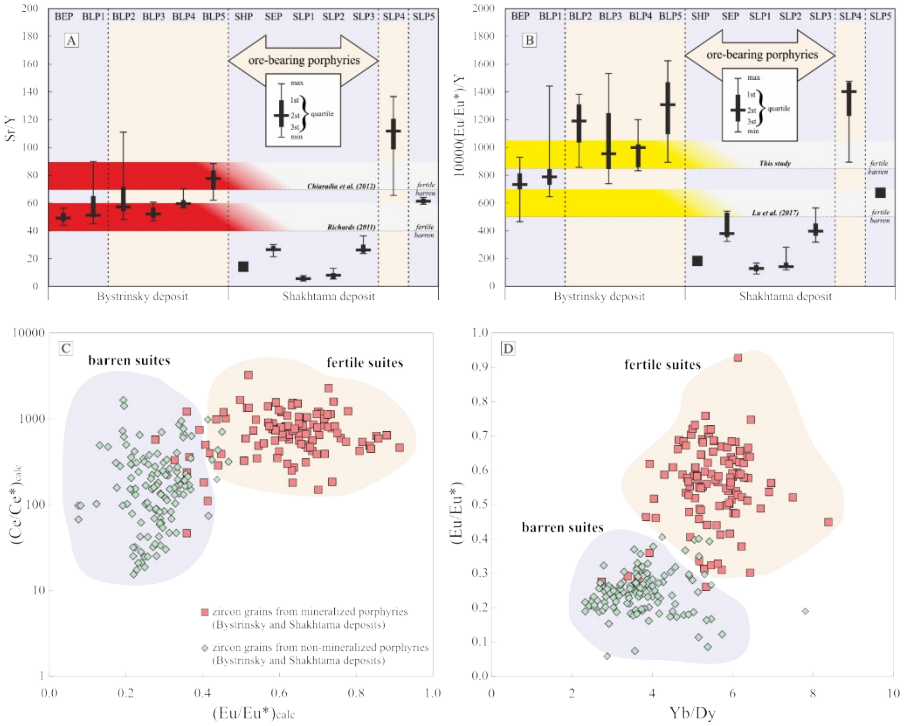
Предлагается считать эту величину критерием потенциальной рудоносности массивов

ГЕОХИ РАН, ИГЕМ РАН Костицын Ю.А., Криволуцкая Н.А., Аносова М.А., Конышев А.А., Свирская Н.М., Гонгальский Б.И.

Krivolutskaya N., Makvandi S., Gongalsky B., Kubrakova I., Svirskaya N. Chemical Characteristics of Ore-Bearing Intrusions and Origin of PGE–Cu–Ni Mineralization in the Norilsk Area. Minerals. 2021. pp.1-37. Minerals 2021

Грант Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018 (соглашение 075-15-2020-802)

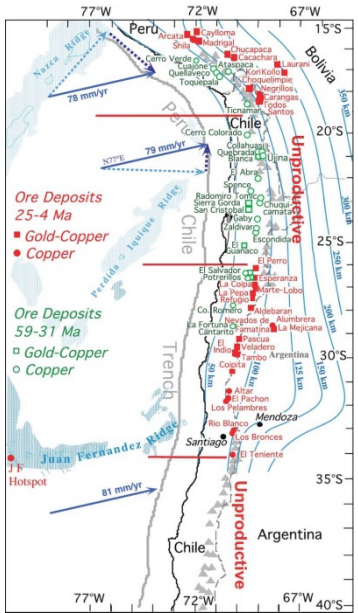
Критерий рудоносности магматических пород: порфировые Cu-Mo месторождения



Выявлены различия в составе элементов-примесей в рудоносных и «безрудных» магматических породах и цирконе из них (на примере Cu-Mo Быстринского и Шахтаминского месторождений (Забайкальский край)

Для рудоносных интрузий типичны : отношения Sr/Y > 65 и 10000*(Eu/Eu*)/Y > 850 (валовый состав породы), а также (Eu/Eu*) > 0,4, $(Ce/Ce^*)_{calc}$ > 750 и Yb/Dy > 4 (для циркона)

Nevolko P.A., Svetlitskaya T.V., Savichev A.A., Vesnin V.S., Fominykh P.A. 2021. Uranium-Pb zircon ages, whole-rock and zircon mineral geochemistry as indicators for magmatic fertility and porphyry Cu-Mo-Au mineralization at the Bystrinsky and Shakhtama deposits, Eastern Transbaikalia, Russia. Ore Geology Reviews. Volume 139, Part B, December 2021, 104532. 10.1016/j.oregeorev.2021.104532



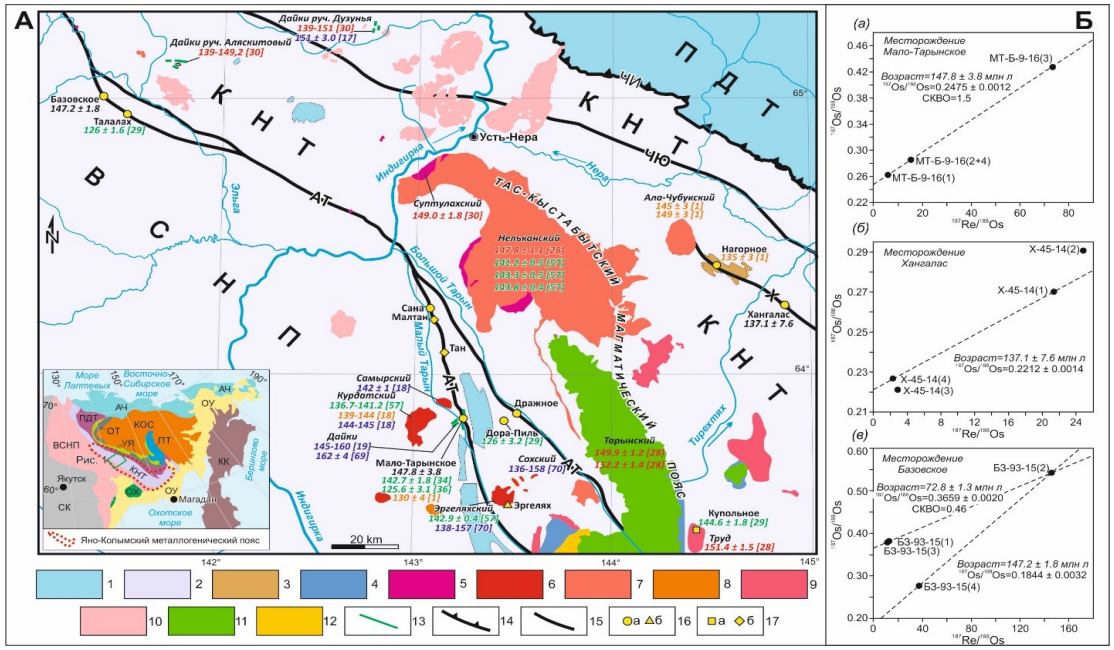
Values of Sr/Y > 35 and V/Sc > 32.5–0.385 wt% SiO2 at 58–70 wt% SiO2 are typical of arc magmas parental to magmatic-hydrothermal copper ore deposits at convergent plate margins throughout Phanerozoic time, according to my compilation of compositions of ore-forming intrusions in 135 deposits. These ratios may be used to screen whole-rock chemical analyses to identify igneous complexes that may contain undiscovered copper ore

Louks, 1914

Postcollision Tibetan ore-forming porphyries are high-K calc-alkalic and dacitic-rhyolitic in composition, with high Sr (>400 ppm), Sr/Y (>40), La/Yb (>20), and Eu/Eu* close to unity

Yong-Jun Lu et al., 2015

Возраст и источники металлов орогенных золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса

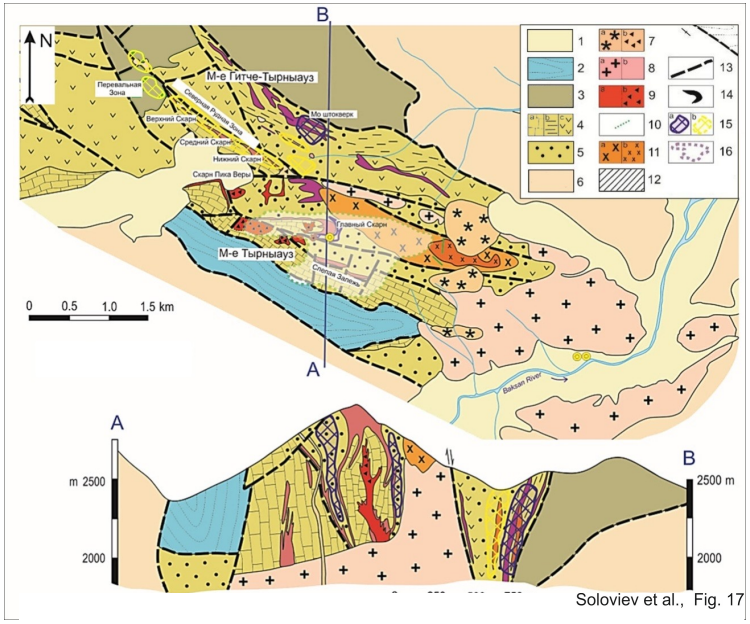


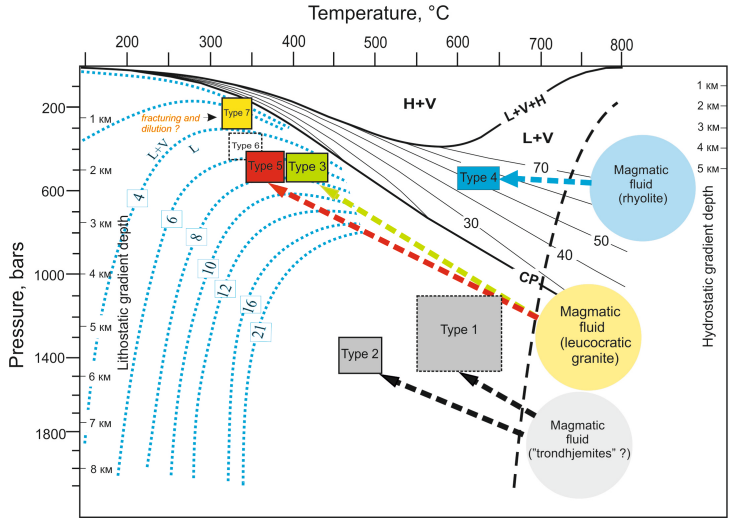
А. Схема геологического строения Индигирского сектора Яно-Колымского металлогенического пояса и положение датированных J3-K1 плутонов и месторождений.
Б. Re-Os изохронные диаграммы для самородного золота месторождений Мало-Тарынское (а), Хангалас (б) и Базовское (в).
Залитые кружки – образцы и их номера

Re-Os изотопное датирование самородного золота орогенных месторождений показало, что их формирование произошло 148 и 137 млн лет назад (конец поздней юры – начало раннего мела) субсинхронно финальному импульсу внедрения/остывания магматических комплексов малых интрузий и позднеорогенным процессами в Яно-Колымском металлогеническом поясе и на восточной окраине Сибирского континента. Начальные отношения изотопов осмия ($^{187}Os/^{188}Os$)in в интервале 0.1844-0.2475 изученных образцов и фракций золота указывают на присутствие нерадиогенной компоненты, характерной для мантийных источников.

ИГАБМ СО РАН , СВКНИИ ДВО РАН, ВСЕГЕИ *Фридовский В.Ю., Горячев Н.А., Крымский Р.Ш., Кудрин М.В., Беляцкий Б.В., Сергеев С.А. Возраст золотого оруденения Яно-Колымского металлогенического пояса, Северо-Восток России: первые данные Re-Os изотопной геохронологии самородного золота // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 15. № 4. С. 293-306*

Генезис уникального скарнового молибден-вольфрамового месторождения Тырныауз (Северный Кавказ)





Впервые выявлено длительное многоэтапное развитие магматогенно-флюидной системы и полихронно-полигенное образование уникального месторождения:обнаружена эволюциия магматических очагов, располагавшихся в разные временные периоды на разном уровне и флюидов, отделившихся прикристаллизации магмы

Крупные тела **скарново-вольфрамовых руд** связаны с поздне палеозойским магматизмом (302 млн. лет), **молибденовые руды** - с лейкократовыми гранитами(2.67 млн. лет) неогенового этапа, **Mo-W-Bi-Te-Au минерализация** - с биотитовыми (эльджуртинскими) гранитами (2.10 млн. лет) и риолитами(2.05 млн. лет).

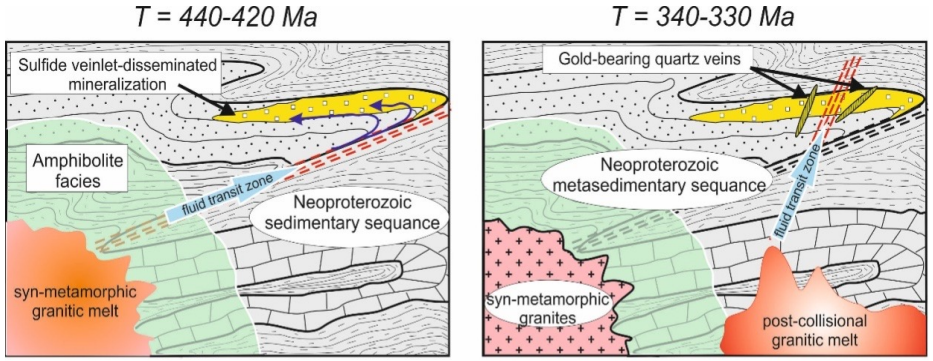
Обнаружена гомодромная магматическая дифференциация на поднепалеозойском этапе, и антидромная – на неогеновом этапе.

Скарново-вольфрамовые руды отложились при 1.4 кбар, 470-350°С из рассолов (50 мас. % NaCl-экв),
молибденовые – при 0.5 кбар, 350 -370°С из H_2O-CO_2 флюида
полиметаллические – при 0.2 кбар, 320 - 370°С из умеренно (22 мас. % NaCl-экв) до слабо (4-9 мас. % NaCl-экв) концентрированного флюида

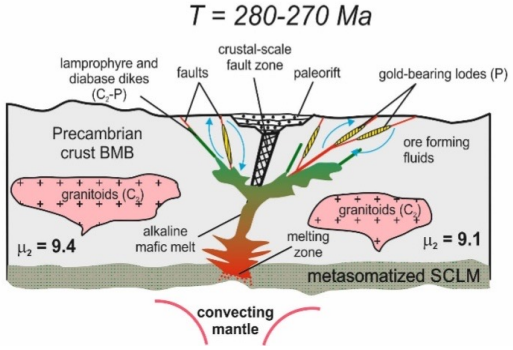
ИГЕМ, ЦНИГРИ Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S., Kryazhev V.S., Emkuzhev M.S., Bortnikov N.S. Ore Geology Reviews, 2021, v.138; GeologyofOreDeposits. 2021. V.63. № 3; Doklady Earth Sciences. 2021

Грант Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018 (соглашение 075-15-2020-802).

Полихронное образование крупных золоторудных месторождений в Северном Забайкалье



Месторождения «сухоложского» типа Голец образовались в силурийский (440-420 млн лет) и среднекарбоновый (340-330 млн лет) этапы рудообразования. Источник вещества ранних руд имеет возраст 427±4 млн лет.



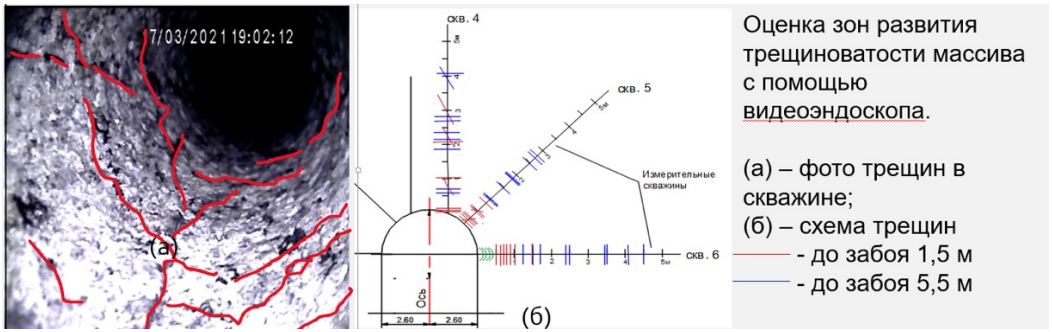
Раннепалеозойская (440-430 млн. л.) прожилково-вкрапленная минерализация - результат взаимодействия метаморфогенных флюидов с вмещающими породами и отложения руд в замках антиклинальных складок и в зонах межпластовых срывов.

Среднепалеозойское (340-320 млн. л.) рудообразование связано с гранитоидным магматизмом, обеспечившим поступление тепла и, возможно, флюида.

Позднепалеозойские руды (280-270 млн. л.) - продукт внутриплитного щелочного магматизма. Взаимодействие магматогенного флюида с докембрийскими породами привело к его обогащению металлами, с последующим отложением в золотоносных жилах.

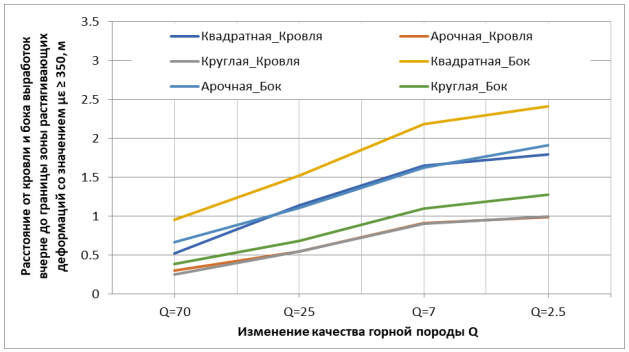
ИГЕМ РАН, И.В.Чернышев, А.В. Чугаев Грант Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018

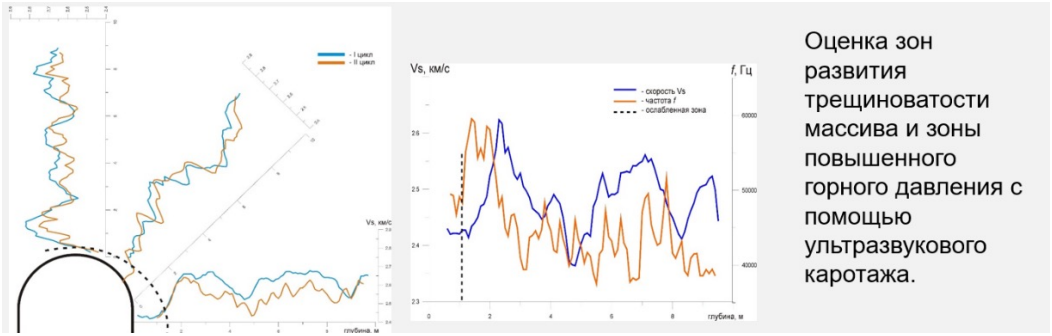
Механизм формирования и параметры зон разрушения горных пород вокруг выработок



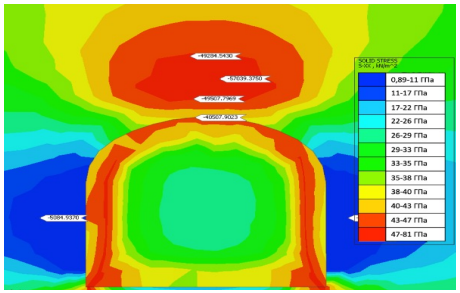
Оценка зон развития трещиноватости массива с помощью видеоэндоскопа.

(а) – фото трещин в скважине;
(б) – схема трещин
——— - до забоя 1,5 м
——— - до забоя 5,5 м





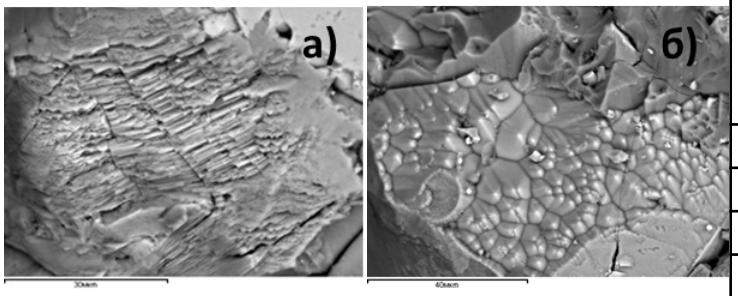
Оценка зон развития трещиноватости массива и зоны повышенного горного давления с помощью ультразвукового каротажа.



При освоении глубокозалегающих рудных месторождений в условиях высоконапряженных горных массивов на основе рейтинговой классификации Бартона, видеоэндоскопии и ультразвукового каротажа, структурных физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния раскрыт механизм формирования и параметры зон разрушения горных пород вокруг выработок в динамике их проходки, как основа обоснования технологий проведения и длительного поддержания подземных горных выработок при разработке удароопасных месторождений в поле действия повышенных тектонических напряжений, что позволило повысить устойчивость горных выработок, увеличить скорости их проведения и в вести в эксплуатацию 2 удароопасных участка апатит-нефелиновых руд месторождения «Олений ручей».

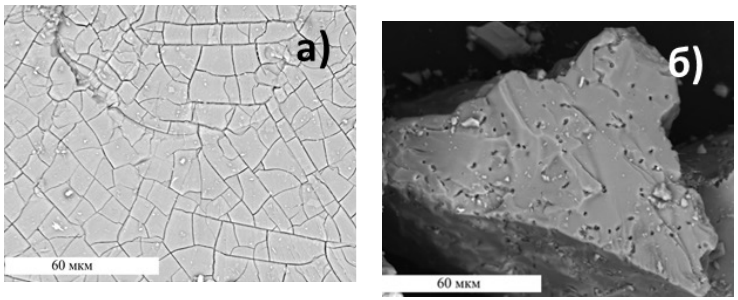
ИПКОН РАН ***академик К.Н., Трубецкой, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунов***

Влияние энергетических воздействий на извлечение редких и РЗЭ

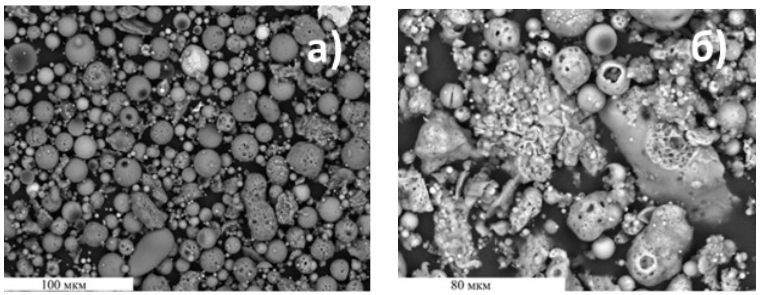


Поверхность перовскита после воздействия МЭМИ (а) и ДБР (б)

Условия обработки	*Эвдиалитовый концентрат*		*Золошлаковые отходы*	*Молибденовый концентрат*
	Извлечение, %			
	Zr	*РЗЭ*	*РЗЭ*	*Re*
Без обработки	*86.6*	*87.7*	*50.2*	*68.5*
МЭМИ	*90.9*	*89.5*	*54.2*	-
ДБР	*90.6*	*89.2*	-	-
УЗ обработка	*92.3*	*91.0*	*68.4*	-
Автоклавное выщелачивание	-	-	-	*97.6*



Поверхность эвдиалита после воздействия МЭМИ (а) и ДБР (б)



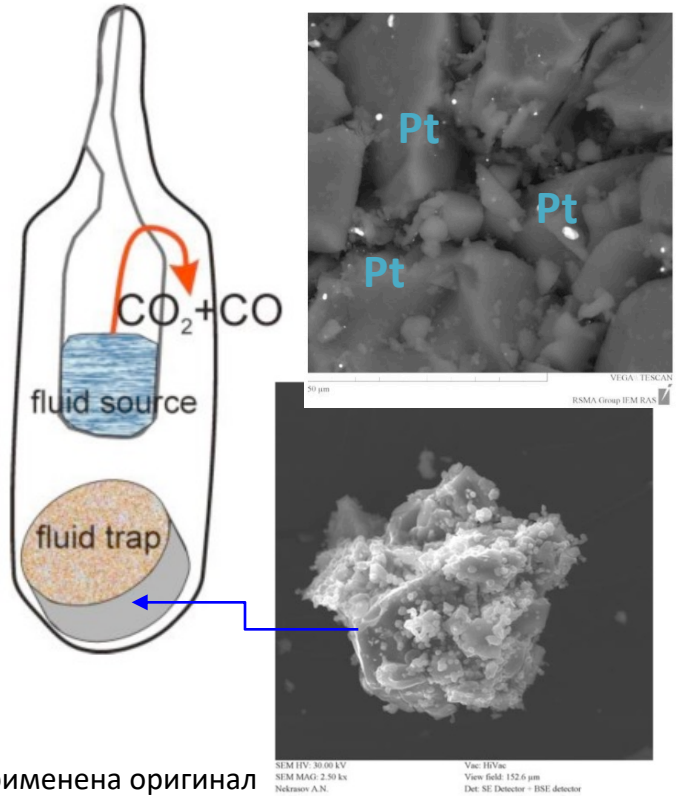
Микросферы ЗШО до (а) и после (б) УЗ обработки в азотной кислоте

На основе комплекса современных методов исследования воздействия мощных наносекундных энергетических импульсов (МЭМИ), диэлектрического барьерного разряда (ДБР) и ультразвука на структурно-химические, механические и физико-химические свойства эвдиалита и золошлаковых отходов при их кислотном выщелачивании вскрыт механизм интенсификации процесса извлечения циркония (Zr), рения (Re) и редкоземельных элементов (РЗЭ), заключающийся в разупрочнении и деструкции минерала, что обеспечивает повышение извлечения ценных компонентов.

Chanturia, V.A., Bunin, I.Z., Ryazantseva, M.V., *E. V. Koporulina, N. E. Anashkina.* EFFECT OF ELECTROMAGNETIC PULSES ON STRUCTURAL, PHYSICOCHEMICAL AND FLOTATION PROPERTIES OF EUDIALYTE // *Journal of Mining Science.* 57, P. 96–105 (2021).

УСЛОВИЯ ПЕРЕНОСА МЕТАЛЛОВ ФЛЮИДАМИ

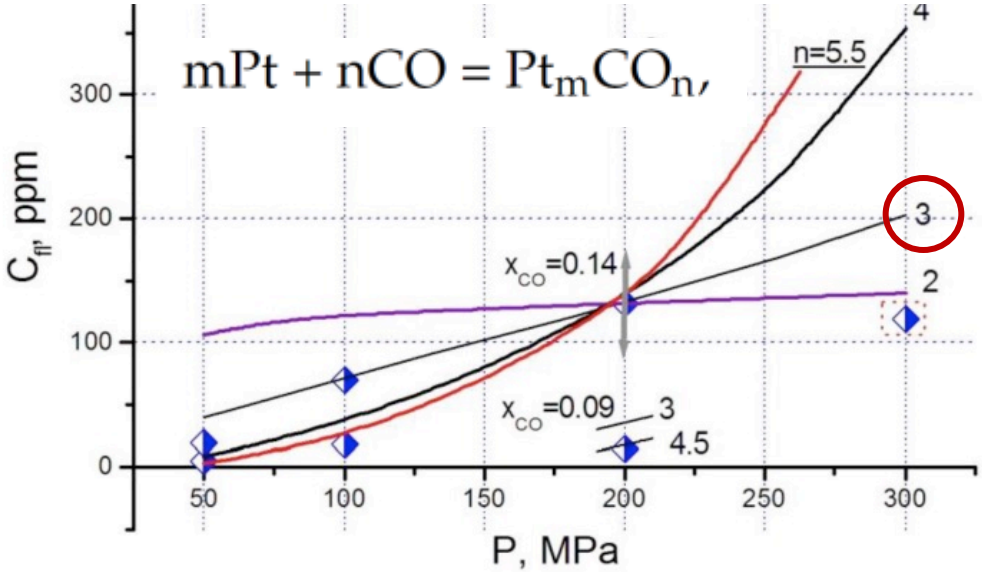
Экспериментами при 50 - 200 МПа и 950°С доказана высокая растворимость Pt в «сухом» флюиде CO-CO_2 - возможном эффективном транспортере этого элемента в условиях субсолидусной стадии формирования расслоенных ультраосновных-основных (напр. Бушвельд) и щелочноультраосновных (напр. Кондёр) интрузий.



Применена оригинал методика флюидных ловушек

ИЭМ РАН

Растворимость Pt составляет 15-150 ppm в форме $Pt_3(CO)_6^{2-}$.

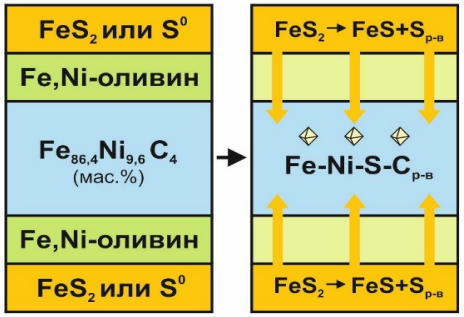


Experimental Study of Pt Solubility in the CO-CO_2 Fluid at Low f_{O2} and Subsolidus Conditions of the Ultramafic-Mafic Intrusions

Minerals **2021**, *11*, 225.

Alexander Simakin [1,2,*], Tamara Salova [1], Anastassia Y. Borisova [3,4], Gleb S. Pokrovski [3], Olga Shaposhnikova [1], Oksana Tyutyunnik [5], Galina Bondarenko [1], Alexey Nekrasov [1] and Sergey I. Isaenko [6]

Синтез исскуственного алмаза путем сульфидизации металл-углеродного расплава



Сэндвич-схемы экспериментов

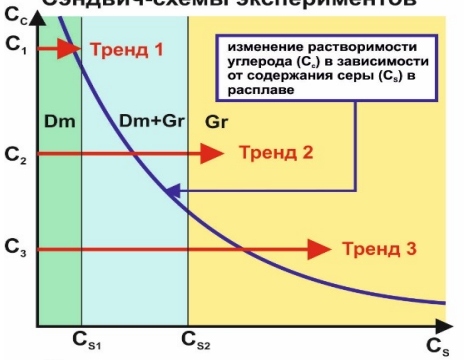
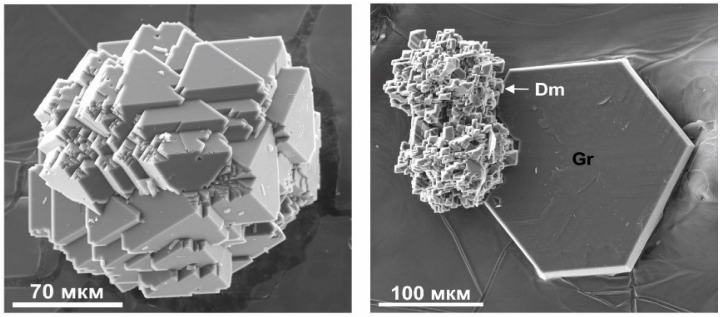
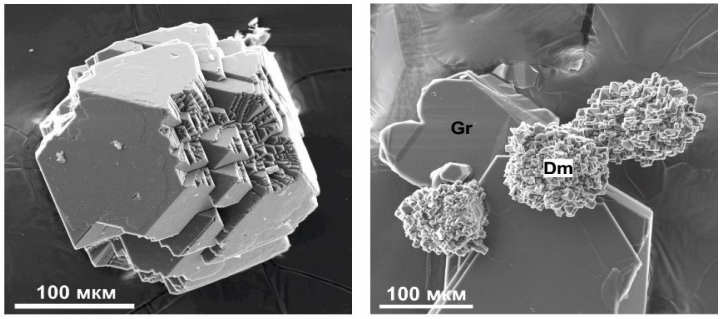


Схема изменения растворимости углерода в зависимости от содержания серы в расплаве





РЭМ-микрофотографии кристаллов алмаза и графита

Сульфидизация приводит к образованию алмазов с центральными включениями и росту крупных без азота CLIPPIR кристаллов

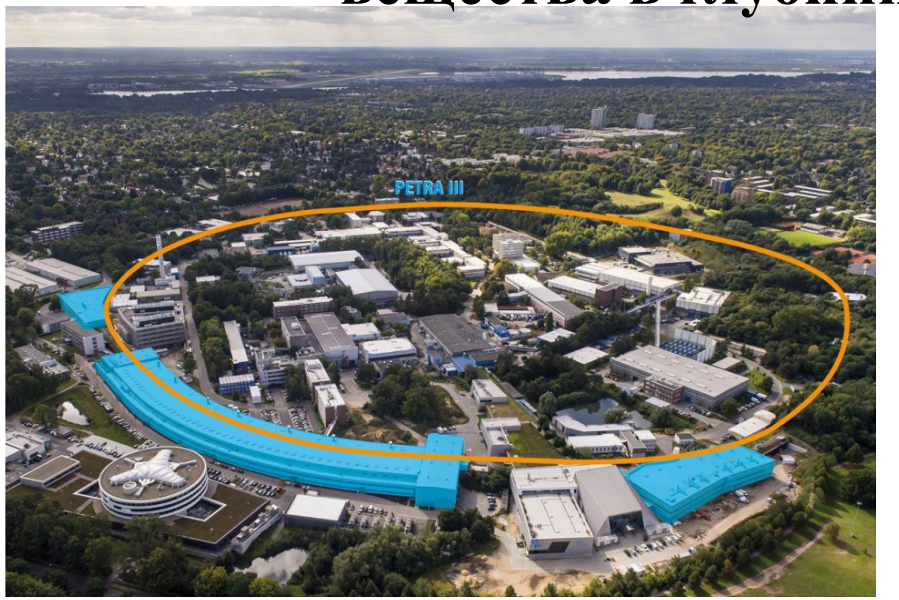
Получен алмаз в условиях восстановленной Fe^0-содержащей мантии в процессе сульфидизации металл-углеродного расплава.

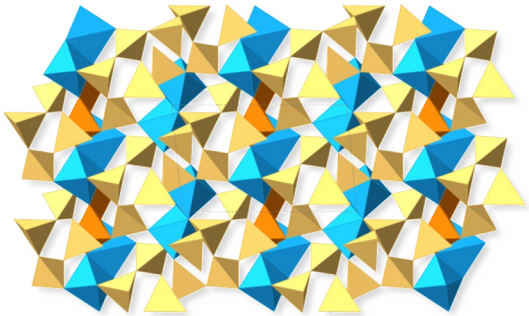
Реализовано два сценария: 1) смешение металл-углеродных и сульфидных расплавов; 2) миграция серосодержащего флюида/расплава через силикатную матрицу к металл-углеродному расплаву за счет перекристаллизации силикатов, по межзерновому пространству и по микротрещинам.

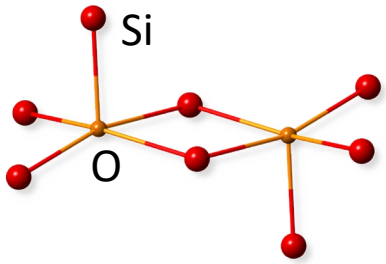
При сульфидизации углерод-содержащего металлического расплава он обогащается серой. Это снижает растворимость углерода, возникает пересыщение, необходимого для кристаллизации алмаза.

Palyanov Yu.N., Borzdov Yu.M., Bataleva Yu.V., Kupriyanov I. N. Diamond formation during sulfidation of metal–carbon melts. Diamond and Related Materials, 2021, V.120, 108660

Силикаты под давлением: новые экспериментальные данные и теоретические разработки Новый взгляд на процессы трансформации силикатного вещества в глубинных геосферах Земли!



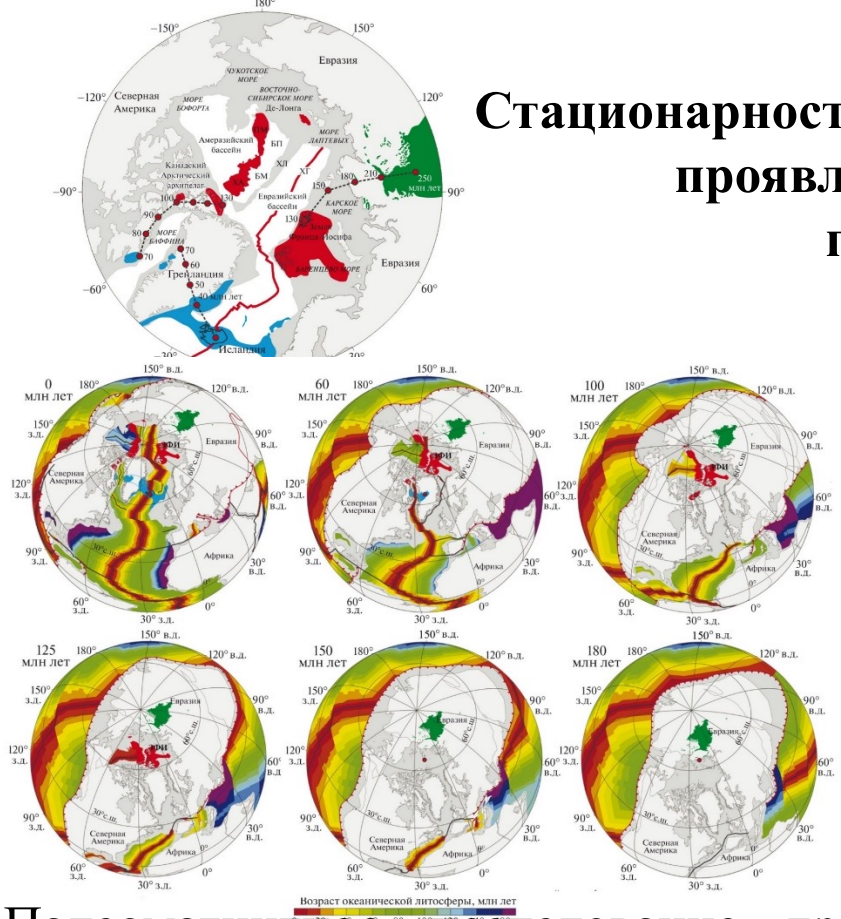




С использованием синхротронного излучения проведены экспериментальные исследования по сжатию полевых шпатов в интервалах давлений до 85 ГПа. Открыто **двадцать** новых высокобарических полиморфных модификаций полевых шпатов, включая структуры с **пента-** и **гексакоординированным кремнием**. Изучены механизмы и разработана модель **высокобарических трансформаций** полевошпатовых структур. Предложена кристаллохимическая **систематика** всех известных высокобарических силикатов.

Л.А. Горелова, А.С. Пахомова, Л.С. Дубровинский, С.В. Кривовичев. *Nature Communications*, *Scientific Reports*, *IUCrJ*, *J. Phys. Chem. C*, *Записки РМО*. 2017-2021.

Стационарность Исландского плюма и его раннемелового проявление в Высокоширотной Арктике: палеомагнитное обоснование

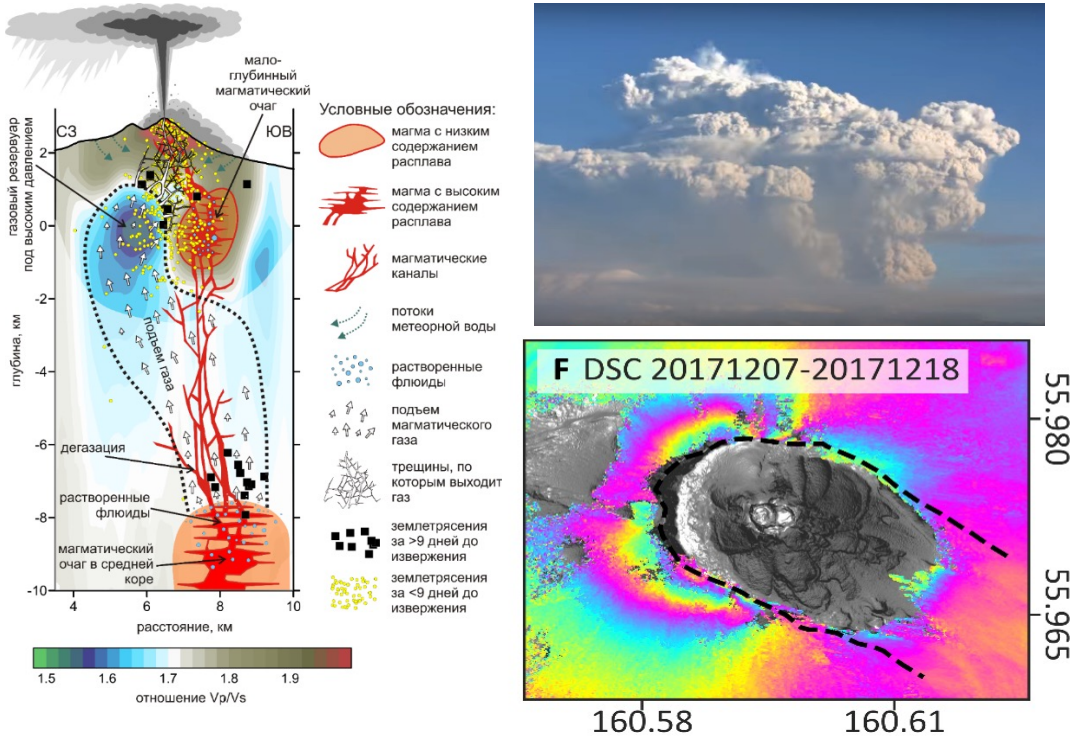


Ареалы мезозойско-кайнозойских крупных магматических провинций и реконструируемый след Исландского плюма. Красные линии с треугольниками обозначают зоны субдукции, черные линии – срединно-океанские хребты и трансформные разломы.

Палеомагнитное исследование траппов архипелага Земля Франца-Иосифа показало, что Баренцевоморский магматический ареал представляет собой фрагмент крупной провинции изверженных пород и отмечает след Исландского плюма 125 млн лет назад. Реконструкции подтверждают стационарное положение Исландского плюма и его связь с мезозойско-кайнозойскими крупными провинциями изверженных пород Северной Атлантики, Арктики и Сибири.

(ИНГГ СО РАН) *Метелкин Д.В., Абашев В.В., Верниковский В.А., Михальцов Н.Э. Палеомагнитное обоснование стационарности Исландского плюма и его раннемелового проявления в Высокоширотной Арктике // Доклады РАН. Науки о Земле, 2021, Т.501, №2,*

Междисциплинарные исследования глубинного источника взрывного извержения вулкана



В декабре 2017 года на вулкане Безымянный произошло мощное взрывное извержение, которое в течение 15 минут выбросило тучу пепла на высоту более 15 км. Установленная накануне на этом вулкане сеть сейсмических станций зарегистрировала с беспрецедентной точностью детали реализации этого извержения.

Рис: Слева: Результат томографической инверсии (Vp/Vs) на вертикальном сечение вкрест вулкана Безымянный и интерпретация. Справа-сверху: Фотография взрыва Безымянного 20.12.2017 г. Справа-снизу: деформации земной поверхности непосредственно перед извержением по космическим радарным измерениям.

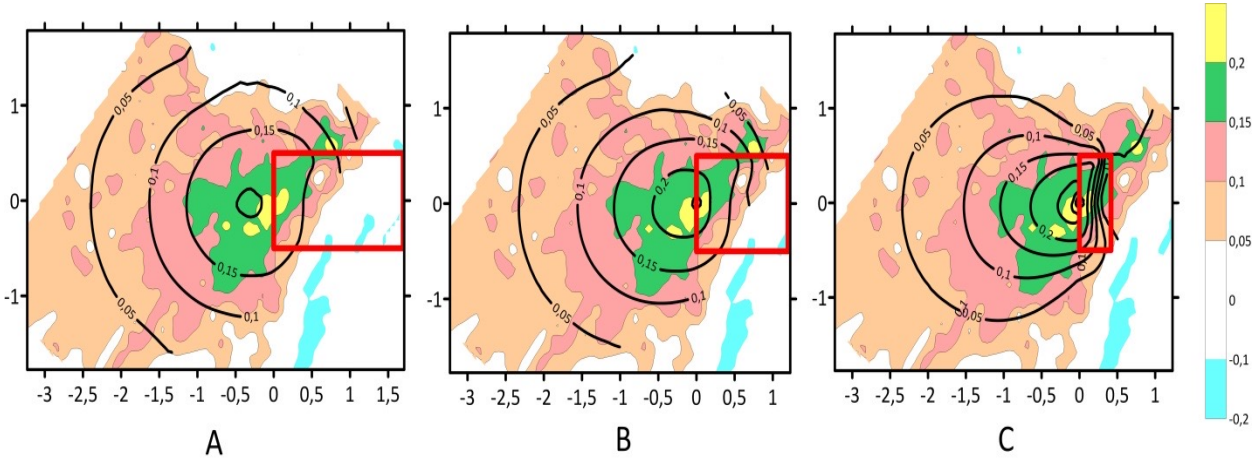
Предложена томографическая модель положения магматического и газового резервуаров за несколько дней до взрыва вулкана Безымянный.

Выявлен сценарий подготовки и реализации извержения вулкана и предложен метод прогноза взрывных извержений вулканов аналогичного типа

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, ГГФ НГУ, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Минералогический музей им А.Е. Ферсмана РАН, Геологический факультет МГУ, КФ ФИЦ ЕГС РАН, GFZ German Research Centre for Geosciences)

Koulakov, I., Plechov, P.Yu., Mania, R., Walter, T.R., Smirnov, S.Z., Abkadyrov I., Jakovlev, A., Davydova V., Senyukov S.L., Bushenkova, N.A., Novgorodova, A.M., Stupina, T.A., and Droznina, S.Ya. (2021). Anatomy of the Bezymianny volcano merely before an explosive eruption on 20.12.2017, **Scientific Reports**, **11**, 1758 (Q1)

Причины активизации вулкана Корякский в 2008-2009 гг.



Смещения на склонах вулкана Корякский в результате внедрения дайки

Цветовая шкала - смещения на склонах вулкана (метры) по данным спутниковой радарной интерферометрии; изолинии – смещения в результате поступления магмы в трещину. A, B, C – модели с углом падения трещины 45°, 60° и 80°. Красный прямоугольник – проекция трещины на горизонтальную плоскость. По осям – расстояние в км.

Впервые определены смещения склонов вулкана во время его активизации

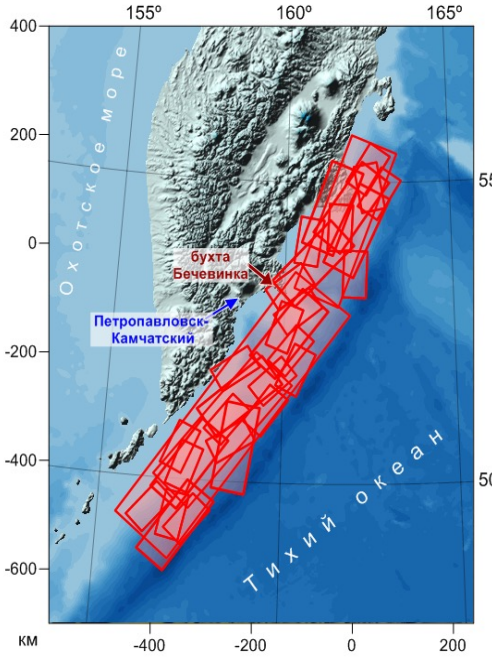
Смещения достигают 25 см, они не связаны с образованием слоя пепловых отложений или склоновыми процессами. Наиболее вероятная причина явления - внедрение магмы в постройку вулкана.

При внедрении магмы на глубине нижней кромки 0.5 км над уровнем моря образовались дайки длиной в1.0 км по простиранию и 2.4 км по падению; угол их падения - от 45 до 80°. Модель согласуется с данными сейсмологии и тепловизионных исследований пепло-газовых шлейфов.

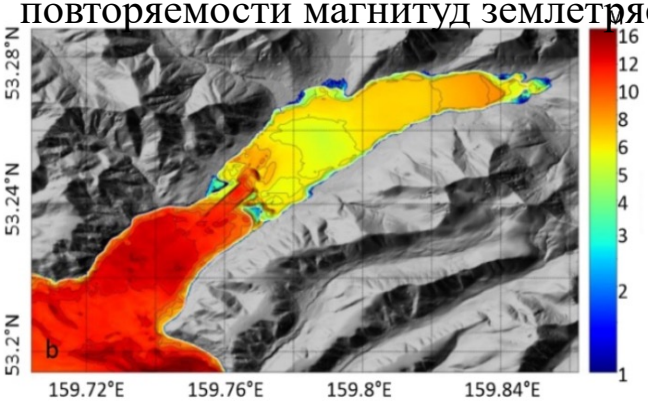
Происходящие под вулканом процессы создают опасность для расположенных в его окрестности населенных пунктов и требуют непрерывного мониторинга.

Михайлов В.О., Волкова М.С., Тимошкина Е.П., Шапиро Н.М., Смирнов В.Б. О связи активизации вулкана Корякский в 2008-2009 годах с глубинными магматическими процессами. Физика Земли. 2021. № 6. С. 1-7

Вероятность и масштаб воздействия цунами на морские и береговые объекты



Модель сейсмического процесса на шельфе Восточной Камчатки, способного порождать крупные цунами в бухте Бечевинка.
Модель соответствует реальным распределениям пространственного положения очагов, их размеров, направлений подвижек и повторяемости магнитуд землетрясений.



Расчетные пороговые высоты (в м) волн и заплесков цунами в бухте Бечевинка.

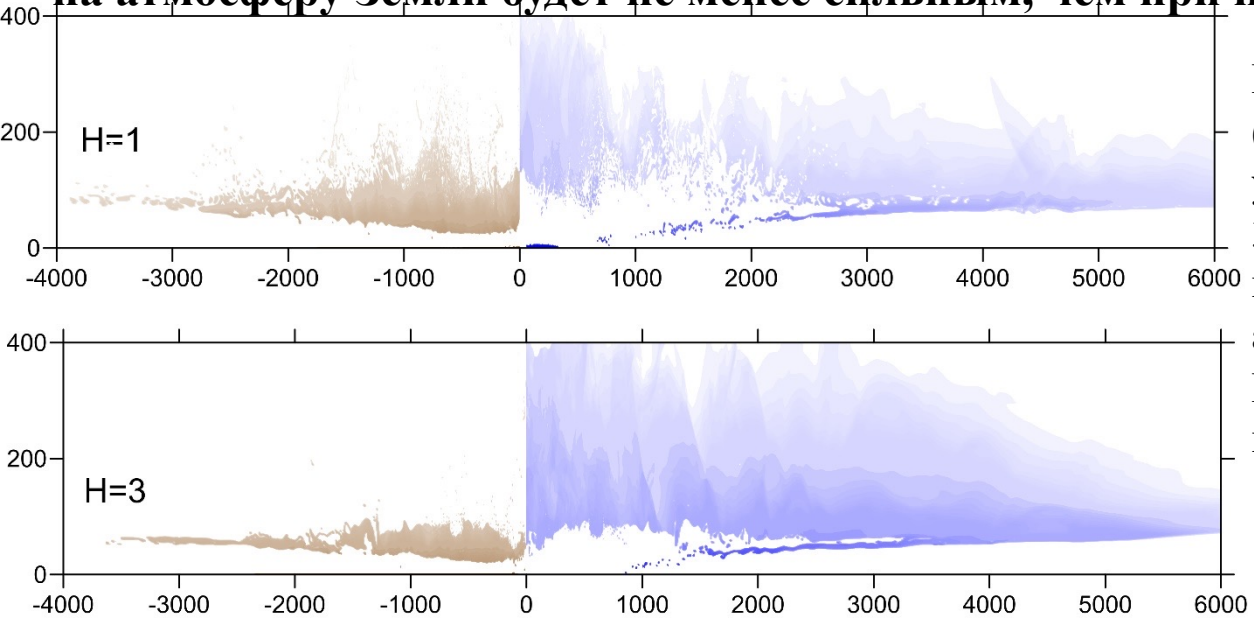
ИТПЗ РАН, ФИЦ ИВТ СО РАН , ИВИС ДВО РАН *L.B.Chubarov, V.A.Kikhtenko, A.V.Lander, O.I.Gusev, S.A.Beisel, T.K.Pinegina . Technique of local probabilistic tsunami zonation for near field seismic sources applied to the Bechevinskaya Cove (the Kamchatka Peninsula) // Natural Hazards. 2021.*

Построена детальная вероятностная модель сейсмичности на Востоке Камчатки. Модель реализована в виде синтетического каталога (рис.1), статистические свойства которого соответствуют реальным наблюдениям за последние 120 лет.
Моделируемые параметры землетрясений: трехмерное пространственное положение очагов, их размеры, механизмы и повторяемость магнитуд.

Рассчитаны пороговые высоты волн и заплесков цунами от модельных землетрясений (рис.2) и проведена оценка их вероятностей. Результатом является серия карт возможных (пороговых) амплитуд цунами для акватории и побережья бухты Бечевинка.

ВЫБРОС ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРУ ПРИ ПАДЕНИИ 10-КИЛОМЕТРОВЫХ АСТЕРОИДОВ В ОКЕАН

При падении астероидов размером порядка десяти километров в океан воздействие на атмосферу Земли будет не менее сильным, чем при падении астероидов на сушу

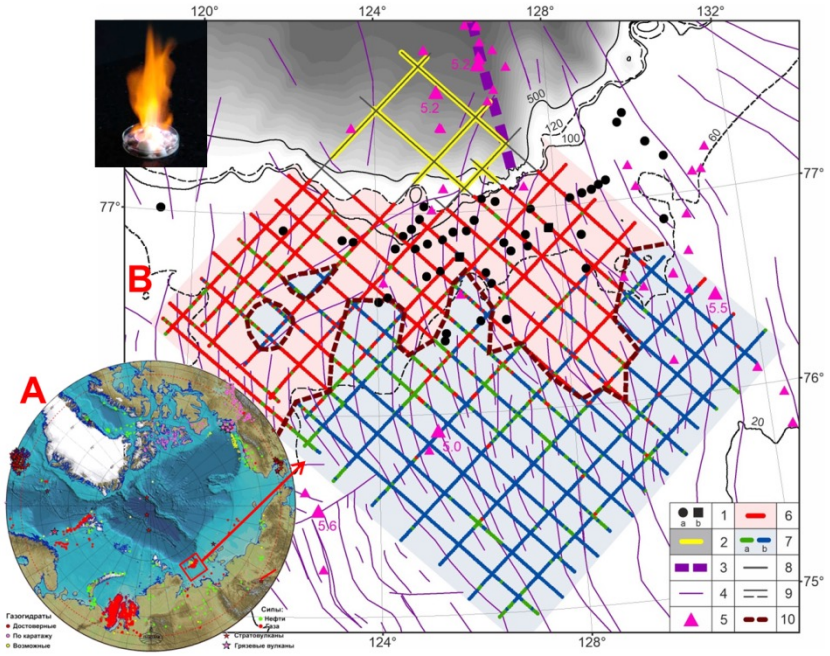


Распределения плотности воды (справа) и вещества грунта и ударника (слева) в г/см^3 через 30 минут после вертикального падения десятикилометрового астероида в океан глубиной H 1 и 3 км. Все расстояния измерены в километрах

Численное моделирование последствий падения десятикилометровых астероидов на твердую поверхность Земли и в океан глубиной от 1 до 7 км показало, что при глубинах вплоть до 3 км максимальная масса выброшенного в атмосферу вещества грунта не более, чем в 2-3 раза отличается от массы выбросов при падении астероида на твердую поверхность. Масса вещества грунта, остающаяся в атмосфере после осаждения при падении на глубину до 5 км больше, чем при падении на твердую поверхность, но снижаются при глубинах порядка 7 км и больше. Эффект усиливается из-за выброса большого количество воды и содержащихся в ней солей.

ИДГ РАН, *Shuvalov V.V.* Release of Matter into the Atmosphere During the Fall of Ten-Kilometer Asteroids into the Ocean\\Solar System Research, 2021, 55, 2

Эффективное освоение нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли



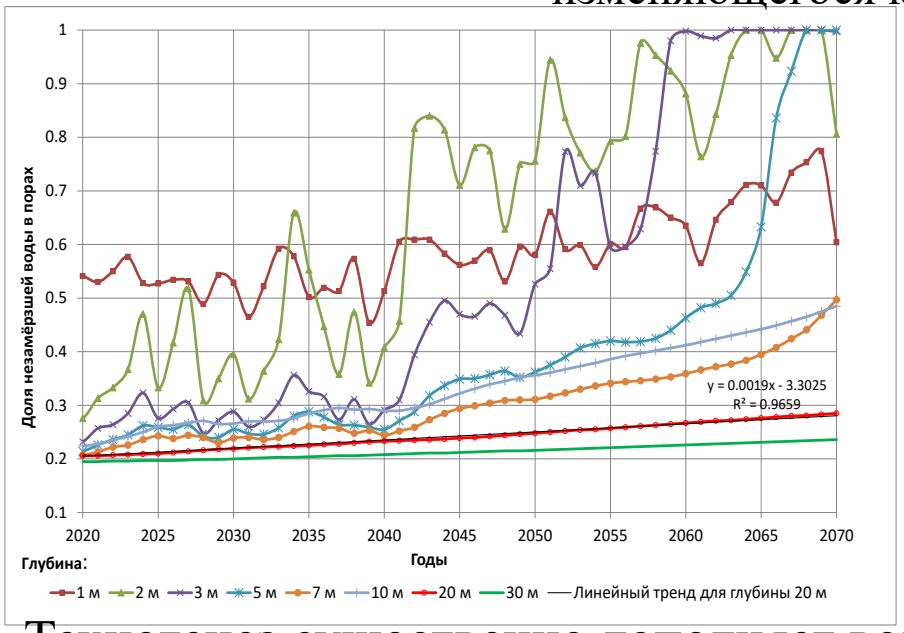
Впервые для арктического шельфа России построена картографическая схема изменения скорости распространения преломленных волн в придонных отложениях, отображающая их физическое состояние. В центральной части моря Лаптевых на площади около 55 тыс. км^2 выявлена граница мерзлых и талых пород, проходящая на изобатах от 45 до 85 м и ее зависимость от интенсивности теплового потока Земли и геологического строения

Схемы расположения основных зон эмиссии газа:
в Арктике (А) и в море Лаптевых (В).

Доказано отсутствие мерзлоты и условий существования гидратов метана в районе интенсивной эмиссии газа, обоснованы его глубинный генезис и миграция по тектоническим разломам. Уточнено положение ранее обнаруженной потенциально гидратоносной зоны на континентальном склоне, в которой выявлен тренд повышения придонных температур, способствующего разложению газогидратов, росту угроз выбросов газа, образования оползней и цунами.

Bogoyavlensky V., Kishankov A., Kazanin A., Kazanin G. Distribution of permafrost and gas hydrates in relation to intensive gas emission in the central part of the Laptev Sea (Russian Arctic). Marine and Petroleum Geology, 5 January 2022

Мониторинг и прогноз развития, оценка опасности и риска в условиях изменяющегося климата и техногенеза



За последние 35–40 лет температура верхней части разреза ММП в естественных условиях повысилась на 0.5–2.0 °С, а на застроенных объектами газовой промышленности равнинах Западной Сибири – на 2.0–4.0 °С.
Это снизило несущую способность мерзлых грунтов на 5–30 %

Техногенез существенно дополняет воздействие фоновых климатических изменений. Совместное влияние потепления климата и крупномасштабных техногенных воздействий на ММП вызывает кумулятивный эффект, усиливающий потерю устойчивости мерзлых оснований, и крупные аварии природнотехнических систем

Предложены новые методы гибкого управления температурным режимом грунта, способные постепенно заместить пассивную инженерную защиту. Состояние и динамика многолетней мерзлоты определяется физическими характеристиками фазового состояния влаги: степень насыщения пор незамёрзшей водой – мерой частичного оттаивания пород, влияющую на его несущую способность.

Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В. и др. Адаптация инфраструктуры Арктики и Субарктики к изменениям температуры мерзлых грунтов // Криосфера Земли. 2021. №6. *Osipov V., Aksyutin O., Sergeev D., Tipenko G.S, and Ishkov A.* Using the Data of Geocryological Monitoring and Geocryological Forecast for Risk Assessment and Adaptation to Climate Change // Energies

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ