

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ИМ. Н.М. ФЕДОРОВСКОГО

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Машковцев Г.А. (ФГБУ «ВИМС»)

Петров В.А. (ФГБУН «ИГЕМ»)

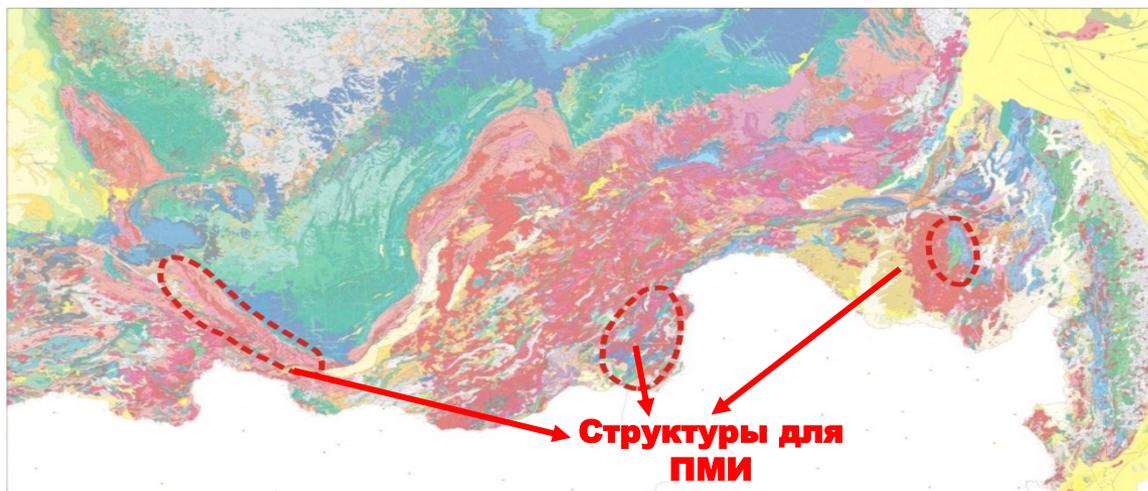
МОСКВА, НОЯБРЬ, 2022

ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК И ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

- Совершенствование ведущих факторов рудообразования и критериев рудоносности, на основе комплексного изучения осваиваемых рудных месторождений.
- Уточнение закономерностей размещения рудных объектов, в т.ч. скрытого типа, и выделение крупных рудоперспективных структур для среднemasштабного прогноза и поисков.
- Выявление факторов формирования комплексных районов с разнотипными месторождениями и определение возможности их использования при прогнозировании.
- Изучение роли в рудообразовании глубинных процессов подкоровых и коровых горизонтов, и определение способов их проявления на верхних уровнях ЗК.
- Определение значения формационного состава кристаллического основания в формировании магматогенных и эпигенетических типов месторождений.
- Определение роли локальных геодинамических обстановок в размещении определенных морфогенетических типов оруденения.
- Исследование эволюционно-геологических факторов формирования месторождений ведущих геолого-промышленных типов.
- Определение историко-геологических, термобарогеохимических и геохимических способов прогнозирования глубины залегания и уровня среза ожидаемого оруденения.

ВЫДЕЛЕНИЕ КРУПНЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

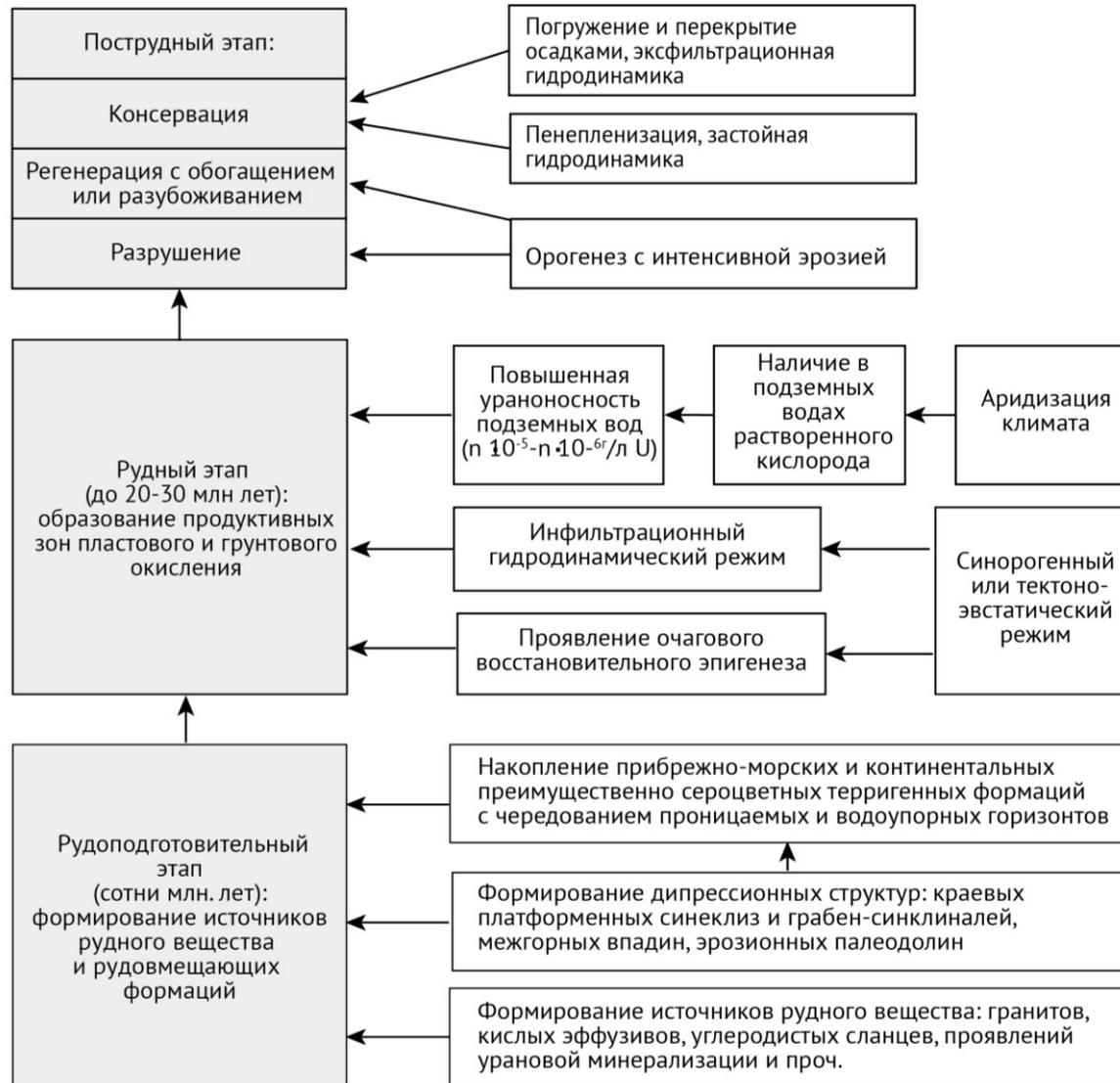
- Выделение крупных потенциально-рудноносных структур, учитывающее: металлогенический профиль, соответствующий дефицитным видам ТПИ, государственную целесообразность экономического развития региона, транспортную, и энергетическую инфраструктуру.
- Комплексный анализ материалов по геологическому и глубинному строению, минерагении проявленности региональных критериев рудоносности, рудных объектов и аномалий.
- Определение ожидаемых геолого-промышленных типов и районных кондиций ожидаемых объектов, геолого-геофизической изученности и условий ведения поисков.



СРЕДНЕМАСШТАБНЫЕ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (М-Б 1:200 000-1:50 000)

- Анализ ранее проведенных геологических, геофизических, геохимических, прогнозных и поисковых работ с составлением карт и схем фактического материала.
- Проведение АГСМ-съемки с гамма-спектрометрическим, магнито-, электро- и гравиразведочным сопровождением с составлением по данным комплексного анализа структурно-геофизической карты.
- Геолого-структурное дешифрирование материалов дистанционных аэрокосмических съемок с составлением схемы разрывных нарушений и тектонических блоков.
- Выборочные геологические маршрутные исследования с геолого-прогнозной, минералого-геохимической и структурной интерпретацией выделенных АГСМ-съемкой и дешифрированием дистанционных материалов перспективных участков.
- Составление объемной 3D-модели изучаемой структуры с выделением элементов глубинного строения, ответственных за формирование и размещение оруденения.
- Уточнение критериев рудоносности применительно к изучаемой площади и составление схемы их проявленности.
- Создание эволюционно-геологической модели с определением времени, места и формационного выражения проявленных продуктивных периодов.
- Составление прогнозной карты на геолого-структурной основе с выделением поисковой площади.

ОБОБЩЕННАЯ ЭВОЛЮЦИОННО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЭНДОГЕННЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



ПОИСКОВЫЕ РАБОТЫ

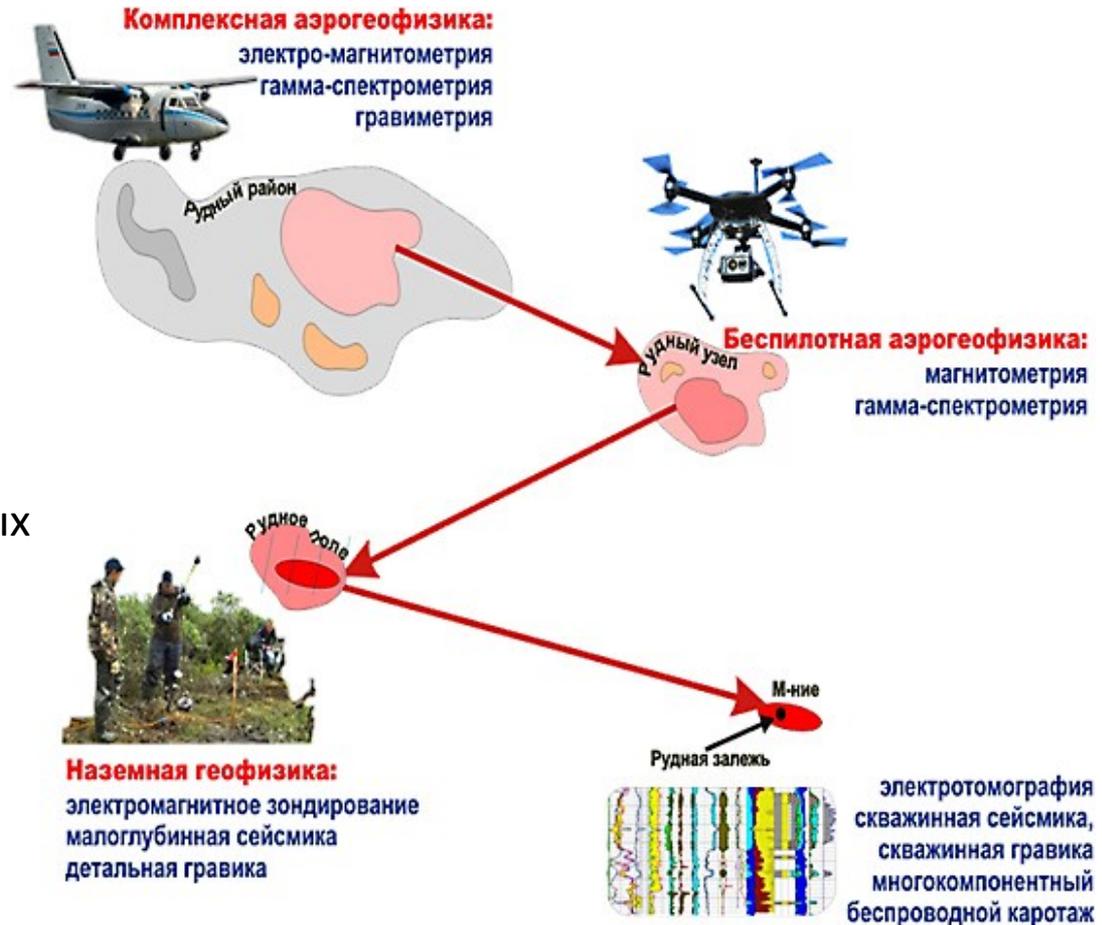
Включают три этапа:

- *подготовительный* – проведение комплекса геолого-структурных, геофизических и геохимических исследований, геолого-структурное бурение с локализацией наиболее перспективного участка и построением объемной модели 3D-модели – исходной основы горно-буровых и сопровождающих собственно поисковых работ;
- *основной* – горно-буровые и сопровождающие детальные геолого-геофизические и минералого-геохимические исследования, итогом которых должно явиться вскрытие и оконтуривание ожидаемого оруденения;
- *завершающий* – количественная оценка разведанности и сложности геологического строения, определения морфологического геолого-генетического типа, вещественного состава и технологических свойств оруденения, локализация прогнозных ресурсов P_1 и P_2 , включающая параметры объекта и основные геолого-экономические показатели.



ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

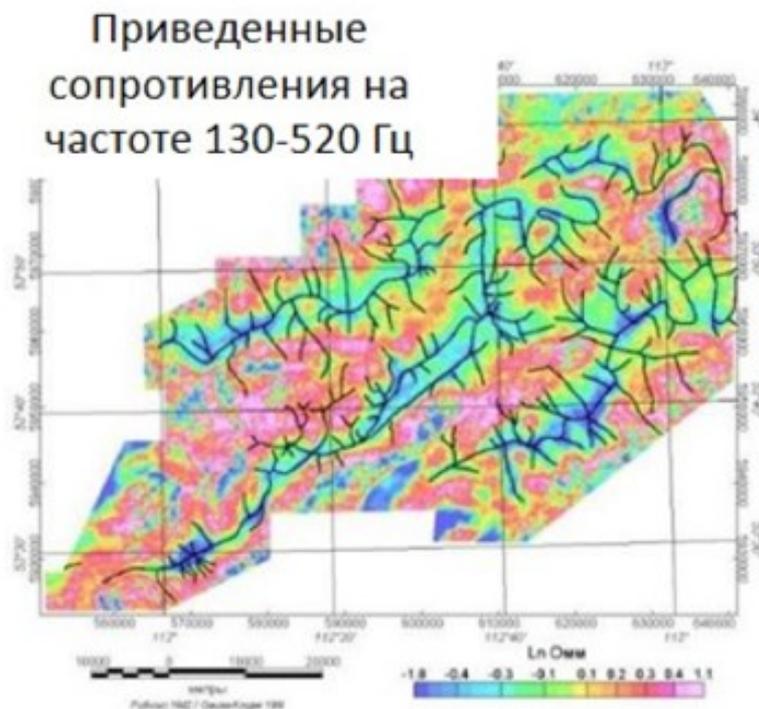
Геофизические исследования сопровождаются весь процесс детального прогнозирования и поисков с последовательной локализацией перспективных площадей и участков, путем проведения современной АГСМ-съемки, использования беспилотных технологий и наземных работ, включая гамма-спектрометрию, магниторазведку, высокоточную гравиметрию, малоглубинную сейсмику, электроразведку и томографию с использованием данных комплексного каротажа.



Томография по результатам каротажа скважин

СОВРЕМЕННЫЕ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

- Решают большой круг задач применительно к поискам и детальному прогнозированию ТПИ, в т.ч.: уточнение геологического и глубинного строения перспективной площади, выявление и прослеживание проявления продуктивных гидротермальных процессов, выявления и оконтуривания оруденения.
- **Требуется разработка:**
- Методических рекомендаций по сопровождению АГСМ-съемкой поисковых работ на ТПИ.
- Аппаратно-программных комплексов и адаптация бортовых программ для работы с отечественной навигационной системой ГЛОНАСС.
- Методических рекомендаций и требований по использованию бесплатформенных гравиметров отечественного производства.
- Отечественного программного обеспечения камеральной обработки геофизических данных.
- Создание облегченной бортовой аппаратуры для легкомоторных пилотируемых летательных аппаратов.



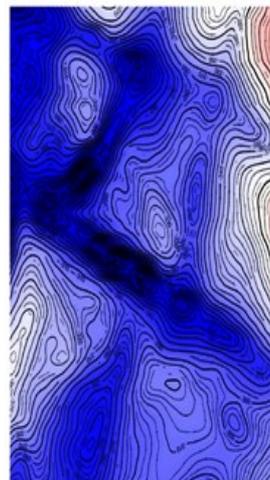
БЕСПИЛОТНЫЕ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Активно развивающаяся технология для изучения локальных участков недр, с картированием геологических структур и рудоносных зон с повышенной намагниченностью, радиоактивностью и электропроводностью.

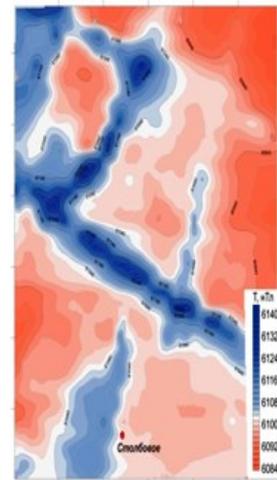
Требуется разработка:

- Методических рекомендаций и руководств для гамма-спектрометрии, магниторазведки и электроразведки

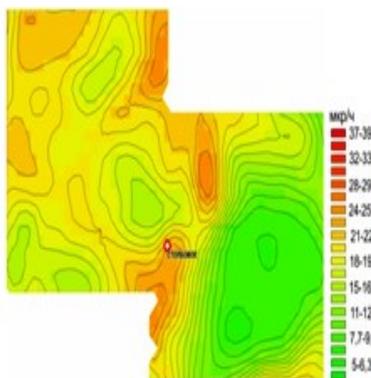
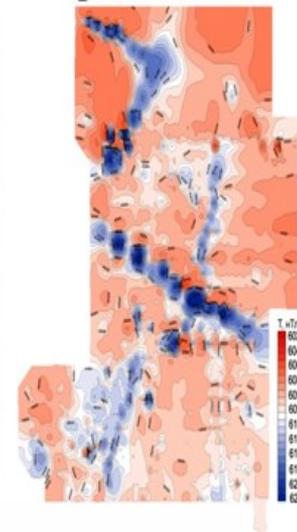
Аэромагнитная съемка (вертолет) 1:10 0000



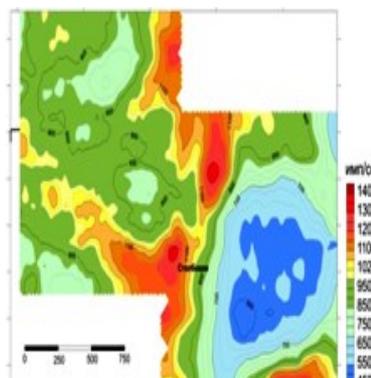
Беспилотная магнитная съемка 1:10 0000



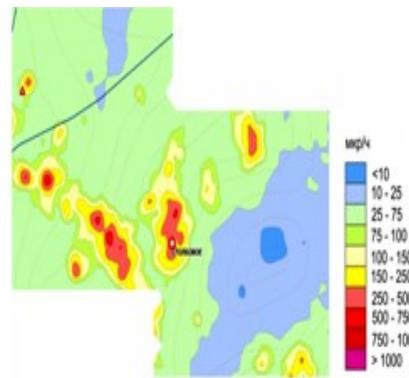
Наземная магнитная съемка 1:10 0000



Аэрогамма-съемка (вертолет) 1:10 0000



Беспилотная гамма-съемка 1:10 0000



Наземная радиометрическая съемка 1:10 0000

НАЗЕМНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

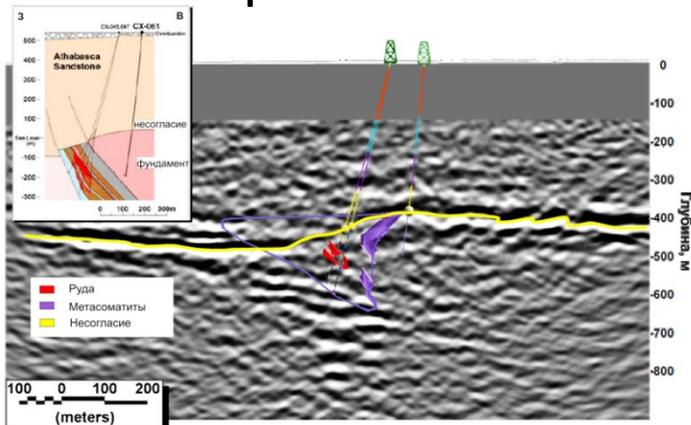
| МЕТОДЫ | Решаемые задачи по выявлению и картированию оруденения рудоносных обстановок |
|---|---|
| • Гамма-спектрометрические | урановых аномалий и оруденения, К-содержащих гидротермалитов, |
| • Магниторазведочные | даек и экструзий основного состава, нередко контролирующих эндогенное оруденение, |
| • Электроразведочные | сульфидсодержащих рудных зон и рудосопровождающих гидротермалитов, |
| • Высокоточные гравиметрические | локальных аномалий разуплотнения, связанных с объемным проявлением гидротермалитов, локальные участки и зоны повышенной плотности, связанные с хромитовым оруденением и другими высокоплотными рудами |
| • Малоглубинные сейсморазведочные | картирование рельефа погребенного фундамента и положения крупных, в т.ч. Межблоковых тектонических нарушений |
| • Томографические • по данным каротажа | определение формационного состава и рудоносности межскважинного геологического пространства по данным комплексной интерпретации данных каротажа скважин. |

Требуется:

Совершенствование методических разработок по применению методов для типовых рудоносных структурно-формационных и ландшафтно-геоморфологических обстановок.

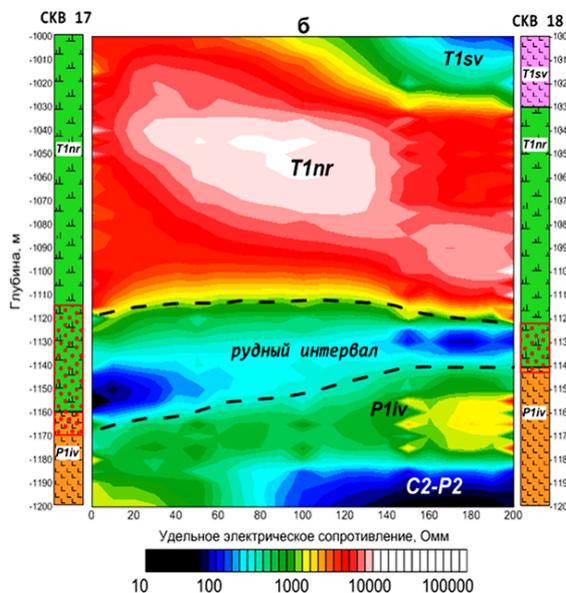
СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫЕ, ГРАВЕРАЗВЕДОЧНЫЕ И ТОМОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сейсморазведочные технологии при поисках ТПИ



Сейсмический разрез 3D поверхностных сейсмических исследований. Бассейн Атабаска, Канада.

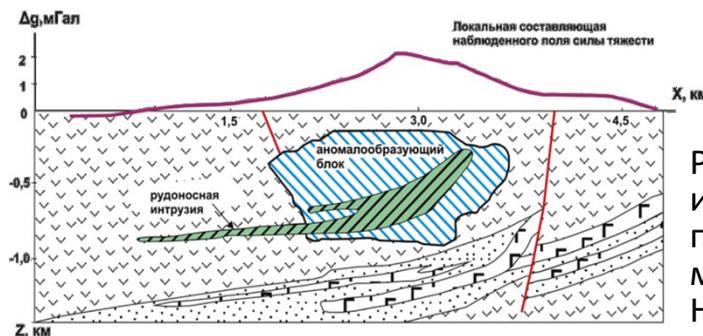
Электротомография:
геоэлектрические модели межскважинного пространства по результатам двумерной инверсии.



Масловское месторождение, Норильский рудный район

Высокоточная гравиразведка

На основе современных гравиметров высокой точности (1-2 мкГал) по сети 20x20 м, 50x50 м



Результаты интерпретации поля Δg месторождения Норильск-1

СОВРЕМЕННЫЕ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

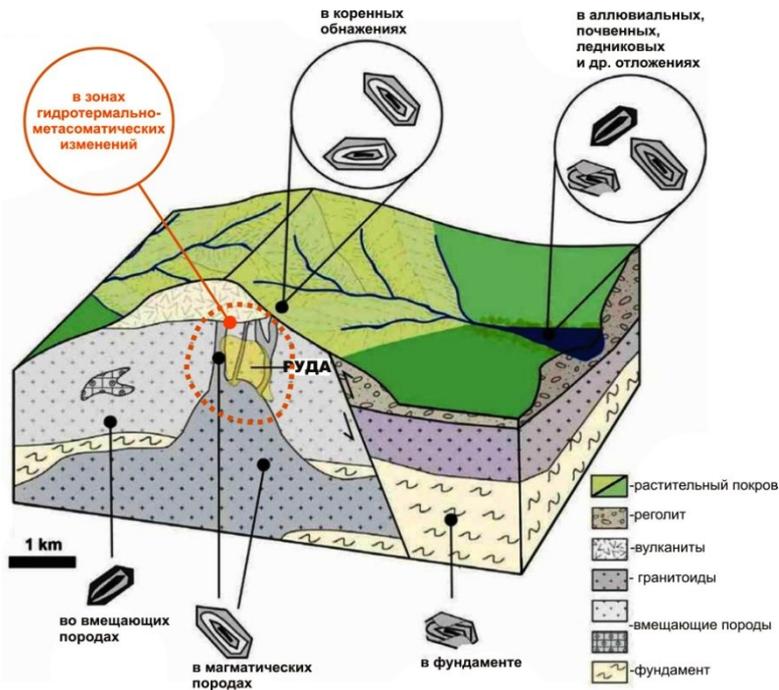
- Методы изучения и картирования минералов-индикаторов (магнетита, циркона, апатита и др.) при поисках крупных рудных объектов.
- Методы с частичным извлечением химических элементов из низкоконцентрированных скоплений в почвах, применяемых для обнаружения скрытого оруденения (изотопно-почвенный, ионно-сорбционный, подвижных ионов металлов, картирование сорбционно-солевых ореолов и др.
- Атмогеохимические методы, в т.ч. с определением элементного состава «наночастиц», извлекаемых с помощью газовых коллекторов.
- Биогеохимические методы сопределением следовых элементов в озоленных пробах.
- Методы гиперспектральной ИК-спектроскопии для картирования в поле гидротермально-метасоматических, в т.ч. рудосопровождающих изменений.
- Методика использования в полевых условиях портативных рентгенофлуоресцентных приборов для определения концентраций рудных элементов в породах.

Требуется:

Апробация новых методов на эталонных объектах и создание методических документов по их применению – рекомендаций, требований, руководств и др.

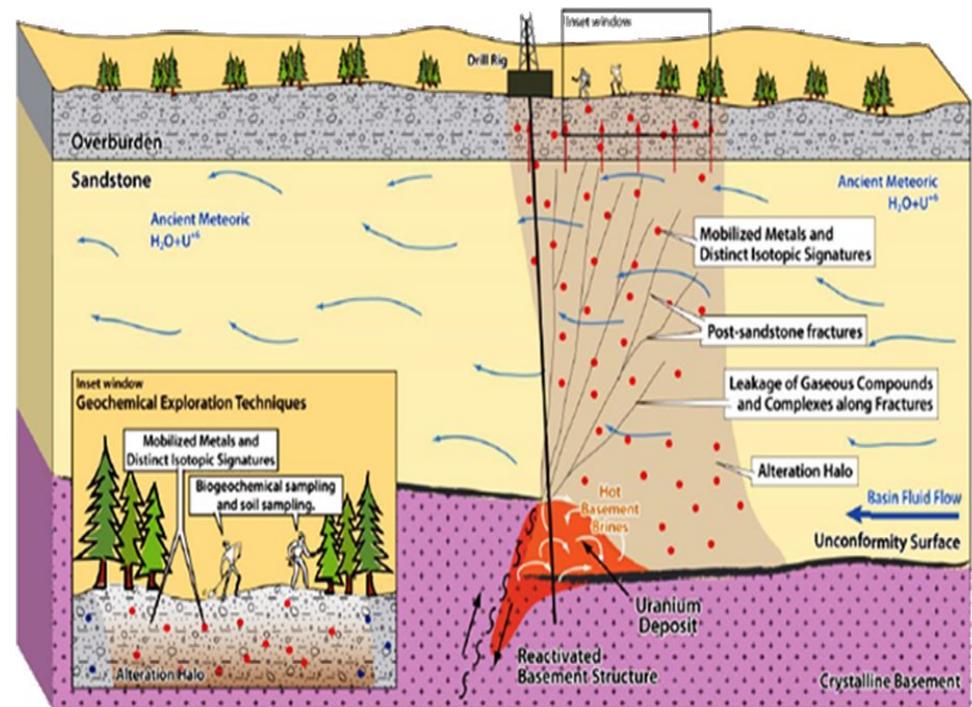
МОДЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛОВ-ИНДИКАТОРОВ И «ГЛУБИННЫХ» МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Метод изучения и картирования микрохимического состава минералов-индикаторов



Минералы индикаторы (сохраненные в водных отложениях, почвах, тиллах и т.п.):
Циркон, Магнетит, Апатит, Турмалин, Гранат, Эпидот, Пирит, Андрадит
 (требующие отбора проб в коренных породах) **Плагиоклаз, Хлорит**

«ГЛУБИННЫЕ» ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ:
 ЧАСТИЧНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ, ГАЗОВЫЕ,
 ГЕОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ, ИЗОТОПНЫЕ
 И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ



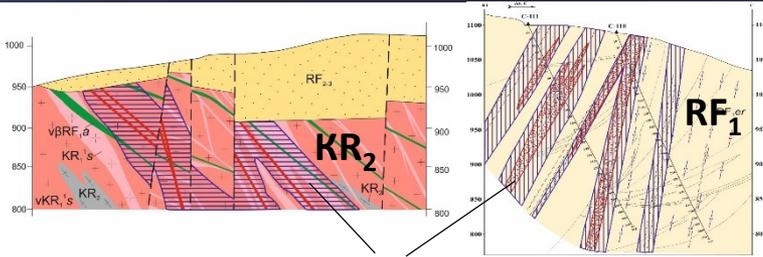
Модель формирования аномальных геохимических ореолов Урановое м-ние «несогласия» (Атабаска, Канада)

РЕЗУЛЬТАТЫ КАРТИРОВАНИЯ ОКОЛУРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПО ОБРАЗЦАМ И ШЛИФАМ ИЗ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕТРОСКОПИИ ДИФфуЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ (uv-Vis-NIR)

М-ние Столбовое
Измененные граниты



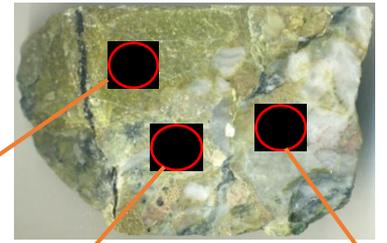
Парагонит-иллит Серицит



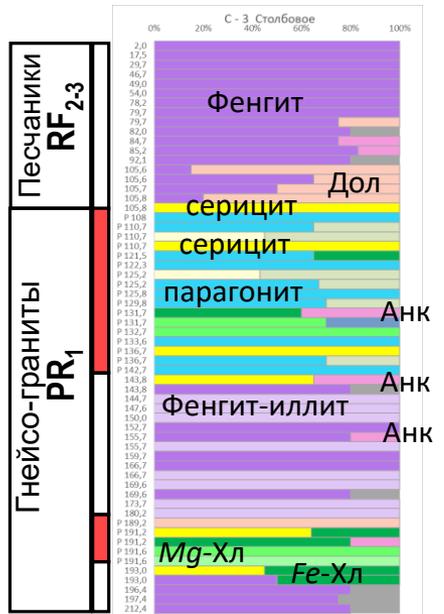
околорудные метасоматы



Рудопроявление Ильмигинское
Измененный конгломерат



Серицит Парагонит Серицит+ Fe хлорит

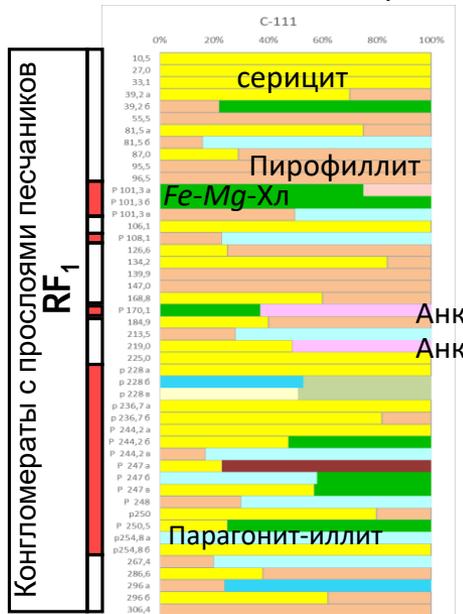


Главный рудообразующий этап) RF₁ (изменения околорудных ореолов настурановогооруденения)

Серицит (K), серицит-иллит, анкерит, доломит, Fe-хлорит

Этап перераспределения U минерализации (RF₃) (изменения в телескопированных зонах катаклаза и расланцевания с переотложенным коффинитом)

Парагонит (Na, K), парагонит-иллит, Fe-Mg- и Mg-хлориты



Политипия диоктаэдрических светлых слюд по результатам рентгенофазового анализа (РФА)

Столбовое - $2M_1 > 1M$
Формация ураноносных березитов

Ильмигинское - $1M > 2M_1$
Формация ураноносных гидрослюдизитов

АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕВЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Решаемые задачи:

- совершенствование экспрессных прецизионных аналитических измерений при полевых исследованиях



LA-ICP-MS раскрытия рудного потенциала минералов по химическому составу микроэлементов



Рентгено-флуоресцентный портативный спектрометр TRACER 5i (мультиэлементный анализ от Na-Am)



Портативный лазерный анализатор/спектрометр Laser-Z500 на основе спектроскопии возбуждения лазерным пробоем (мультиэлементный анализ от H – U)



Bruker Q4 MOBILE мобильный оптико-эмиссионный спектрометр (мультиэлементный анализ)



SWIR идентификация глинистых минералов зон изменений.



Радиометр-монитор радона «PYLON AB6» (на основе ячеек Лукаса)



Портативный гамма-спектрометр GT32 (RS230) на основе BGO детектора (определение содержания Ra, Th, K)

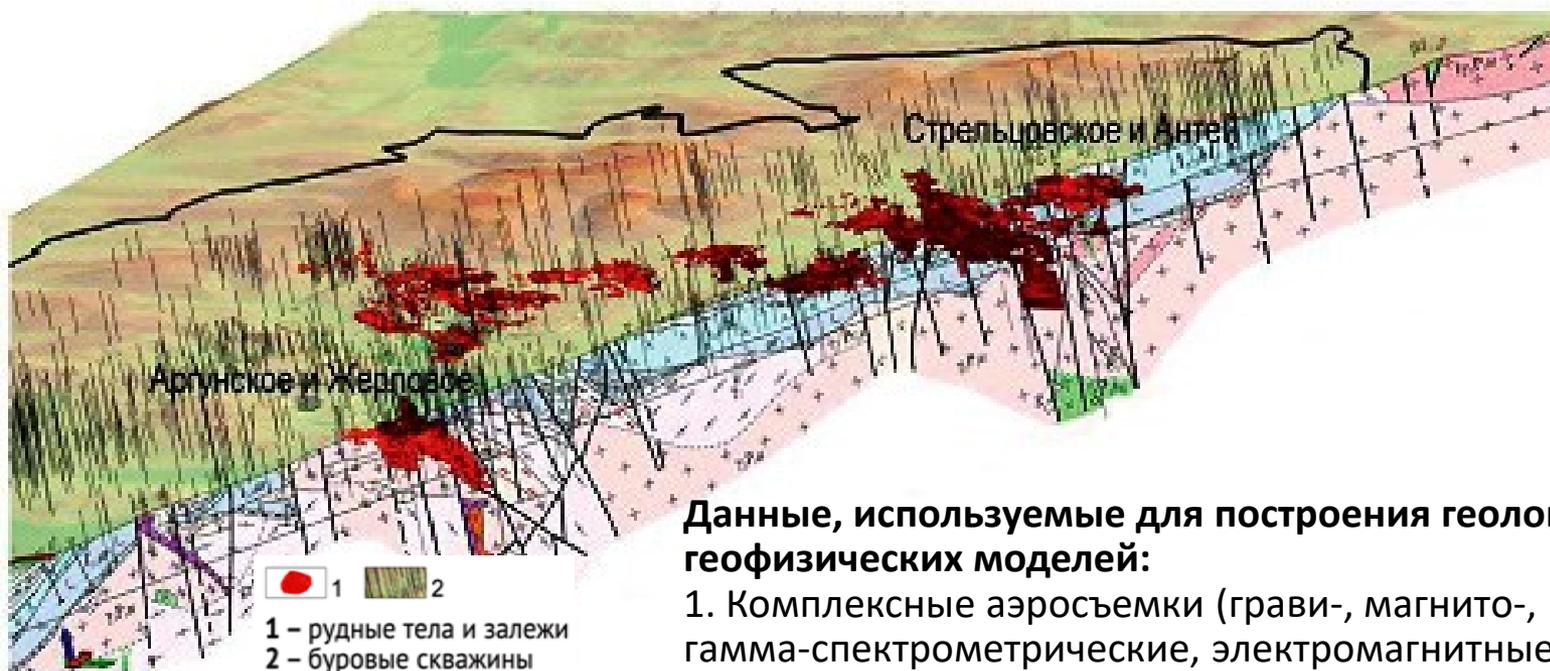


Inspector Scope комплекс рамановского + ИК-спектрометра с микроскопом и цифровой камерой

ОБЪЕМНЫЕ МОДЕЛИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРЕЛЬЦОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Решаемые задачи:

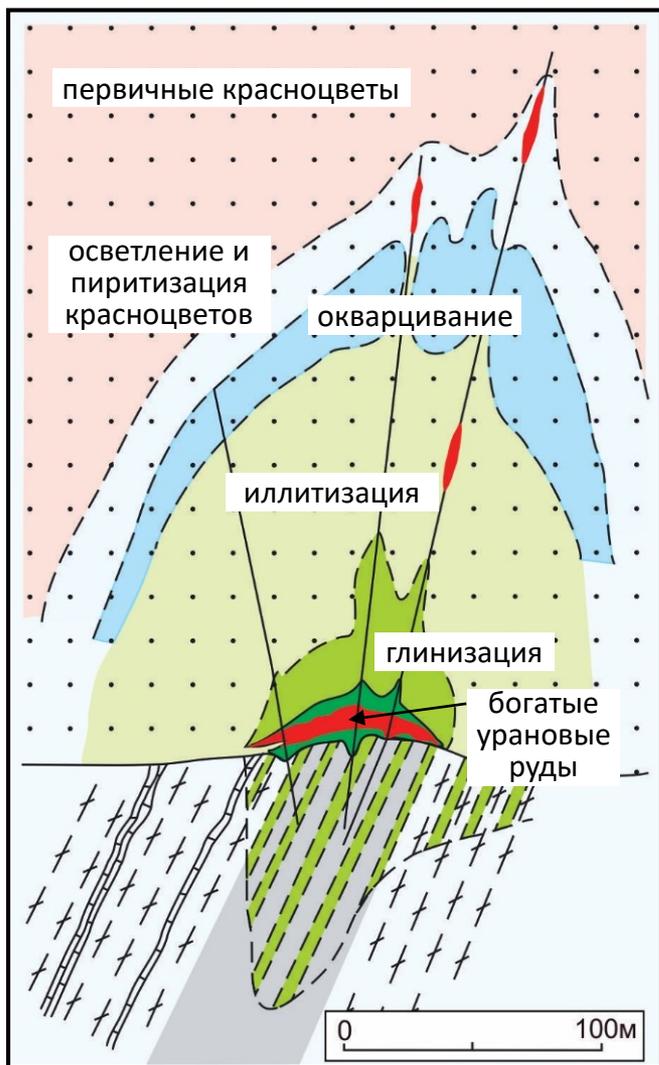
1. Моделирование геологического строения исследуемой площади.
2. Выявление центров рудно-магматических систем и каналов разгрузки рудоносных флюидов.
3. Определение условий локализации рудных месторождений.



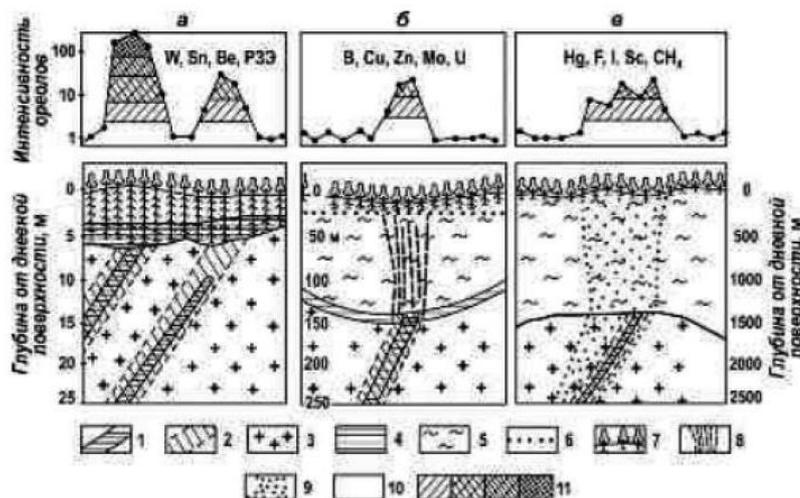
Данные, используемые для построения геолого-геофизических моделей:

1. Комплексные аэросъемки (грави-, магнито-, гамма-спектрометрические, электромагнитные и др.).
2. Наземные исследования (гамма-спектрометрические, сейсмические, гравиметрические, электромагнитные и др.).
3. Геолого-геофизические данные по скважинам и канавам.

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ И УРОВНЯ СРЕЗА ОЖИДАЕМОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПО МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИМ И РУДНОГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ



| Коэффициенты (критерии) уровня среза | Эталонные значения коэффициентов (критериев) для различных уровней среза оловорудных месторождений | | | | |
|--|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------|------------------|
| | надрудный | верхнерудный | среднерудный | нижнерудный | подрудный |
| $\frac{Pb \cdot Zn}{Bi \cdot W}$ | $> 3 \cdot 10^5$ | $3 \cdot 10^3 - 10^3$ | $1 \cdot 10^4 - 10^2$ | | $< 5 \cdot 10^2$ |
| $\frac{Pb \cdot Zn \cdot As}{Cu \cdot Bi \cdot W}$ | $> 5 \cdot 10^4$ | $5 \cdot 10^4$ | $5 \cdot 10^2$ | | $< 5 \cdot 10^2$ |
| $\frac{Pb \cdot V \cdot Sb}{Bi \cdot Mo \cdot W}$ | $> 1 \cdot 10^5$ | $1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$ | $1 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^2$ | | $< 2 \cdot 10^2$ |
| $\frac{Pb \cdot Zn \cdot V}{Cu \cdot Bi \cdot W}$ | $> 1 \cdot 10^5$ | $1 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^3$ | $5 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^2$ | | $< 2 \cdot 10^2$ |
| $\frac{Pb \cdot Zn \cdot m}{Sn \cdot Cu}$ | > 10 | $10 - 5$ | $5 - 1$ | $1 - 0,3$ | $< 0,3$ |



Минералого-геохимическая зональность уранового месторождения Сигар-Лейк (Канада)

Схема биогеохимических ореолов на скрытой рудной залежь

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ P1 (P2)

- Оконтуривание и определение масштабов и качества вскрытого оруденения
- Определение вещественного состава, комплексности и технологических свойств руд
- Оценка сложности геологического строения и разведанности локализованного объекта
- Разработка рекомендаций по дальнейшему изучению и оценке месторождения

Прогнозные ресурсы категории P2 учитывают возможность обнаружения в рудном поле новых месторождений полезных ископаемых, предполагаемое наличие которых основывается на положительной оценке выявленных при крупномасштабной геологической съемке и поисковых работах проявлений полезного ископаемого, а также геофизических и геохимических аномалий, природа и возможная перспективность которых установлены единичными выработками. Количественная оценка ресурсов, представления о размерах предполагаемых месторождений, минеральном составе и качестве руд основываются на аналогиях с известными месторождениями того же формационного геолого-промышленного типа. Прогнозные ресурсы оцениваются до глубин, доступных для эксплуатации при современной и возможной в ближайшей перспективе технологии разработки месторождений.

Прогнозные ресурсы категории P1 учитывают возможность выявления новых рудных тел полезного ископаемого на перспективных участках, рудопроявлениях, разведанных и разведываемых месторождениях. Для количественной оценки ресурсов этой категории используются геологически обоснованные представления о размерах и условиях залегания известных тел. Оценка ресурсов основывается на результатах геологических, геофизических и геохимических исследований площадей возможного нахождения полезного ископаемого, а также на материалах одиночных структурных и поисковых скважин и геологической экстраполяции структурных, литологических, стратиграфических и других особенностей, установленных на более изученной части месторождения и определяющих площади и глубину распространения полезного ископаемого, представляющего промышленный интерес

РЕКОМЕНДАЦИИ

В целях повышения эффективности поисковых работ на ТПИ необходимо создание нового поколения прогнозно-поискового комплекса методов, в т.ч. на нетрадиционные виды полезных ископаемых и на скрытые объекты. Научно-методический совет при Российском геологическом обществе, организованный по согласованию с Роснедрами, готов к рассмотрению и утверждению новых методических и научно-технологических разработок.

Основой развития методического направления должно явиться существенное усиление научно-исследовательских работ по комплексному изучению осваиваемых объектов, для чего потребуются изменение законодательства о недрах в части предоставления свободного доступа специалистов отечественных научных организаций к геологическим материалам разведываемых и разрабатываемых месторождений.

Эффективным инструментом объединения усилий научных организаций Роснедр, РАН, вузов и недропользователей может явиться *План совместных действий по научно-технологическому сопровождению геологоразведочных работ*, на что нас нацеливает поручение Президента РФ ПР-1130 от 28.06.2022 г.

Для привлечения геологического российского сообщества к проведению НИОКР, обмена опытом и внедрения в поисковую практику перспективных методических разработок Российское геологическое общество считает целесообразным регулярную (не реже раза в два года) организацию научных конференций и совещаний с участием специалистов академической, отраслевой, вузовской науки и геологов-практиков.