



75 лет

**ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ
Сибирского отделения
Российской академии наук**

**Центр коллективного пользования
«Геодинамика и геохронология»
Института земной коры СО РАН**



**Institute of the Earth's Crust, Siberian
Branch of the Russian Academy of
Sciences: Center for Geodynamics and
Geochronology**

Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
Тел.: +7(3952)427000
E-mail: log@crust.irk.ru
www.crust.irk.ru

Центр коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН



Заведующий ЦКП – доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН Алексей Викторович Иванов

Основные научные направления исследований ЦКП:

- разработка комплексных аналитических методов для решения фундаментальных геологических и экологических задач и обеспечение геологических исследований аналитическими данными;
- определение минерального, элементного и изотопного состава горных пород, руд, осадков, других природных и искусственных материалов;
- датирование природных процессов.

Общий подход заключается в совершенствовании схемы выполнения анализов горных пород на различные компоненты.

В Центре коллективного пользования представлены следующие методы анализа:

- масс-спектрометрия с электронной ионизацией (МС-ЭИ);
- масс-спектрометрия с термической ионизацией (МС-ТИ);
- масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП);
- рентгенофлуоресцентный (РФА);
- рентгеноструктурный (РСА);
- силикатный анализ, с использованием комплекса методов: атомно-абсорбционного, спектрофотометрического, потенциометрического, гравиметрического, титриметрического;
- изотопный анализ воды;
- конфокальная спектроскопия комбинационного рассеяния света (Рамановская спектроскопия).

Уникальная научная установка «Южно-Байкальский инструментальный комплекс для мониторинга опасных геодинамических процессов»



Руководитель УНУ – доктор
геолого-минералогических наук
Константин Жанович Семинский

Основные направления научных исследований, проводимых с использованием УНУ:

- создание моделей взаимосвязи современной геодинамики Байкальской рифтовой зоны с коллизионными процессами на восточной и южной окраине Евразийской плиты;
- оценка величин и скоростей современных перемещений и деформаций литосферы в пределах Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий;
- определение степени влияния пространственно-временных вариаций перемещений и деформаций литосферы на интенсивность опасных процессов (в т.ч. сейсмичность) в пределах Байкальской рифтовой зоны и на сопредельных территориях;
- создание фундаментальных основ технологии средне- и краткосрочного прогноза землетрясений, опасных эманационных и других процессов в Прибайкалье и смежных регионах;
- проведение (в т.ч. в режиме реального времени) мониторинга деформаций на малых и больших базах, измерений концентраций радона и формирование по измеряемым параметрам баз данных, а также управляемых ими специализированных ГИС;
- проведение (в т.ч. в режиме реального времени) сейсмического и микросейсмического мониторинга на стратегически важных объектах (плотина ГЭС), оценка связи микросейсмического режима с глобальными и региональными опасными процессами, формирование базы данных по сильным движениям.

История создания ЦКП и УНУ

Для изучения состава горных пород, руд и минералов в 50-е годы XX в. при отделе петрографии (руководитель И.В. Белов) была создана группа аналитической химии (руководитель В.С. Лебедева) и группа физических методов анализа (атомно-эмиссионный анализ и рентгенография, руководитель А.И. Черненко). В 1962 г. создан отдел аналитических лабораторий (лаборатория физических методов исследований, заведующий А.И. Черненко, и химико-аналитическая лаборатория, заведующий Г.Н. Кашеев). В 1972 г. организована лаборатория изотопии и геохронологии (1972–1988 гг. – заведующий С.Б. Брандт, с 1988 г. – А.Г. Ревенко), объединенная в 1974 г. с лабораторией физических методов исследований. Лаборатория химических методов исследования (заведующий в 1971–1995 гг. Ю.И. Сизых) в 1995 г. была объединена с лабораторией физических методов исследований (заведующий А.Г. Ревенко). В 1996 г. выделена в самостоятельное структурное подразделение лаборатория изотопии и геохронологии (заведующий С.В. Рассказов). В 1998 г. на базе аналитических подразделений института создан аналитический центр (заведующий А.Г. Ревенко). В 2015 г. создан ЦКП «Геодинамика и геохронология» (заведующий А.В. Иванов).

В 2017 г. для объединения геофизических исследований была создана уникальная научная установка «Южнобайкальский инструментальный комплекс для мониторинга опасных геодинамических процессов» под руководством К.Ж. Семинского.

В 2021 г. Институт земной коры СО РАН стал одним из победителей в конкурсе развития инфраструктуры научной, научно-технической деятельности (ЦКП, УНУ) государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (грант № 075-15-2021-682).

ЦКП «ГЕОДИНАМИКА И ГЕОХРОНОЛОГИЯ»: МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ



Масс-спектрометрия с термической ионизацией

Этот метод является классическим для высокоточного определения изотопного состава широкого спектра элементов. Он требует предварительной химической пробоподготовки, включающей разложение твердых образцов сильными кислотами и последующее хроматографическое выделение необходимого для изотопного анализа элемента.





Оборудование

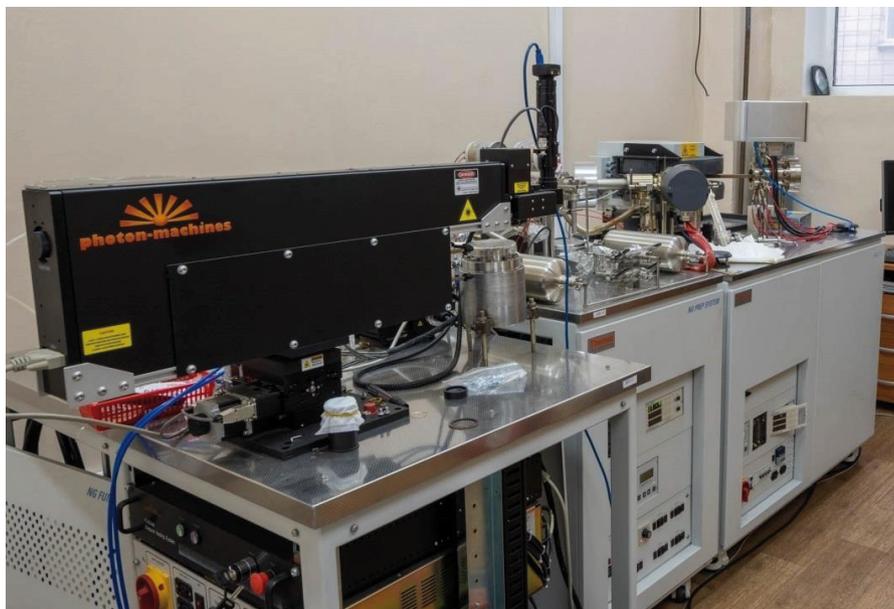
Мультиколлекторный масс-спектрометр с термической ионизацией Finnigan MAT 262 (Thermo Fisher Scientific). В ЦКП выполняются определения изотопов Rb, Sr, Sm, Nd и Pb в горных породах, минералах и природных водах, измерение которых осуществляется на масс-спектрометре Finnigan MAT262 (изготовлен в 1999 г.). Система детектирования этого масс-спектрометра имеет семь чашек Фарадея, позиция шести из которых может быть подобрана для анализа практически во всем диапазоне масс природных изотопов. Несмотря на свой возраст (>15 лет), этот масс-спектрометр является «рабочей лошадкой» изотопного анализа. Масс-спектрометры этой модели, аналогичного и большего возраста, используются во многих ведущих лабораториях мира.

Блок чистых комнат оригинальной конструкции, класс 1000 (ISO6) для пробоподготовки.

Требования к подготовке проб

Для определения изотопных отношений Sr и Nd в современных пробах требуется навеска от 10 до 200 мг истертой в порошок пробы в зависимости от исходных концентраций этих элементов. В случае изучения древних образцов (~100 млн лет и древнее) и проб с высокими Rb/Sr и Sm/Nd отношениями необходимо их определение для введения коррекции на изменение изотопных отношений с возрастом или, наоборот, для определения возраста методом изохрон по измеренным значениям в когенетичных пробах или минералах. Для этого используется метод изотопного разбавления. Определение Rb/Sr, Sm/Nd отношений и изотопных отношений Sr и Nd выполняется из одной и той же навески с использованием хроматографических смол и колонок малого объема фирмы ElChrom Technologies по методикам. Для определения изотопных отношений свинца используется отдельная навеска массой 50–100 мг. В случае частично измененных проб осуществляется предварительное травление порошка азотной кислотой для удаления вторичных минералов.

Масс-спектрометрия с электронной ионизацией



Оборудование

На масс-спектрометрическом комплексе ARGUS VI в ЦКП выполняется изучение геологических процессов при помощи $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и K-Ar геохронологических методов. Они основываются на радиоактивном распаде ^{40}K в ^{40}Ar . Технические особенности методов описаны в зарубежных и российских учебниках и монографиях, в том числе с участием сотрудников ЦКП.

Масс-спектрометрия с электронной ионизацией, предложенная еще в начале прошлого века, является наиболее часто применяемым методом для изотопного анализа газов. Используемый в ЦКП масс-спектрометр ARGUS VI (Thermo Fisher Scientific, выпущен в 2010 г.) представляет собой современную модель классического масс-спектрометра нировского типа. Особенность масс-спектрометра ARGUS VI заключается в одновременном детектировании пяти масс при помощи чашек Фарадея, расположенных таким образом, чтобы анализировать природные и искусственные изотопы аргона. Он характеризуется высокой чувствительностью (~ 1 А/бар) и отменной стабильностью. Последнее частично связано с низкой разрешающей способностью (~ 200). Для анализа изотопов аргона

в горных породах и минералах масс-спектрометр соединен с резистивной печью двойного вакуума и CO_2 лазером с длиной волны 10.6 мкм (Photon-Machines, выпущен в 2015 г.), в которой аргон выделяется из твердых образцов при нагревании и плавлении, а также системой очистки газа. Вся система находится под высоким вакуумом (10–9 мбар), что позволяет достигнуть высокого соотношения сигнал/фон.

Область применения

Наиболее оптимальными образцами для датирования являются вулканические породы и их калийсодержащие минералы. В этом случае момент запуска изотопных часов является очевидным. Это время кристаллизации вулканической породы, что в масштабе геологического времени соответствует времени вулканического извержения. В принципе $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и K-Ar методы позволяют датировать вулканические образования с возрастом от первых тысяч лет вплоть до времени образования Земли, однако оптимальный диапазон составляет от первых миллионов до сотен миллионов лет. Верхний предел обусловлен малым количеством радиогенного ^{40}Ar , а нижний возрастной предел зависит от степени сохранности датируемого образца, которая оценивается классическими петрографическими методами. Аналитическая точность $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировок может быть лучше 0.1 % от возраста датируемого образца. Однако систематические погрешности, вызванные использованием различных стандартов и неопределенностями в константах распада ^{40}K , ограничивают точность $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метода в 1–2 %. Аналитическая точность K-Ar метода составляет несколько процентов, однако его рекомендуется использовать в диапазоне от сотен тысяч до первых миллионов лет, хотя существуют примеры удачного использования K-Ar метода и для более древних образцов. Существуют планы прямого датирования пород этим методом на других планетах.

Кроме вулканических пород $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метод успешно применяется для датирования новообразованных калийсодержащих минералов в гидротермальных, метасоматических и метаморфических процессах, а также при датировании метеоритов и импактитов.

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) с использованием растворов и лазерной абляции



Оборудование

Квадрупольный масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой Agilent-7900 (США).

Система лазерной абляции Analyte Excite (193 нм) с двухкамерной ячейкой HeEx cell (США).

Главными достоинствами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой как метода для геохимического анализа являются его многоэлементность, высокая чувствительность, скорость, широкий динамический диапазон измерения концентраций элементов, который позволяет определять до 30–40 элементов за короткое время из малой навески образца.

С 2001 г. в ЦКП внедрена методика количественного определения содержаний Sc, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, Ba, РЗЭ, Hf, Ta, W, Pb, Th, U в растворах минералов и горных пород различного состава с помощью метода МС-ИСП. Пределы обнаружения определяемых элементов находятся в диапазоне 0.0001–1 мкг/г.

Система лазерной абляции (ЛА-МС-ИСП) позволяет анализировать химический и изотопный состав вещества в твердофазном состоянии, в том числе проводить U-Pb изотопное датирование минералов.

Требования к подготовке проб

Для выполнения анализа методом МС-ИСП требуется не менее 100 мг истертой в порошок пробы с размером частиц 0.074 мм (200 меш).

Выбор способа разложения исследуемых образцов зависит от их предполагаемого химического и минералогического состава. Для горных пород ультраосновного, основного и среднего состава, а также для осадочных пород используется методика открытого кислотного разложения. Для подготовки к анализу кислых и трудноскрывааемых горных пород и минералов применяется усовершенствованная методика сплавления с метаборатом лития.

Для МС-ИСП анализов с лазерной абляцией исследуемые минералы фиксируются в шашке из эпоксидной смолы. Элементные и изотопные составы определяются путем сопоставления с составами стандартов стекол NIST и международных и внутрилабораторных стандартов минералов с матрицей, аналогичной анализируемым минералам.

Рентгенофлуоресцентный анализ

С помощью метода РФА с волновой дисперсией определяются содержания основных и примесных элементов (Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , S (общ.), K_2O , CaO , TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 , C, F, Cl, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Ta, W, Bi, Th, U, Pb) в горных породах, почвах, озерных отложениях, других природных и искусственных объектах. Методом РФА с полным внешним отражением (РФА ПВО) возможно определение элементов ($Z > 13$) в малых количествах жидких и твердых образцов.

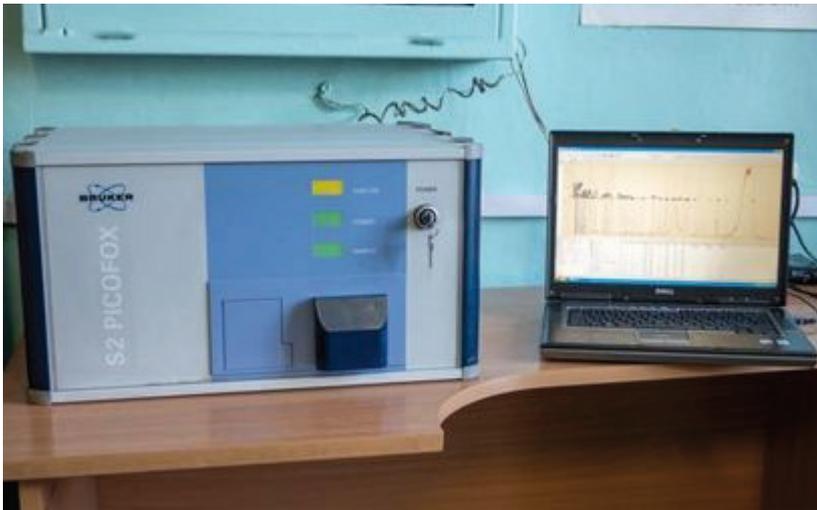
В настоящее время в ЦКП разработаны методики определения ряда элементов в молочных продуктах, природных водах разной степени минерализации, водопроводной воде, редкоземельных рудах, флюоритовых рудах, карбонатных породах, железомарганцевых конкрециях, образцах горных пород и минералов малой массы, керамике. Возможно применение РФА ПВО для анализа напитков.

Оборудование

Рентгеновский спектрометр с волновой дисперсией S8 TIGER (Bruker, Германия)



**Рентгеновский спектрометр с полным внешним отражением
настольного типа S2 PICOFOX (Bruker, Германия)**



**Рентгеновский спектрометр с полным внешним отражением
настольного типа S4 T-STAR (Bruker, Германия)**



Полуавтоматический гидравлический пресс HERZOG НТР-40 (Германия)



Пресс HERZOG НТР-40 применяется для изготовления прессованных таблеток в стальных кольцах диаметром 40 мм, алюминиевых оболочках или методом свободного прессования с борной кислотой для рентгенофлуоресцентного анализа. Максимальный размер частиц загружаемого образца – 100 мкм.

Требования к подготовке проб

Для выполнения количественного РФА с волновой дисперсией требуется представительная, истертая в порошок (размер частиц 0.074 мм) проба массой 1–5 г. Возможно проведение неструктурного полуколичественного анализа (измерение образца без его разрушения). Для проведения РФА ПВО требуется 20–50 мг истертой пробы и 0.5–2.0 мл жидкой пробы.

Рентгеноструктурный анализ

Рентгеноструктурный анализ (РСА) – один из дифракционных методов исследования структуры вещества. В основе данного метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей на трехмерной кристаллической решетке.

Задачами рентгеноструктурного анализа являются:

- определение фазового состава минеральных смесей (природных или экспериментально полученных) горных пород и глинистых фракций;
- идентификация минералов, в том числе в единичных зернах размером до 500 мкм;
- исследования монокристаллов фотометодом;
- количественный анализ минералов;
- расчет параметров элементарной ячейки минералов.

В ЦКП имеется картотека порошковых дифракционных данных неорганических веществ Международного центра дифракционных данных.

Оборудование

Дифрактометр ДРОН-3 (Буревестник, Россия)



Предназначен для установления положения атомов в кристаллических структурах, определения фазового состава полиминеральных смесей, в частности глин.

Требования к подготовке проб

На анализ принимаются измельченные пробы массой не менее 100 мг, для исследования глин – 1.5–2.0 г. При необходимости возможно исследование микрокристаллов.

В ходе рентгенографических исследований с участием сотрудников ЦКП открыты новые минералы: земкорит, флоренсовит, хлормагалюминит, олекминскит, одинцовит, тажеранит, азопроит, калининит, наталиит, магнезиокулсонит, хромфиллит, ольхонскит, «бираит-Се», ванадиодравит, батисивит, оксиванит, купрокалининит, ванадиопаргасит, а также идентифицирован ряд редчайших минералов, представляющих первую находку в России (анкангит, маннардит), вторую-третью находку в мире (фресноит, паральстонит, гарронит, перлиалит, денисовит, кызылкумит, розенбергит и др.).

Химические методы силикатного анализа

В группе химических методов силикатного анализа выполняется определение содержаний SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , H_2O^- , CO_2 , ППП (потери при прокаливании), F, S, Sr, Li, Rb в горных и осадочных породах, минералах, рудах, почвах. Применяемая в настоящее время схема силикатного анализа является сочетанием классических и физико-химических методов определения порообразующих оксидов с применением атомно-абсорбционного и спектрофотометрического анализа.

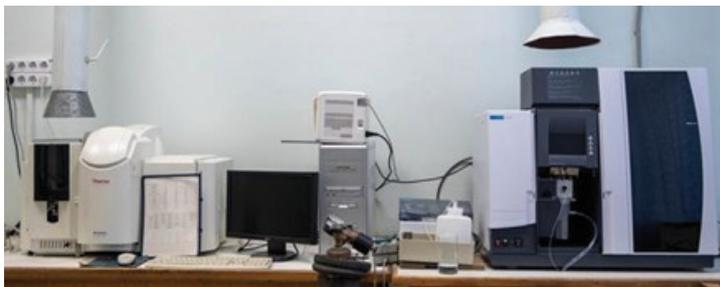
Оборудование

Атомно-абсорбционный спектрофотометр SOLAAR M6 (Thermo Elemental, INTERTECH Corporation, США)



Применяется для определения Fe_2O_3 общ, MnO , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , Li, Rb и Sr.

Спектрофотометрический комплекс Genesis 10S (Thermo Fisher Scientific, США)



Спектрофотометрический комплекс Genesis 10S дает возможность определять содержания SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , P_2O_5 .

Требования к подготовке проб

Перед передачей породы на силикатный анализ желателен предварительный просмотр шлифа под микроскопом и спектральный анализ. Такое исследование часто позволяет упростить анализ и, исходя из ориентировочного содержания компонентов, правильно подобрать метод анализа и величину навесок. Для выполнения обычного силикатного анализа требуется 3–5 г исследуемого вещества.

Атомно-абсорбционный спектрометр МГА-1000 с автосемплером



Атомно-абсорбционный спектрометр МГА-1000 с автосемплером и графитовой кюветой типа PE с пиропокрытием Schunk обеспече-

чивает возможность измерения содержаний различных химических элементов в водных растворах, пробах пищевых продуктов и продовольственного сырья, биопробах, почвах методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. В спектрометре МГА-1000 реализован метод высокочастотной Зеемановской модуляционной поляризационной спектрометрии для коррекции неселективного поглощения.

Спектрометр МГА-1000 применяется для определения концентраций Li, Be, Bi, Sr, Co, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Fe, Al, Ti, Se, Ba, As, Pb, Cd, Sb, а также благородных металлов, таких как Au, Ag, Pt, Pd.

Анализатор ртути РА-915М с приставкой ПИРО-915+



Принцип действия анализатора ртути РА-915М в комплекте с приставкой ПИРО-915+ основан на дифференциальном методе атомной абсорбции, реализованном при помощи зеемановской модуляционной поляризационной спектроскопии с высокочастотной модуляцией (ЗМПСВМ). Анализатор ртути в комплекте предназначен для измерений массовой концентрации паров ртути в атмосферном воздухе, воздухе жилых и производственных помещений в полевых и лабораторных условиях. Диапазон измерений массовой концентрации паров ртути в воздухе – от 20 до 20000 нг/м³. Пиролитическая приставка ПИРО-915+ предназначена для термической деструкции твердых и жидких проб сложного состава и перевода ртути из связанного в атомарное состояние с последующим определением количества ртути с помощью анализатора ртути РА-915М.

Изотопный анализ воды

Определяется изотопный состав кислорода ($\delta^{17}\text{O}$ и $\delta^{18}\text{O}$) и водорода (δD) в воде.

Измерения ^{17}O -excess в сочетании с высокоточными измерениями $\delta^{18}\text{O}$ и δD позволяют улучшить понимание современного климата и взаимодействия между гидросферой и биосферой и помочь реконструировать климат прошлого. Возможность количественной оценки чрезвычайно малых отклонений $\delta^{17}\text{O}$ (т.е. ^{17}O -excess), обычно менее 0.1 ‰ в природе, имеет важное значение для палеоклимата, экологии, гидрологии и исследований атмосферы.

Оборудование

Изотопный анализатор воды Picarro L2140-i (Picarro, США)



Работа анализатора Picarro L2140-i основана на методе WS-CRDS (Wavelength Scanned Cavity Ring-Down Spectroscopy – «Спектроскопия поглощения света в многопоточных неаксиальных кюветах при сканировании по длинам волн»). Этот тип спектроскопии основан на поглощении энергии ИК-лазера малыми молекулами при характеристичных длинах волн. Изотопный анализатор воды Picarro L2140-i позволяет одновременно измерять $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{17}\text{O}$ и δD в воде. Кроме того, анализатор определяет ^{17}O -excess до уровня менее 15 на меш (<0.015 ‰).

Требования к подготовке проб

Метод WS-CRDS требует минимальной подготовки. Достаточно отфильтровать пробы воды (не рассолы и не алкоголь) с помощью фильтров 0.45 мкм. Для анализа пробы помещают в стеклянные виалы на 2 мл и закрывают резиновыми крышками. Затем виалы помещают в автоматический пробоотборник (автосемплер), подключенный к Picarro L2140-i. Пробы вводятся с помощью шприца непосредственно в испарительный блок анализатора. Точность измерений зависит от количества измерений. Воспроизводимость измерений составляет 0.1 ‰ для $d^{18}\text{O}$ и $d^{17}\text{O}$ и 0.5–1.0 ‰ для $d\text{D}$.

Конфокальная спектроскопия комбинационного рассеяния света

Конфокальная спектроскопия комбинационного рассеяния света (Рамановская спектроскопия) – бесконтактный неразрушающий способ локального анализа молекулярного состава вещества (твёрдого, жидкого или газообразного).



Основой метода является регистрация неупругого рассеянного образца монохроматического света, создаваемого лазером, с последующей расшифровкой полученного спектра путем сравнения полученных частот колебаний с характеристическими, которые уникальны для каждого вещества и зависят от его молекулярного состава. Фокусировка лазерного луча на образец производится с использованием конфокального микроскопа в геометрии отраженного света, что обеспечивает высокое пространственное разрешение. В геологии метод в основном используется для идентификации минералов (включая полиморфные модификации) и изучения включений в минералах (твёрдых, газовой-жидких и расплавных).

Оборудование

Система для конфокальной спектроскопии комбинационного рассеяния света WITec Alpha 300R (WITec GmbH, Германия), включающая в себя:

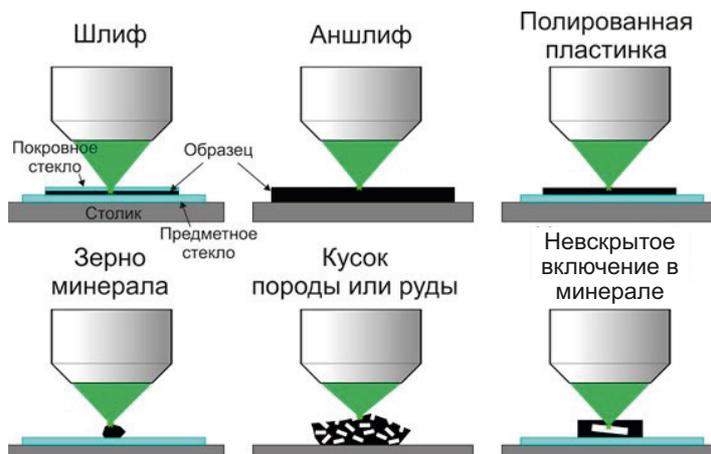
осветители отраженного и проходящего света для обзора образца;

цветную цифровую видеокамеру обзорного канала;
твердотельный лазер Nd:YAG с диодной накачкой с длиной волны 532 нм (мощность излучения 30 мВт);
программно-управляемый ослабитель лазерной мощности, позволяющий контролировать абсолютную мощность лазерного излучения с точностью 0.1 мВт;
четыре микрообъектива;
линзовый спектрометр UHTS300 с фокусным расстоянием 300 мм;
термоэлектрически охлаждаемый ПЗС-детектор 1650×200;
три дифракционные решетки (300, 600 и 1800 штрихов/мм).

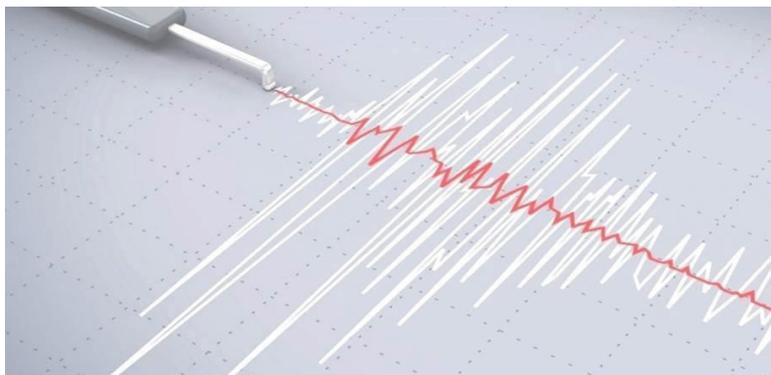
Требования к подготовке проб

Подходят стандартные препараты, используемые в геологии, такие как шлифы, аншлифы, тонкие полированные пластинки и шашки с зёрнами минералов и фрагментами пород и руд. В случае шлифов анализ можно проводить через покровное стекло. Также могут использоваться образцы без предварительной специализированной подготовки – зёрна отдельных минералов, тонкозернистые порошки и кусочки пород и руд. Размер образца: по длине и ширине до 10 см, по высоте менее 2 см. Анализ жидкостей можно выполнять в стеклянной или пластиковой емкости (например, в микропробирке с крышкой).

Типы препаратов для исследований



ГЕОФИЗИКА, СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ



Геофизическое оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН включает два комплекса:

– уникальную научную установку «Южно-Байкальский инструментальный комплекс для мониторинга опасных геодинамических процессов», работающую в стационарных условиях в непрерывном режиме на полигонах и пунктах комплексного мониторинга опасных геологических процессов;

– полевое оборудование, предназначенное для изучения внутреннего строения Земли комплексом методов, включая методы с использованием БПЛА.

УНУ «Южно-Байкальский инструментальный комплекс для мониторинга опасных геодинамических процессов» предназначен для мониторинга деформаций литосферы в пределах Байкальского геодинамического полигона на больших и малых базах, а также для мониторинга эманацій радона, сейсмического и микро-сейсмического режима, электромагнитного поля Земли.

Инструментальный комплекс «ЗЕМНАЯ КОРА»

Предназначен для измерения деформаций горных пород.



Оборудование

Инструментальный комплекс (ИК) «Земная кора» включает прибор сбора и передачи данных (А), аналого-цифровые преобразователи (Б) и датчики деформаций (В).

ИК функционирует с автономной системой питания в полевых условиях, передавая данные в режиме реального времени на базовый сервер в Институт земной коры СО РАН. На его основе создана сеть пунктов мониторинга деформаций горных пород (красные кружки на нижнем рисунке) в Южном Прибайкалье.

Параметры прибора сбора и передачи данных:

объем встроенной памяти – 4 МБ (≈ 300 тыс. показаний);

температура в диапазоне – 40...+65 °С;

дискретность часов – 125 мс;

скорость работы шины RS-485 – 500 кБод;

напряжение питания – от 9 до 30 В;

средний ток в режиме связи – 40 мА;

защита от переплюсовки – имеется;

период измерения напряжения питания – 1 мин;

точность часов ± 4.5 с/сут;

класс защиты от пыли и влаги – IP65;

габаритные размеры (длина, ширина, высота) – 0.11, 0.065, 0.04 м.

Датчик мониторинга объемной активности радона BARASOL

Мониторинговые исследования концентраций радона в атмосферном или почвенном воздухе направлены на выявление предвестниковых признаков готовящихся сейсмических событий, оценку радоноопасности регионов интенсивного природопользования.



Оборудование

Сенсор представляет имплантированный кремниевый детектор с обедненным слоем глубиной 100 мкм и зоной чувствительности площадью 400 мм². Детектор определяет объемную активность радона по энергетическому спектру атомов ²²²Rn и продуктов их радиоактивного распада, образовавшихся в чувствительном объеме детектора в диапазоне от 1.5 до 6.0 МэВ. Точность измерения: 50 Бк/м³ (на 1 имп/ч), в диапазоне от 0 до 1 ГБк/м³.

Технические характеристики:

- точность измерения температуры – 0.1 °С;
- точность измерения атмосферного давления – 1 ГПа;
- цикл измерения – от 1 до 240 мин;
- рабочая температура – от –20 до +70°С;
- габаритные размеры (высота/диаметр) – 489/62 мм.

Комплекс измерительный для мониторинга радона «КАМЕРА-01»

Измерения проводятся для оценки уровня эманаций, радоноопасности различных сред посредством:

измерения средней за 1–6 сут объемной активности (ОА) радона в воздухе помещений;

измерения объемной активности радона в пробах воздуха;

измерения средней за 1–10 ч плотности потока радона (ППР) с поверхности;

измерения объемной активности радона и радия в пробах воды;

измерения эманационной способности образцов материалов и горных пород.



Оборудование

Технические характеристики (диапазоны измерений):

1. Метод пассивной сорбции при измерении средней ОА радона:

средняя ОА радона в воздухе помещений: $20-10^5$ Бк/м³;

температура среды экспонирования СК-13: 12–30 °С;

относительная влажность воздуха (при температуре +30 °С): до 95 %;

продолжительность отбора пробы: 1–6 сут.

2. Метод активной сорбции при измерении ОА радона в пробах воздуха:

ОА радона в воздухе: $30-2 \cdot 10^5$ Бк/м³;

продолжительность отбора пробы воздуха: 1–60 мин;

температура окружающей среды при отборе пробы: 0–35 °С;
относительная влажность воздуха (при температуре +30 °С):
до 95 %.

3. Метод пассивной сорбции при измерении ППР:

ППР: 3–10⁵ мБк/(м²с);

температура среды экспонирования НК-32: –15...+40 °С;

относительная влажность воздуха (при температуре +30 °С):
до 95 %;

продолжительность отбора пробы: 1–10 ч.

4. Метод активной сорбции при измерении ОА радона и радия
в пробах воды:

ОА радона и радия: 0.3–1000 Бк/л;

температура окружающей среды при отборе пробы воды и
барботаже: 0–40 °С;

продолжительность отбора пробы (при барботаже): 7 мин.

Радиометр радона PPA-01M-03

Радиометр радона PPA-01M-03 предназначен для измерений объемной активности ^{222}Rn (радон) и ^{220}Rn (торон) в атмосферном и подпочвенном воздухе, а также в воде.

Мониторинговые и разовые измерения концентраций радона направлены на выявление предвестниковых признаков готовящихся сейсмических событий, оценку радоноопасности регионов интенсивного природопользования.



Оборудование

Активности ^{222}Rn и ^{220}Rn определяются альфа-спектрометрическим методом по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде RaA и ThA. В процессе измерений контролируются следующие параметры окружающей среды: температура, относительная влажность и давление.

Технические характеристики:

диапазон измерений объемной активности ^{222}Rn : $20\text{--}2 \cdot 10^4$ Бк/м³;

диапазон измерений объемной активности ^{220}Rn : $20\text{--}2 \cdot 10^4$ Бк/м³;

пределы допускаемой основной относительной погрешности в диапазоне $20\text{--}20000$ Бк/м³: не более $\pm 30\%$;

диапазоны измерения микроклиматических параметров (погрешность не более $\pm 5\%$):

температуры: $5\text{--}50$ °С,

давления: $700\text{--}820$ ммрт.ст.,

влажности: $30\text{--}90\%$;

продолжительность непрерывной работы от аккумуляторов: не менее 10 ч;

габаритные размеры (масса): $290 \times 200 \times 155$ мм (4 кг).

Широкополосная сейсмическая станция сейсмометр Trillium Compact Posthole 120 с (TC PH 120 с) с трехканальным цифровым регистратором (дигитайзером) Centaur (CTR4-3S)



Сейсмическая станция Trillium PostHole 120 с оснащена тремя датчиками: два горизонтальных датчика ориентированы на север-юг и запад-восток, третий датчик – вертикальный. Станция работает в непрерывном режиме, частота дискретизации – 100 отсчетов в секунду, рабочая полоса частот от 120 с до 108 Гц, позволяющая не только регистрировать локальные, региональные и удаленные землетрясения, но и фиксировать и анализировать вариации микросейсмического поля.

Акустический комплекс

Акустическая (инфразвуковая) станция работает в широком частотном диапазоне (20–20000 Гц), частично перекрывающемся с диапазоном сейсмической станции.

Микрофоны 4160N стандарта ICP (со встроенной электроникой) напрямую подключаются к анализаторам спектра ZET 017 и контроллерам ZET 032, ZET 034 и ZET 038.

Программное обеспечение ZETLAB, поставляемое с анализаторами спектра, позволяет не только измерять общий уровень шума, но и проводить спектральный анализ сигналов с равномерной или октавной (1/1, 1/3, 1/12, 1/24) разверткой по частоте, применять различные фильтры, снимать амплитудно-частотные характеристики, проводить корреляционный анализ сигналов и многое другое.



Совместно с программным обеспечением ZETLAB ANALIZ позволяют осуществлять:

анализ сигналов в реальном времени, а также анализ предварительно записанных сигналов;

октавный и 1/3-октавный анализ на основе параллельных цифровых фильтров;

узкополосный спектральный анализ;

измерение напряжения постоянного и переменного тока;

измерение частоты электрических сигналов;

генерацию синусоидальных сигналов и сигналов постоянного тока;

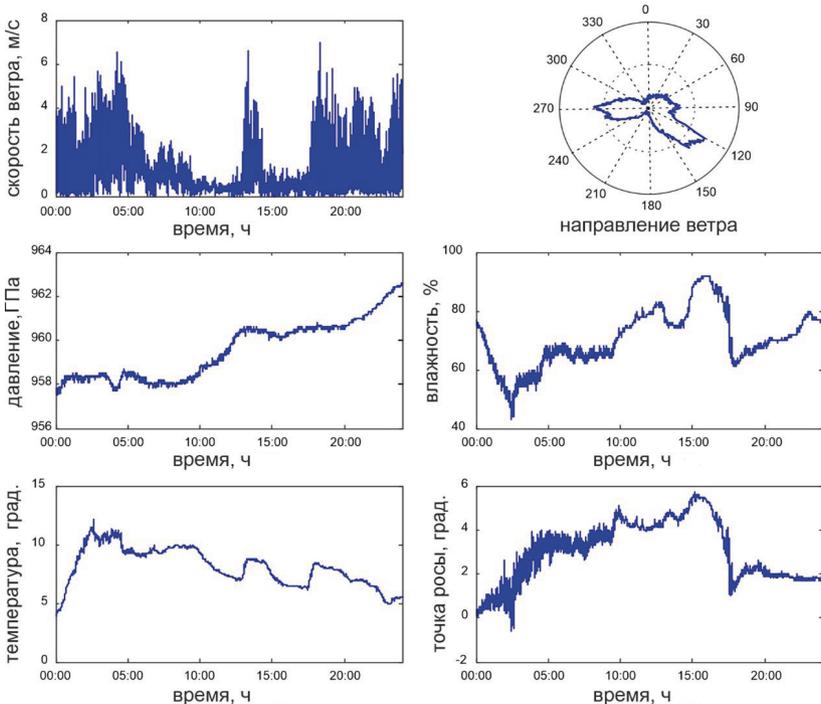
регистрацию сигналов (вводить в память оцифрованные значения сигнала с последующей записью на накопитель).

Метеостанция Gill MaxiMet 500



Метеостанция предназначена для измерения скорости и направления ветра, атмосферного давления, температуры и влажности воздуха.

Пример записей метеостанции за сутки 22 сентября 2021 г.



Комплекс для магнитотеллурических исследований SMT-32



Комплекс SMT32-5 Magnetotelluric digital measuring unit предназначен для проведения МТЗ и АМТЗ. Аппаратура позволяет проводить полевые измерения в различных климатических условиях, при температуре от -40 до $+60$ °С.

Пятиканальная измерительная станция SMT32-5 представляет собой компактный автономный модуль. Частота дискретизации выбирается опционально, согласно решаемым задачам, как в варианте АМТЗ, так и в классическом МТЗ. Прибор является 5-канальным и способен регистрировать как электрические (E_x , E_y), так и магнитные компоненты поля (H_x , H_y , H_z).

Помимо измерительного модуля, в комплект аппаратуры входит аккумулятор 12В, обеспечивающий питание станции, внешняя антенна GPS, предназначенная для определения точного времени (необходимо для синхронизации наблюдений) и координат, а также индукционные датчики для записи магнитных компонент и неполяризуемые электроды для записи электрических компонент МТ-поля. Все эти внешние устройства подключаются непосредственно к измерителю.

Цифровой регистратор МТ-поля SMT-32



Цифровой регистратор МТ-поля SMT-32 предназначен для измерения в автономном режиме магнитотеллурического поля с датчиков магнитного и электрического поля (магнитометров и электрических линий, входящих в комплект оборудования).

Область применения регистратора – выполнение регулярных площадных или профильных измерений методом МТЗ, а также работа в составе мониторингового оборудования для долговременного измерения естественного МТ-поля на специализированных оборудованных полигонах.

Шестиканальная станция магнитотеллурического зондирования SMT-32 имеет пылевлагозащищенный корпус, обеспечивающий оптимальный режим работы встроенных электронных компонентов и служащий для защиты от внешних воздействий окружающей среды.

Многоканальные мультичастотные GNSS-приемники Trimble R9s, Trimble R7, PrinCe P5U



GNSS-приемник – компактное радиоприемное устройство, предназначенное для точного определения географических координат объекта на основе полученных сигналов от глобальных спутниковых систем. Используется для выполнения широкого спектра геодезических работ в сложных полевых условиях, а также в качестве базовой станции при постоянных измерениях на геодинамических полигонах.

Многоканальные мультичастотные GNSS-приемники Trimble R9s и Trimble R7 (производство США) (а, б) используются как базовые и полевые станции с прецизионными GNSS-антеннами Trimble GNSS Ti-V2 Choke Ring и Trimble Zephyr Geodetic 2.

Многоканальные мультичастотные GNSS приемники PrinCe P5U (производство Россия-Китай) (в), оснащенные антеннами GNSS HX-CGX611A Choke Ring, используются как базовые станции на геодинамических полигонах.

Приемники Trimble R9s и PrinCe P5U отслеживают все сигналы ГНСС: ГЛОНАСС, BeiDou, NAVSTAR GPS, Galileo. Приемники Trimble R7 отслеживают сигналы ГЛОНАСС и NAVSTAR GPS.

Все необходимые настройки, обновление данных, установка различных уровней безопасности и контроль доступа к приемнику выполняются как напрямую, так и дистанционно.

Тахеометр TRIMBLE TS635



Прибор предназначен для проведения геодезических работ, связанных с отражательными и безотражательными измерениями. Для мониторинга используется в режиме повторных измерений.

Тахеометр Trimble TS635 имеет угловую точность 5", точность линейных измерений ± 3 мм, $+2$ мм/км. Измерение даже больших расстояний проводится быстро, как при измерении на отражатель, так и при работе в безотражательном режиме. Дальность измерений – на отражатель до 5000 м, без отражателя – до 400 м. Двухосевой компенсатор, зрительная труба с просветленной качественной оптикой и увеличением 30х, а также системы абсолютного считывания углов гарантируют высокую достоверность и надежность измерений.

Панель управления данного типа тахеометров имеет расширенную буквенно-цифровую клавиатуру с функциональными и горячими клавишами, обеспечивающими быстрый доступ к основным функциям прибора и позволяющими менять настройки непосредственно в процессе работы.

Время работы прибора составляет около 16 ч (при измерении углов и расстояний каждые 30 с), а диапазон рабочих температур варьируется от -20 до $+50$ °С.

Сейсморазведочная станция ЭЛЛИСС-3

Сейсморазведочная система ЭЛЛИСС-3 (сейсмостанция) представляет собой единый аппаратно-программный комплекс, состоящий из информационно-измерительного и информационно-вычислительного блоков. ЭЛЛИСС-3 предназначена для проведения малоглубинных сейсморазведочных исследований с различными источниками возбуждения сейсмических волн: импульсными, взрывными, «падающим грузом», кувалдой.



Основная область применения – проведение инженерных исследований с целью изучения строения Земли до глубин 1.5 км в зависимости от применяемого источника возбуждения сейсмических колебаний.

Сейсмостанция осуществляет усиление, измерение, накопление, цифровую регистрацию сейсмических сигналов, а также визуализацию зарегистрированных данных на экране дисплея управляющего персонального компьютера или на бумажном носителе. Программное обеспечение сейсмостанции позволяет записывать зарегистрированные данные на жесткий диск с поддержкой определенной системы именования файлов, записи информации о геометрии расположения профиля, производить обработку зарегистрированного сейсмического сигнала, а также просматривать его в различных режимах.

Многоэлектродная электроразведочная станция «СКАЛА»



Электроразведочная станция
СКАЛА 48



Электроразведочная станция
СКАЛА 48K12

Использование тектонофизического подхода при интерпретации данных электротомографии позволяет картировать разломные зоны земной коры, изучать их внутреннее строение.

Оборудование

Многоэлектродная станция «СКАЛА 48» предназначена для выполнения электроразведочных работ методом сопротивлений и вызванной поляризации с применением методик электрического профилирования (ЭП), вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и электрической томографии (ЭТ).

Параметры:

шаг между электродами: от 0.5 до 10.0 м;

глубина исследований: от 4.5 до 90.2 м в зависимости от шага между электродами.

Максимальное расстояние между электродами позволяет получить максимальную глубину исследования разреза.

Станция СКАЛА 48K12 предназначена для выполнения наземных, в том числе профильных, площадных, скважинных, электроразведочных, работ методами сопротивлений и вызванной поляризации в модификациях электрической томографии и вертикального электрического зондирования.

Телеметрическая электроразведочная станция FastSnap



Цифровая телеметрическая электроразведочная станция FastSnap предназначена для регистрации электромагнитных сигналов (переходных процессов) при проведении работ различными электроразведочными методами. Основным методом является зондирование становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). Станция оснащается набором программного обеспечения, позволяющим выполнять полный цикл работ методом ЗСБ: базой данных для хранения и управления данными зондирований, проектирования сети наблюдений, работы с картографией и GPS, регистрации сигналов становления, углубленной обработки данных, визуализации и инверсии (опционально).

Станция FastSnap является компьютеризированной и не может быть использована автономно (за исключением некоторых отдельных блоков, например коммутатора тока (на фото справа)).

Применение станции FastSnap: в различных областях геоисследований, таких как гидрогеологические, инженерно-геологические, рудные и др. Помимо решения производственных задач, станция находит применение и в научно-исследовательских приложениях.

Гексакоптер Aerodyne uDrone «Пегас»



Универсальный беспилотный комплекс модульного типа uDrone «Пегас» с полностью электрической силовой установкой на базе аккумуляторных батарей, для полетов с полезной нагрузкой массой до 7 кг. Полетная схема «гексакоптер» позволяет получить более высокую надежность относительно схемы «квадрокоптер». В отличие от 4-винтомоторных групп (ВМГ) по схеме «квадрокоптер», в схеме с шестью винтомоторными группами БВС может продолжить полет или выполнить безопасную посадку при отказе одной или двух непоследовательных ВМГ.

Модульная конфигурация промышленной платформы uDrone «Пегас» подразумевает возможность установки 2, 4 или 6 навесных аккумуляторных батарей (в попарном симметричном размещении относительно центра) и использование различных винтомоторных групп для обеспечения времени полета до 60–40 мин при нагрузках от 3 до 7 кг.

В конструкции uDrone «Пегас» применены высококачественные композиционные материалы, обеспечивающие высокую прочность и жесткость конструкции. Применяемые литий-полимерные аккумуляторные батареи основаны на новой технологии катода NMC (Ni-Mn-Co, никель-марганец-кобальт), которая позволяет значительно повысить плотность энергии и увеличить количество циклов. В комплекте с uDrone «Пегас» поставляется hi-end наземная станция управления, интегрированная с радиоканалом управления и видеоканалом. Станция выполнена на основе высокопроизводительного промышленного планшетного компьютера на базе Windows 10 или Linux и включает два ярких touch-screen экрана.

Универсальный оверхаузеровский магнитометр-градиентометр MaxiMag

Универсальный оверхаузеровский магнитометр-градиентометр MaxiMag предназначен для высокоточного измерения модуля полного вектора геомагнитного поля и его градиента.



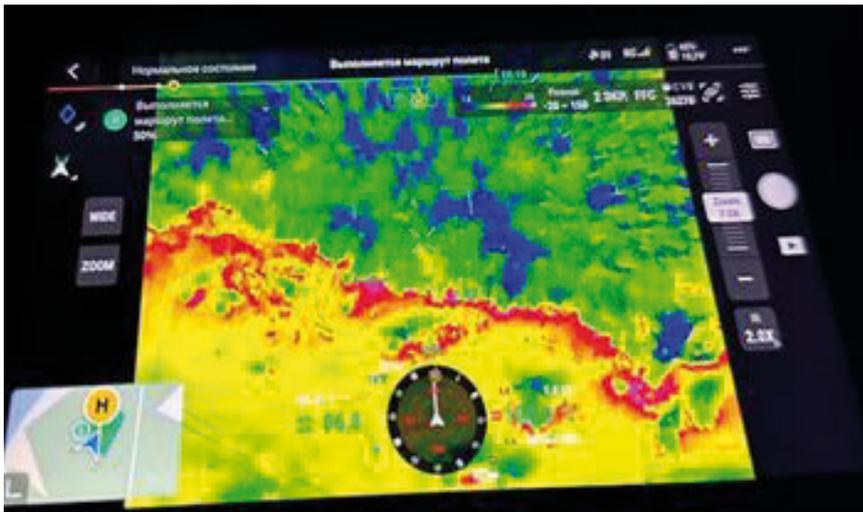
Используемый в конструкции магнитометра датчик, принцип работы которого базируется на использовании эффекта Оверхаузера, не требует технического обслуживания и стабильно работает не менее 10 лет без ухудшения технических характеристик. MaxiMag может использоваться в качестве полевого пешеходного магнитометра, двухдатчикового или многодатчикового градиентометра, автономной или удаленной магнитовариационной станции (МВС) и обсерваторского магнитометра. Пульт MaxiMag полностью совместим с цифровыми оверхаузеровскими магнитометрами SmartMag и распознает их в качестве стандартных датчиков. Координатная привязка пунктов наблюдений и временная синхронизация полевого магнитометра и МВС обеспечивается встроенным в пульт или подключаемым внешним спутниковым ГНСС приемником.

Квадрокоптер DJI Mavic 3 Thermal

DJI Mavic 3 Thermal – компактный, портативный промышленный квадрокоптер, оснащенный широкоугольной камерой с 1/2-дюймовой CMOS-матрицей в 48 Мп, зумом и тепловизионной камерой 640×512 px.



Пример съемки тепловизором



Квадрокоптер AUTEL ROBOTICS LITE + PREMIUM BUNDLE



Может использоваться для мониторинга в режиме повторных измерений.

Квадрокоптер способен подниматься на высоту 5 км и летать со скоростью 64 км/ч. Он снабжен 20-мегапиксельной камерой и 1-дюймовым CMOS-сенсором, оснащен интеллектуальным алгоритмом «лунный свет» для получения высококачественных фото и видео в условиях низкой освещенности, может записывать видео с разрешением 6K/30fps и 4K/60fps. Регулируемая диафрагма от $f/2.8$ до $f/11$ гарантирует получение отличных снимков в любых условиях. Полного заряда АКБ хватит на 40 мин работы. Управлять прибором можно с помощью ПДУ (до 12 км) или смартфона, который легко фиксируется на пульте.

Средний по размерам дрон Autel Robotics Lite Plus Premium bundle оснащен удобными функциями автовзлета и посадки, удержания позиции по GPS и полета по ранее заданной траектории.

Система поддерживает ГЛОНАСС и Galileo, приложение Autel Sky для удобного управления настройками со смартфона.

Сейсморазведочный источник Пика-МПУ



Сейсморазведочный источник «Пика-МПУ» предназначен для эффективного возбуждения упругих волн в исследуемой среде при производстве инженерно-геофизических изысканий в заболоченной местности, транзитных зонах и акваториях. Генерация импульса мощностью до 2.7 кДж производится за счет мгновенного создания области высокого давления. Источники семейства ПИКА изготавливаются из высокопрочного и легкого титанового сплава, имеют эргономичную конструкцию, отличаются экстремальной надежностью, неприхотливостью и малым весом.

Сейсмические станции «Байкал»



«Байкал-A2» (4-канальный).



«Байкал-8L» (6-канальный).

Мобильные малогабаритные сейсмические станции с автономным питанием для записи сигналов от внешних сейсмических или иных датчиков в широком диапазоне частот (0–360 Гц для Байкал-A3, 0–1680 Гц для Байкал-8L) с высокой точностью и привязкой к абсолютному времени. Эти сейсмические станции могут применяться при проведении как оперативных, так и длительных сейсмических и геофизических измерений в реальных полевых условиях в широком диапазоне температур (от -30 до $+60$ °C). Сверхмалая потребляемая мощность, большая емкость энерго-независимой памяти, встроенные высокостабильный генератор и модуль GPS в совокупности с высококачественным аналого-цифровым трактом обеспечивают превосходные эксплуатационные характеристики при решении широкого класса научных задач.

GPS-приемник PrinCe P5U



Современный спутниковый GPS-приемник PrinCe P5U с раздельной компоновкой обладает улучшенными техническими характеристиками по сравнению с предыдущим поколением приемников PrinCe. GPS-приемник возможно использовать в качестве полевой базовой станции или одиночной постоянно-действующей станции, а также при создании новых или расширении существующих сетей дифференциальных геодезических станций, в системах мониторинга деформаций, высокоточной навигации в сельском хозяйстве или дорожном строительстве в составе контрольно-корректирующих станций (ККС). Спутниковый GPS-приемник PrinCe P5U обладает всем необходимым функционалом для приема и обработки сигналов всех спутниковых группировок: ГЛОНАСС, BeiDou, NAVSTAR GPS, Galileo.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

Главные направления работ по профилю «Гидрогеология, инженерная геология и геоэкология»:

- количественная оценка процессов, происходящих в основополагающей для земной коры системе «вода – порода – газ – органическое вещество»;
- изучение инженерно-геологических, геодинамических, геоэкологических особенностей геологической среды в различных природных и природно-технических геосистемах;
- изучение экзогенных геологических процессов и их техногенных аналогов;
- прогноз изменения геологической среды под влиянием деятельности человека и оценка риска проявления опасных экзогенных геологических процессов;
- оценка устойчивости геологической среды природных и природно-технических геосистем.

Гранулометрический анализ

Гранулометрический состав является одним из важнейших факторов, определяющих физические свойства грунта. В последнее время для определения размера частиц вещества получил наибольшее развитие и распространение метод лазерной дифракции. Это универсальный и эффективный метод, применимый к широкому кругу объектов в самых различных областях исследования.

Оборудование

Лазерный анализатор размеров частиц ANALYSETTE 22 NanoTec (Fritsch, Германия)



Лазерный анализатор – компактный универсальный прибор для измерения и распределения частиц по размеру в рыхлых грунтах, отложениях, порошках, суспензиях и пастах в диапазоне 0.08–2000 мкм, а также контроля производства и качества различных образцов. Все измерения проводятся с высокой точностью и минимальным временем для одной пробы. Основой комплекта прибора служат два блока. Первый – диспергационный блок для за-

грузки образцов и их гомогенизации в жидкой среде с дальнейшей подачей в измерительный блок. Второй – измерительный блок, в котором один полупроводниковый лазер с излучением зеленого цвета (532 нм) используется для измерения частиц малого размера (0.08–43 мкм), а другой – инфракрасный полупроводниковый лазер (850 нм) – измерения более крупных частиц (15–2000 мкм).

Требования к подготовке проб

Для измерения размера частиц требуется навеска в зависимости от крупности фракции:

- для образцов песка – 20–30 г,
- для суглинков и глин – 2–5 г.

Обработка результатов анализа выполняется при помощи программного обеспечения MaScontrol, которое преобразует полученные результаты и отображает их в виде кумулятивной кривой и столбчатой диаграммы распределения. Анализ одного образца занимает не более 10–15 минут.

Определение характеристик прочности и деформируемости грунтов

Для определения прочностных и деформационных характеристик дисперсных и мерзлых грунтов используется универсальный автоматизированный испытательный комплекс АСИС, разработанный ООО НПП «Геотек», представляющий собой систему из нескольких установок, компонованных по модульному принципу. Данное оборудование в автоматизированном режиме обеспечивает определение характеристик прочности и деформируемости дисперсных и мерзлых грунтов при различном силовом воздействии. В комплекс АСИС входит прибор одноплоскостного среза для испытания мерзлых грунтов ГТ 1.2.14, камера трехосного сжатия (термостатированная) ГТ 2.3.23, устройство для определения степени морозного пучения грунта ГТ 1.1.8 и камера холодильная КХН-6.61. Для управления процессом лабораторных испытаний грунтов используется многофункциональное программное обеспечение Geotek Studio.

Прибор одноплоскостного среза для испытания мерзлых грунтов ГТ 1.2.14



Предназначен для проведения испытаний над образцами как мерзлых, так и дисперсных грунтов методом одноплоскостного среза с целью исследования прочностных характеристик в соответствии с ГОСТ 12248.8-2020. В рамках испытаний прибор позволяет определять такие характеристики прочности грунтов, как угол внутреннего трения (φ) и удельное сцепление (C). Рекомендуемые размеры образца для испытания 71.4×35.0 мм (диаметр×высота).

Камера трехосного сжатия (термостатированная) ГТ 2.3.23



Данное устройство применяется для испытаний мерзлых и дисперсных грунтов в условиях осесимметричного трехосного сжатия при приложенной вертикальной нагрузке до 100 кН и при заданном всестороннем давлении согласно ГОСТ 12248-2020. Оно позволяет не только исследовать количественное влияние всех главных напряжений на характер зависимости «напряжение – деформация» и на прочность грунта, но и определять качественную сторону процесса деформации.

В качестве результатов испытаний выступают такие параметры, как предел кратковременной и длительной прочности при трехосном сжатии, параметры моделей прочности, модуль упругости, модуль деформации, модуль сдвига, коэффициенты Пуассона и поперечных деформаций. Несмотря на достаточно большие габаритные размеры прибора, необходимый размер образца для проведения испытаний составляет всего 71.4×142.0 или 100×200 мм (диаметр×высота).

Устройство для определения степени морозного пучения грунта ГТ 1.1.8



Прибор предназначен для создания, поддержания и контроля заданных условий промораживания дисперсных грунтов с целью определения степени пучинистости в соответствии с ГОСТ 28622-2012. В рамках испытаний определяется относительная деформация морозного пучения грунта. Благодаря своей компактности прибор занимает немного места в холодильной камере, а конструкция устройства позволяет проводить испытания одновременно на трех образцах. Поддерживаемые размеры образца – 100×150 мм (диаметр×высота).

Камера холодильная КХН-6.61

Позволяет поддерживать отрицательную температуру с целью сохранения изначального состояния мерзлых грунтов, их подготовки к лабораторным исследованиям, а также проведения испытаний на комплексе АСИС. Внутренний объем, равный 6.61 м³, и размеры 1960×1960×2200 мм дают возможность устанавливать лабораторные столы и приборы для определения деформационно-прочностных свойств внутри камеры.

Для охлаждения внутреннего объема камеры используется съемная моноблочная холодильная машина.

Камера может поддерживать температурные условия в диапазоне от –18 до +10 °С.



Требования к подготовке проб

На анализ принимаются пробы, подготовленные в соответствии с ГОСТ 12071-2000 для мерзлых грунтов. Размер образца для одного испытания не менее 71.4×142 или 100×200 мм (диаметр×высота).

Квадрокоптер DJI PHANTOM 4 RTK (Real-Time Kinematic)



Может использоваться для мониторинга изменений природных и природно-технологических систем в режиме повторных измерений.

Phantom 4 RTK предоставляет профессиональным геодезистам, картографам и геофизикам мощный инструмент для сбора высокоточных данных о местоположении и создания точных карт и моделей местности.

Характеристики и особенности Phantom 4 RTK

Точность позиционирования: Phantom 4 RTK оснащен двойным GNSS-приемником (GPS и ГЛОНАСС) и поддерживает систему RTK для достижения высокой точности позиционирования до сантиметрового уровня.

Мобильная станция DJI D-RTK 2 High Precision GNSS.

Поддерживает GLONASS, GPS, Beidou, Galileo. При потере связи с одной из систем устройство начнет «ловить» сигнал другой. Позиционирование достигает точности до 1 см.

Камера с высоким разрешением: Phantom 4 RTK оснащен 20-мегапиксельной камерой с 1-дюймовым датчиком, способной записывать видео в 2K разрешении. Камера также имеет механи-

ческую затворную шторку, что позволяет получать более четкие изображения.

Полетное время и дальность: Phantom 4 RTK имеет полетное время до 30 мин и может летать на расстояние до 7 км благодаря передовой системе передачи видеосигнала Lightbridge.

Phantom 4 RTK оснащен передовой системой избегания препятствий, включая датчики спереди, сзади и по бокам. Это позволяет уменьшить риск столкновения с объектами во время полета.

Поддержка мобильных приложений: Phantom 4 RTK может быть управляем с помощью мобильного приложения DJI GS RTK, которое предоставляет возможности планирования полета, обработки данных и создания точных карт.

Интеграция с геодезическими инструментами: Phantom 4 RTK имеет возможность интеграции с геодезическими инструментами для более точного позиционирования и создания точных геодезических данных.

Мониторинг температурного режима воды и грунтов

Логгер цифровых датчиков ЛЦД-1/100-РМ



Используется при геотехническом мониторинге температуры грунтов в труднодоступных территориях северных районов России, обеспечивает считывание и сохранение результатов измерения температуры с термокос в энергонезависимую память.

Передача данных на ПК производится посредством радиоканала. Функционирование осуществляется от встроенного элемента питания с возможностью долговременной эксплуатации при температуре от -40 до $+40$ °С и относительной влажности воздуха 85 % (при 35 °С).

Логгеры данного типа имеют встроенную систему диагностики неисправностей электроники, термокосы, карты памяти и элемента питания, которая позволяет убедиться в нормальном функционировании прибора перед установкой на объекте. Замена термокосы, карты памяти или элемента питания, а также подключение антенны могут осуществляться на месте установки логгера без использования каких-либо инструментов.

HOBO 2X External Temperature Data Logger (HOBO PRO V2)



Логгер с двумя датчиками температуры воды и грунта предназначен для мониторинга и может быть использован при температуре от -40 до $+100$ °С, с погружением наконечника и кабеля в пресную воду до 50 °С на промежуток времени, равный одному году.

Логгер обладает достаточно высокой точностью (± 0.21 °С при температуре от 0 до 50 °С), а два кабеля длиной 184 см и датчик диаметром 0.5 см позволяют использовать прибор в труднодоступных местах.

Достаточно прочный корпус логгера HOBO Pro v2 рассчитан на многолетнее надежное использование. Его памяти достаточно для записи более $42\,000$ 12-битных измерений. Совместимость с USB обеспечивает простую настройку и быструю загрузку.

HOBO U12 Outdoor/Industrial Logger (U12-008)



Предназначен для мониторинга температурного режима.

HOBO U12 наружный/промышленный регистратор данных с четырьмя внешними каналами. Данный логгер имеет 12-битное разрешение и может регистрировать до 43000 измерений. К четырем внешним каналам можно подключать датчики Onset и датчики прочих производителей с выходом 0–2.5 В, включая датчики температуры, переменного тока, давления, скорости воздуха.

Устройство является устойчивым к атмосферным воздействиям; рабочий температурный диапазон варьируется от –20 до +70 °С.

Срок службы батареи составляет 1 год. Габаритные размеры: 140×137×32 мм.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Главные направления работ по профилю «Комплексное использование минерального сырья»:

- поиски, оценка и разведка месторождений рудного и россыпного золота, опытно-промышленные эксплуатационные работы на месторождениях и техногенных образованиях по извлечению редких, цветных и благородных металлов, других компонентов;
- прогнозно-металлогенические исследования;
- определение минерального состава руд, песков россыпных месторождений и техногенного минерального сырья;
- минералогическая оценка технологических свойств минерального сырья: определение содержания, формы нахождения и распределения ценного компонента по классам крупности, анализ сростков рудных минералов, изучение контрастности физических свойств минералов;
- минералогическое исследование продуктов обогащения песков и руд;
- минералогическое сопровождение геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые: определение минерального состава шлихов, протолочек и дробленых руд, определение формы нахождения и содержания ценного компонента, изучение его гранулометрических и морфологических характеристик;
- изучение особенностей вещественного состава, определяющих технологические свойства и обогатимость конкретного вида минерального сырья.

Дробилка ДГЩ 100×60

Щековая дробилка ДГЩ 100×60 используется для дробления материалов до крупности не более 1 мм.



Дробилка ДЩ 80×150

Дробилка ДЩ 80×150 применяется для дробления пород до крупности не более 4 мм.



Мельница МШЦ-0510

Шаровая мельница МШЦ-0510 используется для циклов измельчения малой производительности.



Мельница МШЛ-22К

Лабораторная шаровая мельница МШЛ-22К применяется для измельчения небольших объемов горных пород.



Грохот инерционный ГИ 06

Грохот ГИ 06 используется для механического просеивания и классификации горных пород.



Отсадочная машина МОД-0.2СК

Отсадочная машина со съемными камерами МОД-0.2СК предназначена для работы с неагрессивными средами при отсадке горных пород крупностью до 8 мм.



Винтовые сепараторы

Винтовые сепараторы применяются для обогащения большинства твердых полезных ископаемых. В отделе КИМС имеются винтовые сепараторы разных типов и производительности.



СВМ-500.



СВШ-500.

Сепаратор магнитный ЭРГА МБС-П 250×160

Лабораторный барабанный магнитный сепаратор ЭРГА МБС-П 250×160 используется для мокрого обогащения рудных и нерудных материалов.



Центробежный концентратор Knelson Concentrators KC-MD3

Центробежный концентратор Knelson Concentrators KC-MD3 применяется для извлечения золота, меди, олова, вольфрама путем деления пород по плотности.



Концентрационные столы

Данное оборудование предназначено для обогащения твердых полезных ископаемых путем разделения в зависимости от их плотности. В отделе КИМС имеются концентрационные столы: концентрационные столы СКО-1, концентрационный стол АКЦ-30.



Концентрационные столы СКО-1.



Концентрационный стол АКЦ-30.

Флотационная машина

Лабораторная флотационная машина (ФМЛ-3) предназначена для проведения исследований обогатимости различных руд методом пенной флотации.



Истиратель проб вибрационный чашевый ИВЧ-3

Истиратель ИВЧ-3 предназначен для тонкого измельчения проб хрупких материалов различной твердости и прочности в периодическом режиме.

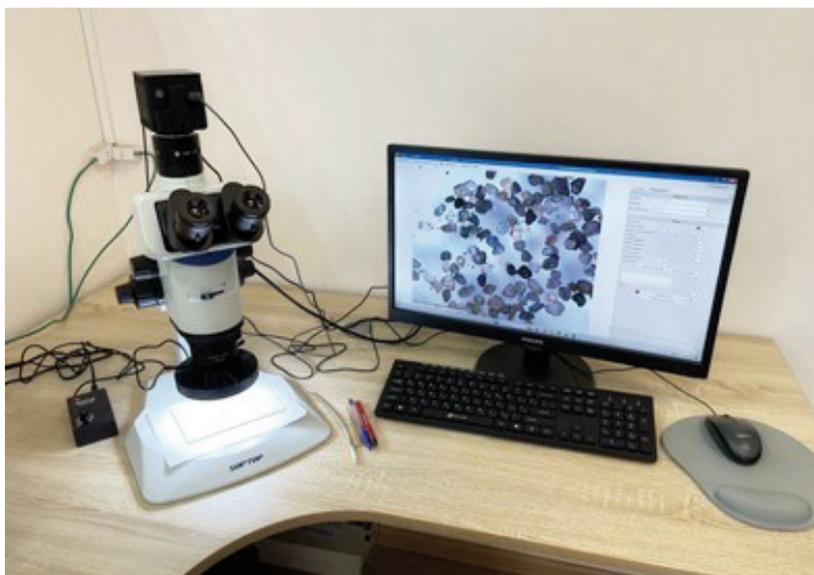


Анализатор металлов и сплавов Olympus Vanta C

Используется для оперативного определения химического состава проб.



Программно-аппаратный комплекс «Анализатор структуры бинокулярный Siams Macro»



Комплекс используется для проведения оптико-минералогического анализа шлиховых и дробленых проб.

Анализатор фрагментов микроструктуры твердых тел «Минерал С7»



Анализатор предназначен для автоматизированного оптико-минералогического исследования минерального сырья и позволяет производить автоматические количественные измерения минерального состава, гранулометрического состава, степени раскрытия минералов.

Контакты

По вопросам использования аппаратуры ЦКП «Геодинамика и геохронология», проведения анализов или выполнения научно-исследовательских работ можно обращаться:

ЦКП «Геодинамика и геохронология»: заместитель директора института по научной работе, заведующий ЦКП, доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН Иванов Алексей Викторович, e-mail: aivanov@crust.irk.ru.

УНУ «Южно-Байкальский инструментальный комплекс для мониторинга опасных геодинамических процессов»: руководитель УНУ, доктор геолого-минералогических наук Семинский Константин Жанович, e-mail: seminsky@crust.irk.ru.

Геофизическое оборудование, проведение работ по детальному сейсмическому районированию: заместитель директора института по научной работе, кандидат геолого-минералогических наук Саньков Владимир Анатольевич, e-mail: sankov@crust.irk.ru.

Геофизическое оборудование, проведение геофизических работ: заведующий лабораторией комплексной геофизики, кандидат геолого-минералогических наук Буддо Игорь Владимирович, e-mail: biv@crust.irk.ru.

Гидрогеология и мерзлотоведение: заведующий лабораторией гидрогеологии, доктор геолого-минералогических наук Алексеев Сергей Владимирович, e-mail: salex@crust.irk.ru.

Инженерная геология и геоэкология: заведующий лабораторией инженерной геологии и геоэкологии, кандидат геолого-минералогических наук Рыбченко Артем Александрович, e-mail: rybchenk@crust.irk.ru.

Комплексное использование минерального сырья: начальник отдела комплексного использования минерального сырья, кандидат технических наук Прокопьев Сергей Амперович, e-mail: psa@spirit-irk.ru.



INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2023/09



System / Epoch	Series / Epoch	Stage / Age	International age (Ma)	GSSP	System / Epoch	Series / Epoch	Stage / Age	International age (Ma)	GSSP	System / Epoch	Series / Epoch	Stage / Age	International age (Ma)	GSSP																									
Cenozoic	Quaternary	Holocene	0.0117		Cenozoic	Quaternary	Holocene	0.0117		Cenozoic	Quaternary	Holocene	0.0117																										
		Pleistocene	0.774				Cenozoic	Quaternary	Pleistocene			0.774		Cenozoic	Quaternary	Pleistocene	0.774																						
Mesozoic	Cretaceous	Palaeocene	66.0		Mesozoic	Cretaceous			Palaeocene	66.0		Mesozoic	Cretaceous			Palaeocene	66.0																						
		Eocene	33.9				Mesozoic	Cretaceous	Eocene	33.9				Mesozoic	Cretaceous	Eocene	33.9																						
		Oligocene	23.03						Mesozoic	Cretaceous	Oligocene					23.03		Mesozoic	Cretaceous	Oligocene	23.03																		
		Paleogene	Rupelian	17.62												Paleogene	Paleogene			Rupelian	17.62		Paleogene	Paleogene	Rupelian	17.62													
			Prabonian	16.69																Paleogene	Paleogene	Prabonian			16.69		Paleogene	Paleogene	Prabonian	16.69									
		Paleogene	Bartonian	37.71												Paleogene	Paleogene					Bartonian	37.71		Paleogene	Paleogene			Bartonian	37.71									
			Lutetian	47.8																Paleogene	Paleogene	Lutetian	47.8				Paleogene	Paleogene	Lutetian	47.8									
		Paleogene	Ypresian	56.0												Paleogene	Paleogene					Ypresian	56.0		Paleogene	Paleogene			Ypresian	56.0									
			Thapsalian	59.2																Paleogene	Paleogene	Thapsalian	59.2				Paleogene	Paleogene	Thapsalian	59.2									
		Paleogene	Selandian	61.6												Paleogene	Paleogene					Selandian	61.6		Paleogene	Paleogene			Selandian	61.6									
Danian	68.0			Paleogene	Paleogene	Danian					68.0		Paleogene							Paleogene	Danian	68.0																	
Mesozoic	Cretaceous	Maestrichtian	72.1 ± 0.2				Mesozoic	Cretaceous			Maestrichtian	72.1 ± 0.2			Mesozoic	Cretaceous	Maestrichtian				72.1 ± 0.2																		
		Campanian	83.6 ± 0.2		Mesozoic	Cretaceous			Campanian	83.6 ± 0.2		Mesozoic	Cretaceous	Campanian			83.6 ± 0.2																						
		Santonian	86.3 ± 0.3						Mesozoic	Cretaceous	Santonian			86.3 ± 0.3				Mesozoic	Cretaceous	Santonian	86.3 ± 0.3																		
		Coniacian	89.8 ± 0.3								Mesozoic			Cretaceous			Coniacian			89.8 ± 0.3		Mesozoic	Cretaceous	Coniacian	89.8 ± 0.3														
		Turonian	93.9														Mesozoic			Cretaceous	Turonian			93.9		Mesozoic	Cretaceous	Turonian	93.9										
		Senonian	100.5																		Mesozoic			Cretaceous	Senonian			100.5		Mesozoic	Cretaceous	Senonian	100.5						
		Upper	Alban	~113.0																								Upper	Upper			Alban	~113.0		Upper	Upper	Alban	~113.0	
			Aptan	~121.4																												Upper	Upper	Aptan			~121.4		Upper
		Lower	Barremian	125.77																								Lower	Lower					Barremian	125.77		Lower	Lower	
			Hauterivian	~132.6																												Lower	Lower	Hauterivian	~132.6				Lower
Lower	Valanginian	~139.8		Lower			Lower	Valanginian							~139.8										Lower			Lower	Valanginian					~139.8					
	Berriasian	~145.0			Lower	Lower		Berriasian				~145.0			Lower	Lower													Berriasian			~145.0							
Phanerozoic	Paleozoic	Mississippian	346.7 ± 0.4				Phanerozoic	Paleozoic	Mississippian	346.7 ± 0.4			Phanerozoic					Paleozoic	Mississippian						346.7 ± 0.4														
		Carboniferous	330.9 ± 0.2		Phanerozoic	Paleozoic			Carboniferous	330.9 ± 0.2		Phanerozoic		Paleozoic	Carboniferous	330.9 ± 0.2																							
		Paleozoic	Permian	323.4 ± 0.4						Paleozoic	Paleozoic				Permian	323.4 ± 0.4			Paleozoic	Paleozoic		Permian	323.4 ± 0.4																
			Carboniferous	315.2 ± 0.2											Paleozoic	Paleozoic	Carboniferous				315.2 ± 0.2		Paleozoic	Paleozoic	Carboniferous	315.2 ± 0.2													
		Paleozoic	Triassic	252.2						Paleozoic	Paleozoic						Triassic		252.2		Paleozoic	Paleozoic			Triassic	252.2													
			Triassic	247.2											Paleozoic	Paleozoic	Triassic		247.2				Paleozoic	Paleozoic	Triassic	247.2													
		Mesozoic	Lower	235.2 ± 0.24						Mesozoic	Mesozoic						Lower		235.2 ± 0.24		Mesozoic	Mesozoic			Lower	235.2 ± 0.24													
			Upper	227											Mesozoic	Mesozoic	Upper		227				Mesozoic	Mesozoic	Upper	227													
		Mesozoic	Jurassic	Notian					~208.5		Mesozoic						Jurassic		Notian	~208.5		Mesozoic			Jurassic	Notian	~208.5												
				Camian					~237						Mesozoic	Jurassic			Camian	~237			Mesozoic	Jurassic		Camian	~237												
Mesozoic	Jurassic	Ladinian	~242				Mesozoic	Jurassic	Ladinian	~242			Mesozoic				Jurassic	Ladinian	~242																				
		Anisien	247.2		Mesozoic	Jurassic			Anisien	247.2		Mesozoic		Jurassic	Anisien	247.2																							
Mesozoic	Jurassic	Changhsingian	251.2				Mesozoic	Jurassic	Changhsingian	251.2			Mesozoic		Jurassic	Changhsingian	251.2																						
		Wuchapingian	254.4 ± 0.07		Mesozoic	Jurassic			Wuchapingian	254.4 ± 0.07		Mesozoic		Jurassic		Wuchapingian	254.4 ± 0.07																						
Mesozoic	Jurassic	Capitanian	259.5 ± 0.21				Mesozoic	Jurassic	Capitanian	259.5 ± 0.21			Mesozoic		Jurassic	Capitanian	259.5 ± 0.21																						
		Wordian	266.9 ± 0.4		Mesozoic	Jurassic			Wordian	266.9 ± 0.4		Mesozoic		Jurassic		Wordian	266.9 ± 0.4																						
Mesozoic	Jurassic	Guadalupian	254.28 ± 0.16				Mesozoic	Jurassic	Guadalupian	254.28 ± 0.16			Mesozoic		Jurassic	Guadalupian	254.28 ± 0.16																						
		Roadian	273.0 ± 0.14		Mesozoic	Jurassic			Roadian	273.0 ± 0.14		Mesozoic		Jurassic		Roadian	273.0 ± 0.14																						
Mesozoic	Jurassic	Kungurian	283.5 ± 0.6				Mesozoic	Jurassic	Kungurian	283.5 ± 0.6			Mesozoic		Jurassic	Kungurian	283.5 ± 0.6																						
		Artinskian	290.1 ± 0.26		Mesozoic	Jurassic			Artinskian	290.1 ± 0.26		Mesozoic		Jurassic		Artinskian	290.1 ± 0.26																						
Mesozoic	Jurassic	Sakmarian	293.52 ± 0.17				Mesozoic	Jurassic	Sakmarian	293.52 ± 0.17			Mesozoic		Jurassic	Sakmarian	293.52 ± 0.17																						
		Asselian	298.9 ± 0.15		Mesozoic	Jurassic			Asselian	298.9 ± 0.15		Mesozoic		Jurassic		Asselian	298.9 ± 0.15																						
Mesozoic	Jurassic	Gzhelian	303.7 ± 0.09				Mesozoic	Jurassic	Gzhelian	303.7 ± 0.09			Mesozoic		Jurassic	Gzhelian	303.7 ± 0.09																						
		Kasimovian	307.0 ± 0.1		Mesozoic	Jurassic			Kasimovian	307.0 ± 0.1		Mesozoic		Jurassic		Kasimovian	307.0 ± 0.1																						
Mesozoic	Jurassic	Moscovian	315.2 ± 0.2				Mesozoic	Jurassic	Moscovian	315.2 ± 0.2			Mesozoic		Jurassic	Moscovian	315.2 ± 0.2																						
		Bashkirian	323.4 ± 0.4		Mesozoic	Jurassic			Bashkirian	323.4 ± 0.4		Mesozoic		Jurassic		Bashkirian	323.4 ± 0.4																						
Mesozoic	Jurassic	Serpukhovian	330.9 ± 0.2				Mesozoic	Jurassic	Serpukhovian	330.9 ± 0.2			Mesozoic		Jurassic	Serpukhovian	330.9 ± 0.2																						
		Visean	346.7 ± 0.4		Mesozoic	Jurassic			Visean	346.7 ± 0.4		Mesozoic		Jurassic		Visean	346.7 ± 0.4																						
Mesozoic	Jurassic	Tournaisian	367.9 ± 0.4				Mesozoic	Jurassic	Tournaisian	367.9 ± 0.4			Mesozoic		Jurassic	Tournaisian	367.9 ± 0.4																						
		Fortunian	372.2 ± 1.6		Mesozoic	Jurassic			Fortunian	372.2 ± 1.6		Mesozoic		Jurassic		Fortunian	372.2 ± 1.6																						
Mesozoic	Devonian	Priddol	419.2 ± 3.2				Mesozoic	Devonian	Priddol	419.2 ± 3.2			Mesozoic		Devonian	Priddol	419.2 ± 3.2																						
		Ludlow	423.8 ± 0.9		Mesozoic	Devonian			Ludlow	423.8 ± 0.9		Mesozoic		Devonian		Ludlow	423.8 ± 0.9																						
Mesozoic	Devonian	Wenlock	430.5 ± 0.7				Mesozoic	Devonian	Wenlock	430.5 ± 0.7			Mesozoic		Devonian	Wenlock	430.5 ± 0.7																						
		Shinarumpian	433.4 ± 0.8		Mesozoic	Devonian			Shinarumpian	433.4 ± 0.8		Mesozoic		Devonian		Shinarumpian	433.4 ± 0.8																						
Mesozoic	Devonian	Telychian	438.5 ± 1.1				Mesozoic	Devonian	Telychian	438.5 ± 1.1			Mesozoic		Devonian	Telychian	438.5 ± 1.1																						
		Aspidian	440.8 ± 1.2		Mesozoic	Devonian			Aspidian	440.8 ± 1.2		Mesozoic		Devonian		Aspidian	440.8 ± 1.2																						
Mesozoic	Devonian	Rhuddanian	443.1 ± 1.5				Mesozoic	Devonian	Rhuddanian	443.1 ± 1.5			Mesozoic		Devonian	Rhuddanian	443.1 ± 1.5																						
		Hirnantian	445.2 ± 1.4		Mesozoic	Devonian			Hirnantian	445.2 ± 1.4		Mesozoic		Devonian		Hirnantian	445.2 ± 1.4																						
Mesozoic	Devonian	Katian	453.0 ± 0.7				Mesozoic	Devonian	Katian	453.0 ± 0.7			Mesozoic		Devonian	Katian	453.0 ± 0.7																						
		Sandbian	468.4 ± 0.9		Mesozoic	Devonian			Sandbian	468.4 ± 0.9		Mesozoic		Devonian		Sandbian	468.4 ± 0.9																						
Mesozoic	Devonian	Darwvillian	467.3 ± 1.1				Mesozoic	Devonian	Darwvillian	467.3 ± 1.1			Mesozoic		Devonian	Darwvillian	467.3 ± 1.1																						
		Dapingian	470.0 ± 1.4		Mesozoic	Devonian			Dapingian	470.0 ± 1.4		Mesozoic		Devonian		Dapingian	470.0 ± 1.4																						
Mesozoic	Devonian	Folan	477.7 ± 1.4				Mesozoic	Devonian	Folan	477.7 ± 1.4			Mesozoic		Devonian	Folan	477.7 ± 1.4																						
		Tremadocian	485.4 ± 1.9		Mesozoic	Devonian			Tremadocian	485.4 ± 1.9		Mesozoic		Devonian		Tremadocian	485.4 ± 1.9																						
Mesozoic	Devonian	Stage 10	~489.5				Mesozoic	Devonian	Stage 10	~489.5			Mesozoic		Devonian	Stage 10	~489.5																						
		Jiangshanian	~494		Mesozoic	Devonian			Jiangshanian	~494		Mesozoic		Devonian		Jiangshanian	~494																						
Mesozoic	Devonian	Paibian	~497				Mesozoic	Devonian	Paibian	~497			Mesozoic		Devonian	Paibian	~497																						
		Guzhangian	~500.5		Mesozoic	Devonian			Guzhangian	~500.5		Mesozoic		Devonian		Guzhangian	~500.5																						
Mesozoic	Devonian	Dumian	~504.5				Mesozoic	Devonian	Dumian	~504.5			Mesozoic		Devonian	Dumian	~504.5																						
		Wuliuan	~509		Mesozoic	Devonian			Wuliuan	~509		Mesozoic		Devonian		Wuliuan	~509																						
Mesozoic	Devonian	Series 2	~514				Mesozoic	Devonian	Series 2	~514			Mesozoic		Devonian	Series 2	~514																						
		Stage 4	~521		Mesozoic	Devonian			Stage 4	~521		Mesozoic		Devonian		Stage 4	~521																						
Mesozoic	Devonian	Stage 3	~524				Mesozoic	Devonian	Stage 3	~524			Mesozoic		Devonian	Stage 3	~524																						
		Stage 2	~529		Mesozoic	Devonian			Stage 2	~529		Mesozoic		Devonian		Stage 2	~529																						
Mesozoic	Devonian	Fortunian	538.8 ± 0.2				Mesozoic	Devonian	Fortunian	538.8 ± 0.2			Mesozoic		Devonian	Fortunian	538.8 ± 0.2																						
		Frasnian	372.2 ± 1.6		Mesozoic	Devonian			Frasnian	372.2 ± 1.6		Mesozoic		Devonian		Frasnian	372.2 ± 1.6																						
Mesozoic	Devonian	Givetian	387.7 ± 0.8				Mesozoic	Devonian	Givetian	387.7 ± 0.8			Mesozoic		Devonian	Givetian	387.7 ± 0.8																						
		Eifelian	393.3 ± 1.2		Mesozoic																																		