



**ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**



**Минобрнауки
России**



**Сибирское
отделение РАН**



**Академия
наук Монголии**



**Академия
наук Китая**



**Иркутский
филиал
СО РАН**

**АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ
В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ
(первая четверть XXI века)**



**Материалы международной научной конференции,
посвященной 75-летию
Института земной коры СО РАН**

**ИРКУТСК
2024**

**СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН**

**АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ
В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ
(первая четверть XXI века)**

Материалы международной научной конференции, посвященной
75-летию Института земной коры СО РАН

(19–22 марта 2024 г., ИЗК СО РАН, г. Иркутск)

ИРКУТСК
2024

УДК 55
ББК Д.я431
А43

Актуальные направления и перспективные тенденции в науках о Земле (первая четверть XXI века): Материалы международной научной конференции, посвященной 75-летию Института земной коры СО РАН. 19–22 марта 2024 г., ИЗК СО РАН, г. Иркутск / ответственный редактор Д.П. Гладкочуб, председатель Оргкомитета Д.П. Гладкочуб; Сибирское отделение РАН, Институт земной коры СО РАН. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2024. – 62 с.

В сборнике представлены материалы международной научной конференции, посвященной 75-летию Института земной коры СО РАН «Актуальные направления и перспективные тенденции в науках о Земле (первая четверть XXI века)».

Основная тематика конференции:

1. Геология и тектоника Евразии.
2. Современная геодинамика и сейсмический процесс.
3. Инженерная геология и геоэкология.
4. Мониторинг опасных геологических процессов.
5. Гидрогеология и ресурсы подземной гидросферы.
6. Перспективы развития минерально-сырьевой базы России.
7. Развитие аналитических методик и новых методов анализа вещества.

Издание может быть интересно широкому кругу специалистов в области наук о Земле, аспирантам, магистрантам и студентам геологических специальностей высших учебных заведений.

Председатель Оргкомитета конференции, ответственный редактор сборника
чл.-корр. РАН Д.П. Гладкочуб

Ученый секретарь конференции
к.ф.-м.н. А.А. Добрынина

Составители сборника и программы конференции
д.г.-м.н. Т.В. Донская
к.ф.-м.н. А.А. Добрынина

Утверждено к печати Ученым советом ИЗК СО РАН.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ	5
<i>СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ НОВЕЙШЕЙ И СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТОНИКИ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ</i>	
А.Н. Диденко, Д.А. Симонов, В.С. Захаров, Г.З. Гильманова	7
<i>АЛМАЗОНОСНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ СУБЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ</i>	
Д.А. Зедгенизов	8
<i>ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ И ПРОГНОЗ КОРЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ</i>	
Д.А. Кошкарев	10
<i>Sr-ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В УДИНО-ВИТИМСКОЙ ЗОНЕ, ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ</i>	
А.Б. Кузнецов, О.Р. Минина, О.К. Каурова, М.С. Скрипников, В.С. Стативко	11
<i>ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПЕРЕСТРОЙКИ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ОБРАМЛЯЮЩИХ ЕЕ МОЛОДЫХ ПЛАТФОРМ</i>	
Н.Б. Кузнецов, Т.В. Романюк	12
<i>ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</i>	
М.А. Марченко, В.В. Ковалевский	13
<i>ВЕНДСКИЙ ГЕОМАГНИТНЫЙ ФЕНОМЕН: НОВЫЕ ДАННЫЕ, ГИПОТЕЗЫ И СПОСОБЫ ПРИЛОЖЕНИЯ К ПАЛЕОТЕКТОНИКЕ</i>	
Д.В. Метелкин, Е.В. Виноградов	14
<i>ИСТОРИЯ И ИТОГИ ТРЕХ СОВМЕСТНЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ ИГХ СО РАН И ИЗК СО РАН НА КАМЧАТКЕ И В МОНГОЛИИ</i>	
А.Б. Перепелов, А.В. Иванов, С.С. Цыпукова, Е.И. Демонтерова	15
<i>РАЗВИТИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДИК В МИНЕРАЛОГИЧЕСКОМ МУЗЕЕ им. А.Е. ФЕРСМАНА РАН</i>	
П.Ю. Плечов	16
<i>РЕСУРСЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ПЕРСПЕКТИВЫ НАРАЩИВАНИЯ И ОСВОЕНИЯ</i>	
Н.П. Похиленко	17
<i>ВОЗРАСТ ЗАПАДНОГО СЕГМЕНТА ОРОГЕНА БОЛЬШОГО КАВКАЗА КАК ИСТОЧНИКА ДЕТРИТА</i>	
Т.В. Романюк, Н.Б. Кузнецов	18
<i>ОЦЕНОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ</i>	
И.В. Серов, А.А. Мальков, Н.К. Шахурдина	19
<i>ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ АКТИВНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ В ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ПОКРЫТЫХ ЛЬДОМ АКВАТОРИЯХ</i>	
А.Л. Собисевич	20
<i>ГЕОХИМИЯ МЕТАОСАДОЧНЫХ РЕСТИТОВ КАК ИНДИКАТОР ГРАНИТО- И РУДООБРАЗОВАНИЯ</i>	
А.С. Степанов	21
<i>МНОЖЕСТВЕННЫЕ ТИТОН-АПТСКИЕ ИМПУЛЬСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОРОГЕННЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЯНО-КОЛЫМСКОМ И ОХОТСКО-КОРЯКСКОМ ПОЯСАХ</i>	
В.Ю. Фридовский	22
<i>ПЕТРОГЕНЕЗИС ГРАНИТОИДОВ КРУПНЫХ САЛИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПРОВИНЦИЙ (Центральная и Северо-Восточная Азия)</i>	
А.А. Цыганков, Г.Н. Бурмакина	23
<i>MAGNETOTELLURIC STUDIES IN MONGOLIA. PROGRESS STATUS AND OUTLOOK</i>	
Е. Batmagnai, A. Kuvshinov, S. Demberel	24
Раздел 2. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН	25
<i>ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОСФЕРА. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ В XXI ВЕКЕ</i>	
С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева, П.С. Бадминов, А.М. Кононов, А.И. Оргильянов, С.Х. Павлов	27

<i>ЛАБОРАТОРИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ И СЕЙСМОГЕОЛОГИИ ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН: ИСТОРИЯ, НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ</i>	
Е.В. Брыжак, В.И. Джурик	29
<i>КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РЕГИОНЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И АРКТИКИ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ</i>	
И.В. Буддо, Е.Х. Турутанов, В.И. Мельникова, В.В. Мордвинова, В.А. Голубев, Н.В. Мисюркеева, И.А. Шелохов, О.А. Соловей, М.А. Хритова, Е.А. Кобелева, М.М. Кобелев, А.А. Черных, Л.П. Шашкеева	31
<i>НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЛАБОРАТОРИИ ГЕОЛОГИИ НЕФТИ И ГАЗА</i>	
А.Г. Вахромеев, С.А. Сверкунов, Т.А. Корнилова, Н.В. Мисюркеева, Н.И. Степанова	33
<i>ЛАБОРАТОРИЯ ГЕОЛОГИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИЗК СО РАН: СТАНОВЛЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ</i>	
А.С. Гладков	35
<i>ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН С ИНСТИТУТАМИ МОНГОЛЬСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК</i>	
Д.П. Гладкочуб, С. Дэмбэрэл	36
<i>ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</i>	
Д.П. Гладкочуб, А.В. Саньков, А.А. Добрынина, В.А. Саньков, А.А. Рыбченко	39
<i>ПАЛЕОГЕОДИНАМИКА СИБИРИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ</i>	
Д.П. Гладкочуб, Е.В. Скляров	41
<i>МЕРЫ ПОДДЕРЖКИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ КАК ОСНОВНОЙ ПРИОРИТЕТ ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН</i>	
А.М. Дымшиц	43
<i>НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦКП «ГЕОДИНАМИКА И ГЕОХРОНОЛОГИЯ»</i>	
А.В. Иванов	44
<i>АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТИ</i>	
Д.В. Киселёв, Л.П. Бержинская, О.И. Саландаева	46
<i>КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ</i>	
С.А. Прокопьев, Е.С. Прокопьев, Т.А. Чикишева, Н.Ю. Турецкая	48
<i>ОТ ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ НОВОЙ СХЕМЫ РАЗВИТИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ В КОНТЕКСТЕ МАНТИЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВУЛКАНИЗМА АЗИИ ДО РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВРЕМЕНИ И МЕСТА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ</i>	
С.В. Рассказов	50
<i>ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ</i>	
А.А. Рыбченко, О.А. Мазаева, А.В. Кадетова, А.А. Юрьев, В.А. Бабичева	52
<i>НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАНЕРОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ И РЕЛЬЕФА СЕВЕРНОЙ АЗИИ</i>	
Ю.В. Рыжов, Н.И. Акулов	54
<i>ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В ИЗК СО РАН</i>	
В.А. Саньков, Л.М. Бызов, С.Г. Аржанников, А.В. Аржанникова, С.В. Ашурков, Е.А. Кузьмина, М.А. Лебедева, А.В. Лухнев, О.Ф. Лухнева, А.И. Мирошниченко, А.В. Парфеев, А.В. Саньков, А.А. Чеботарев	56
<i>РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЕ В ЛИТОСФЕРЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ (история, достижения и перспективы развития иркутской тектонофизической школы)</i>	
К.Ж. Семинский, В.В. Ружич, О.В. Лунина, С.А. Борняков, А.В. Черемных, А.А. Бобров, Ю.П. Бурзунова, А.К. Семинский	58
<i>ЛАБОРАТОРИЯ ПЕТРОЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И РУДОГЕНЕЗА: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ</i>	
И.С. Шарыгин	60
Авторский указатель	62

Раздел 1

**АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ
В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ**



СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ НОВЕЙШЕЙ И СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТониКИ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

А.Н. Диденко^{1,2}, Д.А. Симонов³, В.С. Захаров³, Г.З. Гильманова²

¹ Геологический институт РАН, Москва, Россия, gin@ginras.ru

² Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, Россия

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

С использованием модели гидросети, созданной по цифровой модели рельефа, проведен морфоструктурный анализ юга Дальнего Востока России, построены монобазисные поверхности, отражающие этапность неотектонического развития территории, и суммарная карта амплитуды вертикальных неотектонических движений. Установлены три стадии развития рельефа в регионе: а) доолигоценная, характеризующаяся более интенсивным поднятием Буреинского хребта и менее интенсивным – Сихотэ-Алинского; б) олигоцен-плиоценовая, характеризующаяся наиболее интенсивными вертикальными движениями в регионе в позднем эоцене – голоцене; в) плейстоцен-голоценовая, во время которой сформировался современный выработанный эрозионно-денудационный рельеф и значительных по амплитуде вертикальных движений не происходило.

Исследуемую территорию по величине вертикальных движений можно разделить на три зоны. Две с высокой амплитудой положительных вертикальных движений: Восточная зона ССВ простирания, совпадающая с хребтом Сихотэ-Алинь, и Западная зона северного простирания, в пределах которой находятся Баджальский, Буреинский, Джагды, Селемджинский, Куканский, Туранский, Ям-Алинь, Эзоп хребты. Третья – Центральная ССВ простирания с невысокой амплитудой вертикальных движений, в основном отрицательных. Расположена она между двумя первыми и пространственно совпадает с Нижне- и Среднеамурским, Ханкайским осадочными бассейнами и отражает рифтогенные структуры.

Совместный анализ неотектонических вертикальных движений с данными по коровым землетрясениям региона и выделившейся при этом энергии показал, что Восточная и Западная зоны высокоамплитудных вертикальных движений разительно отличаются по проявлению сейсмичности. Для Восточной зоны практически по всему ее простиранию коровые землетрясения достаточно редки. Для Западной зоны ситуация иная, здесь проявлены несколько роев коровых землетрясений, связанных с активными разломами широтной (Монголо-Охотская сутура) и северо-восточной (Тан-Лу) систем. Количество выделившейся здесь сейсмической энергии существенно выше, чем в Восточной зоне. Для Центральной зоны с нулевыми и отрицательными вертикальными движениями количество землетрясений значительно меньше, чем в Западной, но существенно больше, чем в Восточной. Сейсмические события здесь также связаны с разломной системой Тан-Лу.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-00023).



АЛМАЗОНОСНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ СУБЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ

Д.А. Зедгенизов

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УРО РАН, Екатеринбург, России

Ключевыми показателями происхождения алмазов являются минералогия и состав захваченных ими включений, большинство из которых указывают на образование алмазов в основании литосферной мантии древних кратонов преимущественно в ультрамафических (перидотитовых – Р-тип) и мафических (эклогитовых – Э-тип) по составу субстратах [Соболев, 1974]. Неоднородность мантии Земли подтверждается многочисленными изотопно-геохимическими анализами производных мантийных расплавов. Несмотря на многолетние исследования и постоянно увеличивающееся количество данных, фундаментальными вопросами, однако, остаются такие, как проявления неоднородности состава мантии Земли, а также происхождение и процессы, приводящие к мантийной неоднородности.

Накопленные к настоящему времени данные по изучению включений в сверхглубинных алмазах свидетельствуют о более сложном минеральном составе переходной зоны и нижней мантии, чем это предполагалось ранее, исходя только из теоретических моделей. На основании этих данных можно выделить, по крайней мере, три различных парагенетических ассоциации: метаперидотитовую (аналог перидотитовой ассоциации верхней мантии), метабазитовую (аналог эклогитовой ассоциации верхней мантии), карбонатитовую (аналог обогащенного Са мантийного вещества). Было также показано, что включения в сверхглубинных алмазах принципиально отражают два основных уровня их образования в сублитосферной мантии: нижнюю астеносферу и переходную зону верхней мантии и границу верхней мантии и нижней мантии и верхние горизонты нижней мантии. При этом отмечается, что образование алмазов в сублитосферной верхней мантии и переходной зоне в основном связано с глубоко субдуцированными мафическими породами океанической литосферы, а не с ультрамафическими субстратами примитивной мантии, которые являются доминирующими для образования алмазов в нижней мантии [Harte, 2011].

Для метаперидотитовой ассоциации характерны высокомагнезиальные фазы, такие как оливин $(Mg,Fe)_2SiO_4$ и его более высокобарические полиморфные аналоги – вадслеит, рингвудит, майджоритовый хромистый пироп $(Mg,Fe)_3(Al,Cr,Si)_2(SiO_4)_3$, ферропериклаз, бриджманит $(Mg,Fe)SiO_3$ и фаза $CaSiO_3$ со структурой перовскита. Во многих случаях в ассоциации с ферропериклазом и бриджманитом вместо майджоритового хромистого пироба наблюдается тетрагональная фаза пироп-альмандинового состава (TAPP – $(Mg,Fe)_3Al_2(SiO_4)_3$) – джеффбенит.

Метабазитовая ассоциация характеризуется обогащением такими компонентами, как Са, Na, Al, Si, и Ti, и включает майджоритовый гранат пироп-альмандин-гроссулярового состава $(Ca,Mg,Fe)_3(Fe,Al,Si)_2(SiO_4)_3$, омфацитовый клинопироксен $(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)Si_2O_6$, стишовит SiO_2 , фазы $Ca(Si,Ti)O_3$ и $CaSiO_3$ со структурой перовскита, высоконатровые фазы CF (фаза со структурой кальциевого феррита – $(Na,Mg)(Al,Si)_2O_4$) и NAL («new aluminium phase» – $(Na,Ca)(Mg,Fe)_2(Al,Si)_6O_{12}$).

Несмотря на то, что большинство обнаруженных фаз в сверхглубинных алмазах можно отнести либо к метаперидотитовой, либо к метабазитовой ассоциации, некоторые фазы, такие как карбонаты и высококальциевые силикаты, определенно отражают специфические особенности состава их протолита. Находки таких включений являются минералогическими индикаторами взаимодействия пород сублитосферной мантии с карбонатитовыми расплавами.

Включения с менее глубинных уровней в основном представлены майджоритовыми гранатами, образование которых связывается с увеличением растворимости компонентов пироксена в структуре граната в условиях сублитосферной мантии. Реконструированный состав майджоритовых гранатов свидетельствует об их образовании на глубине 300–500 км. Накопленные к настоящему времени данные показывают, что подавляющее большинство таких гранатов относятся к метабазитовой ассоциации. Вариации состава главных и редких элементов Maj-Grt отра-

жают различие протолитов и степень их обогащения/обеднения при взаимодействии с глубинными флюидами/расплавами. При этом существует ряд свидетельств, например утяжеленный изотопный состав кислорода майджоритовых гранатов и облегченный изотопный состав углерода содержащих их алмазов, которые отражают субдукционное происхождение таких алмазов и их протолитов [Ickert et al., 2015]. Такие образцы являются прямым свидетельством существования изотопно-аномальных резервуаров в мантии на глубинах свыше 350 км. Отмеченная зависимость $\delta^{18}\text{O}$ включений и $\delta^{13}\text{C}$ содержащих их сверхглубинных алмазов может быть связана с переуравновешиванием карбонатных расплавов субдукционного происхождения с восстановленными породами мантии на глубинах свыше 270 км.

Включения минералов более глубинных парагенезисов во многих случаях представлены ферропериклазом и бриджманитом. Известно, что ассоциация ферропериклаза и бриджманита возникает при разложении рингвудита в модельной пиролитовой системе при давлении более 20 ГПа, соответствующем границе верхней и нижней мантии (~660 км). Широкий диапазон концентраций Fe, наблюдаемый во включениях (Mg,Fe)O, и появление магнезиоферрита, как предполагается, являются результатом окисления ферропериклаза, вызванного внедрением субдуцированного материала в sublithospheric мантию [Kiseeva et al., 2022]. Все сверхглубинные алмазы с включениями минералов метаперидотитовой ассоциации имеют ограниченный диапазон значений $\delta^{13}\text{C}$ – от -2 до -7 ‰. Это позволяет предположить, что образование таких алмазов происходило из изотопно-однородного мантийного источника, что соответствует модели, предусматривающей незначительные вариации изотопного состава углерода в пиролитовой примитивной мантии.

Таким образом, включения в сверхглубинных алмазах являются уникальными образцами, свидетельствующими о фазовой и химической неоднородности в пределах sublithospheric верхней мантии, переходной зоны и нижней мантии. Выявленные неоднородности могут быть связаны с процессами субдукции литосферы, океанической коры и углеродсодержащих осадков и их взаимодействием с первичными мантийными породами.

Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск: Наука, 1974. 264 с.

Harte B. Diamond window into the lower mantle // *Science*. 2011. V. 334. P. 51–52.

Ickert R.B., Stachel T., Stern R.A., Harris J.W. Diamond from recycled crustal carbon documented by coupled $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^{13}\text{C}$ measurements of diamonds and their inclusions // *Earth and Planetary Science Letters*. 2015. V. 364. P. 85–97.

Kiseeva E.S., Korolev N., Koemets I., Zedgenizov D.A., Unitt R., McCammon C.M., Aslandukova A., Khandarkhaeva S., Fedotenko T., Galyrin K. et al. Subduction-related oxidation of the sublithospheric mantle evidenced by ferropiclae and magnesiowüstite diamond inclusions // *Nature Communications*. 2022. V. 13. 7517.



ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ И ПРОГНОЗ КОРЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Д.А. Кошкарев

АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Республика Саха (Якутия), Россия, KoshkarevDA@alrosa.ru

В связи с широким распространением россыпепроявлений алмазов на юге Сибирской платформы АЛРОСА рассматривает данный регион как один из наиболее перспективных на открытие алмазных месторождений. К настоящему времени здесь остаются открытыми вопросы как о генетическом типе источников алмазов в русловом аллювии, так и об их возрасте. Кроме того, полученные геологические данные не позволяют локализовать какую-либо часть территории юга Сибирской платформы для постановки алмазопоисковых работ стадии общих поисков. Другим нерешенным вопросом, затрудняющим постановку алмазопоисковых работ, является отсутствие многофакторных параметров прогнозно-поисковых моделей коренных источников алмазов в рассматриваемом регионе. Требуется дополнительный анализ геологического строения территории, получение новых данных по минералогии алмазоносных районов юга Сибирской платформы и обобщение всех имеющихся материалов с корректировкой карты прогноза коренной алмазоносности Иркутской области масштаба 1:1 000 000, которая не актуализировалась с 2006 г.

Другими словами, для решения проблемы коренной алмазоносности юга Сибирской платформы необходимо решить ряд фундаментальных научных задач, таких как наличие на территории алмазоносного магматизма докембрийского и среднепалеозойского возраста, его генетический тип и связь с мантийными алмазопродуктивными источниками, геологическое развитие юга платформы в докембрии и верхнем палеозое, строение и условия образования разновозрастных осадочных образований, содержащих индикаторные минералы кимберлитов и алмазы, роль складчатого обрамления платформы (Восточное Присяня) в образовании россыпей и россыпепроявлений алмазов.

Следует отметить, что за последние пять лет силами академических институтов, ИЗК СО РАН в частности, сделан большой шаг вперед в данном направлении – доказано наличие докембрийских источников алмазов, установлен новый возраст (этап) алмазоносного магматизма Ингашинского поля. Разработана новая концепция развития Сибирской платформы в докембрии, которая позволяет иначе взглянуть на более ранние минерагенические построения, касающиеся алмазопрогностики. Несомненно, последние научные достижения ИЗК СО РАН в области геологического изучения данного региона обусловят новый этап в оценке перспектив Восточного Присяня и юга Сибирской платформы.



Sr-ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В УДИНО-ВИТИМСКОЙ ЗОНЕ, ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ

А.Б. Кузнецов¹, О.Р. Минина², О.К. Каурова¹, М.С. Скрипников², В.С. Стативко¹

¹ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия

Западное Забайкалье в геологическом плане включает несколько крупных структурно-формационных зон Центрально-Азиатского складчатого пояса, которые относятся к различным комплексам – кратонным, островодужным и океаническим. Карбонатные отложения Удино-Витимской зоны отлагались в Палеоазиатском океане, существовавшем на периферии Сибирского кратона. Однако многие комплексы включают карбонатные породы, возраст которых точно неизвестен.

Наиболее крупными карбонатными формациями в пределах южной части Удино-Витимской зоны являются бурлинская свита в ассоциации со сланцевой итанцинской и вулканогенно-карбонатной дабатской свитами и базальтовым метешихинским комплексом. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в известняках и доломитах бурлинской свиты в разрезах р. Бурля и р. Кика 0.7060–0.7069 показывает, что эти осадки образовались в позднерифейское время в интервале 800–700 млн лет назад. Однако эти Sr-хемостратиграфические данные согласуются с возрастом толеитовых базальтов метешихинского комплекса, прорывающего селенгинскую серию в 50 км западнее изученных разрезов (810–840 млн лет).

В Туркинской подзоне Удино-Витимской зоны развиты карбонатные породы в составе курбинской и пановской свит. Карбонатные породы курбинской и пановской свит в опорных разрезах на реках Атха, Ямбуи и Курба имеют близкие Sr-изотопные характеристики 0.7085–0.7087 и 0.7086–0.7087, что указывает на то, что они могут представлять одну и ту же стратиграфическую пачку. Полученные величины $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ наилучшим образом соответствуют раннему кембрию, хотя и допускают корреляцию с отложениями среднего ордовика, позднего силура и даже раннего девона.

Sr-хемостратиграфические данные показывают, что в Удино-Витимской зоне присутствуют комплексы позднего докембрия и раннего палеозоя, которые были совмещены тектонически на этапе формирования складчатого пояса.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 23-17-00192).



ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПЕРЕСТРОЙКИ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ОБРАМЛЯЮЩИХ ЕЕ МОЛОДЫХ ПЛАТФОРМ

Н.Б. Кузнецов¹, Т.В. Романюк²

¹Геологический институт РАН, Москва, Россия, kouznicbor@mail.ru

²Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия, t.romanyuk@mail.ru

Платформенные области (платформы) как класс геологических структур с двучленным (фундамент и чехол) строением верхних уровней земной коры выделены на рубеже XIX и XX вв. на примере Восточно-Европейской платформы (ВЕП) А.П. Карпинским, Э. Огом и Э. Зюсом. В 20–30-х гг. XX в. А.Д. Архангельский предложил различать древние и молодые платформы (МП), противопоставляя их складчатым поясам (СП). В работах А.Д. Архангельского и Н.С. Шатского отмечено, что ВЕП окаймлена СП каледонид Скандинавии, герцинид Урала, киммерид и альпид Крыма и Кавказа. Авторы понимают эти СП как фрагментарно выступающий на поверхность (в эпиплатформенных орогенах) и/или перекрытый стратифицированными образованиями фундамент МП, обрамляющих ВЕП: эпигренвильской Свеко-Норвежской, эпитиманской Тимано-Печорско-Южно-Баренцевоморской, эпикаледонских Скандинавской и Северопольско-Уэльской, эпигерцинских Чешско-Иберийской, Скифской, Уральско-Западносибирской, а также вовлеченных в синальпийское горообразование южной части эпигерцинской Скифской и эпикиммерийской Горнокрымско-Туапсинской МП, а кроме того, осадочных бассейнов (ОБ) на альпийском «фундаменте». В литературе известны многочисленные, часто противоречивые и даже нередко исключают друг друга модели палеогеографии и палеотектоники ОБ, расположенных в пределах ВЕП и на обрамляющих ее МП.

Развитие локальных методов U-Pb датирования циркона дает возможность получать распределение возраста зерен детритового циркона (dZr) из обломочной породы. Содержательная интерпретация этих распределений в совокупности с результатами сравнения получаемых возрастных наборов стала обычным инструментом научных геологических исследований, позволяющим тестировать региональные, субглобальные и глобальные палеогеографические и тектонические модели и гипотезы.

Авторами накоплен обширный материал по характеру распределения возрастов dZr из «песчаников» докембрийских и фанерозойских толщ ВЕП и МП ее тиманского, уральского и крымско-кавказского обрамления. В докладе будут представлены некоторые авторские примеры реконструкции палеогеографических и тектонических перестроек древних ОБ, расположенных в пределах ВЕП, и разновозрастных МП, расположенных на ее периферии.

Исследования проведены по госзаданию ГИН РАН (FMMG-2023-0007) и ИФЗ РАН.



ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М.А. Марченко, В.В. Ковалевский

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия,
director@sscc.ru

В докладе рассматриваются вопросы разработки цифровых двойников (ЦД) сложных систем, к которым относятся крупные научные установки и природные системы, такие как городская атмосфера и крупные природные объекты. Эти направления и разработки объединяет применение разномасштабных математических моделей, усвоение больших данных с помощью методов искусственного интеллекта и реализация возможности управления такими системами.

К научным установкам класса мегасайенс относятся установки для проведения исследований в таких областях, как астрономия и физика высоких энергий. Эти установки являются комплексом инженерных систем, точной контрольно-измерительной аппаратуры, характеризуются высокой сложностью и жесткими требованиями ко всем эксплуатационным параметрам. К такому классу установок относится строящийся в Новосибирской области Сибирский кольцевой источник фотонов – ЦКП СКИФ. Технологии цифровых двойников имеют значительный потенциал в создании и эксплуатации крупных научных установок, обеспечивая возможность виртуального тестирования различных концепций и конфигураций, мониторинга работоспособности критически важных компонентов.

Использование нейронных сетей в ЦД позволяет строить на основе обучения на потоке реальных данных компьютерные симуляции сложных физических систем по принципу «черного ящика», что особенно полезно в случае невозможности или высокой сложности применения более традиционного численного моделирования.

ЦД атмосферы индустриального города является инструментом усвоения данных мониторинга, прогноза и оценки степени эффективности природоохранных действий, который будет использоваться в работе городских и региональных администраций для оценки эффективности технологических решений по улучшению качества воздуха в городе, включая экспертизу запланированных изменений объема и состава выбросов.

Для крупных природных объектов ЦД может использоваться для усвоения и анализа больших данных различных видов мониторинга природных процессов, при решении задач экологического и природоохранного контроля, при оценке рисков опасных природных явлений, таких как землетрясения и извержения вулканов. Составляющей ЦД крупного природного объекта является разрабатываемая ИВМиМГ СО РАН и ИЗК СО РАН цифровая платформа для усвоения данных комплексного геофизического мониторинга Байкальской природной территории.



ВЕНДСКИЙ ГЕОМАГНИТНЫЙ ФЕНОМЕН: НОВЫЕ ДАННЫЕ, ГИПОТЕЗЫ И СПОСОБЫ ПРИЛОЖЕНИЯ К ПАЛЕОТЕКТОНИКЕ

Д.В. Метелкин, Е.В. Виноградов

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия, metel-kindv@ipgg.sbras.ru

Венд – один из наиболее насыщенных событиями периодов геологической истории. Имеющиеся данные указывают на кардинальные изменения в режиме работы геодинамо, которые привели к нарушению преобладающей аксиальной дипольной структуры магнитного поля Земли. В итоге наблюдаемые палеомагнитные полюсы не соответствуют актуалистической модели центрального осевого диполя (ЦОД) и, соответственно, несут искаженную информацию о палеогеографии и тектонике континентальных масс. Так, в сибирских разрезах отмечаются две, в равной степени обоснованные, группы вендских палеомагнитных полюсов. Первая, расположенная между Австралией и Антарктидой (АА), согласно ЦОД указывает на относительно высокие палеошироты Южного полушария для Сибири. Вторая, вблизи о. Мадагаскар (МД), в то же время отвечает приэкваториальному положению кратона. Все это рождает массу гипотез, в том числе об аномально высоких скоростях дрейфа плит и проч. Возможные причины глобальных преобразований в магнитосфере, фактическая конфигурация геомагнитного поля, длительность периода его аномального состояния, подходы к тектонической интерпретации сложного набора палеомагнитных определений являются предметом настоящей дискуссии.

В частности, новые данные авторов и специальные работы по оценке палеонапряженности не просто подтвердили предположение об ультранизкой величине виртуального дипольного момента в венде, но и позволили в первом приближении оценить временной отрезок (580–530 млн лет), в котором ЦОД мог понижаться до величин, сопоставимых с полем мировых магнитных аномалий (ММА) и даже ниже его. Также удалось обнаружить уникальную одновременную палеомагнитную запись обеих АА и МД компонент, что фактически обосновывает действие двух источников. Можно полагать, что биполярная МД связана с ЦОД, а монополярная АА – результат намагничивания на располагавшуюся в то время поблизости ММА. Таким образом, высокие палеошироты, отвечающие АА, не отражают фактической палеогеографии кратона, но могут быть использованы для палеотектонических реконструкций после корректировки на соответствующую ММА. Выполненные построения дают основание считать, что такой аномалией могла быть современная Антарктическая ММА. Это, в свою очередь, предполагает стационарность ММА в течение как минимум всего фанерозоя.



ИСТОРИЯ И ИТОГИ ТРЕХ СОВМЕСТНЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ ИГХ СО РАН И ИЗК СО РАН НА КАМЧАТКЕ И В МОНГОЛИИ

А.Б. Перепелов¹, А.В. Иванов², С.С. Цыпукова¹, Е.И. Демонтерова²

¹ Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия, alper@igc.irk.ru

² Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, aivanov@crust.irk.ru

Три совместных экспедиции ИГХ СО РАН и ИЗК СО РАН состоялись в разные годы в различных регионах и странах, но с одной общей целью – получить новые данные по геохимии, минералогии и геохронологии вулканических комплексов пород. Каждая из этих экспедиций внесла существенный вклад в изучение вулканических процессов и истории геодинамического развития как внутриплитных обстановок, так и обстановок конвергенции литосферных плит.

В 2001 г. с использованием вертолетов и сплавом были проведены работы в труднодоступных районах Камчатки. Итогом этой экспедиции стало открытие на Западной Камчатке четырех новых ранее неизвестных магматических комплексов – среднеоценовых даек К-На щелочных базальтов, раннемиоценовых шошонит-латитовых и среднемиоценовых калиевых щелочных базальтоидов, а также раннеплиоценовых даек базанитов. Результаты этой экспедиции показали необходимость изучения причин проявления щелочных магм внутриплитного геохимического типа в тыловой зоне островодужной системы.

В 2010 г. непосредственно из г. Иркутска совместная экспедиция двух институтов была доставлена вертолетом в самый центр хребта Хамар-Дабан с целью изучения одного из крупнейших вулканических сооружений Байкальской рифтовой зоны – позднекайнозойского вулкана Тумусун – и сбора новой коллекции мантийных перидотитовых и пироксенитовых включений. Был установлен раннесреднемиоценовый возраст вулкана, развитие которого продолжалось ~4 млн лет, строение трахибазальт-базанитовых лавовых толщ, а также состав и минералогия пород с участием Ne-SdI парагенезиса.

В 2012 г. состоялись совместные экспедиционные исследования кайнозойского вулканизма Дархатской впадины в Северной Монголии. Была собрана обширная коллекция проб базальтоидов, проведены детальные геохронологические, изотопно-геохимические и минералогические исследования. Впервые показано, что в кайнозойской истории вулканической активности Дархатской впадины Северной Монголии вулканизм появился на двух этапах – позднеолигоценном (~28.0–26.6 млн лет) и позднемиоцен-раннеплиоценовом (~5.8–4.2 млн лет). Установлено, что породы раннего этапа представлены исключительно трахиандезибазальтами, а среди базальтоидов заключительного этапа выделяется гавайит-базанит-фонотефритовая серия пород щитовых вулканических построек и комплекс трахибазальтов «долинных» лавовых толщ.



РАЗВИТИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДИК В МИНЕРАЛОГИЧЕСКОМ МУЗЕЕ им. А.Е. ФЕРСМАНА РАН

П.Ю. Плечов

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, Россия, pplechov@gmail.com

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана занимает лидирующие позиции в мире по открытию новых минеральных видов (примерно 100 за последние пять лет) и по изучению минерального разнообразия на Земле и в метеоритном веществе. Эти исследования требуют применения полного спектра различных аналитических методов (оптических, физических, химических, спектральных, рентгенографических и т.д.). Для систематизации разнородной информации о минералах использована многослойная информационная система, в которой основным объектом является образец минерала (конкретное зерно, препарат и т.д.), а каждый слой представляет собой наборы данных, для которых разрабатываются однотипные методы хранения, интерпретации и визуализации [Plechov et al., 2019].

На текущий момент в информационной системе осуществлено первичное наполнение и визуализация для нескольких слоев данных: 1) описания и условия хранения (157210 образцов); 2) химические составы минералов (примерно 500 тыс. анализов для 4200 минералов); 3) макро- и микрофотографии образцов (128881 образцов); 4) колебательные спектры минералов (около 3000 образцов). Полученная система уже позволила применить технологии искусственного интеллекта для распознавания минералов на фотографиях и проверки консистентности описаний [Nesteruk et al., 2023]. В разработанную систему обработки и хранения колебательных спектров минералов [Шендрик и др., 2024] также внедрены технологии машинного обучения для быстрой диагностики минералов и интерпретации отдельных колебательных мод. Кроме образцов основной коллекции Музея в результате работы возник научно-исследовательский фонд образцов, содержащий более 1100 охарактеризованных различными аналитическими методами препаратов. Многочисленные научно-исследовательские запросы, в том числе предоставление стандартов для аналитических работ, осуществляются из материалов этого фонда.

Шендрик Р.Ю., Плечов П.Ю., Смирнов С.З. ArDI – система обработки и анализа колебательных спектров минералов // Новые данные о минералах. 2024. Т. 58. Вып. 2. (в печати).

Nesteruk S., Agafonova J., Pavlov I., Gerasimov M., Latyshev N., Dimitrov D., Kuznetsov A., Kadurin A., Plechov P. MinerallImage5k: A benchmark for zero-shot raw mineral visual recognition and description // Computers & Geosciences. 2023. V. 178. 105414.

Plechov P.Y., Trousov S.V., Bychkov K.A., Konovalova K.A. Multilayered mineralogical information in spectroscopy of minerals // XIX International meeting on crystal chemistry, X-ray diffraction and spectroscopy of minerals, dedicated to the memory of academician E.S. Fedorov (1853–1919). Apatity, 2019. P. 43.



РЕСУРСЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ПЕРСПЕКТИВЫ НАРАЩИВАНИЯ И ОСВОЕНИЯ

Н.П. Похиленко

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, chief@igm.nsc.ru

Уникальные месторождения Сибирской Арктики – Томторское – ниобий-редкоземельных металлов и Попигайское – импактных алмазов с уникальными характеристиками – являются крупнейшими источниками стратегических видов сырья.

Опережающее доизучение Томторского месторождения и научно-методическое сопровождение его освоения позволят обеспечить Россию полным ассортиментом редкоземельной продукции. Уникальные параметры руды (в 1 т оксидов, кг: Nb – 67, Nd – 21, Y – 7.3, Pr – 6, Sc – 0.5, Eu – 0.8, Tb – 0.2 кг, Dy – 1.5 кг) диктуют необходимость детального изучения ее вещественного состава и создания оптимальной технологии ее переработки. В результате выполнения опережающего научно-методического сопровождения освоения Томтора будет гарантировано:

- 1) обеспечение отечественной промышленности стратегическим сырьем, включая дефицитные РЗЭ, независимо от импорта;
- 2) создание непрерывной технологической цепочки полного цикла: добыча Nb-TR руд – переработка – выпуск концентратов – разделение РЗМ – получение чистых металлов и продукции, содержащей РЗМ, опираясь только на отечественную сырьевую базу;
- 3) интеграция России в мировой рынок РЗМ с конкурентоспособной продукцией.

Попигайский метеоритный кратер – единственное в мире месторождение нового вида минерального сырья – импактных алмазов. Благодаря полифазности и особенностям структуры этот материал обладает уникальными технологическими характеристиками, существенно превосходящими таковые для природных и синтетических алмазов. В частности, импактные алмазы обладают в 2–2.5 раза более высокой абразивной способностью и в 2.5–4 раза – износостойкостью, на 200–250 °С более высокой термостойкостью и в 5–9 раз – удельной поверхностью. Набор этих характеристик открывает для импактных алмазов широчайшие возможности использования в широком диапазоне технологий – в буровом, режущем и шлифовальном инструменте, машиностроении, электронной, оптической и иных видах высокотехнологичной промышленности. Освоение данного сырья, помимо прочего, направлено на импортозамещение и одновременно экспортноориентировано благодаря практически неисчерпаемым ресурсам месторождения, превышающим 1.2 триллиона карат.

Основные перспективы коренной алмазности арктических территорий Сибирской платформы связываются со среднепалеозойскими кимберлитами. С учетом существенного осложнения ситуации с сырьевой базой отечественной алмазодобывающей промышленности начиная уже с 2030 г. необходима постановка поисковых работ по выявлению новых объектов в арктических регионах Сибирской платформы. В частности, в верховьях правых притоков р. Анабар в районе Уджинского поднятия, а также на территориях Оленекского поднятия и его обрамления установлены прямые признаки присутствия новых полей кимберлитов среднепалеозойского возраста, содержащих высокопродуктивные тела. Для их выявления необходимо проведение тематических работ прогнозно-поискового характера с использованием научно-методического и экспертного сопровождения специалистами Сибирского отделения РАН.



ВОЗРАСТ ЗАПАДНОГО СЕГМЕНТА ОРОГЕНА БОЛЬШОГО КАВКАЗА КАК ИСТОЧНИКА ДЕТРИТА

Т.В. Романюк¹, Н.Б. Кузнецов²

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия, t.romanyuk@mail.ru

² Геологический институт РАН, Москва, Россия, kouznicbor@mail.ru

Вопрос о начале формирования современного орогена Большого Кавказа (БК) не нов. В отношении понимания временного рубежа начала формирования современного орогена БК серьезно можно рассматривать две резко различные системы взглядов.

Доминируют представления о том, что современный ороген БК возник еще в палеогене, а возможно и ранее. Наилучшим образом это изложено в (Милановский, Хаин, 1963). При этом еще начиная с работ А.Д. Архангельского, Н.С. Шацкого и М.В. Муратова было принято считать, что с орогеном БК сопряжены два прогиба – Предкавказский (Кубанский / Индоло-Кубанский и Терско-Каспийский) предгорный (краевой, передовой) прогиб и Рионско-Куринский (Туапсинско-Колхидско-Риони-Куринский) предгорный / межгорный прогиб, расположенные к северу и югу от орогена соответственно.

В противоположность этому существуют представления, о том что ороген БК четвертичный. Так, еще до Великой Отечественной войны сотрудник ВСЕГЕИ Л.А. Варданянц (чл.-корр. АН АрССР) писал о том, что горный рельеф БК возник лишь в самом недавнем геологическом прошлом. В частности, в монографии 1948 г. (с. 31) со ссылками на свои довоенные публикации Л.А. Варданянц писал: *«Воздымание Кавказа и расчленение его рельефа, т.е. формирование современного высокогорного облика этой страны, началось еще в апшероне, но с особой интенсивностью проявилось лишь в постплиocene и в основном закончилось к началу хвалынского века».*

Проведенные по программе гранта РНФ 23-27-00409 исследования показали, что наиболее древнее стратифицированное образование, содержащее продукты эрозии комплексов, слагающих ороген БК, – это нижнечетвертичная (моложе 2 млн лет) белореченская свита северных предгорий БК. Обломочные породы всех более древних кайнозойских толщ западного сегмента Северного Предкавказья продуктов эрозии БК не содержат, что соответствует сейсмостратиграфическим построениям, в которых все дораннечетвертичные стратифицированные образования Западного Предкавказья обладают в разной степени выраженным внутренним клиноформенным строением.

Все это свидетельствует о том, что западный сегмент орогена БК как источник детрита до начала плейстоцена не существовал, а западный сегмент Предкавказского прогиба (Кубанский / Индоло-Кубанский прогиб) следует классифицировать не как не предгорный, а как перикратонный.



ОЦЕНОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ

И.В. Серов, А.А. Мальков, Н.К. Шахурдина

АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Республика Саха (Якутия), Россия, seroviv@alrosa.ru

Научный прогноз и организация масштабных поисковых работ, применение Тунгусской экспедицией технологии поисков уральской школы, прогноз в ранге района и разработка метода пироповой дорожки позволили создать в стране в кратчайшие сроки – за 17 лет (1937–1954 гг.) – алмазодобывающую промышленность, с учетом ввода в эксплуатацию трубки Мир и становления алмазодобывающей промышленности – за 20 лет.

Современное состояние МСБ алмазов Группы АЛРОСА привело к переводу добычных работ на большинстве обрабатываемых месторождений с открытого способа обработки на подземный. Отмечается снижение содержания алмазов в рудах при одновременном увеличении себестоимости добычи 1 кар. Происходит ухудшение структуры запасов. Сегодня ведется добыча на трубках-лидерах с содержанием и ценой алмазов, которые формируют универсальный для кимберлитов критерий $30^+ \text{ \$/т}$.

В сводке Группы АЛРОСА по кимберлитам и кимберлитоподобным породам РФ 1534 тела. Семейство кимберлитов представлено 1103 телами, которые условно разделены на четыре группы: 1) месторождения (26); 2) кимберлиты с содержанием 0.045–0.500 кар/т: 78 тел (9 «беднотоварных месторождений» – 88 млн кар, потенциал остальных на блок 200 м составляет 52 млн кар); 3) кимберлиты с содержанием 0.005–0.044 кар/т (118 тел, общий потенциал на блок 200 м составляет 16 млн кар); 4) тела с неизвестным содержанием (881 тело – мелкие тела, протяженные дайки). Значительное количество низкоалмазоносных тел требует проведения постоянной переоценки их потенциала с новыми идеями и практиками оценки алмазоносности с использованием тестирования по микроалмазам, поиска признаков наличия редких крупных кристаллов (африканский тип алмазоносности). Изучение крупных кристаллов из якутских месторождений показало, что по кристалломорфологическим характеристикам почти все кристаллы имеют октаэдрическую форму с разной степенью искажения. Большинство кристаллов +50 кар являются монокристаллами октаэдрического и комбинационного габитуса с развитой, иногда параллельной штриховкой и полицентрическим характером роста граней. Некоторые из них относятся к типу Па, но не являются представителями типа CLIPPIR. Типоморфные характеристики алмазов +50 кар и более мелких классов схожие.

Рассмотрен комплекс геологических, научных, организационных и нормативно-правовых мероприятий при постановке поисково-оценочных работ на кимберлиты, в которых предполагается наличие крупных алмазов.



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ АКТИВНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ В ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ПОКРЫТЫХ ЛЬДОМ АКВАТОРИЯХ

А.Л. Собисевич

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Представлены результаты разработки научных основ технологии пассивного геогидроакустического мониторинга покрытых льдом акваторий, а также создания опытных образцов и натуральных испытаний рабочих макетов вмораживаемых буев нового поколения. Они предназначены для использования как самостоятельно, при проведении акустических, гидроакустических и геоакустических измерений в море или на суше, так и в составе дрейфующих антенных систем ледового класса. Вмораживаемый ледовый буй представляет собой модульную информационно-измерительную платформу для векторных гидроакустических и широкополосных молекулярно-электронных приемников с применением авторских инженерно-технических решений. Результатами полевого геофизического эксперимента на льду оз. Байкал, проведенного с целью совершенствования представлений о процессах формирования и распространения геогидроакустических волновых процессов в системе «литосфера – гидросфера – ледовый покров», продемонстрированы перспективные возможности использования методов и средств активной сейсмологии для решения ряда фундаментальных и прикладных задач в условиях покрытых льдом акваторий АЗРФ. Результаты исследований опубликованы в следующих работах [Собисевич и др., 2018а, 2018б, 2021а, 2021б; Преснов и др., 2020; Тихоцкий и др., 2021].

Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С. Исследование возможностей пассивной томографической реконструкции параметров мелкого моря по данным натуральных измерений на поверхности льда // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2020. Т. 84. № 6. С. 815–818.

Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Агафонов В.М., Собисевич Л.Е. Вмораживаемый автономный геогидроакустический буй нового поколения // Наука и технологические разработки. 2018а. Т. 97. № 1. С. 25–34.

Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Собисевич Л.Е., Шуруп А.С. О локализации геологических отдельностей арктического шельфа на основе анализа модовой структуры сейсмоакустических полей // Доклады РАН. 2018б. Т. 479. № 1. С. 80–83.

Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Тубанов Ц.А., Черемных А.В., Загорский Д.Л., Котов А.Н., Нумалов А.С. Байкальский сейсмоакустический эксперимент // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021а. Т. 496. № 1. С. 82–86.

Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Шуруп А.С. Фундаментальные основы совершенствования пассивных сейсмогидроакустических методов исследования шельфа Арктики // Акустический журнал. 2021б. Т. 67. № 1. С. 72–97.

Тихоцкий С.А., Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С. Использование низкочастотных шумов в пассивной сейсмоакустической томографии дна океана // Акустический журнал. 2021. Т. 67. № 1. С. 107–116.



ГЕОХИМИЯ МЕТАОСАДОЧНЫХ РЕСТИТОВ КАК ИНДИКАТОР ГРАНИТО- И РУДООБРАЗОВАНИЯ

А.С. Степанов

State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, China

Частичное плавление метаосадочных пород – основной механизм фракционирования континентальной коры и образования гранитных расплавов. В результате сегрегации расплавов остаются породы, обедненные расплавом, называемые реститами, которые являются основными составляющими мигматитовых и гранулитовых метаморфических комплексов. Сопоставление/синтез геохимических данных из более чем 20 комплексов из сформировавшихся в широком диапазоне условий от низкого давления до сверхвысокой температуры (УНТ) и сверхвысокого давления (УНР) показало, что из-за неоднородности протолита и неполной потери расплава составы реститов и протолитов часто перекрываются, однако существенные изменения пород, вызванные плавлением, очевидны. Независимо от условий плавления метаосадочные реститы демонстрируют потерю SiO_2 , K_2O , Na_2O и обогащение FeO_T , MgO , Al_2O_3 и TiO_2 . Эти тренды могут быть объяснены только потерей значительного количества гранитного расплава.

Геохимические характеристики реститовых пород демонстрируют систематические вариации в зависимости от температуры плавления, давления и флюидного режима. Реститы, образовавшиеся при нижнекоровом плавлении, демонстрируют обеднение P, B, Rb, Cs, Pb и U и фракционирование Nb/Ta, которые комплементарны обогащению гранитов S-типа и, в конечном счете, редкометалльных гранитов. Литий и Be совместимы в кордиеритсодержащих реститах, образующихся при низком давлении, и несовместимы при более глубинном плавлении в присутствии граната. Геохимический эффект плавления в условиях УНТ(P) чувствителен к истории дегидратации горных пород: метаморфизм дегидратированных пород практически не меняет их состав, а плавление недегидратированных метаосадков приводит к потере LREE, Th, Ga, $\pm\text{Zr}$, $\pm\text{Nb}$. Геохимия реститов показывает, что расплавы характеризуются ограниченной степенью обогащения, и высокая степень фракционной кристаллизации гранитных магм является необходимым условием для образования рудоносных гранитных интрузий. В то время как геохимия реститов демонстрирует множество закономерностей, поведение многих элементов остается малоизученным и требует дальнейшего изучения.



МНОЖЕСТВЕННЫЕ ТИТОН-АПТСКИЕ ИМПУЛЬСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОРОГЕННЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЯНО-КОЛЫМСКОМ И ОХОТСКО-КОРЯКСКОМ ПОЯСАХ

В.Ю. Фридовский

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

Обычно с аккреционным/коллизийным событием связан один импульс образования орогенных золоторудных систем. На восточной окраине Сибирского кратона в Яно-Колымском и Охотско-Корякском орогенах с одним продолжительным (от 15 до 35 млн лет) металлогеническим процессом ассоциируют несколько импульсов формирования орогенных золоторудных месторождений. Месторождения имеют как общие, так и специфические характеристики, обусловленные особенностями корово-мантийного развития титон-аптской конвергентной окраины кратона. Орогенные золоторудные месторождения Яно-Колымского пояса локализируются в протяженных трансформных разломах (Адыча-Тарынский, Чай-Юрьинский и др.). Имеющиеся данные изотопного датирования руд месторождений образуют два кластера (млн лет) – 142–148 и 135–138, которые согласуются со временем остывания гранитных плутонов. Ранние и поздние орогенные месторождения имеют сходный минералого-геохимический состав, контролируются компрессионными структурами. Изотопно-геохимические данные характерны для метаморфических и субкоровых рудообразующих систем. Месторождения формировались при завершении коллизии Колымо-Омолонского супертеррейна и восточной окраины Сибирского кратона. Решающее значение для позднеюрской – раннемеловой металлогении имело обогащение мантийной литосферы при субдукции слэба Оймяконского малого океанического бассейна.

Титон-аптское орогенное золотое оруденение Аллах-Юньской зоны Охотско-Корякского орогена ассоциирует с тектонотермальными компрессионными событиями в тылу Удско-Мургальской вулканоплутонической дуги. Раннеорогенные месторождения позднетитонского возраста с согласными стратифицированными жилами в каменноугольных отложениях контролируются пластическими деформациями shear-зон и сопровождаются ранним зеленосланцевым дислокационным метаморфизмом (Булар, Оночолах, Хотунское, Дуэт, Юр и др.). Для раннеорогенных золоторудных месторождений предполагается участие в рудообразовании фертильной sublitosферной мантии. Позднеорогенные месторождения (Неждановское, Задержинское, Маринское и др.) формировались в апте субсинхронно с крупными надсубдукционными гранитоидными массивами и поздним дислокационным метаморфизмом. Они локализируются в пермских отложениях и контролируются хрупкими разломами. Флюиды позднеорогенных месторождений были обогащены рудными элементами при астеносферном апвеллинге в тылу активной континентальной окраины. Металлогенез позднеюрско-раннемеловых коллизийных и надсубдукционных орогенных золотоносных месторождений восточной окраины Сибирского кратона определяется спецификой процессов в субкоровой мантийной литосфере. Базовое финансирование поддержано государственным заданием ИГАБМ СО РАН (проект FUGG-2024-0006). Исследование месторождений Аллах-Юньской зоны выполнено при поддержке РФФИ (проект №23-47-00064).



ПЕТРОГЕНЕЗИС ГРАНИТОИДОВ КРУПНЫХ САЛИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПРОВИНЦИЙ (Центральная и Северо-Восточная Азия)

А.А. Цыганков, Г.Н. Бурмакина

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, tsygan@ginst.ru

Крупнейшие гранитоидные провинции Центральной и Северо-Восточной Азии (Ангаро-Витимская, Хангайская, Калба-Нарымская, Колымская) подразделяются на ареальный и линейный типы, различающиеся площадью и объемом гранитоидов в их составе. Предполагается, что эти различия обусловлены строением и структурой догранитного фундамента и масштабом теплового воздействия на нижние и средние горизонты континентальной коры. Важным фактором формирования гранитоидных провинций является мантийный мафический магматизм, предполагаемые масштабы которого коррелируют с объемно-площадными характеристиками гранитоидных провинций. Роль мафического магматизма заключается в дополнительном привносе тепла от части флюидов в область плавления коровых протолитов, а также в вещественном вкладе, который реализуется через различные механизмы смешения магм. Наиболее эффективным является смешение на глубинном уровне, в результате которого образуются значительные объемы салических магм повышенной основности. Петрогенетическая роль смешения контрастных магм на мезоабиссальном уровне земной коры, а также в гипабиссальных условиях (минглинг-дайки) невелика, однако именно эти проявления служат ключевым аргументом в обосновании синхронности мафического и гранитоидного магматизма.

Гранитоиды SLIPs характеризуются гетерогенным изотопным составом, отвечающим параметрам континентальной коры. Крайне высокая гетерогенность пространственно сопряженных гранитоидов обусловлена смешением салических магм, образованных за счет плавления небольшого числа контрастно различающихся по изотопному составу источников, в том числе посредством смешения с магмами мантийного генезиса.

Металлогения SLIPs определяется величиной эрозионного среза и типом коровых протолитов, от степени метаморфизма которых в значительной мере зависит исходное флюидосодержание салических магм.

Формирование SLIPs несубдукционного генезиса связано с воздействием мантийных плюмов (в виде синхронного базальтоидного магматизма) на разогретую кору молодых орогенных областей, в которых тектонические процессы завершились ранее первых десятков миллионов лет назад.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 23-17-00030.



MAGNETOTELLURIC STUDIES IN MONGOLIA. PROGRESS STATUS AND OUTLOOK

Batmagnai Erdenechimeg^{1,2}, Alexey Kuvshinov^{2,3}, Demberel Sodnomsambuу¹

¹ Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Science, Ulaanbaatar, Mongolia

² ETH Zurich, Zurich, Switzerland

³ Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Mongolia is considered an ideal natural laboratory for studying the processes of intracontinental surface deformation and intraplate volcanism due to its location, which includes high plateaus on the Central Asian Orogenic Belt. Besides, the region contains economically significant mineral deposit zones and vast geothermal resources, both linked to the whole-lithosphere architecture and crust-mantle interactions. Many Earth properties critical for understanding the above processes – such as temperature, fluid content, and partial melt – affect the subsurface's electrical conductivity, a target parameter of the magnetotelluric (MT) method. During 2016–2023, two international regional MT projects were conducted, resulting in more than 700 MT measurements collected over an area of approximately 1000×1100 km. In 2019–2023, another international but smaller-scale MT project was performed (with more than 250 measurements over an area of approximately 35×40 km), aiming to explore the geothermal field near Tsenkher, Khangai Mountains. Moreover, based on knowledge gained during 2016–2023 and 2019–2023 projects, Mongolian researchers have initiated additional MT studies in areas of geological interest. In this contribution, we present details and results from the abovementioned MT studies and discuss possible ways forward.

Раздел 2

**ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ,
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН**



ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОСФЕРА. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ В XXI ВЕКЕ

**С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева, П.С. Бадминов, А.М. Кононов,
А.И. Оргильянов, С.Х. Павлов**

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, salex@crust.irk.ru

Систематические исследования подземной гидросферы Восточной Сибири начались в 1953 г. под руководством профессора В.Г. Ткачук. В 1960 г. отдел гидрогеологии института, а затем лабораторию формирования подземных вод возглавил ученик В.Г. Ткачук Е.В. Пиннекер, впоследствии ставший выдающимся ученым с мировым признанием и основателем сибирской гидрогеологической школы.

В начале 80-х гг. под руководством Е.В. Пиннекера была подготовлена и издана 6-томная монография «Основы гидрогеологии», удостоенная Государственной премии СССР. Два тома этого уникального труда вышли в свет в Англии и Германии.

В 1979–1995 гг. в институте действовали две лаборатории гидрогеологического профиля (заведующие лабораториями – член-корр. РАН, проф. Е.В. Пиннекер и д.г.-м.н., проф. Б.И. Писарский). В 1995 г. они были объединены в лабораторию гидрогеологии и охраны подземных вод (заведующий – Б.И. Писарский, с 2001 г. – С.В. Алексеев). Главным направлением исследований этих лет было определение роли воды в геологических процессах и изучение закономерностей формирования подземных вод. Результаты этих исследований получили признание на мировом уровне.

Под руководством Б.И. Писарского и в тесном контакте с зарубежными коллегами составлены и изданы карты минеральных вод Монголии (м-б 1:2 500 000 и 1:5 000 000), в легенде которых впервые даны рекомендации по использованию минеральных вод для лечения различных заболеваний. Две гидрогеологические карты м-ба 1:5 000 000 явились составной частью «Экологического атласа бассейна озера Байкал», авторы которого стали лауреатами Национальной премии РГО «ХРУСТАЛЬНЫЙ КОМПАС».

В настоящее время усилия научного коллектива направлены на количественную оценку процессов, происходящих в основополагающей для земной коры системе «вода – порода – газ – органическое вещество». Лаборатория оснащена самым современным оборудованием, позволяющим с высокой точностью выполнять анализы химического и изотопного состава подземных вод.

Работы лаборатории входят в число приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований СО РАН, поддерживаны грантами РФФИ, РНФ, проводятся в рамках междисциплинарных проектов и обеспечены хозяйственными договорами.

Полученные важнейшие результаты позволили разработать систему индикации геологических результатов многолетнего криогенеза гидрогеологических систем, выявить основные гидрогеохимические провинции, условия локализации и геохимические особенности лечебных, промышленных и термознергетических подземных вод в осадочных бассейнах Восточной Сибири, охарактеризовать термодинамические, тепломассообменные и физико-химические процессы, протекающие в ходе эволюции подземной гидросферы, оценить ее ресурсный, газогенерирующий потенциал.

На современном этапе воздействие человека на земные недра превратилось из локального (точечного) в региональное (площадное), став более интенсивным и мощным, а зачастую – необратимым. Техногенная нагрузка привела к истощению и загрязнению подземной гидросферы, поэтому экологическая направленность также определяет современное лицо лаборатории гидрогеологии, ее теоретические и экспериментальные научно-прикладные исследования.

Научно-организационная деятельность лаборатории связана с работой Комиссии по изучению подземных вод Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР (1959–1991 гг.), РОСГИДРОГЕО, Международной ассоциации гидрогеологов, проведением многочисленных региональных и всероссийских совещаний.

Перспективы дальнейшего развития лаборатории определяются наличием сложившейся и успешно развивающейся гидрогеологической школы, основателем которой был выдающийся исследователь подземной гидросферы Е.В. Пиннекер.

Генеральной целью лаборатории гидрогеологии является *изучение и моделирование процессов эволюции, а также составление схемы основных этапов формирования подземной гидросферы под влиянием природных и техногенных факторов.*

В ближайшей перспективе планируется:

1) в соответствии с основными положениями синергетики всесторонне изучить систему «вода – порода – газ – органическое вещество» как наиболее полно удовлетворяющую критериям самоорганизации, определить характер, время водообмена и массопереноса в подземной гидросфере;

2) выявить закономерности формирования ресурсов и состава подземных вод в регионах с различными геолого-структурными условиями и климатическими особенностями. На этой основе осуществить гидрогеологическое районирование и охарактеризовать различные виды зональности;

3) на базе современных научных концепций осмыслить и определить геологическую деятельность воды не только в земной коре, но и в мантии;

4) решить принципиально новые задачи, касающиеся взаимоотношения подземной гидросферы с оказываемыми на нее техногенными нагрузками. Это, в свою очередь, позволит выполнить количественный прогноз возможных негативных последствий и разработать мероприятия по регулированию состояния подземной гидросферы.



ЛАБОРАТОРИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ И СЕЙСМОГЕОЛОГИИ ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН: ИСТОРИЯ, НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Е.В. Брыжак, В.И. Джурик

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, bryzhak@crust.irk.ru

Лаборатория инженерной сейсмологии и сейсмогеологии Института земной коры СО РАН была образована в 2011 г. в результате объединения двух лабораторий: лаборатории общей и инженерной сейсмологии и лаборатории сейсмогеологии. С 2011 по 2021 г. лабораторию возглавлял д.г.-м.н В.И. Джурик, с 2021 г. заведующий лабораторией – к.г.-м.н. Е.В. Брыжак. Численность лаборатории – 18 человек, из них 1 доктор и 10 кандидатов наук. История объединенных лабораторий была следующей.

Лаборатория сейсмологии была создана в 1963 г. профессором А.А. Тресковым, организатором службы инструментальных сейсмических наблюдений и главой сибирской сейсмологической школы. Лаборатория инженерной сейсмологии основана в 1970 г. д.г.-м.н. О.В. Павловым, координатором комплексных геолого-геофизических исследований сейсмической опасности трассы БАМ и других промышленных и гражданских объектов Восточной Сибири и Монголии. До слияния лабораторий заведующими были к.г.-м.н. В.М. Кочетков (лаборатория сейсмологии), к.ф.-м.н. А.В. Солоненко (лаборатория физики землетрясений), к.т.н. В.А. Потапов (лаборатория инженерной сейсмологии). Лаборатория сейсмогеологии была создана в 1962 г. по инициативе члена-корреспондента АН СССР В.П. Солоненко (руководил в 1962–1988 гг.), после того как в регионе произошло три сильных землетрясения: Мондинское, Муйское и Среднебайкальское, а также катастрофическое Гоби-Алтайское (Южная Монголия). В 1988–1997 гг. лабораторию возглавлял д.г.-м.н. В.С. Хромовских, в 1997–2007 гг. – д.г.-м.н. В.В. Ружич, в 2007–2011 гг. – д.г.-м.н. В.С. Имаев.

Лаборатория проводит исследования по следующим основным научным направлениям: проблемы очаговой сейсмологии, сейсмического режима, напряженно-деформированного состояния литосферы, количественной оценки сейсмичности, сейсмического районирования разной степени детальности, изучение динамики сейсмических волн в структурно-неоднородных средах и прогноз сейсмических воздействий на грунты и сооружения; разработка и совершенствование методов количественной оценки сейсмической опасности, совершенствование и дальнейшая разработка методов палеосейсмогеологического анализа, развитие методов долго- и среднесрочного прогноза сильных землетрясений для Прибайкалья и смежных территорий, напряженно-деформированного состояния геологической среды в зонах активных разломов.

К основным достижениям лаборатории по реализации указанных задач можно отнести следующие. Выявлены структурно-динамические процессы сеймотектонической реактивизации региональных шовных зон межплитных границ территории Восточной Сибири и северо-восточного сектора Российской Арктики, что является актуальным и новым решением проблемы сейсмобезопасности при активном освоении территорий Восточной Сибири, арктического шельфа и прибрежных континентальных районов территории. В результате созданы карты сеймотектоники Восточной Сибири и сейсмического районирования Байкало-Монгольского региона. Выделены группы сейсмических событий, и изучено группирование сейсмичности. Разработана формализованная технология определения и выделения цепочек землетрясений в эпицентральной поле сейсмичности. Получены характеристики затухания сейсмических волн для трех разных рифтовых систем, которые в целом согласуются между собой, что может свидетельствовать о сопоставимых по уровню процессах модификации литосферы в разных рифтовых зонах. Разработана методика сейсмического микрорайонирования в условиях вечной мерзлоты, и реализован прогноз сейсмических воздействий сильных землетрясений для различных сейсмоклиматических зон с учетом физического состояния грунтов. Обобщены ранее проведенные исследования,

и представлены новые данные для конкретных территорий с учетом изучения основных закономерностей сейсмодинамики: от анализа изосейст сильных землетрясений, связанных с проявлениями сейсмичности в регионе, до реализации методики прогноза сейсмических воздействий сильных землетрясений при деградации мерзлоты на примере крупных геологических структур. Даны рекомендации по сейсмическому микрорайонированию аймачных центров Монголии, и обоснованы инженерно-сейсмологические условия строительства для двух городов, восьми аймачных и двух сомонных центров. В отношении геодинамических характеристик горных пород на участках перспективного строительства и выявления опасности массивов горных пород от техногенных и естественных источников показана возможность их ранжирования по степени механической устойчивости и контроля их состояния в процессе строительства и эксплуатации сооружений.

Лаборатория тесно сотрудничает с российскими и зарубежными сейсмологическими организациями. В перспективе при сотрудничестве сейсмологов и сейсмогеологов лаборатории с ведущими специалистами по теоретической физике, геомеханике, теории волновых полей, физическому эксперименту можно рассчитывать на успешное решение ряда проблем в области разработки сеймотектонических моделей сейсмического процесса и деструкции земной коры, средне- и долгосрочного прогноза землетрясений, оценки сейсмической опасности, прогноза сейсмических воздействий и на своевременное принятие эффективных мер по снижению ущерба от прогнозируемых сильных землетрясений.



КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РЕГИОНЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И АРКТИКИ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

**И.В. Буддо^{1,2}, Е.Х. Турутанов¹, В.И. Мельникова¹, В.В. Мордвинова¹, В.А. Голубев¹,
Н.В. Мисюркеева^{1,2}, И.А. Шелохов^{1,2}, О.А. Соловей¹, М.А. Хритова¹, Е.А. Кобелева¹,
М.М. Кобелев¹, А.А. Черных^{1,2}, Л.П. Шашкеева¹**

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, biv@crust.irk.ru, mnv@crust.irk.ru, sia@crust.irk.ru, saaa@crust.irk.ru, hritova@crust.irk.ru, vimel@crust.irk.ru, tur@crust.irk.ru, mordv@crust.irk.ru, golubev@crust.irk.ru, solovey@crust.irk.ru, ekobeleva@crust.irk.ru, kobelevmm@crust.irk.ru, slp@crust.irk.ru

² Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

Геофизические исследования в Восточной Сибири, в частности инструментальное изучение сейсмических явлений в Прибайкалье, началось с открытия четырех сейсмостанций: «Иркутск», «Кабанск», «Чита», «Маритуй» (1901–1908 гг.). История же лаборатории началась в 1970 г. с создания лаборатории глубинного строения коры и мантии Земли (с 1995 г. и поныне – лаборатория комплексной геофизики) путем слияния лаборатории внутреннего строения Земли и сейсмометрии (зав. Г.Н. Бугаевский) и лаборатории комплексных геофизических исследований (зав. П.В. Коростин). До 2004 г. лаборатория работала под руководством доктора геол.-мин. наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ Ю.А. Зорина. С 2004 г. лабораторию возглавлял д.г.-м.н. Е.Х. Турутанов, а с 2021 г. лабораторией заведует к.г.-м.н. И.В. Буддо. Лаборатория была создана для выполнения научно-исследовательских работ с целью изучения строения коры и мантии центральной части Азии комплексом геофизических методов, включая сейсмические, гравиметрические, электромагнитные и геотермические.

В настоящее время штат лаборатории включает 15 специалистов, в т.ч. 5 докторов наук, 5 кандидатов наук и 2 молодых аспирантов. В 2022–2023 гг. лаборатория была оснащена самыми современными приборами для изучения геофизических полей как в наземном, так и в аэро- (беспилотном) варианте, а также необходимым программным обеспечением.

По результатам проведенных за последние годы исследований – интерпретации гравиметрических и сейсмологических материалов – составлены карты мощности земной коры и литосферы для всего Монголо-Сибирского региона. В результате выполненных работ на геофизической базе была подтверждена точка зрения, согласно которой Монголо-Сибирский регион представляет собой мозаику блоков земной коры (террейнов), соединившихся в результате аккреционно-коллизийных процессов с образованием крупноамплитудных надвигов в Южном Прибайкалье, Западном Забайкалье и Центральной Монголии. Сравнение величин геотермических параметров геологических структур с их тектонической активностью позволило сотрудникам лаборатории установить геотермальную активность в пределах изученного региона и ее площадное распространение.

Изучение напряженно-деформированного состояния земной коры и верхней мантии по данным о механизмах очагов землетрясений является важнейшей задачей геолого-геофизических исследований. В результате проведенных исследований каталог механизмов очагов землетрясений был дополнен сотнями новых качественных решений, на основе которых детально изучены очаговые параметры ряда сильных землетрясений и определены режимы СТД литосферы Центральной и Восточной Азии, Байкальской рифтовой зоны, а также Восточной Арктики. На основании анализа результатов картирования и двумерных скоростных разрезов сделано заключение, что верхняя мантия центральной части Азии характеризуется неоднородностью глубинного строения на всем интервале исследуемых глубин. Результаты томографии и их сопоставление с моделями, построенными по приемным функциям профиля, позволили однозначно установить сравнительно высокие скорости под южной окраиной Сибирской платформы и максимально низкие скорости в районе Хангайского поднятия, что по выходу на поверхность совпадает с максимальной топографией.

Проведены исследования, связанные с изучением верхней части разреза с уточнением его физико-геологической модели до глубины 500 м: структуры, литологических особенностей, проявления тектоники в пределах обширной территории на полуострове Ямал. Впервые предложены оригинальные методы решения задач, связанных с изучением зоны распространения многолетнемерзлых пород, повсеместно встречающейся в Западной и Восточной Сибири и в других северных регионах Российской Федерации.

Перспективы развития исследований в лаборатории связываются с изучением строения криолитозоны региона Арктики, месторождений нефти и газа, геотермальных месторождений, а также с широким использованием записей сейсмических волн на цифровых станциях в комплексе с другими геофизическими данными для изучения строения литосферы и астеносферы арктической части РФ и под тектонически активными зонами Центральной Азии.



НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЛАБОРАТОРИИ ГЕОЛОГИИ НЕФТИ И ГАЗА

А.Г. Вахромеев, С.А. Сверкунов, Т.А. Корнилова, Н.В. Мисюркеева, Н.И. Степанова

Институт земной коры Сибирского отделения РАН, Иркутск, Россия, andrey_igp@mail.ru

Первые предложения по созданию лаборатории геологии нефти и газа были сделаны еще д.г.-м.н. Н.А. Флоренсовым в 1949 г.; при организации Института геологии ВСФ АН СССР был создан сектор нефти и газа (1953–1955 гг.). Созданием лаборатории геологии нефти и газа в ИЗК СО РАН в 2011 г. и.о. директора института д.г.-м.н. Д.П. Гладкочуб, по сути, возродил нефтегазовое научное направление, именно эта отрасль сегодня является «локомотивом», определяющим промышленное развитие нашего региона. Научным координатором лаборатории стал ученый, геолог-нефтяник с мировой известностью профессор, академик РАН А.Э. Конторович – руководитель научной школы «Фундаментальные и прикладные проблемы геологии нефти и газа». Первый заведующий 2011–2013 гг. – известный ученый-нефтяник д.г.-м.н. Д.И. Дробот, далее лабораторией руководит д.г.-м.н., профессор А.Г. Вахромеев.

Объекты исследований лаборатории – карбонатные трещинные резервуары рифейского и венд-кембрийского возраста, а также насыщающие их пластовые УВ и гидроминеральные редкометалльные системы. Их перспективность обоснована в пределах Прибайкальского, Предпатомского, Присяянского прогибов, включая сложнейшие объекты неантиклинального типа – погребенные органогенные постройки, где фонтанные притоки нефти и газа самые высокодебитные. Сотрудники лаборатории решают актуальные научно-прикладные проблемы: обоснование методологии геологического изучения краевых прогибов и зон их сочленения с уже изученными НГО юга Сибирской платформы (Ангаро-Ленской и Непско-Богубинской), зон АВПД и АНПД флюидонапорных систем; обоснование инновационных алгоритмов освоения трудноизвлекаемых запасов нефти, газа и литиеносных промышленных рассолов, горно-геологических условий первичного вскрытия бурением сложно построенных месторождений и залежей УВ и промышленных рассолов в карбонатных трещинных природных резервуарах (ПР) докембрия и кембрия.

Основные результаты за период с 2018 по 2023 г. получены в исследованиях аномальных барических характеристик гетерофазных флюидных систем ПР докембрия и раннего палеозоя Сибирской платформы. Это позволило ученым создать целостное представление о процессах формирования уникальных анизотропных зон развития сложных межсоловых трещинных пластов-коллекторов. Сформулированы основные положения теории формирования залежей флюидов с аномальными параметрами, обоснованы модельные представления о фильтрационном поле нефтегазонасыщенных трещинных резервуаров кембрия. Предложен комплекс их выявления инструментальными методами геологической разведки, новые решения в области технологии первичного вскрытия бурением. Так, сотрудниками лаборатории впервые научно обоснованы гидравлические механизмы одновременного поглощения и проявления (ГНВП) в горизонтальных скважинах при вскрытии кустовым бурением пластовых УВ-систем с АНПД массивных трещинных карбонатных коллекторов рифейского ПР Юрубчено-Тохомского НГКМ; геологические ограничения применимости технологий первичного вскрытия продуктивных коллекторов рифея горизонтальными стволами большой протяженности; разработаны и запатентованы пионерные технические решения и способы горизонтального бурения и отбора керна в сложно построенных трещинных резервуарах.

Разработка общей, детальной и адаптированной для практического использования стратиграфической шкалы позднего докембрия – одна из важнейших геологических задач. Д.г.-м.н. А.М. Станевичем создан «Рабочий вариант к унифицированной региональной стратиграфической схеме позднего докембрия Саяно-Байкало-Патомского региона (юг Сибирской платформы)». Новые изотопные и микрофитологические данные подтверждают и показывают вендское положение дальнетайгинского и жуинского горизонтов.

В рамках концепции развития Иркутского газового кластера ПАО «ГАЗПРОМ» и реализации стратегического для России проекта «Сила Сибири» на территории Иркутской области рекомендован главный объект подготовки ресурсной базы УВ и лития ПАО «ГАЗПРОМ» на юге – гигантское мезокайнозойское Верхнеленское сводовое поднятие. Выполнены исследования карбонатных резервуаров южной и центральной части Верхнеленского поднятия и сопредельных структур. Работами 2021–2023 гг. выявлены перспективные для поисков и наращивания сырьевой базы УВ, лития и других редких и рассеянных элементов в промышленных рассолах объекты – карбонатные платформы над выступами фундамена кратона и биогермные постройки в их проекции.

В 2012–2023 гг. сотрудниками лаборатории опубликовано 294 статьи в ведущих российских и международных научных журналах; представлено более 170 тезисов докладов конференций; зарегистрировано 39 патентов РФ; издано 26 научных монографий и 13 учебников. Под научным руководством ученых лаборатории геологии нефти и газа за эти годы защищены 9 кандидатских диссертаций.

Перспективные направления исследований лаборатории: обоснование, аргументация категории трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) углеводородного и литиевого сырья в сложных карбонатных ПР; обоснование перспективных объектов геологического изучения недр и подготовки ресурсной базы ТРИЗ УВ и литиевого сырья в регионе; разработка методологии гидродинамических исследований неравновесных систем гидроминерального сырья – рассолов; последующая оценка геологических ресурсов и извлекаемых запасов.



ЛАБОРАТОРИЯ ГЕОЛОГИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИЗК СО РАН: СТАНОВЛЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

А.С. Гладков

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, gladkov@crust.irk.ru

Месторождения полезных ископаемых в том или ином виде были объектами исследований института на протяжении всей его истории. Наиболее востребованной с середины XX в. является алмазная тематика, которую активно развивал один из первых директоров института, первооткрыватель якутских алмазов М.М. Одинцов. Под его руководством была создана сибирская школа алмазников (Б.М. Владимиров, В.А. Твердохлебов, С.Ф. Павлов, Л.Н. Зведер, Т.П. Колесникова, В.Г. Домышев и др.). В 1971 г. на базе кабинета геологии и петрологии кимберлитов и алмазных месторождений была создана лаборатория под тем же названием. В 1975 г. она была переименована в лабораторию геологии и магматизма древних платформ, которой руководили Б.М. Владимиров (1975–1991) и К.Н. Егоров (1991–2017). Под их руководством успешно решались задачи, связанные с происхождением алмазов и их месторождений, а также проводились исследования по направлению «минералогия, петрология и эволюция глубинных зон континентальной коры».

Возрастающая необходимость развития минерально-сырьевой базы России требует опережающего научно-методического обеспечения поисковых работ на различные виды полезных ископаемых, в том числе на территориях со сложной геологической обстановкой. В связи с этим круг задач, решаемых лабораторией, был расширен и включил в себя не только проблемы алмазных месторождений, но также других рудных полезных ископаемых, что и отразилось в новом названии лаборатории с 2019 г. Одной из первоочередных задач обновленной лаборатории является разработка оригинальных и адаптация существующих прогнозно-поисковых технологий для различного спектра полезных ископаемых (алмазы, золото, полиметаллы и т.д.). В ее состав, наряду со специалистами вещественного направления, были включены специалисты в области структурной геологии и тектонофизики, что позволило, опираясь на опыт и знания, накопленные предыдущими поколениями исследователей, развивать комплексный подход к решению задач прогноза и поиска месторождений полезных ископаемых.

Основные направления исследований лаборатории месторождений:

- изучение структур рудных полей и месторождений в различных геодинамических обстановках;
- создание динамических структурно-вещественных моделей формирования коренных месторождений различных полезных ископаемых;
- разработка локальных прогнозно-поисковых критериев и признаков для различных типов коренных месторождений полезных ископаемых.

Сотрудниками лаборатории проводятся исследования на коренных месторождениях алмазов (Западная Якутия и Республики Ангола) и золота (различные регионы России и Казахстана). Полученные результаты и рекомендации востребованы и используются производственными предприятиями Акционерной компании «АЛРОСА» (Якутнипроалмаз, Удачинский, Нюрбинский и Айхальский ГОКи, Виллюйская ГРЭ), зарубежными компаниями («ГРО Катока ЛТД», «ГеоKZ»). Дальнейшие перспективы развития лаборатории связываются с совершенствованием комплекса используемых методов исследований, а также с постановкой работ на других рудных объектах.



ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН С ИНСТИТУТАМИ МОНГОЛЬСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Д.П. Гладкочуб¹, С. Дэмбэрэл²

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Институт астрономии и геофизики Монгольской академии наук, Улан-Батор, Монголия

Советские геологи из академических институтов Сибири начали активно сотрудничать с коллегами из Монголии в середине прошлого века, практически сразу после создания в Иркутске в 1949 г. Института геологии (с 1962 г. Институт земной коры), входящего вначале в структуру Восточно-Сибирского филиала АН СССР, а в последующем – в Сибирское отделение АН СССР и Российской академии наук.

Наибольшим стимулом к активизации этого сотрудничества стало катастрофическое Гоби-Алтайское землетрясение, произошедшее на территории Монголии 4 декабря 1957 г. Для совместного изучения последствий этого землетрясения была сформирована комплексная советско-монгольская экспедиция, развернутая на территории Монголии, которая в последующем привела к формированию сети станций сейсмологических наблюдений в Монголии.

Научное сотрудничество значительно расширилось в 60- и 90-е гг. XX в. после создания Сибирского отделения АН СССР (1957 г.). Десятки совместных экспедиций, включавших в себя сотни научных сотрудников институтов СО АН СССР, а в последующем СО РАН (с 1991 г.), проводились ежегодно на территории Монголии. Комплексные экспедиции, организованные совместно учеными СО РАН и Монгольской академии наук (МАН), исследовали вопросы геологии, тектоники, сейсмологии. В качестве основных вех в развитии сотрудничества ИЗК СО АН СССР и Монгольской академии наук на данном временном этапе могут быть выделены следующие знаковые события:

1958 г. – создана Советско-Монгольская Гоби-Алтайская экспедиция по обследованию Гоби-Алтайского землетрясения 1957 г. (начальник экспедиции член-корр. АН СССР В.П. Солоненко, научные руководители член-корр. АН СССР Н.А. Флоренсов и д.г.-м.н. А.А. Тресков);

1967 г. – создана Советско-Монгольская комплексная научно-исследовательская геологическая экспедиция (начальник экспедиции Н.С. Зайцев), за годы работы которой руководящие должности в ней занимали такие известные ученые ИЗК СО РАН, как В.П. Солоненко, Ю.В. Комаров, О.В. Павлов, Ю.А. Зорин, М.Р. Новоселова, Е.Х. Турутанов, В.Г. Беличенко, В.А. Рогожина, В.И. Найдич и др.;

1986 г. – создана Совместная Советско-Монгольская геофизическая экспедиция (ССМГЭ) (Институт земной коры СО РАН – головной институт, начальник экспедиции к.г.-м.н. В.М. Кочетков, научный руководитель академик Н.А. Логачев).

Для проведения экспедиционных работ Институтом земной коры АН СССР – СО РАН совместно с монгольскими коллегами на территории Монголии были созданы стационары «Могод» (1988 г.) и «Эмээлт» (2009 г.). Координировал работу стационаров занимавший в то время пост заместителя директора института по научной работе, д.г.-м.н., профессор К.Г. Леви.

Среди основных результатов совместных работ, проведенных сотрудниками ИГ ВСФ АН СССР – ИЗК СО РАН с монгольскими коллегами на территории Монголии, могут быть выделены следующие наиболее важные и масштабные достижения.

1. На территории Монголии выделены и детально изучены комплексы метаморфических ядер – уникальных индикаторов процессов внутриконтинентального растяжения.

2. Составлены сейсмические карты Байкальского и Монгольского регионов и карты пространственного распределения землетрясений в Прибайкалье и Монголии.

3. Изучена активность основных разломов г. Улан-Батора и его окрестностей.

4. Проведено сейсмическое микрорайонирование г. Эрдэнета, г. Улан-Батора и его окрестностей.

5. Разработаны рекомендации по сейсмоусилению зданий в г. Улан-Баторе.
6. Составлены карты проявления опасных экзогенных процессов на территории г. Улан-Батора и в его окрестностях.
7. Изучено горизонтальное движение земной коры Монголо-Байкальского региона по данным GPS- геодезии.
8. Изучен тепловой режим недр Монголии, составлена Карта теплового потока Восточной Сибири и Монголии.
9. Составлена и издана Карта минеральных вод Монголии, масштаб 1: 2 500 000.

Наиболее значимые результаты исследований российских и монгольских ученых-геологов опубликованы в многочисленных совместных научных работах. Значительный вклад в развитие российско-монгольских исследований на территории Монголии внесли многие монгольские ученые, среди которых необходимо отдельно отметить академиков Б. Чадру, О. Томуртоого, а также первого космонавта Монголии, председателя Общества дружбы «Монголия – Россия», Героя Монгольской Народной Республики и Героя Советского Союза Ж. Гуррагчу, который неоднократно посещал ИЗК СО РАН, в том числе с лекциями для молодых ученых.

Основные актуальные и перспективные направления развития сотрудничества между сотрудниками ИЗК СО РАН и монгольскими коллегами связаны со следующими сферами научного взаимодействия:

- 1) исследование мезозойских и кайнозойских вулканических пород, осадочных отложений и лёссово-почвенных формаций Монголии и Сибири с целью реконструкции климата, рельефа и истории развития растительности;
- 2) научно-технологическое сотрудничество в области развития и применения современных беспилотных и наземных аппаратурно-программных геофизических комплексов, а также подходов к комплексированию геофизических методов с целью решения широкого круга актуальных геологических задач;
- 3) изучение зон разломов геолого-структурными методами, реконструкции полей тектонических палео- и современных напряжений тектонофизическими методами для подготовки карты полей напряжений территории Монголии;
- 4) изучение зон сейсмоактивных разломов морфотектоническими, палеосейсмологическими методами, датирование сейсмогенных деформаций для оценки периода повторяемости сильных землетрясений;
- 5) проведение наблюдений методом спутниковой геодезии на локальных GPS-полигонах (Хубсугульский, Улан-Баторский, Эмеелт, Восточный), расчеты скоростей современных движений и деформаций земной поверхности для оценки скорости деформации разномасштабных тектонических структур, определения скоростей и типов современных подвижек по разломам, выявления взаимосвязи скоростей современных движений и сейсмичности;
- 6) проведение эманационной съемки в зонах активного динамического влияния разломов окрестностей г. Улан-Батора с целью создания фундаментальных основ оценки радоноопасности территории Центральной Монголии;
- 7) развитие комплексного мониторинга опасных геологических процессов, в том числе землетрясений, на территории Монголии, включая окрестности оз. Хубсугул (пос. Ханх) и г. Улан-Батор;
- 8) оперативный обмен данными об опасных геологических процессах, происходящих на территории Монголии и Прибайкалья, в том числе информацией о сейсмических событиях для прогноза сейсмических воздействий с целью обеспечения сейсмобезопасности гражданских и промышленных объектов;
- 9) исследование и мониторинг развития опасных экзогенных геологических процессов в природных и природно-техногенных геосистемах (береговая зона водоемов, городские агломерации, горнодобывающая промышленность). Составление карт экзогеодинамической опасности или инженерно-геологического районирования различных природно-технических объектов;
- 10) организация гидрогеохимического мониторинга во впадине озера Хубсугул, в Тункинской долине и в районе г. Улан-Батора для оценки угрозы землетрясений, определение ключевых мест для систематического гидрогеохимического мониторинга активных разломов;
- 11) изучение термического режима горных пород и геохимических особенностей подземных льдов в карстовых пещерах приграничных территорий Монголии и России;
- 12) совместное научное сопровождение крупных инвестиционных проектов в Монголии, в том числе строительства газопровода «Сила Сибири-2» из России в Китай через территорию Монголии;

13) организация нового цикла российско-монгольских интеграционных проектов под эгидой Минобрнауки России, Президиума РАН, Сибирского отделения РАН с организациями Монгольской академии наук в области наук о Земле;

14) развитие контактов молодых ученых России и Монголии, ориентированных на подготовку научных кадров высшей квалификации на базе ИЗК СО РАН.

Среди организаций-партнеров со стороны Монголии в совместных исследованиях будут выступать Институт астрономии и геофизики МАН, Институт географии и геоэкологии МАН, Палеонтологический институт МАН, Институт геологии МАН, Институт естественных и гуманитарных наук Монгольского государственного университета и др.

Многолетнее научное сотрудничество с коллегами из институтов Монгольской академии наук и вузов Монголии продолжается и является одним из главных приоритетов в научной политике Института земной коры СО РАН.



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Д.П. Гладкочуб, А.В. Саньков, А.А. Добрынина, В.А. Саньков, А.А. Рыбченко

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, dobrynina@crust.irk.ru

Байкальская рифтовая система (БРС) является одной из наиболее сейсмически активных территорий Российской Федерации, по классификации МЧС ей присвоена первая (высшая) категория опасности. Помимо землетрясений, БРС характеризуется проявлениями разнообразных опасных геологических процессов, таких как сели, паводки, обвалы и оползни, лавины, карстовые проявления. В 2020 г. в рамках Крупного проекта Минобрнауки России «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории» (грант № 075-15-2020-787) в Институте земной коры СО РАН начались работы по развитию нового научного направления – комплексного мониторинга опасных геологических процессов (ОПГ) на основе непрерывных измерений различных геофизических полей [Семи́нский и др., 2022].

Пилотная сеть полигонов комплексного мониторинга ОПГ расположена вдоль основных рифтовых структур юго-западного фланга БРС на территории Иркутской области (полигоны «Листвянка», «Бугульдейка» и «Приольхонье», пункт «Узур») и на территории Республики Бурятия (пункты мониторинга «Максимиха», «Заречье», «Сухой ручей»). Полигон «Южный Байкал» занимает область от южного окончания оз. Байкал («Талая») до системы Тункинских впадин (полигон «Зун-Мурино»). Такое положение измерительных пунктов позволяет проводить наблюдения за центральной и юго-западной частью рифта, где наиболее ярко проявляются процессы сейсмической и селевой активности.

Полигоны оснащены современным высокоточным оборудованием для мониторинга деформаций горных пород (собственная разработка ИЗК СО РАН), эманаций радона, скоростей движений и деформаций земной коры методом GPS-геодезии, магнитотеллурического поля Земли, метеопараметров, температурного режима грунтов для глубин до 10 м и сейсмического и микросейсмического режимов [Семи́нский и др., 2022].

Данные с пунктов и полигонов комплексного мониторинга поступают в ИЗК СО РАН на сервер Центра комплексного мониторинга частично в режиме реального времени, частично – один раз в сутки. В 2022 г. совместно с Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск) была разработана специальная цифровая платформа для визуализации, анализа и первичной обработки данных комплексного мониторинга. Платформа позволяет вывести на единый планшет данные разных видов мониторинга за выбранный период времени, провести первичную обработку сигналов и сохранить их в цифровом и растровом виде для последующего анализа [Брагинская и др., 2023].

Длинные ряды данных комплексного мониторинга используются для поиска возможных предвестников землетрясений в БРС и последующей разработки фундаментальных основ прогноза землетрясений. Настоящий подход положительно себя зарекомендовал при изучении предвестников последних сильных землетрясений БРС: Быстринского (Тункинская впадина, 21.09.2020 г., Mw=5.4) [Семи́нский и др., 2021] и Кударинского (Южный Байкал, 09.12.2020 г., Mw=5.6) [Добрынина и др., 2023; Борняков и др., 2021].

На основе данных комплексного мониторинга в ИЗК СО РАН разработана современная система мониторинга и экстренного оповещения (СМЭО) о сходе селевого потока. Система оповещения использует патент на изобретение № 2656123 «Способ определения приближения селя» (правообладатель ИЗК СО РАН) и базируется на разнице скорости распространения сейсмических волн (от 3 до 6 км/с), акустических волн (~300 м/с) и скорости схода селевого потока (несколько метров в секунду). СМЭО позволит получать данные о текущем состоянии селеопасных районов в режиме реального времени и подавать сигнал тревоги в органы МЧС, управления РЖД и местного самоуправления за 1.5–2.0 ч до прихода катастрофического селевого потока. Система

мониторинга и экстренного оповещения может быть применена в других селеопасных регионах Российской Федерации.

В перспективе дальнейших работ в ИЗК СО РАН запланировано расширение сети комплексного мониторинга ОГП на всю территорию БРС, а также установка пунктов мониторинга в Монголии, на Кавказе и на Камчатке при участии Института астрономии и геофизики Монгольской академии наук, Владикавказского научного центра РАН и Камчатского филиала ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН».

Семинский К.Ж., Добрынина А.А., Борняков С.А., Саньков В.А., Поспеев А.В., Рассказов С.В., Первалова Н.П., Семинский И.К., Лухнев А.В., Бобров А.А., Чебыкин Е.П., Едемский И.К., Ильясова А.М., Салко Д.В., Саньков А.В., Король С.А. Комплексный мониторинг опасных геологических процессов в Прибайкалье: организация пилотной сети и первые результаты // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13. № 5. 0677.

Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Ковалевский В.В., Добрынина А.А. Цифровая платформа для комплексных геофизических исследований в Байкальском регионе // Сейсмические приборы. 2023. Т. 59. № 4. С. 36–49. doi:10.21455/si2023.4-3.

Семинский К.Ж., Борняков С.А., Добрынина А.А., Радзиминович Н.А., Рассказов С.В., Саньков В.А., Миалле П., Бобров А.А., Ильясова А.М., Салко Д.В., Саньков А.В., Семинский А.К., Чебыкин Е.П., Шагун А.Н., Герман В.И., Тубанов Ц.А., Улзибат М. Быстринское землетрясение в Южном Прибайкалье (21.09.2020 г., Mw=5.4): основные параметры, признаки подготовки и сопровождающие эффекты // Геология и геофизика. 2021. Т. 5. С. 727–743.

Добрынина А.А., Саньков В.А., Борняков С.А., Король С.А., Саньков А.В. Аномалии микросейсмических шумов в связи с Кударинским землетрясением 9 декабря 2020 г. с Mw=5.6 в Байкальской впадине // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 509. № 1. С. 74–80.

Борняков С.А., Добрынина А.А., Семинский К.Ж., Саньков В.А., Радзиминович Н.А., Салко Д.В., Шагун А.Н. Быстринское землетрясение в Южном Прибайкалье (21.09.2020 г., Mw=5.4): общая характеристика, основные параметры и деформационные признаки перехода очага в метанестабильное состояние // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 498. № 1. С. 84–88.



ПАЛЕОГЕОДИНАМИКА СИБИРИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Д.П. Гладкочуб, Е.В. Скляр

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, dima@crust.irk.ru

Изучением геодинамических процессов геологического прошлого Земли (палеогеодинамикой) занимается ряд научных коллективов в институтах Российской академии наук. В Сибири главными объектами изучения являются такие основные тектонические структуры, как Сибирский кратон (платформа) и Центрально-Азиатский складчатый пояс (ЦАСП). Отдельного внимания заслуживает также и область активного взаимодействия кратона с террейнами складчатого пояса, маркируемая метаморфическими комплексами различной природы и возраста. В силу устоявшихся традиций коллеги из академических институтов Новосибирска в наибольшей степени сосредоточены на изучении палеогеодинамики Алтае-Саянской складчатой области, а также западной и юго-западной окраины Сибирского кратона. Ученые-геологи из г. Улан-Удэ и г. Читы занимаются геодинамикой Забайкалья, а южный фланг Сибирского кратона и прилегающие к нему структуры ЦАСП входят в сферу ответственности Института земной коры СО РАН и Института геохимии СО РАН.

В ИЗК СО РАН лаборатория палеогеодинамики была образована в 1986 г. путем слияния двух ранее существовавших лабораторий: лаборатории геологии и металлогении докембрия (зав. лабораторией А.П. Шмотов) и лаборатории тектоники (зав. лабораторией В.Г. Беличенко). В последующем лабораторию возглавляли члены-корреспонденты РАН Е.В. Скляр (с 1990 по 2004 г. и с 2023 г. по настоящее время) и Д.П. Гладкочуб (с 2004 по 2023 г.). В настоящее время численность лаборатории составляет 20 человек, в том числе 2 члена-корреспондента РАН, 4 доктора и 6 кандидатов наук.

На данном этапе развития основные научные направления лаборатории могут быть сформулированы следующим образом: 1) становление структуры Сибирского кратона и ЦАСП; 2) геодинамика области сочленения Сибирского кратона и ЦАСП; 3) новые минералы и их роль в реконструкции геодинамических режимов; 4) связь геодинамики и рудообразующих процессов.

В рамках этих основных направлений ведутся работы по изучению комплексов магматических, метаморфических и осадочных горных пород, позволяющие реконструировать разнообразные тектонические процессы, сыгравшие определяющую роль в формировании современного облика Северной Евразии. Кроме вклада в решение фундаментальных вопросов эволюции рассматриваемых тектонических структур (Сибирского кратона и ЦАСП) и становления зрелой континентальной литосферы в данном секторе Евразийского континента, сотрудниками лаборатории проводится изучение состояния и перспектив развития минерально-сырьевого потенциала Восточной Сибири в части таких видов полезных ископаемых, как редкие и редкоземельные элементы, золото, платиноиды, алмазы и углеводороды.

Среди наиболее актуальных и значимых результатов, полученных за последние годы, можно отметить следующие научные достижения:

- расшифрован сценарий становления структуры Сибирского кратона в раннем протерозое в результате проявления трех последовательных этапов аккреционно-коллизийных событий: 2.00–1.95, 1.95–1.90 и 1.90–1.87 млрд лет;

- доказано близкое пространственное расположение Сибирского и Североамериканского кратонов в докембрийских суперконтинентах Нуна (Колумбия) и Родиния, что свидетельствует в пользу существования на Земле долгоживущего (более 1 млрд лет) «транспротерозойского» суперконтинента;

- впервые обоснована докембрийская алмазоносность Сибирской платформы на основе U-Pb геохронологических исследований детритовых цирконов из алмазосодержащих терригенных толщ венда;

- реконструирована история заложения и ранние стадии развития Палеоазиатского океана в позднем докембрии – раннем палеозое;
- выявлены основные этапы эволюции ряда террейнов и микроконтинентов ЦАСП, прилегающих к южному флангу Сибирского кратона;
- обнаружены и изучены новые и редкие хром- и ванадийсодержащие минералы в метаморфических породах Прибайкалья;
- разработаны модели образования уникальных месторождений Коларо-Удоканского рудного узла Сибирского кратона: Катугинского редкометалльного (Ta, Nb, Zr, Y, PЗЭ) и Удоканского медистых песчаников, выявлены основные рудоконтролирующие системы на крупнейшем в России месторождении золота Сухой Лог и ряде других золоторудных объектов Восточной Сибири;
- обоснована ключевая роль тектонических процессов в ремобилизации (миграции) углеводородов из отложений докембрийской пассивной окраины и бассейна форланда во внутренние части Сибирской платформы с образованием залежей Ангаро-Ленской области нефтегазоаккумуляции.

Сотрудники лаборатории активно участвуют в выполнении работ в рамках грантов Российского фонда фундаментальных исследований и Российского научного фонда. Сфера научной активности сотрудников лаборатории не ограничивается территорией Сибири. Они участвуют в международных научных экспедициях и мероприятиях в Антарктиде, в Монголии, Китае, Танзании, Анголе и в других странах мира.

Сотрудники лаборатории участвовали и продолжают участвовать в выполнении целого ряда проектов международной программы геологической корреляции ЮНЕСКО: № 440 «Образование и распад суперконтинента Родиния»; № 480 «Структурные и тектонические корреляции Центрально-Азиатского орогенного пояса»; № 509 «Палеопротерозойский суперконтинент и глобальная эволюция»; № 592 «Континентальный рост в Центрально-Азиатском складчатом поясе в сравнении с современными аналогами в Западной Пацифике» и № 662 «Архитектура орогенов и коровый рост от аккреции до коллизии».

В рамках широкой международной кооперации, при непосредственном участии сотрудников лаборатории, была создана первая карта суперконтинента Родиния, работа над которой объединила ученых из более чем двадцати стран мира. По ряду направлений, таких как «Тектоника и метаморфизм», «Петрологические индикаторы тектонической эволюции древних кратонов и складчатых областей», «Эволюция суперконтинентов в докембрии», «Новые и редкие минералы в магматических и метаморфических комплексах», лаборатория находится на передовых позициях как в России, так и в мире. Постоянный приток молодежи и профессиональный рост сотрудников определяют преемственность поколений в сложившихся научных школах и высокий международный уровень проводимых в лаборатории исследований.

Основные перспективные направления развития лаборатории могут быть связаны с такими современными мировыми тенденциями в науках о Земле, как:

- образование и ранние этапы эволюции Земли, становление структуры древних кратонов;
- суперконтинентальные циклы в геологической истории Земли;
- формирование орогенов и их террейновый анализ;
- геодинамический контроль процессов рудообразования и размещения месторождений полезных ископаемых.

В настоящее время наибольший прогресс в изучении палеогеодинамики связан с развитием методов изотопного датирования все большего количества различных минералов, и именно эти новые данные, по-видимому, станут основой для активного развития данного направления в мире в целом и в Институте земной коры СО РАН в частности.



МЕРЫ ПОДДЕРЖКИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ КАК ОСНОВНОЙ ПРИОРИТЕТ ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН

А.М. Дымшиц

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, adymshits@crust.irk.ru

Привлечение и поддержка молодых ученых являются основным приоритетом Института земной коры СО РАН. Для этого в институте существует Совет научной молодежи (СНМ), который является инициативным органом и ставит своей целью содействие профессиональному росту молодых сотрудников: студентов, аспирантов и молодых ученых в возрасте до 39 лет. Деятельность совета регламентирована положением о его работе, которое утверждается Ученым советом и директором института. Председатель Совета, избираемый общим собранием научной молодежи института, участвует в работе Ученого совета, а также в заседаниях молодых ученых СО РАН и РАН.

Совет содействует квалификационному росту молодых ученых, улучшению организации их труда и отдыха, а также интеграции в российскую и мировую науку. Эти цели достигаются за счет активного взаимодействия Совета с администрацией института и другими организациями. Ежегодно проводятся научно-популярные лекции, приуроченные ко Дню российской науки. На этом мероприятии происходит интеграция молодежи в общую научную повестку исследований, проводимых на территории Иркутской области.

Совет, в рамках имеющегося финансирования, оказывает поддержку молодым ученым института в участии в научных мероприятиях российского и международного уровня. Распространяет информацию о научных программах, проектах, конференциях, семинарах и других мероприятиях, проводимых учреждениями России и зарубежья, а также о различных конкурсах, премиях и стипендиях для молодых ученых.

Важнейшее направление работы СНМ – организация Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». Это традиционное научное мероприятие проводится в ИЗК СО РАН с 1959 г. В настоящее время конференция проводится раз в два года и полностью организуется молодежью ИЗК СО РАН с привлечением различных источников финансирования и многодневными геологическими экскурсиями.

Большое значение для молодых ученых имеют социальные, и в первую очередь жилищные, вопросы, поэтому молодые ученые института при поддержке жилищной комиссии ИЗК СО РАН участвуют в программе предоставления социальных выплат на приобретение жилых помещений (жилищные сертификаты).

Молодые ученые участвуют в околонучных мероприятиях (Science Slam, День геолога, выездные семинары и полевые геологические экскурсии), что позволяет сплотить коллектив и показать, что работа в науке – это увлекательно и интересно.



НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦКП «ГЕОДИНАМИКА И ГЕОХРОНОЛОГИЯ»

А.В. Иванов

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, aivanov@crust.irk.ru

Центр коллективного пользования (ЦКП) «Геодинамика и геохронология» был создан в 2015 г. путем реорганизации аналитических подразделений Института земной коры (ИЗК) СО РАН как ответ на изменения в федеральном законе «О науке и государственной научно-технической политике». В задачи ЦКП входят:

- поддержание научного оборудования в работоспособном состоянии, доступ к нему квалифицированных специалистов для выполнения исследований с использованием современных методов физико-химического анализа вещества, разработка новых методов;
- обеспечение сотрудников института, а также сторонних организаций аналитическими данными;
- выполнение научных и научно-технических проектов фундаментального и прикладного характера;
- обучение и подготовка кадров.

В ЦКП работает 29 человек, из них 1 профессор РАН, 2 доктора наук и 7 кандидатов наук. ЦКП самостоятельно и в сотрудничестве с другими лабораториями проводит исследования в следующих областях (в скобках указано основное оборудование):

- масс-спектрометрия с электронной ионизацией (масс-спектрометрический комплекс ARGUS VI);
- масс-спектрометрия с термической ионизацией (масс-спектрометр Finnigan MAT262, блок чистых комнат класса 1000);
- масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (масс-спектрометр Agilent 7900 и эксимерный лазер Analyte Excite с ячейкой двойного вакуума HelEx cell);
- рентгенофлуоресцентный анализ (спектрометры S2 Picofox, S4 T-Star, S8 Tiger);
- рентгеноструктурный анализ (дифрактометр ДРОН-3);
- элементный анализ, с использованием комплекса методов: атомно-абсорбционного, спектрофотометрического, потенциометрического, гравиметрического, титриметрического (спектрофотометры Genesys 10S, атомно-абсорбционные спектрометры SOLAAR M6, Agilent 280FS, МГА-1000);
- определение ртути (РА-915М с приставкой ПИРО-915+);
- изотопный анализ воды (Picarro L2140i);
- конфокальная спектроскопия комбинационного рассеяния света (конфокальный спектрометр Witec Alpha 300R);
- гранулометрический анализ (Analysette 22 NanoTec).

До создания ЦКП аналитические службы института зарекомендовали себя, в первую очередь, в разработке методик рентгенофлуоресцентного и рентгеноструктурного анализа. В частности, последний вид анализа активно использовался для обнаружения новых минералов, включая такие минералы, как земкорит (назван в честь ИЗК СО РАН), одинцовит и флоренсовит (названные в честь первых директоров института). После создания ЦКП работы существенно расширены в область геохимических и изотопных исследований.

Толчком в развитии ЦКП послужили выигранные проекты по программе мегагрантов («Орогенез: образование и рост континентов и суперконтинентов», № 07-515-2022-1100) и по конкурсу развития инфраструктуры научной, научно-технической деятельности (ЦКП, УНУ) государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (№ 075-15-2021-682), в рамках которых было произведено существенное обновление приборной базы.

Перспективы развития ЦКП «Геодинамика и геохронология» связаны с использованием нового, современного оборудования, вокруг которого создаются активные научные группы, укомплектованные опытными, высококлассными специалистами и молодыми учеными. Все это позволяет как на собственной базе, так и в кооперации с другими российскими и зарубежными лабораториями проводить исследования высокого уровня с публикацией результатов в ведущих отечественных и международных изданиях.



АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТИ

Д.В. Киселёв, Л.П. Бержинская, О.И. Саландаева

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, kisdimval@crust.irk.ru

Отраслевая лаборатория сейсмостойкого строительства организована в 1990 г. совместным приказом-распоряжением объединения «Востоксибстрой» (бывшего Минстроя) и ИИЦ СО АН СССР № 31/15701-2115.1 от 14.02.1990 г. С августа 2016 г. подразделение преобразовано в отдел сейсмостойкого строительства. Основателем и руководителем (1990–2020 гг.) лаборатории (отдела) являлся к.г.-м.н. Ю.А. Бержинский. В этот период защищены 4 кандидатские диссертации. В 2023 г. начальником отдела назначен Д.В. Киселев. На сегодня численность отдела составляет 3 человека, в том числе 1 кандидат наук.

Основные достижения (1990–2017 гг.). Лаборатория более тридцати лет проводила комплексные экспериментально-теоретические исследования сейсмостойкости опытных объектов с помощью вибрационных и сейсмозрывных испытаний, которые позволили получить объективную информацию о фактическом уровне сейсмической надежности типовых зданий массовых серий в Восточной Сибири и исследовать механизм перехода сооружений в предельное состояние. За комплекс работ по экспериментальной оценке сейсмостойкости безригельного каркаса серии 1.120с лаборатория награждена грамотой губернатора Иркутской области. По модернизированным типовым проектам, основанным на натуральных испытаниях, в Прибайкалье возведены дома общей площадью 250 тыс. м².

Для сейсмических районов Прибайкалья разработана и внедрена комплексная методика паспортизации застройки, на основе которой создана опорная сеть зданий-представителей в количестве 360 объектов. Изучение поведения зданий при землетрясениях проводилось и при обследовании последствий реальных сейсмических событий 1995–2011 гг. Лаборатория совместно с ИЦАГ АН Монголии и ГИН СО РАН участвовала в международном проекте по обследованию и оценке надежности зданий современной застройки в г. Улан-Баторе, оценке сейсмического риска его территории и населения.

Сейсмический риск является заключительным звеном методической цепочки: сейсмическая опасность – паспортизация – сейсмическая уязвимость – сейсмический риск. Для городов Ангарска, Шелехова и Байкальска созданы карты сейсмического риска.

В лаборатории, под руководством д.г.-м.н., проф. С.И. Шермана, разработана Региональная шкала сейсмической интенсивности РШСИ-2002, где вместо «типов зданий» (по шкале MSK-64) введено понятие «класса сейсмостойкости» зданий и сооружений. При разработке макросейсмической части шкалы сейсмической интенсивности ГОСТ Р 57546 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности» (под руководством д.ф.-м.н., проф. Ф.Ф. Аптикаева) лабораторией (отделом) предложено усовершенствование классификации зданий в макросейсмической части шкалы, обеспечение совместимости новой шкалы с ранее действовавшей шкалой MSK-64.

Лаборатория (а затем отдел) была одним из участников при выполнении блока НИОКР федеральной целевой программы «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2018 гг.», а также участвовала в подготовке и выполнении трех региональных программ по сейсмобезопасности Иркутской области.

Основные достижения (2018–2023 гг.). Отделом совместно с лабораторией оптимального управления ИДСТУ СО РАН разработан практический метод расчетов на максимальные землетрясения с использованием механической модели д.т.н., проф. Л.Ю. Рутмана, который апробирован при оценке сейсмостойкости критически важного объекта на территории ГХК в г. Железногорске Красноярского края и двух инженерных сооружений, проектируемых на Камчатке, в районах с 10-балльной сейсмичностью.

В отделе в рамках междисциплинарного сотрудничества с другими лабораториями ИЗК СО РАН разработаны методические принципы комплексной прогностической оценки региональной сейсмобезопасности, позволяющие получить научно обоснованные показатели сейсмического риска на урбанизированных территориях, способствующие выработке практических решений по достижению приемлемого уровня сейсмобезопасности в регионе.

Отдел принимал участие в разработке Изменений N2 к Своду правил СП 55.13330.2016 по совершенствованию документа в области проектирования жилых многоквартирных домов, утвержденного в Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ.

За период 1990–2023 гг. лабораторией, а затем отделом сейсмостойкого строительства опубликовано более 150 научных работ, более 120 научно-технических отчетов. Получены три патента РФ на изобретения.

Перспективы развития лаборатории. Продолжение совместных работ с ЦНИИП Минстроя России, Евразийской СЕЙСМО Ассоциацией, ИРННТУ по снижению сейсмической уязвимости застройки на урбанизированных территориях и обеспечению региональной сейсмобезопасности в городах Иркутской области:

- 1) паспортизация зданий существующей застройки;
- 2) инженерно-техническое обследование последствий реальных сейсмических событий;
- 3) математическое моделирование поведения зданий и сооружений при максимальных сейсмических нагрузках;
- 4) оценка сейсмического риска жилищного фонда, населения и территорий;
- 5) градостроительная оценка урбанизированных территорий и застройки.



КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

С.А. Прокопьев, Е.С. Прокопьев, Т.А. Чикишева, Н.Ю. Турецкая

Институт земной коры Сибирского отделения РАН, Иркутск, Россия, okims@crust.irk.ru

Вопросами комплексной переработки минерального сырья занимается ряд научных коллективов в институтах Российской академии наук.

В настоящее время особое внимание уделяется техногенным месторождениям твердых полезных ископаемых. Среди них важнейшим направлением является переработка отходов углеобогащения (ОУО) и золошлаковых материалов (ЗШМ) – продуктов сгорания угля на ТЭЦ. Последние десятилетия научными коллективами институтов РАН изучался вещественный состав, наличие ценных компонентов, формы их нахождения в составе ОУО и ЗШМ и прочие характеристики. Отдел комплексного использования минерального сырья (ОКИМС) сосредоточился на изучении возможности извлечения ценных минералов в виде ликвидной товарной продукции из указанных материалов. Ведутся работы в рамках комплексной научно-технической программы «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения». Разработаны технологии переработки ОУО и ЗШМ с использованием отечественного экологически чистого обогатительного оборудования, проведены полупромышленные испытания на предприятиях реального сектора Иркутской области, Кузбасса, Приморского края и др. Спроектированы промышленные линии производительностью 20 т/ч, в состав которых включено высокоэффективное оборудование, а именно винтовые и магнитные сепараторы российского производства.

При переработке ОУО на предприятии ПАО «Южный Кузбасс» получен высококачественный угольный концентрат с зольностью менее 10 %.

Результаты ранее проведенных работ по переработке хвостов углеобогащения Касьяновской ОФ (Иркутская обл.) компании «ВостСибУголь» легли в основу проекта по строительству обогатительной установки производительностью 100 т/ч, реализация которого планируется в 2024 г.

Исследования обогатимости ЗМШ показали возможность получения из них качественного железосодержащего концентрата, угольного недожога и алюмосиликатного продукта. Железосодержащий концентрат с содержанием железа 60–62 % может служить сырьем для выплавки чугуна и стали, а также может использоваться при обогащении угля в качестве утяжелителя при тяжелосредней сепарации.

По переработке ЗШМ проведен полный цикл испытаний – от лабораторных до полупромышленных. На ТЭЦ-9 ПАО «Иркутскэнерго» построена обогатительная установка, которая позволяет получать железосодержащий концентрат из ЗШМ.

Исследования по глубокой переработке ЗМШ позволили получить глинозем с содержанием Al_2O_3 98 % и кремнезем с содержанием SiO_2 более 98 %.

В настоящее время проектируется установка по переработке ЗШМ Лучегорской ТЭЦ (Приморье) в промышленном масштабе.

В ИЗК СО РАН ОКИМС образован в 2014 г. под руководством к.т.н. Прокопьева С.А. В настоящее время численность отдела – 11 человек, в том числе 2 кандидата наук.

На данном этапе развития основные научные направления работы отдела сосредоточены на разработке технологий обогащения руд и россыпей, включая техногенные месторождения, золота, платины, олова, вольфрама, железа и др.

В рамках этих направлений ведутся работы по изучению вещественного состава, исследованию на обогатимость, разработке технологий обогащения, проектов на отработку месторождений.

Сотрудники ОКИМС активно участвуют в международных и отечественных конференциях, выставках, симпозиумах. В 2023 г. отделом был проведен XV Российский семинар комиссии по технологической минералогии Российского минералогического общества «Технологическая минералогия в оценке качества минерального сырья с использованием современных методов». Научная программа семинара была ориентирована на решение проблем комплексного и экологически безопасного освоения месторождений, изучение вещественного состава минерального сырья с использованием современных прецизионных аналитических методов и ГИС-технологий и охватила различные исследования в технологической минералогии по трем направлениям:

- 1) технологическая минералогия в решении проблем комплексной и экологически безопасной переработки минерального сырья России;
- 2) применение современных методов и подходов в исследованиях вещественного состава твердых полезных ископаемых и перспективы интенсификации технологии обогащения минерального сырья;
- 3) использование ГИС в оценке полезных ископаемых.



ОТ ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ НОВОЙ СХЕМЫ РАЗВИТИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ В КОНТЕКСТЕ МАНТИЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВУЛКАНИЗМА АЗИИ ДО РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВРЕМЕНИ И МЕСТА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

С.В. Рассказов

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, gassk@crust.irk.ru
Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

Работы лаборатории изотопии и геохронологии ИЗК СО РАН, начиная со времени ее основания в 1996 г., специализируются на геохронологических и изотопно-геохимических исследованиях осадочных и вулканических пород кайнозоя Азии. Проводятся сравнительные исследования вулканических пород Монголии, Китая и Киргизии, а также Северной Америки и Африки. В настоящее время в составе лаборатории насчитывается 11 сотрудников. В лабораторных помещениях готовятся пробы для элементного и изотопного анализа с измерениями на оборудовании ЦКП институтов Иркутского научного центра.

В 2018–2024 гг. на территории Азии впервые охарактеризовано пространственно-временное распределение разновозрастных мантийных источников вулканизма ранней, средней и поздней геодинамических эпох эволюции Земли в терминах Pb-изотопной систематики. Установлено, что мантийные источники с компонентами LOMU и ELMU генерировались в глобальной неоднородности ASITA (Asian Isotopic Thermal Anomaly) ранней геодинамической эпохи Земли, обозначенной высокими скоростями сейсмических волн нижней мантии. Материал с характеристиками протомантии обнаружен в источниках вулканизма Удокана, Дариганги и других территорий. Компоненты LOMU и ELMU Азии отличаются от компонента HIMU, который генерировался в среднюю геодинамическую эпоху в пространственной связи с низкоскоростными нижнемантийными глобальными неоднородностями SOPITA и AFITA.

По расшифровке пространственно-временной активности источников неоген-четвертичного вулканизма обоснована новая схема развития Байкальской рифтовой системы как одной из структур Японско-Байкальского геодинамического коридора (ЯБГК). Осевое затягивание материала ССВ фланга коридора контролирует импульсную антиподную (подлитосферную в оси и литосферную на периферии) активность источников вулканизма последних 16 млн лет в Витимо-Удоканской зоне угловой горячей трансенсии. Осевое затягивание материала ЮЮЗ фланга коридора компенсируется сокращением коры области конвергенции во фронте Индо-Азиатского взаимодействия. Сочетание сжатия и растяжения литосферы в восточной полосе Хангай-Бельской зоны отражается в развитии источников вулканизма в обстановке деляминации литосферы.

В геологическом строении впадин Байкальской рифтовой системы определяющее значение имеет распространение танхойской свиты, датированной Н.А. Логачевым на основе геологических и палеонтологических данных широким возрастным интервалом от 30 до 3.5 млн лет. По ископаемой диатомовой флоре и спорово-пыльцевым комплексам осадочных отложений танхойской свиты Байкальской системы впадин и джилиндинской свиты Витимского плоскогорья реконструируется последовательное образование глубоких тектонических палеоозер: в раннетанхойское время (ранний – средний миоцен) – палеоозера Уро в Баргузинской долине, в среднетанхойское время (средний – поздний миоцен) – палеоозера Бодон-1 в Баргузинской долине, в средне- и позднеджилиндинское время (средний миоцен, 13–12 млн лет назад и первая половина позднего миоцена, 10–9 млн лет назад) – палеоозера на Витимском плоскогорье, в позднетанхойское время (вторая половина позднего миоцена – ранний плиоцен, 8.0–3.6 млн лет назад) – палеоозера в Тункинской долине и палеоозера Бодон-1 в Баргузинской долине. Ранние и поздние палеоозера были обособлены и содержали уникальную диатомовую флору. В среднем – позднем миоцене глубокое палеоозеро Бодон-1 Баргузинской долины соединялось с палеоозерами Селенгино-Витимского прогиба с распространением диатомей сходного видового состава.

Активные участки разломов трассированы по значениям отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ($OA4/8$) и активности ^{234}U ($A4$) в подземных водах в интервале 2–4, неактивные – значениями $OA4/8$ в интервале 1–2. По результатам работ последних 10 лет выделяется новое направление исследований косейсмической химической гидрогеодинамики. Сейсмичность Байкальской рифтовой системы рассматривается как парагенетический процесс, сопутствующий гидрогеохимическим изменениям температуры и глубины в резервуарах подземных вод при растяжении и сжатии коры. Косейсмические вариации глубины и температуры резервуаров подземных вод определяются по результатам мониторинга пространственно-временных вариаций термофильных элементов Si, Na и Li, косейсмическое закрытие и открытие микротрещин – по вариациям отношения $OA4/8$, $A4$ и концентрации U. Реконструируется полный сейсмогеодинамический цикл сжатия и растяжения коры с возрастанием температуры и глубины резервуаров подземных вод от сильной Култукской сейсмической активизации 2008–2011 гг. до сильной Байкало-Хубсугульской активизации 2020–2023 гг. Для оперативной оценки сейсмической угрозы в центральной части Байкальской рифтовой системы проводятся наблюдения вариаций окислительно-восстановительного потенциала, pH и температуры подземных вод активных разломов в режиме реального времени.



ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

А.А. Рыбченко, О.А. Мазаева, А.В. Кадетова, А.А. Юрьев, В.А. Бабичева

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, rybchenk@crust.irk.ru

Методы фотограмметрии для изучения форм проявления экзогенных геологических процессов (ЭГП) используются достаточно длительное время. В прошлом столетии применение методов фотограмметрии ограничивалось существенной стоимостью аэрофотосъемочных работ, для проведения которых использовались суда гражданской авиации. В XXI в. развитие технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) вывело использование фотограмметрических методов на новый уровень. Доступная стоимость БПЛА, простота в управлении, интуитивный интерфейс программного софта для обработки материалов сделали их удобным инструментом для изучения ЭГП.

В 2020 г. рабочая группа Комиссии Международной ассоциации инженерной геологии (IAEG C35) «Методы и подходы мониторинга в инженерной геологии» представила обзор БПЛА и их потенциальные возможности в некоторых областях инженерной геологии, а именно сбор аэрофотоснимков опасных природных явлений, обследование оползней, оперативное картирование селевых потоков, структурный анализ и классификация массивов горных пород, картирование поверхности и трещин в естественных и открытых карьерах, анализ устойчивости склонов, мониторинг водных объектов, затопления, измерение уровня воды, мониторинг снежного покрова для изучения ледников и снижения риска наводнений, связанных с их прорывами.

Накопленный опыт применения БПЛА доказывает высокую эффективность их использования. БПЛА в настоящее время стали стандартным исследовательским инструментом, в том числе для картографирования и создания детальных 3D моделей и ортофотопланов. Однако универсальной методической технологии для решения различных задач с помощью БПЛА не существует, и для каждой конкретной задачи требуется разработка индивидуальной методической схемы, чтобы получить гарантированно достаточный объем точных данных.

В настоящее время сотрудники лаборатории инженерной геологии и геоэкологии ИЗК СО РАН используют БПЛА для изучения и мониторинга ЭГП (эрозия, абразия, сели, оползни и карст) крупных региональных природно-технических геосистем на юге Восточной Сибири. К таким относятся береговые природно-технические геосистемы водохранилищ Ангарского каскада ГЭС, селевых бассейнов, горно-добывающих предприятий, городских агломераций.

Полученные площадные и объемные скорости развития ЭГП могут служить основой для современной оценки и прогноза их развития с целью предотвращения и снижения социально-экономических рисков.

Опыт использования БПЛА для мониторинга ЭГП позволил оценить плюсы и минусы аэрофотосъемки по сравнению с тахеометрической съемкой.

К плюсам следует отнести скорость проведения работ в полевых условиях. Очевидно, что проведение тахеометрической съемки требует гораздо большего времени. Кроме того, отмечается большая информативность получаемых данных по сравнению с тахеометрической съемкой за счет возможности визуального контроля развития процессов. По данным аэрофотосъемки можно видеть, какие вторичные процессы (оползни, эрозия, осыпи) активизируют развитие основного ЭГП. Использование аэрофотосъемки позволяет вести наблюдения на участках, недоступных для проведения тахеометрической съемки, – крутых и высоких уступах, на которых невозможно пройти с геодезической рейкой или вешкой (борта карьеров, крутых абразионных уступов, труднопроходимые участки селевых бассейнов и т.п.).

К минусам аэрофотосъемки следует отнести невозможность ее использования на залесенных участках, на которых сложно провести дешифрирование элементов рельефа по причине плохой видимости дешифровочных признаков. Также следует отметить большую трудозатратность

камеральной обработки полевых материалов: обработка аэрофотоснимков, составление ортофотопланов, дешифрирование занимают гораздо больше времени, чем обработка данных тахеометрической съемки. Большой объем конечного материала – данные аэрофотосъемки, трехмерные модели, ортофотоплан, карта высот с одного полигона – занимают десятки гигабайт памяти, что приводит к проблеме хранения этих данных.

Тем не менее, несмотря на некоторые отрицательные моменты, использование БПЛА является эффективным инструментом для изучения ЭГП.

Ценность применения метода съемки с БПЛА состоит в получении данных по площадям и объемам форм экзогенных процессов. Как показали исследования, это особенно актуально для форм проявления процессов, динамика которых выражается в перераспределении объемов грунта внутри формы.

Преимущества съемки с использованием БПЛА заключаются в экспрессности и комплексности получения данных для системного анализа динамики всей совокупности процессов в природно-технической геосистеме, что обеспечивает высокую эффективность научно-исследовательских мониторинговых исследований.

Несомненной инновацией является применение технологий искусственного интеллекта (методов компьютерного зрения и глубокого машинного обучения) для автоматической обработки результатов БПЛА-аэрофотосъемки. Программное обеспечение, разработанное в лаборатории, на языке программирования Python для автоматического определения размера крупнообломочного материала селевых отложений на детальных аэрофотоснимках представляет собой инновационный инструмент для автоматизации процесса дешифрирования гранулометрического состава отложений в геологических и геоморфологических исследованиях. Применение программы может быть полезным для практического применения в области геотехники, горного дела и строительства.

Развитие технологий БПЛА безусловно будут способствовать увеличению продолжительности полета летательного аппарата, точности позиционирования и качества получаемых снимков. Технологии искусственного интеллекта постоянно совершенствуются, что позволяет сокращать время обработки материалов аэрофотосъемки. В перспективе эти факторы приведут к еще более широкому использованию БПЛА для изучения ЭГП в природных и природно-технических геосистемах.



НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАНЕРОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ И РЕЛЬЕФА СЕВЕРНОЙ АЗИИ

Ю.В. Рыжов, Н.И. Акулов

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, ryv@crust.irk.ru

Создание основных направлений исследований лаборатории геологии мезозоя и кайнозоя связано с Н.А. Флоренсовым, М.М. Одинцовым, Н.А. Логачевым, С.Ф. Павловым, Г.Ф. Уфимцевым, С.А. Кашиком и К.Г. Леви.

В 1962 г. чл.-корр. Н.А. Флоренсовым была создана лаборатория тектоники и структурной геологии на базе отдела региональной геологии. В 1967 г. был организован кабинет неотектоники и геоморфологии (зав. академик Н.А. Логачев), расширенный в 1968 г. до одноименной лаборатории (зав. чл.-корр. Н.А. Флоренсов – до 1972 г., с 1972 г. – академик Н.А. Логачев). В 1986 г. лаборатория после присоединения к ней кабинета биостратиграфии (зав. кабинетом к.г.-м.н. М.М. Одинцова) получила название лаборатории неотектоники и литогенеза, руководителем которой стал академик Н.А. Логачев. В 1992 г. лаборатория была переименована в лабораторию неотектоники и геоморфологии (зав. д.г.-м.н. Г.Ф. Уфимцев).

Лаборатория литогенеза и стратиграфии возникла как самостоятельное структурное подразделение института в 1954 г. на базе сектора нефти и газа и получила название лаборатории литологии и осадочных месторождений (рук. чл.-корр. Н.А. Флоренсов, с 1957 г. – чл.-корр. В.П. Солоненко). В 1962 г. лаборатория литологии и осадочных месторождений переименовывается в лабораторию осадочных формаций и месторождений, а в 1972 г. – в лабораторию осадочных формаций, просуществовавшую до 1986 г. (рук. д.г.-м.н. С.Ф. Павлов). В 1992 г. воссоздана лаборатория литогенеза (рук. д.г.-м.н. С.А. Кашик). После включения в ее состав специалистов по биостратиграфии в 1997 г. она получает название лаборатории литогенеза и стратиграфии.

В 2011 г. в результате объединения лабораторий неотектоники и геоморфологии, литогенеза и стратиграфии была образована лаборатория кайнозоя, с 2019 г. – лаборатория геологии мезозоя и кайнозоя. В настоящее время в лаборатории работают 23 сотрудника, среди них 4 доктора и 9 кандидатов наук.

Основные достижения за прошедшие 60 лет в изучении лабораторией Северной Азии:

1. Разработаны теоретические представления о неотектонике, рифтогенезе, морфолитогенезе, геоморфологических и осадочных формациях, литодинамических потоках, структуре и возрасте рельефа.
2. Выявлены закономерности стадийности континентального рифтогенеза, состава и строения рифтогенных формаций, взаимоотношение осадконакопления, неотектоники и магматизма.
3. Разработаны модели кор химического выветривания горных пород.
4. Систематизированы теоретические основы неотектоники и геоморфологии.
5. Изучено геологическое строение, получены новые данные по стратиграфии, литогенезу и палеогеографии фанерозойских отложений Сибирской платформы, Байкальской рифтовой системы, Монголо-Охотского складчатого пояса.
6. Систематизирована информация о морфотектонике Евразии, структуре рельефа Земли, горных поясах континентов.
7. Разработано новое направление «гелиогеодинамика».

В настоящее время научные исследования лаборатории геологии мезозоя и кайнозоя проводятся по следующим направлениям: 1) неотектоника и рельеф Азии; 2) комплексное литолого-палеонтологическое доизучение фанерозойских отложений Сибирской платформы и прилегающих к ней горноскладчатых образований, палеогеографические реконструкции; 3) эволюция флоры и фауны Азии в мезозое и кайнозое; 4) новейшая геодинамика, геосферные и биосферные эволюционные и катастрофические природные изменения.

Основные результаты 2018–2023 гг.:

1. Выявлены этапы эволюции раннесреднеюрской растительности Иркутского бассейна в юре, изучен состав нижнеюрских конгломератов района сочленения Прибайкальской и Забайкальской горных областей, реконструированы условия осадконакопления.

2. Обобщены данные о геодинамике урвненного режима озер Северного полушария. Установлена его связь с погодно-климатическими изменениями в окрестностях природных и искусственных озерных водоемов с учетом климатической поясности.

3. Изучены палеозойские, мезозойские и кайнозойские морские, озерные, речные, озерно-болотные, эоловые, эолово-делювиально-пролювиальные отложения осадочных бассейнов, выявлены рубежи смены природно-климатических условий в фанерозое в Восточной Сибири, реконструированы палеогеографические условия осадконакопления.

В составе новых направлений проведения исследований планируется: 1) использование широкого спектра методов лабораторного изучения состава и свойств, абсолютной геохронологии фанерозойских осадочных отложений; 2) выявление последовательности разномасштабных природных эволюционных и катастрофических событий, корреляция палеогеографических событий в мезозое и кайнозое Северной Азии; 3) использование результатов дистанционного зондирования Земли с целью выявления пространственно-временных закономерностей и региональных особенностей эволюции рельефа, геологической среды, биосферы Прибайкалья, Забайкалья, Западной Сибири, Монголии, Китая в кайнозое; 4) подготовка кадров, популяризация науки, создание научно-популярных и учебных видеофильмов.



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В ИЗК СО РАН

В.А. Саньков, Л.М. Бызов, С.Г. Аржанников, А.В. Аржанникова, С.В. Ашурков, Е.А. Кузьмина, М.А. Лебедева, А.В. Лухнев, О.Ф. Лухнева, А.И. Мирошниченко, А.В. Парфеевец, А.В. Саньков, А.А. Чеботарев

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Лаборатория современной геодинамики ИЗК СО РАН создана в сентябре 1998 г. д.г.-м.н., профессором К.Г. Леви на базе кабинета сейсмогеодинамики, организованного в 1993 г. Основная цель исследований лаборатории – изучение современных геодинамических процессов как результата взаимодействия геосфер и проявлений солнечной активности для разработки основ среднесрочного прогноза экстремальных (катастрофических) явлений.

Основные научные направления исследований лаборатории:

- изучение современных движений, современного разломообразования и напряженно-деформированного состояния земной коры в связи с сейсмичностью методами структурной геологии, спутниковой геодезии и дистанционного зондирования;
- комплексное изучение пространственно-временных вариаций природных процессов при взаимодействии геосфер в контексте глобальных изменений природной среды и климата;
- разработка основ прогноза опасных природных процессов.

На сегодняшний день в составе коллектива лаборатории 17 сотрудников, из них 11 кандидатов и 1 доктор наук. Исследования современных движений и деформаций земной коры обеспечены парком многоканальных мультиспоровых GNSS приемников (Trimble R9s, Trimble R7, PrinCe P5U), цифровым оборудованием для проведения наземных геодезических измерений, специализированными программами и компьютерной техникой.

Сотрудниками лаборатории совместно с зарубежными учеными организован в 1994 г. и поддерживается один из первых в России обширный геодинамический полигон, охватывающий территории юга Восточной Сибири и Монголии, измерения на котором с использованием метода спутниковой геодезии позволили рассчитать поле скоростей современных горизонтальных движений и деформаций земной поверхности Монголо-Сибирского региона, определить скорость современного растяжения в Байкальском рифте, оценить по этим данным уровень накопленной сейсмической опасности региона. На основе измерений на постоянных ГНСС пунктах Байкальского геодинамического полигона получены данные о вариациях вертикальных и горизонтальных движений во времени. В рамках поиска предвестников землетрясений в центральной экологической зоне оз. Байкал выявлены наиболее вероятные области подготовки сильных землетрясений, связанные с зонами перехода от горизонтального растяжения к сжатию земной коры. Для района Северомуйского тоннеля трассы БАМ впервые с применением спутниковой радарной интерферометрии получены оценки деформаций земной поверхности как результата роевой сейсмической активности, а также антропогенного воздействия.

С использованием ГНСС измерений проводятся исследования взаимодействия геосфер – литосферы, гидросферы и атмосферы. Так, для юга Восточной Сибири получена региональная зависимость высоты пунктов измерений от атмосферного давления. Проведены исследования вариаций содержания водяного пара в тропосфере по данным о задержке спутниковых сигналов на территории Восточной Сибири. Впервые проведены измерения рельефа водной поверхности оз. Байкал, построена карта высоты водной поверхности Южнобайкальской впадины относительно геоида WGS-84.

Методами структурной геологии исследованы закономерности кинематики разломов и эволюции напряженного состояния земной коры территории юга Восточной Сибири и Монголии, подготовлен макет карты позднекайнозойского напряженного состояния земной коры территории Монголии, предложена комплексная модель позднекайнозойской геодинамики региона.

С применением передовых методов датирования осадков и геоморфологических поверхностей на основе использования космогенных изотопов получены новые данные о скоростях смещений по крупным сейсмогенерирующим разломам Монголии и южной части Байкальской рифтовой системы, оценены повторные периоды сильных землетрясений в зонах крупных разломов. Впервые инструментально датированы исторические вулканические извержения Восточного Саяна. Исследованы закономерности проявления мегафладов (мегапотопов) Восточного Саяна и Тувы, получены датировки периодов их проявления.

Предложена методика определения количественных параметров рельефообразующих процессов в горном обрамлении рифтовых впадин, основанная на использовании численного моделирования эволюции рельефа, позволившая оценить скорости поднятий плеч впадин Байкальской рифтовой системы.

Разработки сотрудников лаборатории находят практическое применение в области оценки сейсмической опасности и сейсмического районирования.

Перспективы развития исследований современной геодинамики можно связать с такими направлениями, как:

- планомерное развитие исследований коровых деформаций методами спутниковой геодезии на геодинамических полигонах Сибири, Дальнего Востока и Монголии с расширением сети мониторинга на постоянных пунктах и пунктах комплексных наблюдений;
- организация малых геодинамических полигонов в зонах активных разломов для исследования закономерностей процесса накопления упругой деформации при подготовке землетрясений;
- изучение деформаций земной поверхности с использованием спутниковой радарной интерферометрии;
- уточнение оценок скоростей смещений по активным разломам и сейсмической опасности за счет применения современных методов датирования деформаций;
- изучение проявлений катастрофических водных потоков на территории Сибири;
- изучение взаимосвязей современных геодинамических процессов с глобальными климатическими изменениями, процессами взаимодействия геосфер;
- математическое моделирование геодинамики региона и развития рельефа в зонах разломов.

Необходимым условием успешного решения стоящих перед коллективом задач и его дальнейшего развития является привлечение молодых сотрудников, способных освоить современные технологии инструментальных исследований и моделирования геодинамических процессов. Не менее важным представляется развитие и поддержание научных контактов, взаимодействий и кооперации с исследователями из других подразделений ИЗК СО РАН, из институтов РАН и зарубежных научных учреждений.



РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЕ В ЛИТОСФЕРЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ (история, достижения и перспективы развития иркутской тектонофизической школы)

К.Ж. Семинский, В.В. Ружич, О.В. Лунина, С.А. Борняков, А.В. Черемных, А.А. Бобров, Ю.П. Бурзунова, А.К. Семинский

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, seminsky@crust.irk.ru

Временем создания иркутской тектонофизической школы считается 1979 г., когда в Институте земной коры СО РАН была организована лаборатория тектонофизики. Ее первым заведующим был избран д.г.-м.н. С.И. Шерман, который 25 лет руководил научным коллективом. В 1992 г. из состава лаборатории был выделен кабинет сейсмогеодинамики, преобразованный впоследствии в лабораторию современной геодинамики. На протяжении 45 лет активных научных исследований сотрудниками лаборатории тектонофизики защищено 5 докторских и 26 кандидатских диссертаций, опубликованы десятки монографий и сотни статей, получены патенты на изобретения и свидетельства о государственной регистрации компьютерных программ и баз данных.

В настоящее время коллектив лаборатории использует широкий комплекс тектонофизических подходов и методов исследования, усовершенствованных в рамках научной школы: специальное структурное картирование разломных зон и полей напряжений, тектонофизическое моделирование в различных реологических средах, методы полевой геофизики (радон-торонозная съемка, электротомография, георадиолокация), тахеометрическая съемка местности, съемки с помощью БПЛА и подводных дронов, комплексный подход к обработке геолого-геофизических материалов. Для реализации перечисленных методов исследований лаборатории сконцентрированы необходимые виды современного оборудования, программных средств и баз данных. На территории Прибайкалья и смежных регионов создана и поддерживается в течение нескольких последних лет сеть полигонов для проведения натурных экспериментов, систематических измерений деформаций породного массива, мониторинга радона в почве и подземных водах, результаты которых составляют основу сейсмопрогностических исследований.

Основное направление исследований специалистов, представляющих иркутскую школу, – это тектонофизика разломообразования в литосфере. В итоге первых 25 лет существования научного коллектива на основе результатов полевых и экспериментальных исследований было доказано, что деструкция литосферы закономерна для всех иерархических уровней организации разломно-блоковой структуры, в своей основе предсказуема, а установленные закономерности разрывообразования, параметры деструктивных форм и связывающие их нелинейные уравнения могут быть использованы для прогноза важных в практическом отношении процессов, контролируемых разломной тектоникой.

В течение последних двух десятилетий, кроме собственно разломообразования, объектом исследований тектонофизического коллектива стали важные в практическом отношении сопутствующие деструкции процессы и явления – сейсмическая и эманационная активность, сейсмогенные деформации и разрывообразование, локализация оруденения и алмазоносных кимберлитов, миграция и концентрация углеводородов и др. Среди главных результатов, полученных в течение нескольких последних лет, выделяются следующие:

– метод специального структурного картирования напряженно-деформированного состояния земной коры получил полную методическую завершенность и был успешно апробирован в пределах сейсмогенерирующих разломных зон Прибайкалья и Монголии, а также гигантских газоконденсатных месторождений Западной и Восточной Сибири;

– для юга Восточной Сибири и Северной Монголии создана иллюстрированная геопространственная база данных плиоцен-четвертичных разломов (<http://activetectonics.ru/>), статисти-

чески доказано их влияние на распространение косейсмических эффектов и предложены граничные уравнения связи параметров вторичных деформаций с магнитудой и интенсивностью землетрясений;

– на основе природных и экспериментальных данных выявлен механизм сегментной активизации разрывов и на примере Байкальской рифтовой зоны предложена тектонофизическая концепция подготовки землетрясений с $M \geq 5$, являющаяся базой для установления деформационных и эманационных предвестников сейсмических событий, а также их прогноза по параметру «место» (реализуемость $\approx 70\%$).

Перспективы исследований, выполненных в рамках иркутской тектонофизической школы, лежат в области использования выявленных закономерностей деструкции литосферы для создания серии прикладных моделей, связывающих разрывообразование с сейсмичностью, локализацией полезных ископаемых и радоновой активностью. Комплекс полученных в ближайшие годы результатов станет основой разработки способов прогнозирования опасных для Прибайкалья землетрясений и радоновых эксхалаций, а также технологий оценки влияния разломов и тектонических напряжений на условия бурения скважин, локализацию продуктивных залежей и достоверность подсчета запасов на месторождениях углеводородного сырья.



ЛАБОРАТОРИЯ ПЕТРОЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И РУДОГЕНЕЗА: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

И.С. Шарыгин

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Лаборатория петрологии геохимии и рудогенеза была организована академиком РАН Ф.А. Летниковым в 1965 г. на базе лаборатории экспериментальной петрографии и минералогии. В 2006–2019 гг. лабораторию возглавлял д.г.-м.н. П.И. Дорогокупец, с 2019 г. заведующим является к.г.-м.н. И.С. Шарыгин.

Традиционными научными направлениями лаборатории являются:

Флюидный режим эндогенных процессов. Лаборатория в этом направлении является признанным лидером. В рамках этого направления Ф.А. Летниковым создана научная школа «Эндогенные флюидные фанерозойские системы континентальной литосферы Центральной Азии». Более чем за 50 лет своего существования она сформировала концептуальную основу изучения эндогенных флюидных систем Земли. Опубликовано 17 монографий, одна из которых переиздана в Австралии. Собран уникальный банк газовых хроматографических анализов горных пород в возрастном интервале от раннего архея до кайнозоя.

Петрологические процессы и рудообразование. Большое внимание уделяется вопросам рудоносности, в том числе карбонатитов и связанных с ними метасоматитов, а также генетических взаимоотношений карбонатитов и ультраосновных пород. Определен минеральный состав, время и источники формирования карбонатитовых ультраосновных комплексов Восточно-Саянской щелочной провинции. Сотрудники лаборатории принимали участие в открытии новых минералов, утвержденных CNMNC IMA (The Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification of the International Mineralogical Association): павловскиита, галускинита, владимиривановита, сульфидрилбыстрита, ботуобинскита, мирныйита и слюдянкаита. В 2021 г. подтвержден статус лазурита с формулой $\text{Na}_7\text{Ca}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4)\text{S}^{-3}$ как самостоятельного минерального вида.

Уравнения состояния веществ и минералов. Международную известность получили разработанные в лаборатории уравнения состояния различных веществ и минералов. Новая рубиновая шкала давления, а также взаимосогласованные высокотемпературные шкалы давлений на основе уравнений состояния золота, платины, периклаза и железа являются общепринятыми стандартами давления при современных экспериментальных исследованиях *P-V-T* свойств веществ и минералов в условиях мантии и ядра Земли. Созданные в лаборатории взаимосогласованные базы данных по термодинамическим свойствам веществ и минералов используются для расчета фазовых равновесий в недрах Земли. Получены свидетельства на базы данных и программы для ЭВМ по расчету основных термодинамических функций минералов и веществ.

Энергетика геологических процессов. Это направление базируется на данных по согласованным уравнениям состояния минералов, газов и химических соединений, что позволило рассчитать энергетические параметры флюидных, силикатных и флюидно-силикатных систем литосферы в *P-T* условиях земной коры и верхней мантии.

Синергетика геологических систем. Ф.А. Летниковым было создано новое научное направление – «Синергетика среды обитания человека». Сущность данного направления изложена в серии публикаций Ф.А. Летникова и в коллективной монографии «Экология человека в изменяющемся мире» (2006), авторскому коллективу которой присуждена премия правительства Российской Федерации 2006 г. в области науки и техники «За разработку и внедрение системного экологического мониторинга как компонента стратегической безопасности».

В настоящий момент численность лаборатории – 18 человек, в том числе 1 академик РАН, 2 доктора и 10 кандидатов наук.

С 2019 г. в рамках лаборатории развиваются следующие перспективные научные направления:

Минералогия и петрогенезис кимберлитов. На основе предыдущих работ и оригинальных данных уточнена модель состава первичного кимберлитового расплава и эволюции кимберлитовой магмы. В области генерации кимберлитовый расплав являлся щелочно-карбонатитовым, при подъеме расплав обогащался SiO_2 за счет растворения силикатов мантийных пород. Реакция расплава с ортопироксеном на глубине 60–90 км приводила к выделению CO_2 , что способствовало взрывному извержению кимберлитовой магмы.

Состав, строение и эволюция литосферной мантии древних кратонов. Исследования основаны на изучении мантийных ксенолитов из кимберлитов и имеют как фундаментальное, так и прикладное значение для алмазопромышленной геологии. Установлено, что литосферная мантия под трубкой Комсомольская-Магнитная неоднородна на глубине 120–220 км по «редокс». Сравнение с трубкой Удачная показывает, что все изученные мантийные породы из трубки Комсомольская-Магнитная лежат в области более высоких значений фугитивности кислорода. Это указывает на более сильную метасоматическую проработку, способствующую растворению алмазов в литосферной мантии под трубкой Комсомольская-Магнитная.

Перспективы коренной золотоносности Сибирской платформы. Составлена схема золотоносности юга Сибирской платформы, и дана характеристика шлиховых и коренных проявлений золота, распространенных в этом регионе. На основе морфологии и состава шлихового золота выделены четыре его типа. Сделаны выводы о предполагаемых коренных источниках различных типов шлихового золота. Охарактеризованы золотоносные площади, и определены их перспективы на выявление коренных золоторудных месторождений различных генетических типов.

Следует отметить, что 3 марта 2023 г. CNMNC IMA утвержден новый минерал Летниковит- $\text{Ce}(\text{Na}\square)\text{Ca}_2\text{Ce}_2[\text{Si}_7\text{O}_{17}(\text{OH})]\text{F}_4(\text{H}_2\text{O})_4$, названный в честь основателя лаборатории петрологии, геохимии и рудогенеза Ф.А. Летникова.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Акулов Н.И. 54
Алексеев С.В. 27
Алексеева Л.П. 27
Аржанников С.Г. 56
Аржанникова А.В. 56
Ашурков С.В. 56
Бабичева В.А. 52
Бадминов П.С. 27
Бержинская Л.П. 46
Бобров А.А. 58
Борняков С.А. 58
Брыжак Е.В. 29
Буддо И.В. 31
Бурзунова Ю.П. 58
Бурмакина Г.Н. 23
Бызов Л.М. 56
Вахромеев А.Г. 33
Виноградов Е.В. 14
Гильманова Г.З. 7
Гладков А.С. 35
Гладкочуб Д.П. 36, 39, 41
Голубев В.А. 31
Демонтерова Е.И. 15
Джурик В.И. 29
Диденко А.Н. 7
Добрынина А.А. 39
Дымшиц А.М. 43
Дэмбэрэл С. 36
Захаров В.С. 7
Зедгенизов Д.А. 8
Иванов А.В. 15
Иванов А.В. 44
Кадетова А.В. 52
Каурова О.К. 11
Киселёв Д.В. 46
Кобелев М.М. 31
Кобелева Е.А. 31
Ковалевский В.В. 13
Кононов А.М. 27
Корнилова Т.А. 33
Кошкарев Д.А. 10
Кузнецов А.Б. 11
Кузнецов Н.Б. 12, 18
Кузьмина Е.А. 56
Лебедева М.А. 56
Лунина О.В. 58
Лухнев А.В. 56
Лухнева О.Ф. 56
Мазаева О.А. 52
Мальков А.А. 19
Марченко М.А. 13
Мельникова В.И. 31
Метелкин Д.В. 14
Минина О.Р. 11
Мирошниченко А.И. 56
Мисюркеева Н.В. 31, 33
Мордвинова В.В. 31
Оргильянов А.И. 27
Павлов С.Х. 27
Парфеевец А.В. 56
Перепелов А.Б. 15
Плечов П.Ю. 16
Похиленко Н.П. 17
Прокопьев Е.С. 48
Прокопьев С.А. 48
Рассказов С.В. 50
Романюк Т.В. 12, 18
Ружич В.В. 58
Рыбченко А.А. 39, 52
Рыжов Ю.В. 54
Саландаева О.И. 46
Саньков А.В. 39, 56
Саньков В.А. 39, 56
Сверкунов С.А. 33
Семинский А.К. 58
Семинский К.Ж. 58
Серов И.В. 19
Симонов Д.А. 7
Склярлов Е.В. 41
Скрипников М.С. 11
Собисевич А.Л. 20
Соловей О.А. 31
Стативко В.С. 11
Степанов А.С. 21
Степанова Н.И. 33
Турецкая Н.Ю. 48
Туруганов Е.Х. 31
Фридовский В.Ю. 22
Хритова М.А. 31
Цыганков А.А. 23
Цыпукова С.С. 15
Чеботарев А.А. 56
Черемных А.В. 58
Черных А.А. 31
Чикишева Т.А. 48
Шарыгин И.С. 60
Шахурдина Н.К. 19
Шашкеева Л.П. 31
Шелохов И.А. 31
Юрьев А.А. 52
Batmagnai E. 24
Demberel S. 24
Kuvshinov A. 24

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
ТЕНДЕНЦИИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ
(первая четверть XXI века)

Материалы международной научной конференции,
посвященной 75-летию Института земной коры СО РАН
(19–22 марта 2024 г., ИЗК СО РАН, г. Иркутск)

Ответственный редактор
чл.-корр. РАН *Гладкочуб Дмитрий Петрович*

Составители сборника
д.г.-м.н. *Донская Татьяна Владимировна*
к.ф.-м.н. *Добрынина Анна Александровна*

Литературный редактор
Балукова Евгения Александровна

Верстка оригинал-макета
Чернышова Марина Игоревна

Оформление авторское

Подписано в печать 05.03.2024 г. Формат 60×90/8.
Усл. печ. л. 7,9 Тираж 75 экз. Заказ № 37

Институт земной коры СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128
Сибирское отделение РАН
630090, Новосибирск, просп. Лаврентьева, 17
Отпечатано в Сибирском отделении РАН
630090, Новосибирск, Морской просп., 2
Тел.: (383) 330-84-66
E-mail: e.lyannaya@sb-ras.ru