На правах рукописи

ДЕКАБРЁВ Илья Константинович

ИЕРАРХИЯ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В РАЗЛОМНЫХ ЗОНАХ ПРИБАЙКАЛЬЯ И ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Специальность 1.6.1 - Общая и региональная геология.
Геотектоника и геодинамика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск 2025 г.

Работа выполнена в лаборатории тектонофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН)

Научный руководитель: **Черемных Александр Викторович** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, старший научный сотрудник ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Официальные оппоненты: **Новиков Игорь Станиславович** – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории литогеодинамики осадочных бассейнов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Тверитинова Татьяна Юрьевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры региональной геологии и истории Земли, геологического факультета, Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

Защита диссертации состоится «16» декабря 2025 года в 14 часов на заседании диссертационного совета 24.1.062.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ИЗК СО РАН и на сайте https://crust.ru/newsfull_254.html

Автореферат разослан «20» октября 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.062.02,
кандидат геолого-минералогических наук Б.С. Данилов

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Весьма важными вопросами исследования напряженно-деформированного состояния породных массивов являются иерархия и возраст поля тектонических напряжений. Пространственно-временные закономерности изменения напряженного состояния, а также связанные с ними тектонические процессы на территории Прибайкалья и Западного Забайкалья изучались многими исследователями [Шерман, Днепровский, 1986, 1989; Delvaux et al., 1995, 1997; Sankov et al., 1997; Леви и др., 1997; Парфеевец и др., 2002; Лунина и др., 2002, 2009, 2016; Семинский, 2003; Актуальные вопросы…, 2005; Лунина, Гладков, 2005, 2009; Черемных, 2005, 2010, 2015; Семинский, Черемных, 2011; Семинский и др., 2012, 2013; Бурзунова, 2015, 2022; и др.]. Однако количество, последовательность и возраст этапов тектогенеза для данной территории всё ещё являются предметом дискуссий.

Проблема изучения региональных динамических обстановок на основе анализа локальных разрывных нарушений, связанная с пространственной неоднородностью полей тектонических напряжений на разных масштабных уровнях, рассматривалось в работах [Короновский, Наймарк, 2013; Ребецкий и др., 2019; и др.]. Одним из эффективных подходов разрешения неоднозначности реконструкций региональных тектонических напряжений является структурно-парагенетический анализ разноранговых разрывных нарушений [Семинский 2014, 2015], примененный в данном исследовании для разломных зон Прибайкалья и Западного Забайкалья.

Еще одним сложным вопросом исследования тектонических напряжений является определение их возраста. Как правило, временные рамки действия тектонических напряжений регионального уровня иерархии имеют весьма условный характер, так как определяются путем косвенных корреляций с известными тектоническими событиями. Для установления интервалов действия тектонических напряжений и повышения надежности определения их возрастных границ, необходимо акцентировать внимание и на наложенных деформациях в разновозрастных породах. Таким образом, проблемы, связанные с установлением иерархии и возраста тектонических напряжений, требуют определения характера и особенностей развития тектонических процессов, связанных с ними движений, деформаций и разрывов в разных масштабных и временных интервалах.

Объекты исследований

Объектами исследований являлись поля тектонических напряжений в разломных зонах северо-восточного простирания, протягивающихся в пределах Прибайкалья и Западного Забайкалья на сотни километров. Исследования проведены в Предбайкальской, Приморской, Ангаро-Бугульдейской, Тугнуй-Кондинской, Хилокской и Чикой-Ингодинской зонах, а также в зоне разлома Черского.

Цель работы

Установить иерархию и относительный возраст тектонических напряжений в крупных разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья.

Задачи исследования

1. Произвести реконструкции локальных тектонических напряжений и кинематических типов разрывных нарушений в пределах крупных разломных зон северо-восточного простирания.
2. На основе рангового структурно-парагенетического анализа выявить иерархию тектонических напряжений в исследуемых разломных зонах и установить количественные соотношения локальных реконструкций стресс-тензоров, характерных для различных динамических обстановок регионального уровня в пределах изученных разломных зон.

3. Установить относительный возраст деформаций, в том числе образованных при изменении региональных тектонических напряжений, а также последовательность и количество этапов их воздействия на земную кору района исследований.

Фактический материал и методы исследования

Основу фактического материала составляют геолого-структурные наблюдения хрупких деформаций горных пород (разрывных нарушений), в том числе данные о бороздах скольжения и штриховке на зеркалах скольжения. В исследуемых разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья, были произведены геолого-структурные наблюдения на 104 обнажениях горных пород. В работе использовано 10664 замера элементов залегания разрывов и трещин, из которых 264 со штриховкой или бороздами на зеркалах скольжения. Исследования проведены с применением комплекса геолого-структурных и тектонофизических методов [Гзовский, 1954; Данилович, 1961; Angelier, 1989, 1990; Семинский 2014, 2015].

Личный вклад соискателя

Соискатель с 2017 по 2023 гг. принимал активное участие в сборе фактического материала. Диссертантом освоены и применены различные методики реконструкции стресс-тензоров как на основе изучения зеркал со следами скольжения, так и с использованием массовых замеров трещин без видимых смещений. Проведена обработка данных и интерпретация результатов полевых исследований 2001-2023 гг. Соискатель сформулировал основные научные выводы диссертационной работы и осуществлял подготовку к публикации статьей по теме исследования.

Основные защищаемые положения

1. Большая часть локальных разрывных сетей (71%), изученных в крупных разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья, соответствует парагенезам разновозрастных сбросов регионального уровня, из которых 50% сформированы или активизированы в позднем кайнозое при растяжении в направлении СЗ–ЮВ.

2. Для разломных зон Прибайкалья установлен тренд уменьшения количества локальных реконструкций стресс-тензоров, соответствующих более ранним динамическим обстановкам регионального уровня. Данную статистическую закономерность можно использовать для определения последовательности деформаций, связанных с изменением тектонических напряжений во времени.

3. Локальные сдвиги характерны для различных динамических обстановок регионального уровня в пределах изученных разломных зон Прибайкалья и Западного Забайкалья и составляют значительную долю в структурных парагенезах разломных зон сбросов (38%), сдвигов (95%) и взбросов (43%).

Научная новизна

На основе обширного геолого-структурного материала, собранного в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья проведено 140 реконструкций локальных стресс-тензоров различными тектонофизическими методами. На базе метода спецкартирования разломных зон проведен ранговый анализ разрывных нарушений и тектонических напряжений, с акцентом на наложенные деформации в разновозрастных породах. В пределах изученных разломных зон впервые установлена иерархия тектонических напряжений с выделением локального, субрегионального и регионального уровней. Выявлена последовательность изменения напряжений в пределах зон крупных разломов, которая позволила подтвердить и уточнить возраст девяти этапов формирования тектонических структур в Прибайкалье и Западном Забайкалье.

Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты реконструкций полей тектонических напряжений необходимы для понимания происхождения разрывных деформаций, направленности и динамики протекания тектонических процессов в Прибайкалье и Западном Забайкалье. Реализация подобных исследований предоставляет новые сведения о процессах, которые имели место в прошлом и позволяют заполнить пробелы в истории геологического развития изучаемых территорий.

Практическая значимость в изучении напряженного состояния земной коры связана с проектированием новых промышленных и социальных объектов, а также необходимостью прогноза и оценки устойчивости крупных горных выработок в тектонически сложных и сейсмически опасных районах, к которым относятся Прибайкалье и Западное Забайкалье. Кроме того, тектонические напряжения играют важную роль в процессах рудообразования, наряду с магматизмом и метаморфизмом. Поэтому для поиска как рудных, так и нерудных полезных ископаемых, в том числе нефтяных и газоконденсатных месторождений, весьма важно создавать геодинамические модели развития региона на разных временных интервалах геологической истории.

Степень достоверности и апробация результатов

По результатам исследований, связанных с темой диссертации, в соавторстве (в том числе первым автором), изданы 14 работ, в том числе 6 статей в рецензируемых журналах (Journal of Geodynamics, Geodynamics & Tectonophysics, Lithosphere (Russia)), входящие в базы данных Web of Science и/или Scopus. Основные результаты работы докладывались на профильных конференциях в: ИФЗ РАН (Москва, 2020, 2023 и 2024 гг.); ГИН СО РАН (Улан-Удэ, 2023 г.); ИГУ (Иркутск, 2021 г.); ИЗК СО РАН (Иркутск, 2023, 2024, 2025 гг.).

Соответствие паспорту специальности 1.6.1.

Согласно паспорту научной специальности 1.6.1. диссертация соответствует пунктам № 6, 7, 8, 11. Анализ разрывных нарушений, а именно массовых замеров трещиноватости и штриховки на зеркалах скольжения, входит в пункт № 6. Реконструкции полей тектонических напряжений с выделением основных этапов и стадий развития разломных зон Прибайкалья и Западного Забайкалья соответствуют пунктам № 7, 8, 11.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения общим объемом 171 страница, включая 51 рисунок и 8 таблиц в приложениях. Список литературы включает 207 наименований.

Благодарности.

Автор работы выражает искреннюю благодарность научному руководителю к.г.-м.н., доценту А.В. Черемных за всестороннюю помощь и экспертную оценку каждого отдельного этапа проведения исследований. Соискатель благодарит к.г.-м.н. Ю.П. Бурзунову за помощь в процессе освоения методических приемов реконструкции стресс-тензоров и важные замечания на разных этапах подготовки диссертации. Он весьма признателен д.г.-м.н. К.Ж. Семинскому, д.г.-м.н. О.В. Луниной и к.г.-м.н. А.С. Черемных за ценные консультации и помощь в улучшении текста диссертации, а также благодарит д.г.-м.н. А.М. Мазукабзова, к.г.-м.н. В.А. Санькова, и к.г.-м.н. Е.Е. Кононова за обсуждения и рекомендации при написании работы. Отдельную благодарность автор выражает спелеологу С.С. Карчевскому за помощь в проведении топографической съемки и построение 3D-модели пещеры Охотничьей. Автор также признателен всем сотрудникам лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН за всестороннюю помощь и поддержку.

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Тектонические напряжения земной коры Прибайкалья и Западного Забайкалья (обзор проблемы)

В главе приводится краткий обзор и анализ истории изучения тектонических напряжений и их иерархии, а также разных взглядов на классификации рангов и порядков тектонических напряжений со ссылками на [Левисон-Лессинг, 1915; Динник, 1928; Протодъяконов, 1931; Муди, Хилл, 1960; Гзовский, 1975; Ahorner, 1975; Николаев, 1977, 1982; Tectonic stresses…, 1980; Gephard, Forsyth, 1984; Геология…1984; Садовский и др., 1987; Осокина, 1987; Шерман, Днепровский, 1989; Юнга, 1990; Солоненко, 1993; Шерман, Гладков, 1999; Вадковский, Захаров, 2001; International…, 2002; Семинский, 2003; Семинский, Бурзунова, 2005, 2007; Семинский, 2008; Ключевский и др., 2009; Семинский, Черемных, 2011; Бурзунова, 2011, 2014; Захаров, 2011; Захаров, Вадковский, 2013; Лескова, Еманов, 2013, 2014; Семинский 2014, 2015; Бурзунова, 2017; Радзиминович, 2024; и др.]. Иерархические свойства полей напряжений проявляются в том, что для одной и той же территории по крупным тектоническим нарушениям восстанавливается один тип напряженного состояния, а по более мелким – другой. Учитывая сложную иерархичность разломов, систем разноранговых разрывных нарушений, неопределенность возрастных взаимоотношений, влияние структурно-вещественных неоднородностей, внутреннее строение разломных зон следует рассматривать как структурный парагенез, то есть совокупность систем разрывов 1-го, 2-го и последующих порядков, образованных в одной динамической обстановке. Структурный парагенез формируется в едином поле напряжений 1-го порядка, причем для разрывных нарушений каждого масштабного ранга в пределах разломной зоны (разрывы 2-го, 3-го и др. порядков) определяется свой тип напряженного состояния [Семинский 2014, 2015].

При смене регионального поля напряжений развиваются новые генерации разрывов и активизируются уже существующие системы. В результате изменения тектонического режима у крупных разломных зон земной коры меняются направления перемещения крыльев, что сопровождается изменением внутренней структуры зон. Перестройка внутренней структуры разломных зон сопровождается изменением напряженного состояния на различных масштабных уровнях. Таким образом, неоднородность напряжений формируются не только в пространстве, но и во времени

Главные особенности современного напряженно-деформированного состояния земной коры Байкальской рифтовой системы (БРС) хорошо известны и неоднократно обсуждались в литературе [Мишарина, 1967, 1972; Шерман, Днепровский, 1986; Солоненко и др., 1993; Напряжения и подвижки…, 1993; Petit et al., 1996; Голенецкий, 1977, 2001; San'kov et al., 1997; Мельникова, Радзиминович, 1998, 2007; Мельникова, 2003; Суворов, Тубанов, 2008; Ключевский, 2014; Середкина и др., 2015; Melnikova et al., 2016, 2017; Radziminovich, 2014; Радзиминович, 2021, 2024; и мн. др.]. Реконструкции тектонических напряжений земной коры Прибайкалья и Западного Забайкалья геолого-структурными методами рассмотрены в работах [Шерман, Днепровский, 1986,1989; Delvaux et al., 1995, 1997; Sankov et al., 1997; Леви и др., 1997; Парфеевец и др., 2002; Лунина и др., 2002, 2009; Актуальные вопросы…, 2005; Лунина, Гладков, 2005, 2009; Черемных, 2005, 2010, 2015; Семинский, Черемных, 2011; Семинский, и др., 2012; и др.]. На основе проведенных реконструкций установлено поэтапное изменение полей тектонических напряжений Прибайкалья и Западного Забайкалья, начиная с конца палеозоя. Исследования геодинамической эволюции земной коры от закрытия Палеоазиатского океана до кайнозойского рифтинга приведено в работах [Тетяев, 1916, 1934, 1937; Маслов, Лавров, 1933; Данилович, 1941, 1951; Хренов, 1969; Файнштейн, 1971; Замараев и др., 1976;

Девяткин, 1981; Шерман, Днепровский, 1989; Талиев, Бадардинов, 1993; Федоровский, 1995,1997,2010; Delvaux et al., 1995; Зоненшайн и др, 1995; Цеховский и др., 1996a, 1996b; Delvaux et al., 1997; San'kov et al., 1997; Скляров и др., 1997; Леви и др., 1997; Martinson, 1998; Мац и др., 2001; Сизых, 2001; Парфеевец и др., 2002; Лунина и др., 2002; Логачев, 2003; Черемных, 2005, 2010, 2015; Fedorovsky et al., 2005; Сухоруков и др., 2005; Волкова, Кузьмина, 2005; Лунина, Гладков, 2005; Парфеевец, Саньков, 2006; Кузьмин, Ярмолюк, 2006; Добрецов, Буслов, 2007; Сковитина, 2007; Donskaya et al., 2008; Лунина и др., 2009, 2010; Гладкочуб, 2010; Мазукабзов и др., 2011; Семинский, Черемных, 2011; Семинский, и др., 2012; Мац, 2015; Demonterova et al., 2017; Михеева, 2017; Аржанникова и др., 2018; Михеева и др., 2017; Акулов, 2020; Arzhannikova et al., 2020, 2021; Аржанникова, 2021; и мн. др.].

Однако на данный момент нет единой общепринятой модели последовательности этапов тектогенеза для Прибайкалья и Западного Забайкалья. Неоднозначность присутствует не только в определении временных рамок каждого отдельного этапа, а также в их количестве, причинах и механизмах структурообразования. В большинстве случаев временные рамки определены путем косвенных корреляций с известными тектоническими событиями и имеют условный характер. Всё это подтверждает актуальность и необходимость в проведении дополнительных исследований напряженного состояния земной коры в пределах Прибайкалья и Западного Забайкалья.

Глава 2. Методы реконструкции тектонических напряжений

Основным фактическим материалом исследований являлись геолого-структурные наблюдения трещиноватости и локальных разрывов при их наличии в коренном выходе горных пород. В точках наблюдений производился массовый замер элементов залегания трещин, как правило, в количестве 100 штук. Для каждой трещины отмечались вспомогательные для анализа данные: тип (скол или отрыв), ранг (или размер), вторичная минерализация на стенках, зеркала со следами скольжения, смещение маркеров и т.д. Камеральная обработка заключалась в построении структурных диаграмм с применением стереографических азимутальных проекций в программе «Structure», разработанной в Институте земной коры СО РАН [Левина и др., 2017], для каждого выхода горных пород и дальнейшего изучения характера трещиноватости, включающего выделение максимумов, оценку их угловых соотношений, ориентировку в пространстве, асимметричность.

Для анализа геолого-структурных данных применялся комплекс тектонофизических методов (метод М.В. Гзовского, [1954]; метод поясов В.Н. Даниловича, [1961]; статистический метод П.Н. Николаева [1977]; кинематический метод Ж. Анжелье [Angelier, 1989; 1990] с дополнениями Д. Дельво [Delvaux,1993]) при ведущей роли парагенетического анализа составляющего основу специального картирования разломных зон земной коры [Семинский, 2014, 2015]. Анализ данных о штрихах скольжения и реконструкции стресс-тензоров проводились с помощью программы «Tensor» [Delvaux, Sperner, 2003], в основе которой лежит инверсия Right Dihedra Ж. Анжелье [1990] с добавлением метода оптимизации вращением Д. Дельво [1993].

С помощью рангового анализа разломных зон, проведенного на количественной основе, можно не только реконструировать стресс-тензоры, в результате которых образовались структуры различных иерархических уровней, но и оценить относительную последовательность наложенных друг на друга разрывных нарушений разных периодов тектогенеза [Семинский, 2014, 2015]. Для проведения спецкартирования в пределах изученных сегментов каждой разломной зоны была создана представительная сеть локальных геолого-структурных наблюдений, как можно равномернее распределенных как вкрест, так и по её простиранию.

Все полученные структурные диаграммы максимумов плотности разрывов и трещин анализировались, в первую очередь, методом рангового структурно-парагенетического анализа разрывов [Семинский, 2014, 2015]. Даже в слабо обнаженных регионах этот метод позволяет на основе исследования небольших выходов горных пород получить информацию о стресс-тензоре, а также положении и типе разломных зон. При этом метод спецкартирования дает возможность, на основе анализа массовых измерений тектонической трещиноватости, реконструировать стресс-тензоры:1) локального уровня (в рамках одного обнажения горных пород); 2) напряжения субрегионального уровня, отвечающие за образование структурного парагенеза локальных разрывов в зоне более протяженного разлома (реконструируются по группе обнажений горных пород); 3) регионального поля напряжений, под действием которого формируется разломная зона как единая структура. Региональное поле тектонических напряжений реконструируется по совокупности групп обнажений горных пород, где каждая группа характеризует поле напряжений субрегионального уровня (рис. 1).

Для определения возраста трещинных сетей и реконструируемых на их основе тектонических напряжений использовался возраст пород, нарушенных разрывами. Выявление наложенных деформации проводилось в два этапа. На первом этапе выполнялся ранговый анализ разрывных сетей отдельно для каждой возрастной группы пород, а на втором этапе производилось сопоставление полученных решений и выявление наложенных разрывных парагенезов. Последнее позволяет установить деформации, характерные для разных возрастных интервалов.

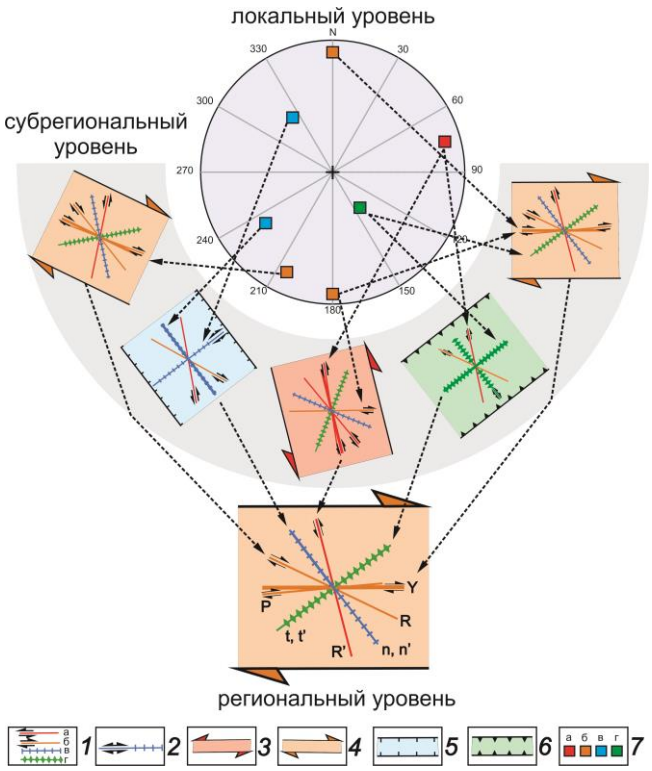

Рис. 1. Схема проведения рангового анализа в рамках метода спецкартирования разломных зон на примере правосдвиговой разломной зоны.

Анализ локальных решений показан на синоптической диаграмме (верхняя полусфера, сетка Вульфа); анализ разрывов субрегиональных и региональных масштабных уровней для наглядности выполнен с помощью парагенезов разломов 2-го порядка в плане.

1 – плоскости левых сдвигов (а), правых сдвигов (б), сбросов (в) и взбросов (надвигов) (г) 2-го порядка в плане; 2 – плоскости трансформационных сдвигов 2-го порядка в плане (в зоне сдвига совпадают с плоскостью рисунка); 3-6 – зоны левого сдвига (3), правого сдвига (4), сброса (5) и взброса (6) 1-го и 2-го порядка в плане; 7 – локальные решения левых сдвигов (а), правых сдвигов (б), сбросов (в) и взбросов (надвигов) (г), вынесенные на верхнюю полусферу (сетка Вульфа) (д).

Глава 3. Тектонические напряжения в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья

Район исследования расположен в области контактирования Сибирского кратона и Центрально-Азиатского орогенного пояса. На данной территории изучались региональные разломные зоны северо-восточного простирания протяженностью сотни километров (рис. 2); большинство из них являются активными в плиоцен-четвертичное время [Лунина, 2016]. Границы изученных разломных зон, устанавливались согласно геолого-геофизических данным [Семинский и др., 2013] и теоретическим расчетам С.И. Шермана [1977]. Исследования тектонических напряжений проведены в следующих разломных зонах: Предбайкальской, Приморской, Ангаро-Бугульдейской, и в зоне разлома Черского (Прибайкалье), Тугнуй-Кондинской, Хилокской и Чикой-Ингодинской (Западное Забайкалье).

В данной главе приведены результаты реконструкций в крупных разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья пространственной ориентировки разноранговых сдвигов, сбросов и взбросов (надвигов), а также соответствующих им типов напряженного состояния пород, которые в совокупности составляют решения структурно-парагенетического анализа. При этом проведенное исследование позволило собрать представительный фактический материал по локальным решениям в разновозрастных породах (таблица 1).

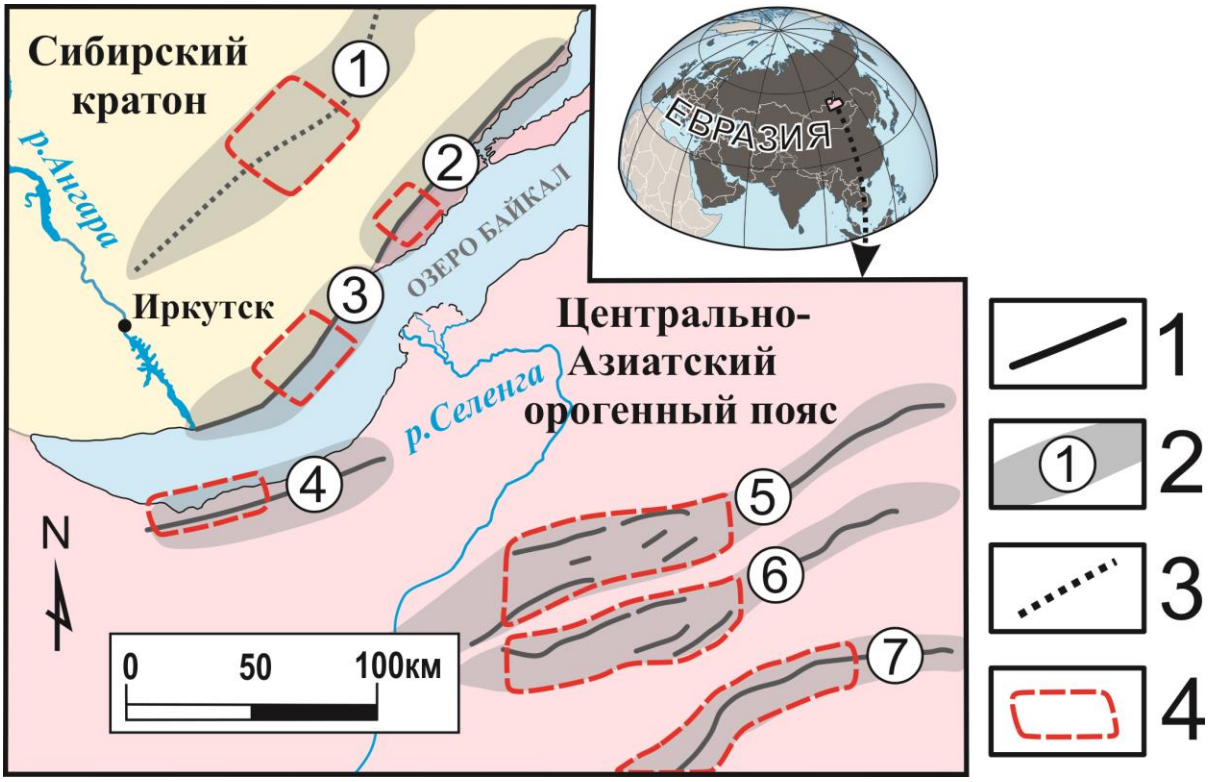

Рис. 2. Районы работ в Прибайкалье и Западном Забайкалье.

1 – разломы; 2 –разломные зоны Прибайкалья 1-4 и Западного Забайкалья 5-7: 1) Предбайкальская разломная зона; 2) Приморская разломная зона; 3) Ангаро-Бугульдейская разломная зона; 4) зона разлома Черского; Западного Забайкалья 5-7: 5) Тугнуй-Кондинская разломная зона; 6) Хилокская разломная зона; 7) Чикой-Ингодинская разломная зона; 3 – ось разломной зоны; 4 – районы проведенных работ.

Иерархия тектонических напряжений детально рассмотрена на примере разноранговых разрывных нарушений в районе пещеры “Охотничья имени Н.Б. Сеньковской”, расположенной в Ангаро-Бугульдейской разломной зоне [Декабрёв, Черемных, 2023].

Таблица 1. Количество локальных решений в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья, установленных в разновозрастных породах.

Разломная зона	Количество локальных решений в породах					
	KZ			**MZ**	**PZ**	Всего
	Q	N_1	Всего KZ			
Прибайкалье						
Предбайкальская	3	8	11	-	12	23
Приморская	-	-	-	-	14	14
Ангаро-Бугульдейская	-	-	-	-	10	10
Черского	4	9	13	-	6	19
Всего для Прибайкалья:	7 (11%)	17 (26%)	24 (37%)	-	42 (84%)	66
Западное Забайкалье						
Тугнуй-Кондинская	4	-	4	9	16	29
Хилокская	3	-	3	9	7	19
Чикой-Ингодинская	7	-	7	2	17	26
Всего для Западного Забайкалья:	14 (19%)	-	14 (19%)	20 (27%)	40 (54%)	74
Всего	**21 (15%) KZ (55%)**	**17 (12%) KZ (45%)**	**38 (27%)**	**20 (14%)**	**82 (59%)**	**140**

Карстовые полости пещеры были оцифрованы с помощью лазерного дальномера (Leica DistoX 310), что позволило создать 3D-модель пещеры (рис. 3, а). В процессе цифровой топографической съёмки пещеры проводилась привязка геолого-структурных наблюдений, которые включали замеры элементов залегания разрывов и трещин. Систематизация разломных ходов пещеры и структурно-парагенетический анализ их преобладающих направлений выявили парагенез сдвига с правосторонним перемещением крыльев и простиранием магистрального сместителя 30^o (рис. 3, г). Локальные разрывы различных кинематических типов, выявленные в коридорах и залах пещеры, удовлетворяют этому парагенезу (рис. 3, в).

Для изучения региональных динамических обстановок неотектонического этапа в зоне Ангаро-Бугульдейского разлома было проведено картирование спрямленных элементов рельефа – линеаментов (рис. 3, б), которые в Прибайкалье, как правило, являются разломами. Анализ линеаментов осуществлялся путем построения роз-диаграмм простираний и их сопоставления со структурными парагенезами зон сброса, взброса, левостороннего и правостороннего сдвигов. Это позволило уточнить кинематические типы разрывов в зоне влияния Ангаро-Бугульдейского разлома, которые соответствуют парагенезу зоны сброса (рис. 3, д).

Таким образом, установлена иерархия разрывных структур района пещеры Охотничьей. Структурно-парагенетический анализ сети локальных разрывов пещеры показал, что она соответствует зоне правостороннего сдвига с аз. прост. 30^o (субрегиональный уровень), который является элементом парагенеза регионального сброса северо-восточного простирания – Ангаро-Бугульдейского разлома (рис. 3, в-д). Результаты исследования спелеотем свидетельствуют, что возраст карстовых полостей не превышает 500 тыс. лет [Vaks et al., 2013]. Наличие постспелеогенной трещиноватости - «свежих» трещин, нарушающих натечные образования,

свидетельствует о неизменности динамической обстановки с момента заложения сети пещеры до настоящего времени.

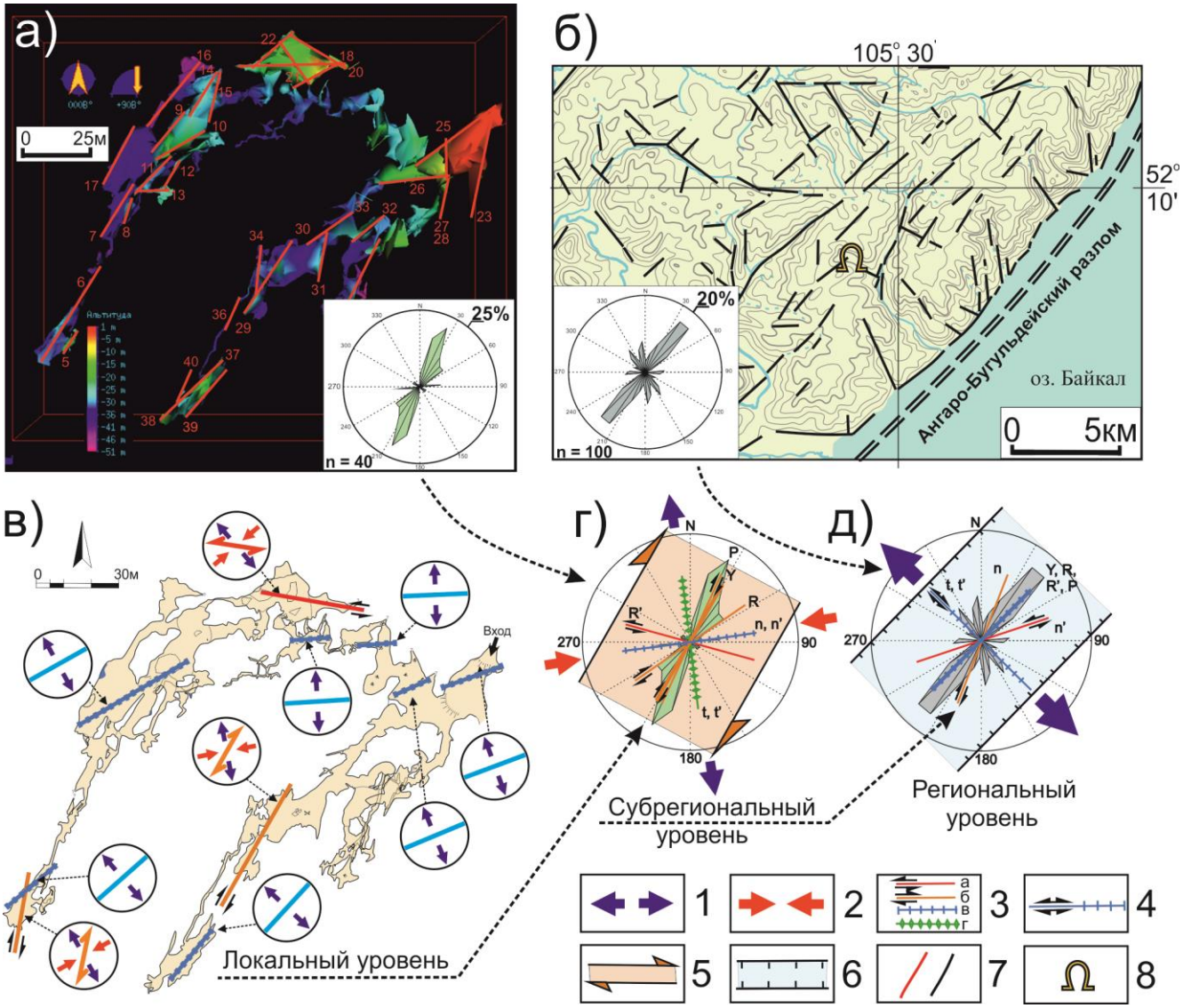

Рис. 3. Иерархия разрывов и напряжённого состояния зоны Ангаро-Бугульдейского разлома в районе пещеры Охотничьей.

а) 3D-модель пещеры и роза-диаграмма азимутов простирания коридоров пещеры Охотничьей; б) результаты линеаментного анализа в окрестностях пещеры Охотничьей; в) изученные разрывы разломной сети пещеры (локальный уровень); г) парагенез правого сдвига разломной системы пещеры (субрегиональный уровень); д) парагенез сброса в зоне Ангаро-Бугульдейского разлома (региональный уровень).

1 – оси растяжения; 2 – оси сжатия; 3 –левые (а) и правые (б) сдвиги, сбросы (в) и взбросы (г) 2-го порядка; 4 – трансформационные разрывы 2-го порядка (в зоне сдвига совпадают с плоскостью рисунка); 5-6 – зоны разломов 1-го порядка: 5 – правостороннего сдвига, 6 – сброса; 7 – линеаменты; 8 – положение пещеры Охотничьей.

Относительный возраст полей тектонических напряжений детально представлен на примере зоны разлома Черского. Реконструированы тектонические напряжения в 12 точках наблюдений, для которых методом специального картирования установлено 22 локальных стресс-тензора. В породах четвертичного возраста восстановлено 4 локальных решения, в олигоцен-плиоценовых отложениях реконструировано 10 локальных решений, в кристаллических породах палеозойского возраста – 8 локальных решений.

На втором этапе спецкартирования для выявления ориентации разломов более высокого уровня иерархии ранговый анализ проводился отдельно для каждой из обозначенных выше

групп пород. Он позволил интегрировать локальные разрывы в парагенезы субрегиональных разломов, которые в свою очередь составляют парагенезы зон региональных дизъюнктивов.

Проведенные для трех групп пород реконструкции региональных напряжений показали, что чем древнее геологические образования, тем больше динамических обстановок регионального уровня установлено в их пределах. На рисунке 4 отображены парагенезы региональных разломов и тектонические напряжения, характерные для пород различного возраста. Хорошо видно наложение «поздних» деформаций на «ранние», когда сбросы СВ простирания, характерные для четвертичного времени наблюдаются во всех группах пород, а субширотные сбросы только в породах более раннего возраста.

В итоге для разломной зоны Черского были реконструированы следующие тектонические напряжения регионального уровня иерархии: 1) СЗ-ЮВ растяжение в четвертичных породах; 2) меридиональное растяжение – в олигоцен-миоценовых отложениях; 3) СЗ-ЮВ сжатие – в породах позднепалеозойского возраста (см. рис 4).

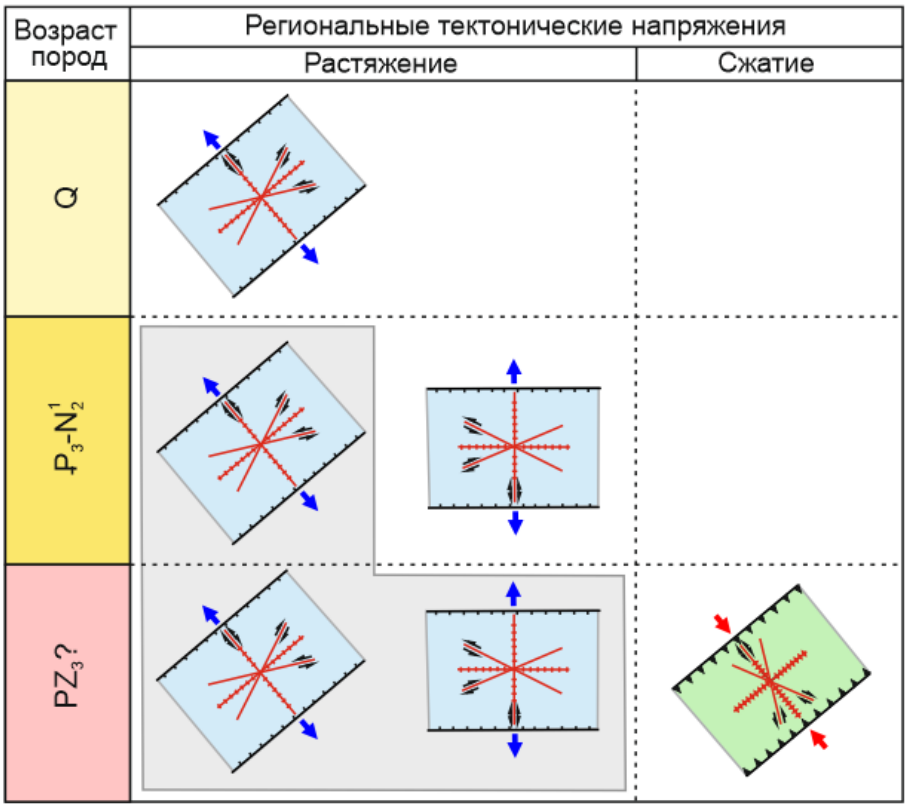

Рис. 4. Решения парагенетического анализа о положении разломных зон и стресс-тензорах регионального уровня, восстановленные в разновозрастных породах разломной зоны Черского.

Серым цветом выделены наложенные деформации. Пояснения в тексте.

Исследования иерархии и относительного возраста разрывных нарушений и реконструкции соответствующих тектонических напряжений были подобным образом выполнены для других разломных зон Прибайкалья и Западного Забайкалья. Для каждого из семи объектов исследования реконструировано от двух до шести разновозрастных динамических обстановок регионального уровня с существенно отличающимися ориентировками осей главных нормальных напряжений (рис 5):

1) для Предбайкальского предгорного прогиба было реконструировано 3 обстановки: 1) СЗ-ЮВ сжатия (~ $Є_2$-O_1); 2) правостороннего сдвига с меридиональной осью растяжения (~ N_2^2); 3) СЗ-ЮВ растяжения (Q);

2) в Приморской разломной зоне удалось реконструировать 3 обстановки: 1) СЗ-ЮВ сжатия (~ $Є_2$-O_1); 2) левостороннего сдвига с меридиональной осью сжатия (~ P_3 – N_2^1?); 3) СЗ-ЮВ растяжения (Q);

3) в Ангаро-Бугульдейской разломной зоне удалось реконструировать 2 обстановки: 1) левостороннего сдвига с меридиональной осью сжатия (~ P_3 - N_2^1?); 2) СЗ-ЮВ растяжения (Q);

4) в зоне разлома Черского было реконструировано 3 обстановки: 1) СЗ-ЮВ сжатия (~ J_1); 2) меридиональное растяжение (~ N_2^2); 3) СЗ-ЮВ растяжения (Q);

5) в Тугнуй-Кондинской разломной зоне было реконструировано 6 обстановок: 1) СЗ-ЮВ сжатие (~ J_1); 2) правостороннего сдвига с СЗ-ЮВ осью сжатия (~ J_{1-2}); 3) СЗ-ЮВ растяжение (~ J_2); 4) СЗ-ЮВ сжатие (~ J_3); 5) возможное СЗ-ЮВ растяжение (~ P_3 - N_2^1?); 6) СЗ-ЮВ растяжение (Q);

6) в Хилокской разломной зоне была реконструирована обстановка СЗ-ЮВ растяжения (~ K_1);

7) в Чикой-Ингодинской разломной зоне было реконструировано 4 обстановки: 1) СЗ-ЮВ сжатие (~ J_1); 2) правостороннего сдвига с СЗ-ЮВ простиранием оси сжатия и СВ-ЮЗ направлением оси растяжения (~ J_{1-2}); 3) СЗ-ЮВ растяжение (~ J_2); 4) СЗ-ЮВ растяжение (Q).

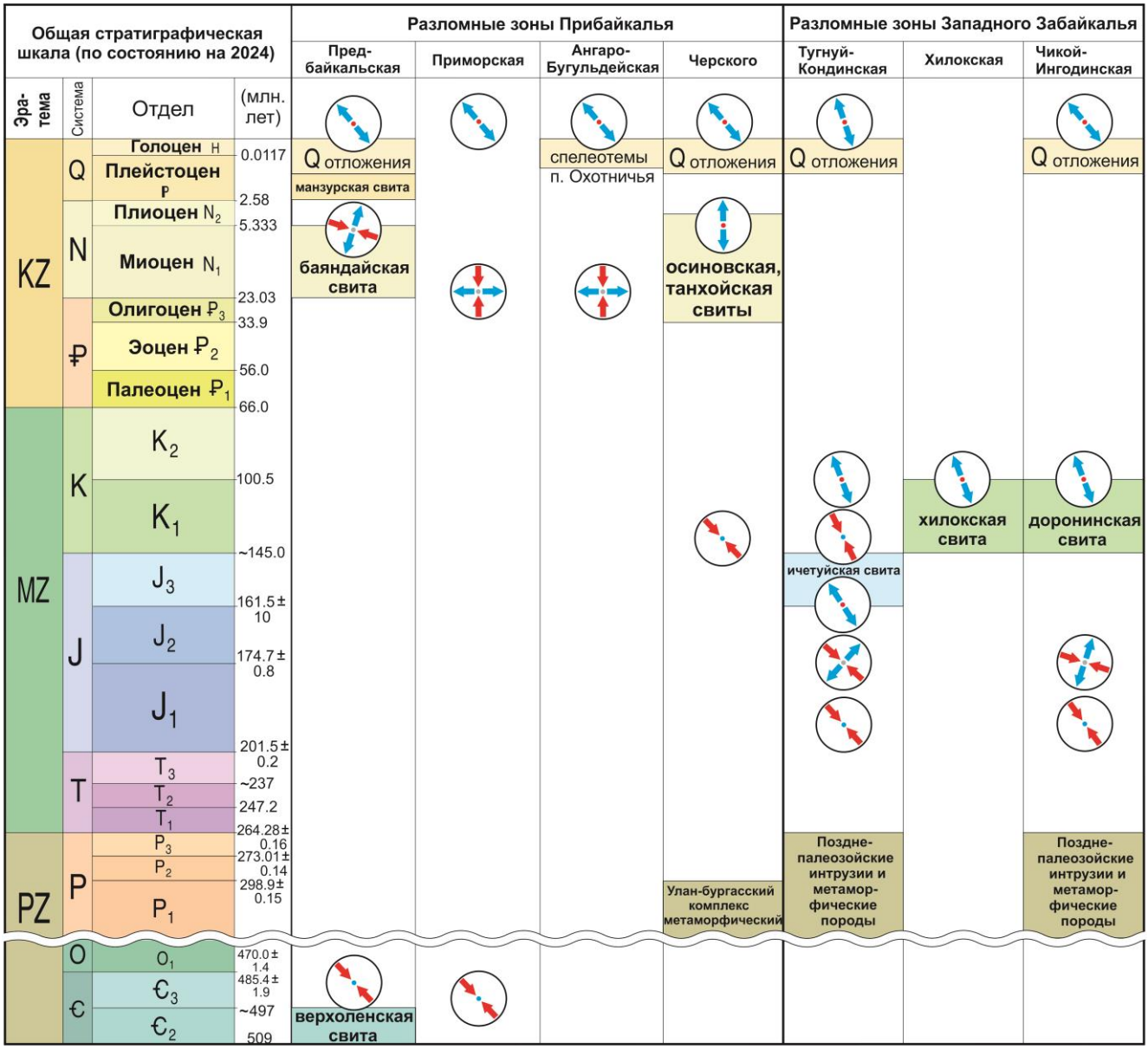

Рис. 5. Относительный возраст тектонических напряжений регионального уровня иерархии в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья.

Глава 4. Иерархия и возраст тектонических напряжений в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья

4.1. Иерархия разрывов и тектонических напряжений в разломных зонах

В данном разделе приводятся статистические данные, полученные в ходе исследования соотношений разноранговых разрывов, формирующих внутреннюю структуру разломных зон Прибайкалья и Западного Забайкалья. Анализ проводился с целью оценки общих иерархических закономерностей развития и распространенности локальных решений (разрывов разных кинематических типов и реконструированных стресс-тензоров) для различных динамических обстановок регионального уровня. Всего было реконструировано 140 локальных решений (рис. 6), из которых: 47% (65 решений) – сдвиги; 41% (58 решений) – сбросы; 12% (17 решений) – взбросы.

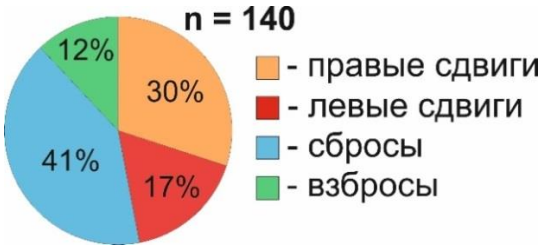

Рис. 6. Соотношение локальных сбросов, сдвигов и взбросов в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья.

Исследование, проведенное в разломных зонах, показало специфику соответствия локальных решений разновозрастным обстановкам воздействия региональных тектонических напряжений начиная с палеозоя. Всего было реконструировано девять разновозрастных региональных динамических обстановок (рис. 5, 7).

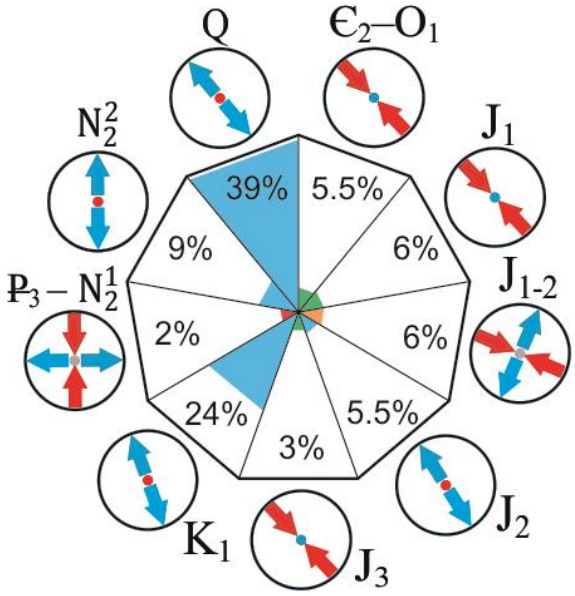

Рис 7. Соотношение локальных стресс-тензоров, соответствующих разновозрастным региональным динамическим обстановкам в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья.

На обстановки регионального растяжения приходится наибольшее количество разнотипных локальных решений. При этом парагенезам региональных сбросов соответствует – 71% (100 локальных решений различных кинематических типов), парагенезам региональных сдвигов – 14% (19 решений), парагенезам взбросов регионального уровня – 15% (21 решение) (рис. 8, а). Кроме того, проанализировано количественное соотношение локальных реконструкций стресс-тензоров, удовлетворяющих парагенезам сбросов регионального уровня иерархии в разновозрастных породах (рис. 8, б).

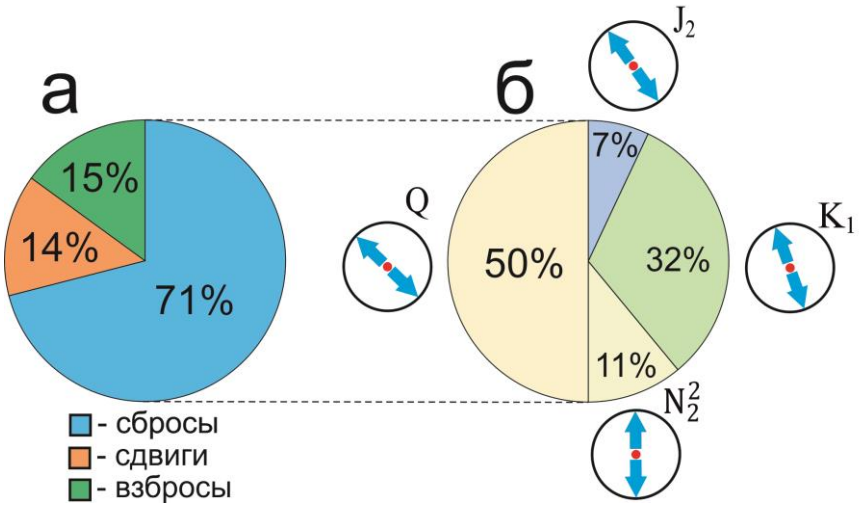

Рис. 8. Соотношения разнотипных локальных реконструкций стресс-тензоров в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья, соответствующих: а - парагенезам сбросов, сдвигов и взбросов регионального уровня иерархии; б - разновозрастным региональным обстановкам растяжения.

Установлено, что в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья, позднекайнозойскому СЗ-ЮВ растяжению удовлетворяет – 50% от всех локальных решений (см. рис. 8, б). Обстановке (~ N_2^2) меридионального растяжения соответствует – 11 % (12 шт.) локальных решений, обстановке (~ K_1) СЗ-ЮВ растяжения соответствует – 32 % (34 решения) и обстановке (~ J_2) СЗ-ЮВ растяжения – 7 % (8 решений).

Полученные результаты выявили закономерность соотношения разнотипных локальных решений, принадлежащих разновозрастным региональным динамическим обстановкам, которая свидетельствует о том, что наиболее молодые динамические обстановки представлены наибольшим количеством локальных разрывов. Таким образом, прослеживается общий тренд для разновозрастных региональных динамических обстановок, заключающийся в последовательном возрастании количества локальных разрывов от древних к молодым региональным динамическим обстановкам.

Наиболее ярко эта закономерность выражена в разломных зонах Прибайкалья (рис. 9), а особенно в Предбайкальской и Приморской разломных зонах, а также в зоне разлома Черского. В Предбайкальской зоне обстановке (~ $Є_2$–O_1) СЗ-ЮВ сжатия соответствует – 26 % (6 шт.) локальных решений, обстановке (~ N_2^2) меридионального растяжения – 35 % (8 решений), обстановке (Q) СЗ-ЮВ растяжения – 39 % (9 решений). В Приморской разломной зоне обстановке (~ Є2–O1) СЗ-ЮВ сжатия соответствует – 14 % (2 шт.) локальных решений, обстановке левостороннего сдвига (~ P_3 - N_2^1?) с субмеридиональным простиранием оси сжатия и широтной ориентировкой оси растяжения – 14 % (2 решения), обстановке (Q) СЗ-ЮВ растяжения – 72 % (10 решений). В разломной зоне Черского обстановке (~ J_3) СЗ-ЮВ сжатия соответствует – 5 % (1 решение); обстановке (~ N_2^2) меридионального растяжения – 21 % (4 решения), обстановке (Q) СЗ-ЮВ растяжения — 74 % (14 решений).

Таким образом, при достаточной статистической выборке локальных реконструкций стресс-тензоров возможно установить последовательность наложенных деформаций, связанных с изменением региональных динамических обстановок и тектонических напряжений, даже в одновозрастных породах.

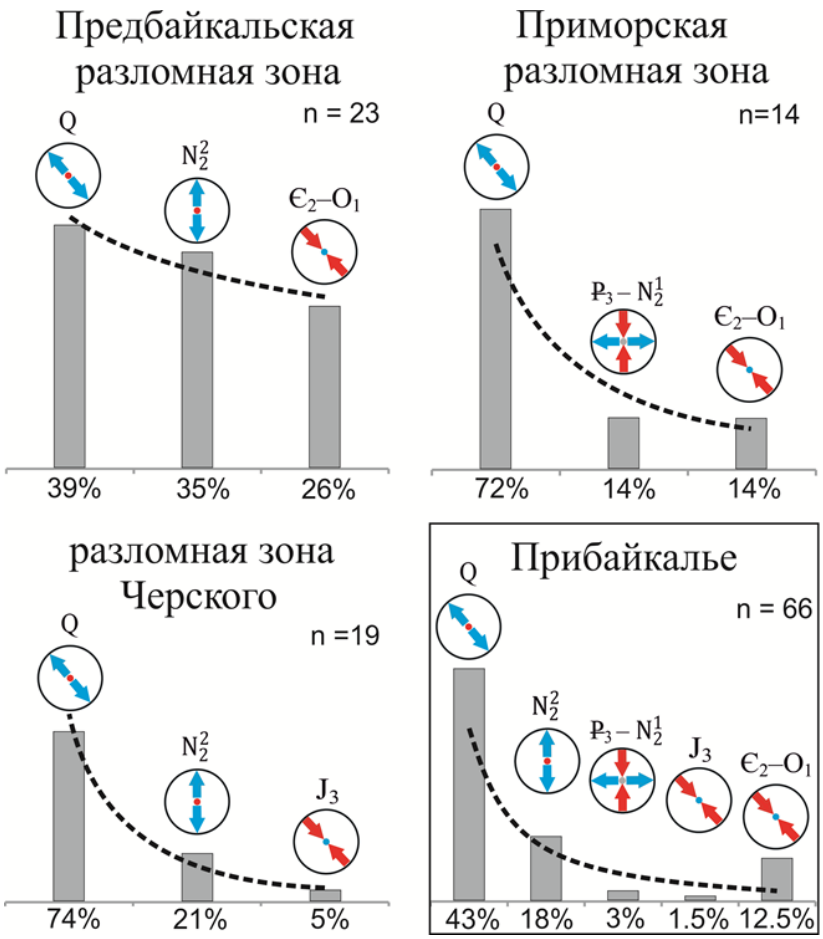

Рис. 9. Соотношение локальных разнотипных реконструкций стресс-тензоров в разломных зонах Прибайкалья, соответствующих разновозрастным динамическим обстановкам регионального уровня иерархии.

Пунктиром обозначена линия экспоненциального тренда.

Вклад разнотипных локальных решений в разновозрастные парагенезы сбросов, сдвигов и взбросов регионального уровня иерархии в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья рассмотрен выше (см. рис. 8, а). Ниже приведены соотношения локальных сбросов, сдвигов и взбросов, соответствующих разнотипным региональным парагенезам. Большинство полученных локальных решений приходятся на сдвиги (см. рис. 6), которые участвуют в парагенезах регионального уровня иерархии разных типов (рис. 10).

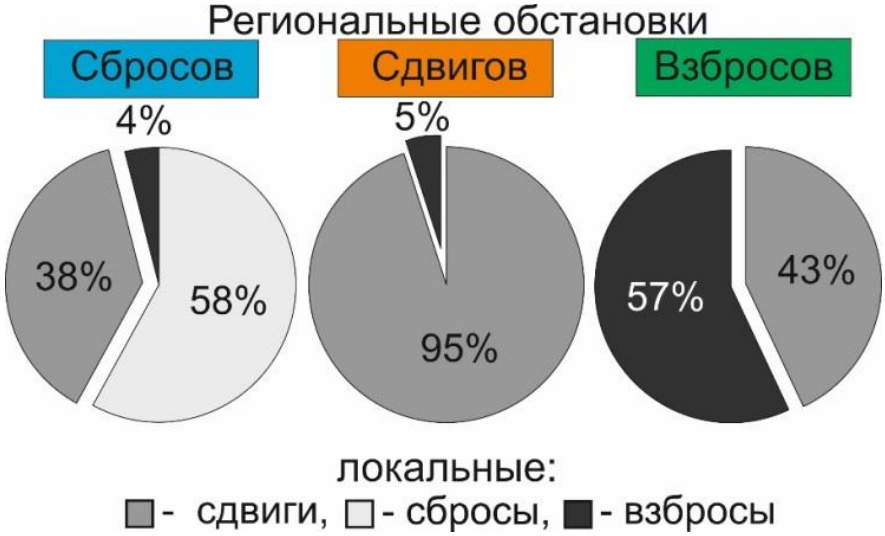

Рис. 10. Соотношение локальных решений, соответствующих парагенезам регионального уровня иерархии в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья.

Анализ иерархической соподчиненности локальных сдвигов показал, что только 26% (17 шт.) из них соответствуют парагенезам сдвигов регионального уровня иерархии (рис. 11). Значительная часть локальных сдвигов 60% (39 из 65 шт.) соответствует парагенезам региональных сбросов. Парагенезам взбросов соответствуют только 14% (9 шт.) локальных сдвигов.

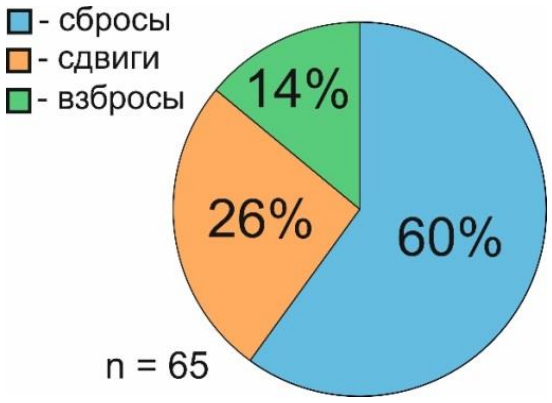

Рис. 11. Соотношение локальных сдвигов, соответствующих разнотипным парагенезам регионального уровня иерархии в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья.

Статистический анализ разрывных нарушений и тектонических напряжений в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья показал иерархическую соподчиненность локальных сбросов, взбросов и сдвигов в разных региональных динамических обстановках. Данных о локальных разрывах и соответствующих им стресс-тензорах в изученных разломных зонах достаточно для определения относительного возраста тектонических напряжений регионального уровня иерархии, чему и посвящён следующий раздел.

4.2. Относительный возраст региональных тектонических напряжений

Ранговый анализ разрывных нарушений и тектонических напряжений в исследуемых разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья позволил реконструировать тектонические напряжения трёх уровней иерархии – локального, субрегионального и регионального (см. главу 3). Данный раздел посвящен корреляции полученных региональных тектонических напряжений характерных для изучаемой территории на разных временных интервалах, с известными этапами формирования тектонических структур района исследований (рис. 12).

Особое внимание было уделено реконструкциям напряжений на основе изучения деформаций в породах разного возраста. Однотипные региональные поля тектонических напряжений, реконструируемые в разновозрастных комплексах пород, разделялись на основании отклонений осей главных нормальных напряжений на 10-15^{o}. Корреляция относительного возраста тектонических напряжений регионального уровня иерархии в зонах крупных разломов изученной территории с возрастом деформированных отложений позволила зафиксировать признаки девяти динамических обстановок, действующих в разное время (рис. 13):

1) Обстановка (~ $Є_2$-O_1) СЗ-ЮВ сжатия, реконструирована в Предбайкальской, Приморской и Ангаро-Бугульдейской разломных зонах (рис. 13, а);

2) Обстановка (~ J_1) СЗ-ЮВ сжатия, реконструирована в Тугнуй-Кондинской и Чикой-Ингодинской разломных зонах (Западное Забайкалье) и в зоне разлома Черского (рис. 13, б);

3) Обстановка правостороннего сдвига (~ J_{1-2}) с СЗ-ЮВ простиранием оси сжатия и ЮЗ-СВ ориентировкой оси растяжения – в Тугнуй-Кондинской и Чикой-Ингодинской разломных зонах (рис. 13, в);

Рис. 12. Корреляция относительного возраста реконструированных тектонических напряжений регионального уровня иерархии и основных этапов формирования тектонических структур региона, установленных в ходе предшествовавших исследований [Delvaux et al., 1995, 1997; Скляров и др., 1997; Федоровский, 1995,1997,2010; San'kov et al., 1997; Гладков и др., 2000; Ярмолюк, Иванов, 2000; Мац и др., 2001; Парфеевец и др., 2002; Лунина и др., 2002, 2009; Лухнев и др., 2003; Черемных, 2005, 2010, 2015; Парфеевец, Саньков, 2006; Семинский, Черемных, 2010, 2011, 2015; Семинский и др., 2012; Мац, 2015; Бурзунова, 2015. 2022; Arzhannikova et al., 2020; Аржанникова, 2020; Cheremnykh et al., 2020; Акулов и др., 2020; Sorokin et al., 2020; Wang et al., 2022; Буслов и др., 2023; Черемных, Декабрёв, 2023; и др.].

4) Обстановка (~ J_2) СЗ-ЮВ растяжения реконструирована в Тугнуй-Кондинской разломной зоне (рис. 13, г);

5) Обстановка (~ J_3) СЗ-ЮВ сжатия реконструирована в Тугнуй-Кондинской разломной зоне (рис. 13, д);

6) Обстановка (~ K_1) СЗ-ЮВ растяжения реконструирована в Тугнуй-Кондинской, Хилокской и Чикой-Ингодинской разломных зонах (рис. 13, е);

7) Обстановка левостороннего сдвига (~ $Ꝑ_3$ - N_2^1?) с субмеридиональным простиранием оси сжатия и широтной ориентировкой оси растяжения реконструирована в Приморской и Ангаро-Бугульдейской разломных зонах (рис. 13, ж);

8) Обстановка (~ N_2^2) меридионального растяжения реконструирована Предбайкальской зоне и зоне разлома Черского (рис. 13, з);

9) Обстановка (Q) СЗ-ЮВ растяжения реконструирована в Предбайкальской, Приморской, Ангаро-Бугульдейской, Тугнуй-Кондинской, Хилокской, Чикой-Ингодинской и зоне разлома Черского (рис. 13, и).

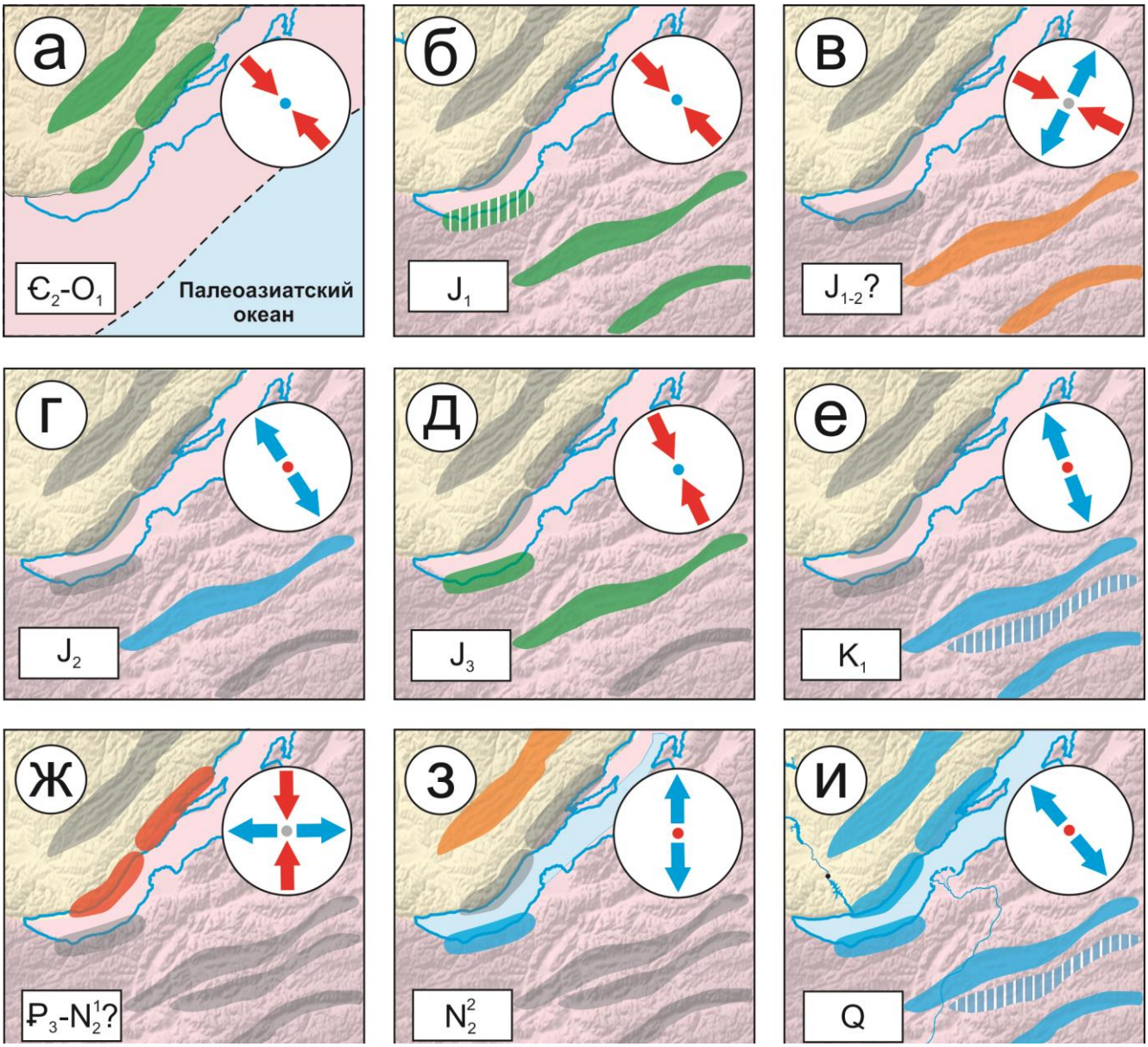

Рис. 13. Модель активизации изученных разломных зон Прибайкалья и Западного Забайкалья под действием региональных тектонических напряжений.

Цветом отмечена кинематика разломных зон: синий – сбросы, зеленый – взбросы, красный – левый сдвиг, оранжевый – правый сдвиг, серый – нет данных. Штриховкой обозначены зоны, где было не достаточно локальных решений для проведения рангового анализа, но локальные разрывы удовлетворяют региональным обстановкам, установленным для тех же временных интервалов.

Проведенное исследование позволило сформулировать следующие выводы:

1. Установлено, что большинство локальных разрывов – 71% удовлетворяют парагенезам сбросов региональных уровней иерархии. Позднекайнозойскому (Q) СЗ-ЮВ растяжению принадлежит 50% от общего числа локальных решений, удовлетворяющих сбросовым парагенезам регионального уровня иерархии. В кайнозойских отложениях на данное растяжение приходится 82% реконструируемых локальных решений;

2. Для разломных зон Прибайкалья установлен тренд уменьшения количества локальных реконструкций стресс-тензоров соответствующих более ранним динамическим обстановкам регионального уровня. Данную статистическую закономерность можно использовать для

определения последовательности деформаций, связанных с изменением тектонических напряжений во времени;

3. Локальные сдвиги характерны для различных динамических обстановок регионального уровня в пределах изученных разломных зон Прибайкалья и Западного Забайкалья и составляют значительную долю структурных парагенезов разломных зон сбросов (38%), сдвигов (95%) и взбросов (43%). В парагенезах сбросов и взбросов региональных уровней иерархии локальные сдвиги составляют 38-43%, что показывает их значимую роль в развитии региональных динамических обстановок сжатия и растяжения. Однако, большинство изученных локальных сдвигов соответствуют: обстановкам регионального растяжения – 60%, регионального сдвига – 26%, регионального сжатия – 14%;

4. Всего в пределах разломных зон Прибайкалья и Западного Забайкалья начиная от палеозоя было реконструировано 9 разновозрастных обстановок воздействия региональных тектонических напряжений (см. рис. 12 и 13), которые соответствуют известным этапам тектонического развития региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для семи крупных разломных зон Прибайкалья и Западного Забайкалья на основе метода спецкартирования проведена оценка морфогенеза разноранговых разрывных нарушений, составляющих их внутреннюю структуру, с верификацией полученных решений различными тектонофизическими методами. В 104 точках геолого-структурных наблюдений получено 140 реконструкций стресс-тензоров (локальных решений). Из них 74 – в Западном Забайкалье, а 66 – в Прибайкалье. Для регионов исследования определена иерархия тектонических напряжений и их относительный возраст. Для изученных разломных зон проведен ранговый анализ, который позволил установить иерархию в строении разрывной сети, представленную локальными, субрегиональными и региональными тектоническими нарушениями. Наиболее наглядно три уровня разрывов и тектонических напряжений удалось продемонстрировать на примере Приморской, Ангаро-Бугульдейской, Тугнуй-Кондинской разломных зон и зоны разлома Черского.

На основе анализа разрывных сетей в разновозрастных породах семи изученных разломных зон установлен относительный возраст тектонических напряжений регионального уровня, соответствующих отдельным этапам структурообразования. Предложена эволюционная модель формирования и реактивации разломных зон, которая не противоречит представлениям предшественников и представляет последовательность из девяти региональных динамических обстановок, имевших место в истории тектонического развития земной коры Прибайкалья и Западного Забайкалья.

Реконструкции иерархии и возраста тектонических напряжений в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья являются основой для составления геодинамических моделей развития региона на разных временных интервалах геологической истории. Практическая значимость полученных в работе результатов определяется возможностью использования закономерностей напряженного-деформированного состояния породных массивов Прибайкалья и Западного Забайкалья для решения вопросов структурного контроля оруденения и оценки устойчивости горных выработок используемых для разведки и эксплуатации месторождений минерального сырья открытым и подземным способами.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Cheremnykh A.V., Burzunova Yu.P., **Dekabryov I.K.** Hierarchic features of stress field in the Baikal region: Case study of the Buguldeika Fault // Journal of Geodynamics, 2020. – V. 141–142. – 101797. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jog.2020.101797
2. Черемных А.В., **Декабрёв И.К.** Разрывные нарушения Предбайкальского прогиба (Сибирская платформа): результаты структурно-парагенетического анализа // Литосфера, 2022. – Т.22. – № 6. – С. 783–795. https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-6-783-795
3. Cheremnykh A.V., **Dekabryov I.K.** The fault and stress patterns of Western Transbaikalia // Journal of Geodynamics, 2023 – V.155. – 101959. https://doi.org/10.1016/j.jog.2022.101959
4. **Декабрёв И.К.,** Черемных А.В. Роль разрывов в формировании пещеры Охотничьей (Центральное Прибайкалье) // Геодинамика и тектонофизика, 2023. – Т.14. – № 3. – 0704. https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-3-0704
5. Черемных А.В., **Декабрёв И.К.** Тектонические напряжения в зоне разлома Черского (Байкальская рифтовая система) // Геодинамика и тектонофизика, 2023. – Т.14. – № 5. – 0704. https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-5-0722
6. Черемных А.В., Бобров А.А., **Декабрёв И.К.,** Черемных А.С., Гридин Г.А., Павлов Д.В., Юрьев А.А. Кайнозойский грабен в зоне краевого шва Сибирского кратона: специфика внутренней структуры и реконструкции тектонических напряжений // Геодинамика и тектонофизика. – 2025. – Т.16. – № 5. – 0845. // doi:10.5800/GT-2025-16-5-0845

Тезисы докладов и материалы конференций:

1. Черемных А.В., Бурзунова Ю.П., **Декабрёв И. К.** Иерархические свойства поля тектонических напряжений в районе Бугульдейского разломного узла // Пятая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о земле: Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием, посвященной столетию М.В. Гзовского, Москва, 05–09 октября 2020 года. – Москва: Институт физики Земли РАН, 2020. – С. 351–357.
2. **Декабрёв, И.К.,** Корольков А.Т. Тектонофизический подход к анализу устойчивости кровли в гротах пещеры "Охотничья им. Н.Б. Сеньковской" / Вестник Иркутского университета, 2021. – № 24. – С. 57–59.
3. Черемных А.В., **Декабрёв И.К.** Разломно-блоковая структура и тектонические напряжения земной коры Западного Забайкалья // Геодинамика и минерагения Северной Евразии: материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН. — Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета, 2023. – С. 584–587.
4. **Декабрёв И.К.,** Черемных А.В. Иерархия и эволюция тектонических напряжений верхней коры Западного Забайкалья // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXX Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 16–21 мая 2023 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. – С. 74–77.
5. **Декабрёв И.К.,** Черемных А.В. Иерархия разрывных структур района пещеры Охотничьей (Прибайкалье) / Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы восьмой молодежной тектонофизической школы-семинара. – М.: ИФЗ, 2023. – С. 98–102.
6. Черемных А.В., Бобров А.А., **Декабрёв И.К.,** Черемных А.С., Гридин Г.А., Павлов Д.В., Юрьев А.А. Бугульдейско-Чернорудский грабен – кайнозойская структура в зоне

краевого шва Сибирского кратона // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Аннотации докладов Шестой Всероссийской тектонофизической конференции, приуроченной к 300-летию Российской академии наук. – М.: ИФЗ РАН, 2024. – 120 с.

7. Черемных А.В., **Декабрёв И.К.,** Черемных А.С. Зонно-блоковая структура и тектонические напряжения Прибайкальской окраины Сибирского кратона // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический аспект: тезисы докладов Всероссийской конференции (ИЗК СО РАН, г. Иркутск, 16-21 сентября 2024 г.). - Иркутск: Издательство ИГУ, 2024. - С. 130–131.

8. **Декабрёв И.К.,** Черемных А.В. Иерархия тектонических напряжений в разломных зонах Прибайкалья и Западного Забайкалья // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXXI Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 13–18 мая 2025 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2025. – С. 26–28.