Федеральное агентство научных организаций ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Инв. № 4



ОТЧЕТ за 2017 г. О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Проект IX.136.1.2. Исследование факторов, определяющих закономерности развития сейсмического процесса и сейсмическую опасность Прибайкалья (промежуточный)

Номер проекта в ИСГЗ ФАНО 0340-2016-0004

Приоритетное направление IX.136. Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий

Программа IX.136.2. Тектонофизика современных геодинамических процессов как основа прогноза природных катастроф во внутриконтинентальных условиях

Научный руководитель		
К.ГМ.Н.	Æ	Ц.А. Тубанов

Улан-Удэ, 2017

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Должность	Подпись	ФИО
к.гм.н., зав. лаб.	Æ	Тубанов Ц.А.
д.гм.н., в.н.с. (0,4)	Menny	Мороз Ю.Ф.
Д.ГМ.Н., В.Н.С.	New Start	Жатнуев Н.С.
К.ГМ.Н., Н.С.	Afbly-	Цыдыпова Л.Р.
к.т.н., н.с.	AL	Базаров А.Д.
к.гм.н., н.с. (0,8)	A	Васильев В.И.
К.ГМ.Н., Н.С.	bacusele.	Васильева Е.В.
к.фм.н., м.н.с. (0,5)	Areno	Добрынина А.А.
М.Н.С.	They-	Бартанова С.В.
М.Н.С.	The	Предеин П.А.
вед. инженер (0,5)	dy	Перевалов А.В.
инженер 2 кат (0,5)	· Mr.	Цыденов А.Б.
инженер 2 кат (0,5)	A Company of the second	Астахов Н.Е.
инженер 2 кат (0,4)	the.	Толочко В.В.
инженер	¥	Герман Е.И.
аспирант (инж. 0,5)	Å	Санжиева Д.ПД.
инженер (0,5)	Orkoberol	Очковская М.Г.
инжлаб.	Apirtuest	Жигмытов Б.А.

Содержание

	Стр.				
Реферат	1				
Нормативные ссылки	2				
Введение	2				
Основные результаты	3				
1. Изучение параметров землетрясений и сейсмических волн, характеризующих					
сейсмичность и сейсмическую опасность Байкальского рифта					
2. Численное моделирование поведения зданий и сооружений при сейсмическом					
воздействии	5				
3. Комплексное моделирование физико-химических свойств разреза литосферы					
Байкальского рифта, с учетом геофизических данных и сейсмологии					
Заключение	11				
Список использованной литературы					
Приложение А	13				

Реферат

Отчет, 13 стр., 8 рис., 1 табл. 6 ист., 1 прил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И СЕЙСМИЧЕСКУЮ ОПАСНОСТЬ ПРИБАЙКАЛЬЯ

Объектом исследования являются сейсмоопасные территории Прибайкалья и Забайкалья. Цель исследований по проекту - оценка направленности сейсмогенных процессов в очаговых зонах и идентификация наиболее сейсмоопасных структур. Этап отчетного года предусматривал следующие исследования: изучение параметров землетрясений и сейсмических волн, характеризующих сейсмичность и сейсмическую опасность Байкальского рифта, проведение численное моделирование поведения зданий и сооружений при сейсмическом воздействии, комплексное моделирование физико-химических свойств разреза литосферы Байкальского рифта, с учетом геофизических данных и сейсмологии. Для достижения поставленных задач особую роль играет возможность использования комплекса геофизических методов, позволяющего сочетать возможность создания глубинных моделей строения сейсмоактивной литосферы и проведения геофизического мониторинга для целей сейсмопрогноза.

В результате выполнения проекта получены наиболее значимые следующие результаты. На основе инструментальных данных локальной сети сейсмостанций, посредством моделирования акселерограмм зарегистрированных землетрясений, проведена детерминированная оценка сейсмического воздействия для сейсмоопасных территорий Прибайкалья и Забайкалья. Полученный результат актуален для развития методики сейсмического районирования и имеет важное прикладное значение. Использование широкополосных сенсоров в сети сейсмонаблюдений позволило с использованием методики совместного обращения обменных волн Ps и Sp получить глубинные распределения скоростей Vp, Vs и их отношения (Vp/Vs) для земной коры и верхней мантии до глубин 300 км. Результаты работы дополняют и уточняют известные данные по глубинному строению Байкальского рифта. На примере новой для сейсмических районов серии многоэтажных зданий построена математическая модель многоэтажного здания, с учетом экспериментально измеренных динамических характеристик. Для измерений использована инновационная разработка – аппаратно-программный комплекс «Иркут», позволяющий проводить однозначную идентификацию модальных форм и тем самым использовать динамические и кинематические характеристики волнового поля для верификации конечно-элементных моделей разнотипных зданий. Разработана компьютерная модель физико-химических свойств разреза литосферы БРЗ вкрест юго-западного фланга. На базе авторской методики комплексного

компьютерного моделирования по разрезу рассчитаны поля давления, напряжений растяжения и сжатия, а также вероятные химические составы слагающих его пород.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмические волны, земная кора, глубинное строение, телесейсмические наблюдения, сейсмическое воздействие.

Нормативные ссылки

Настоящий отчет о НИР составлен с использованием Государственного стандарта ГОСТ 7.32-2001 в редакции 07.09.2005 г.

Введение

Задача прогноза сейсмической опасности является актуальной для территории Прибайкалья, особенно для областей с высокой плотностью населения и развитой инфраструктурой. Решение этой прикладной задачи невозможно без проведения фундаментальных исследований разработки физических основ прогноза землетрясений [Гольдин, 2001; Соболев, 2003]. Научный интерес представляет Байкальский рифт, где наиболее ярко проявились геодинамические процессы, выраженные высоким уровнем сейсмичности и аномалиями геофизических полей.

Учитывая, что, в настоящее время в мировой практике, исследования в сейсмоактивных областях и вулканических зонах базируются на комплексном использовании различных геофизических методов (сейсмических, вибросейсмических электромагнитных), определена генеральная цель проекта – оценка направленности сейсмогенных процессов в очаговых зонах и идентификация наиболее сейсмоопасных структур на основе исследования глубинного строения и комплекса междисциплинарных геофизических наблюдений.

Содержание работы в 2017 г. по проекту:

• Изучение параметров землетрясений и сейсмических волн, характеризующих сейсмичность и сейсмическую опасность Байкальского рифта.

• Численное моделирование поведения зданий и сооружений при сейсмическом воздействии.

• Комплексное моделирование физико-химических свойств разреза литосферы Байкальского рифта, с учетом геофизических данных и сейсмологии.

Планируемый результат выполнения работы в 2017 г. по проекту:

• Проведена оценка параметров сейсмоактивного слоя литосферы центральной части Байкальского рифта по новым данным локальных сейсмологических сетей.

• Построена математическая модель поведения зданий и сооружений при сейсмическом воздействии с учетом экспериментальных данных обследования зданий и сооружений Прибайкалья.

• Компьютерная модель физико-химических свойств разреза литосферы вкрест югозападного фланга БРЗ.

2

Основные результаты

1. Изучение параметров землетрясений и сейсмических волн, характеризующих сейсмичность и сейсмическую опасность Байкальского рифта.

Проведена детерминированная оценка характеристик излучения и распространения сейсмических волн, посредством моделирования акселерограмм зарегистрированных землетрясений. Полученные результаты актуальны для развития методики сейсмического районирования и имеют прикладное значение для оценки сейсмической опасности территорий Прибайкалья и Забайкалья.

Для оценки параметров колебаний поверхности при возможных в будущем сильных землетрясениях исследуются закономерности излучения и распространения сейсмических волн в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ). Региональные параметры излучения и распространения сейсмических волн оцениваются путем решения обратных задач стохастического моделирования акселерограмм землетрясений [Вооге, 2003], зарегистрированных сейсмостанцией «Улан-Удэ».

Смоделированы акселерограммы наиболее сильных землетрясений (MW ~ 3.4-4.8), происшедших в 2006-2011 годах, с эпицентральными расстояниями ~96-125 км, с глубинами очагов ~8-12 км (рис. 1). В расчетах использованы оценки добротности, полученные ранее для данного района; оценки частотно-зависимого затухания и геометрического расхождения сделаны по данным о глубинном строении земной коры и верха мантии (скоростным профилям) в районе Улан-Удэ, и подобраны параметры, определяющие волновые формы и длительность акселерограмм [Павленко, 2008]. Найденные параметры хорошо описывают все изученные землетрясения.



Рисунок 1. Моделирование сильных движений землетрясений зон ВОЗ Южного Прибайкалья и Западного Забайкалья; слева: исторические и современные землетрясения БРЗ и Забайкалья (1771–2012 гг.); справа: смоделированная (синяя) и зарегистрированные велосиграммы Заганского землетрясения 01.02.2011 г., M = 4.8.

По данным совместной инверсии приемных функций P и S волн получено, что в средней и нижней коре центральной части Байкальского рифта наблюдается высокое отношение скоростей Vp/Vs, что объясняется присутствием флюида с высоким поровым давлением.

Для широкополосных сейсмических станций локальной сети ГИН СО РАН получены приемные функции продольных и поперечных волн [Vinnik, 1977] и выполнено их совместное обращение [Мордвинова и др., 2007] в скоростные разрезы (рис. 2). Мощность коры в около станционном пространстве достигает 40-45 км, что является промежуточным значением для БРЗ. В средней и нижней коре наблюдается высокое отношение скоростей Vp/Vs, которое на нескольких станциях превышает 2,0. Высокие значения объясняются присутствием флюида с высоким поровым давлением. Сейсмическая граница литосфера-астеносфера проявляется падением скорости поперечных волн с глубиной от 4.5 км/с до 4.0 – 4.2 км/с. Характерное значение глубины границы литосфера-астеносфера составляет 70–90 км и понижение скорости поперечных волн в астеносфере достигает максимальных значений (около 10%).



Рисунок 2. Скоростные модели коры и мантии для станций UUD, MXM, и KEL (вверху), полученные совместным обращением приемных функций продольных и поперечных волн (внизу). Красные и синие стрелки показывают границу Мохо и границу литосфера – астеносфера (LAB).

Апробирована методика комплексирования данных геоэлектрики и сейсмотомографии, позволяющая более корректно судить о природе аномалий электропроводности и сейсмической скорости, связанных с наличием (отсутствием) флюида и пористостью среды.

Комплексирование данных геоэлектрики и сейсмотомографии позволяет более однозначно судить о природе аномалий электропроводности и сейсмической скорости. Это основано на различной разрешающей способности методов к пористости пород и наличию жидких флюидов. Электропроводность пород связана с наличием жидких флюидов, гальванически связанных между

собой. Сейсмическая же скорость зависит от общей пористости, включающей также тупиковые и изолированные каналы. Совпадение аномалий повышенной электропроводности и пониженной скорости в земной коре при пористости не менее 15% свидетельствует о наличии в порах жидких флюидов. Аномалии повышенной электропроводности, не находящие подтверждения в пониженной скорости, характерны для пород с пористостью не более первых долей - первых единиц процентов, содержащих жидкие флюиды в гальванически связанном состоянии. Породы с такой пористостью находятся за пределами разрешающей способности сейсмотомографии Аномалии пониженной скорости, не выраженные в повышенной электропроводности, указывают на преобладание в породах земной коры изолированных и тупиковых каналов с общей пористостью не менее 15%, которая может быть и без жидких флюидов.

2. Численное моделирование поведения зданий и сооружений при сейсмическом воздействии.

На примере новой для сейсмических районов серии многоэтажных зданий КУБ-2.5. построена математическая модель 11-этажного здания в пакете физического моделирования ANSYS с учетом экспериментальных динамических характеристик, полученных на основе инженерно-сейсмометрического исследования.

Оценка сейсмостойкости зданий и сооружений является достаточно сложной и многопараметрической задачей. Одними из основных показателей, по которым можно диагностировать интегральное состояние зданий и сооружений, являются параметры динамической реакции сооружений на возможное сейсмическое событие техногенного или естественного происхождения. В ходе НИР использованы результаты оценки сейсмостойкости 11-этажного железобетонного здания новой серии КУБ 2.5 (каркас унифицированный, безригельный) по данным интегральных динамических характеристик колебаний (рис. 3).



Рисунок 3. Внешний вид и модель здания для численных расчетов.

Исследование состояло из следующих этапов.

 Оценка (измерение) динамических характеристик здания с использованием многоканального измерительного комплекса «Иркут» (разработка ГИН СО РАН).

2. Разработка модели здания в пакете физического моделирования ANSYS.

3. Валидация численной модели (проверка с данными экспериментальных измерений) с помощью полученных интегральных динамических характеристик колебаний.

Инженерно-сейсмометрическим методом были определены поэтажные спектры реакции здания (рис. 4), по которым были идентифицированы формы колебания в трех направлениях (рис. 5).



Рисунок 4. Передаточные функции здания.



Рисунок 5. Первая и вторая форма колебания здания.

В «стартовой» численной модели здания были заданы типовые физико-механические характеристики несущих конструкционных элементов. Сравнительный анализ численных и экспериментальных значений частот колебаний здания показал их существенное различие, что свидетельствовало о несоответствии используемых в расчетах типовых модельных параметров реальной ситуации. Таким образом, в результате проведенных работ, разработана методика инструментального научно-технического сопровождения новых объектов (к которым относится здание серии КУБ 2.5), позволяющая производить валидацию существующих проектно-строительных решений.

3. Комплексное моделирование физико-химических свойств разреза литосферы Байкальского рифта, с учетом геофизических данных и сейсмологии.

Построена компьютерная модель физико-химических свойств разреза литосферы БРЗ вкрест юго-западного фланга. На базе авторской методики комплексного компьютерного моделирования по разрезу рассчитаны поля давления, напряжений растяжения и сжатия, а также вероятные химические составы слагающих его пород.

На основе авторской методики комплексного компьютерного моделирования [Васильев и др., 2009] и исходных литературных данных построена 2-мерная (2D) реологическая модель литосферы БРЗ вкрест юго-западного фланга рифтовой зоны (рис. 6). Для ее построения разрез разбит на квадратные подсистемы размером 2×2 км, которые объединены в модельные зоны, соответствующие природным плотностным обособлениям (рис. 6А).



Рисунок 6. Расчетный модельный разрез литосферы вкрест юго-западного фланга БРЗ по линии Усть-Уда – Хилок. За основу принят сводный сейсмический разрез Гольдина с соавторами (2006). А - модельные зоны, соответствующие природным плотностным обособлениям; В -расчетное распределение напряжений растяжения (синяя шкала) и сжатия (красная шкала) в модельной

системе в виде отклонений давления от «эталонного» платформенного градиента; С - расчетное распределение напряжений растяжения и сжатия в виде отклонений от среднего по разрезу. Напряжения растяжения - синяя шкала, значения даны в барах.

Рассчитаны поля напряжений растяжения и напряжений сжатия в виде отклонений давления от «эталонного» платформенного градиента (рис. 6В) и в виде отклонений от среднего по разрезу (рис. 6С). Модельные зоны обозначены латинскими буквами, в скобках приведены их усредненные общие плотности. На рисунке (рис. 6) введены следующие обозначения: М – нормальная мантия (3.28 г/см³); МА – аномальная мантия (3.25 г/см³); Р – перидотитовый слой (2.89 г/см³); Е – «эклогитовый слой» (2.85 г/см³); ЕА – аномальная зона «эклогитового слоя» (2.79 г/см³); В – «базитовый слой» (2.78 г/см³); ВА1 – первая аномальная зона «базитового слоя» (2.82 г/см³); ВА2 – вторая аномальная зона «базитового слоя» (2.75 г/см³); ВА3 – третья аномальная зона «базитового слоя» (2.81 г/см³); G – «гнейсовый слой» (2.74 г/см³); GA1 – первая аномальная зона «базитового слоя» (2.67 г/см³); SA1 – первая аномальная зона «стнейсового слоя» (2.55 г/см³); SA2 – вторая аномальная зона «базитового слоя» (2.60 г/см³); SA3 – третья аномальная зона «осадочный слой» (2.67 г/см³); SA1 – первая аномальная зона «осадочного слоя» (2.55 г/см³); SA2 – вторая аномальная зона «осадочного слоя» (2.60 г/см³); SA3 – третья аномальная зона «осадочный слой» (2.65 г/см³); L – «плотные осадки» Байкальской котловины (2.56 г/см³); LA – «рыхлые осадки» Байкальской котловины (2.30 г/см³). Модельная граница Мохоровичича проходит по верхней границе зон М и МА.

Также рассчитаны разрез температуры (рис. 7) и вероятные химические составы слагающих его пород (табл. 1).



Рисунок 7. Расчетный модельный разрез температуры.

Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод о том, что вдоль выбранного разреза, при наличии ряда плотностных неоднородностей, существует неоднородность поля литостатических давлений, которая поддерживает, соответственно, и неоднородность поля напряжений. Расчет напряжений при отсчете от разных эталонных величин (среднее по платформе и среднее по разрезу) дают несколько различающиеся величины, но общая тенденция достаточно однозначна. Выявлен ряд субвертикальных зон напряжений сжатия и растяжения, что непосредственно должно сказываться на динамику рифтовой системы.

Зона	М	MA	Р	Е	EA	В	BA1	BA2	BA3	G	GA1	GA2	S	SA1	SA2	SA3	L	LA
SiO2	7.268	7.238	7.246	8.104	8.01	7.935	7.999	7.887	7.902	9.736	9.653	9.716	9.831	9.554	9.672	9.786	9.808	9.097
Al2O3	0.397	0.395	0.35	1.703	1.684	1.486	1.498	1.477	1.48	1.552	1.539	1.549	1.316	1.279	1.295	1.31	2.045	1.897
Fe2O3	0.105	0.105	0.275	0.107	0.105	0.291	0.293	0.289	0.289	0.639	0.633	0.638	0.217	0.211	0.214	0.216	0.528	0.49
FeO	0.94	0.936	0.701	0.661	0.654	1.106	1.115	1.099	1.101	0	0	0	0.288	0.28	0.284	0.287	0	0
MgO	9.893	9.853	8.873	3.243	3.205	2.258	2.276	2.244	2.248	1.076	1.067	1.074	0.65	0.632	0.639	0.647	0.591	0.548
CaO	0.479	0.477	0.815	2.225	2.199	1.587	1.599	1.577	1.58	1.029	1.02	1.027	1.025	0.996	1.009	1.021	0.317	0.294
Na2O	0.1	0.099	0.027	0.278	0.275	0.401	0.404	0.398	0.399	0.438	0.434	0.437	0.183	0.178	0.18	0.182	0.316	0.293
K2O	0.024	0.024	0.016	0.018	0.018	0.061	0.062	0.061	0.061	0.193	0.191	0.192	0.304	0.296	0.299	0.303	0.272	0.252
H2O	0.118	0.23	1.539	0	0.323	1.71	1.503	1.87	1.819	0.41	0.643	0.468	2.115	2.837	2.528	2.231	0	2.011
CO2	0.048	0.048	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.007	0.104	0.031	1.19	1.476	1.354	1.236	0	0.823
S	0.003	0.003	0.003	0.009	0.009	0.009	0.01	0.009	0.009	0.013	0.013	0.013	0.171	0.166	0.168	0.17	0.277	0.257
Cl	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.007	0.007	0.007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.336	0.312
H2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34	0.315
CH4	0	0.126	0	0	0.362	0.246	0	0.436	0.376	0	0	0	0	0	0	0	0.562	0.521
C2H6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.018

Таблица 1. Расчетные составы модельных зон, моль/кг.

Методом компьютерного моделирования рассчитаны балансы масс и объемов при ступенчатой дегидратации серпентина в субдуцирующем слэбе, гипотетически находящимся под Байкальским рифтом. Получена и стехиометрически обоснована последовательность образования «алфавитных» фаз гидросиликатов магния ОТ серпентина ДО форстерита $Srp \rightarrow D \rightarrow$ H→A→E→C→B→Fo с промежуточными продуктами реакций и отделяющимся свободным флюидом. Установлено, что в результате фазовых переходов $D \rightarrow H$, $H \rightarrow A$, $A \rightarrow E$, $C \rightarrow B$ и $B \rightarrow F$ о за счет несжимаемости выделяющегося флюида сверх определенного предела происходит сначала увеличение объема, а затем – при удалении флюида – резкое уменьшение («схлопывание»), что может являться одной из причин глубинных сейсмических событий. В переходах Srp→D и E→C такое «схлопывание» происходит без предварительного расширения, но в большем масштабе (рис. 8).

Для компьютерного моделирования использована созданнная платформа моделирования – программный продукт Vladi Overpressure 2.0. Программа представляет собой 32-битное приложение для Microsoft Windows, рассчитывающее подъем из мантии полостей, заполненных флюидом или расплавом с пониженной относительно вмещающей среды плотностью.

Vladi Overpressure 2.0 позволяет задавать входные параметры и получать на выходе численные и визуальные (2D) результаты.

Разработанная программа позволяет варьировать следующими входными данными: глубина прочностного барьера, под которым формируется камера с мигрантом (H, ±1 м); профили от поверхности до этой глубины температуры (T, ±1°C), ускорения свободного падения (g, ±0.0001 м/c²), плотности среды (ρ , ±1 кг/м³), прочности среды (σ_1 - σ_3 , ±1 Па); скорость накопления мигранта в камере (m_{in} , ±1 кг/с); исходная плотность мигранта (d_0 , ±0.1 кг/м³); безразмерные коэффициенты

экструзии и ассимиляции, определяющие форму камеры; величина гидроразрыва (c, ± 1 м). Результатами моделирования являются: критические объем (V_c , ± 1 м³), диаметр ($2 \cdot a$, ± 1 м) и мощность (b, ± 1 м) глубинной камеры; время достижения камерой критической мощности (t_m , ± 1 с); критическое избыточное давление в камере (P_{over0} , ± 1 Па); профили литостатического давления среды (P_{lit} , ± 1 Па) от поверхности до изучаемой глубины, плотности (d, ± 0.1 кг/м³) и гидростатического давления (P_{hyd} , ± 1 Па) мигранта по высоте полости; высота полости с мигрантом (L, ± 1 м); критическое избыточное давление мигранта в поднимающейся полости (P_{over} , ± 1 Па); скорость подъема мигранта (v, ± 1 м/с) и их производные. В скобках везде указана точность.



Рисунок 8. Расчетные последовательные химические реакции ступенчатой дегидратации 1 кг серпентина Mg₃Si₂H₄O₉ в погружающейся океанической плите. Под термином «флюид» здесь понимаем подвижную группу фаз «вода±газ» (объемы флюида ограничены исходными объемами реагентов).

Расширение базы данных рассчитанных моделей с пошагово изменяющимися параметрами позволило вплотную подойти к выводу ряда полуэмпирических уравнений зависимости времени подъема и объема мигранта от глубины кровли камеры, скорости накопления в ней вещества, прочностного профиля внешней среды, разности плотностей р–d и многих других параметров. Эти данные являются входными для программного комплекса «Селектор-С», с помощью которого можно на начальном этапе рассчитывать исходные равновесные минеральные ассоциации с водным раствором и газовой фазой во вмещающей среде, а в процессе моделирования подъема мигранта – их изменение с эволюцией Р-Т–условий и привносом вещества мигранта. Скорость подъема, объем и площадь поверхности полости, таким образом, будут контролировать долю вещества мигранта, вступающую в химическое взаимодействие с веществом внешней среды.

Заключение

НИР по проекту проведены в контексте разработки экспериментальной базы для исследования динамики сейсмичности и геофизических полей в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ). При этом, поставлены задачи: по данным геофизического мониторинга определить факторы, характеризующие направленность сейсмогенных процессов в очаговых зонах; разработать критерии оценки сейсмической опасности территорий и сейсмостойкости зданий и сооружений; разработать физико-химическую модель минералогических преобразований при сейсмогенном трещинообразовании с наличием свободного флюида.

Полученные результаты в 2017 году показали эффективность использования методов моделирования для анализа экспериментальных данных. Сопоставление и анализ разнородных данных в объеме земной коры БРЗ открывает новые возможности для экспериментального и теоретического изучения напряженно-деформированного состояния среды.

Список использованной литературы

1. Гольдин С.В., Дядьков П.Г., Дашевский Ю.А. Стратегия прогноза землетрясений на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне // Геология и геофизика, 2001, т. 42, № 10, С. 1484–1496.

2. Мордвинова В.В., А. Дешам, Т. Дугармаа, Ж. Девершер, М. Улзийбат, В.А. Саньков, А.А. Артемьев, Ж. Перро. Исследование скоростной структуры литосферы на Монголо-Байкальском трансекте 2003 по обменным SV-волнам // Физика Земли, 2007, №2, С. 11–23.

3. Павленко О.В. Характеристики поглощения сейсмических волн в коре и верхней мантии северо-западной части Кавказа // Физика Земли, 2008, № 6, С. 52-60.

4. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М. Наука. 2003. 270с.

5. Boore D.M. Simulation of Ground Motion Using the Stochastic Method // Pure Appl. Geoph., 2003, № 160, P. 635-676.

Vinnik, L.P. Detection of P to SV in the mantle // Phys. Earth planet. Inter., 1977, V. 15, P. 39–45.

Приложение А. Количество научных публикаций в журналах, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования (Web of Science, Scopus, MathSciNet, Российский индекс научного цитирования, Google Scholar, European Reference Index for the Humanities и dp.) по проекту за 2017 год:

1. **Dobrynina, A.A.**, Sankov, V.A., **Tcydypova, L.R.**, German, V.I., Chechelnitsky V.V., Ulzibat M. Hovsgol earthquake 5 December 2014, Mw=4.9: seismic and acoustic effects // Journal of Seismology (2017), P.1-13 DOI: 10.1007/s10950-017-9711-z

2. Винник Л.П., Орешин С.И., **Цыдыпова** Л.Р., Кобелев М.М., Хритова М.А., Мордвинова В.В., **Тубанов Ц.А.** Кора и мантия Байкальской рифтовой зоны по данным приемных функций продольных и поперечных волн // Геодинамика и тектонофизика, 2017, Т. 8, № 4, с. 695-709. <u>http://dx.doi.org/10.5800/GT-2017-8-4-0313</u>

3. Добрынина А.А., Саньков В.А., Девершер Ж., Чечельницкий В.В. Факторы, влияющие на затухание сейсмических волн в литосфере в зонах континентального рифтогенеза // Геодинамика и тектонофизика, 2017, Т. 8, № 1, с. 107–133. <u>doi:10.5800/GT-2017-8-1-0234</u>

4. Добрынина А.А., В.А. Саньков, В.В. Чечельницкий, Цыдыпова Л.Р., Герман В.И. Сейсмоакустические эффекты Хубсугульского землетрясения 5 декабря 2014 г. с Мw=4.9 // Доклады Академии наук, 2017, № 6 (477), с. 711-715. DOI: 10.1134/S1028334X17120248

5. Лапердин В.К., Саньков В.А., **Добрынина А.А.** Сейсмогеодинамический фактор формирования селей на южных склонах хребта Кодар. // Геодинамика и тектонофизика, 2017, Т. 8, № 4, с. 933-947. DOI: 10.5800/GT-2017-8-4-0325

6. Мороз Ю.Ф., Гонтовая Л.И. Глубинное строение Камчатки по результатам МТЗ и сейсмотомографии // Тихоокеанская геология, 2017, Т. 36, № 5, с. 44-58. DOI: 10.1134/S1819714017050037

7. **Мороз Ю.Ф.,** Логинов В.А, Улыбышев И.С. Глубинная геоэлектрическая модель Больше-Банной гидротермальной системы на Камчатке // Вулканология и сейсмология, 2017, № 5, с. 37-48. DOI: 10.1134/S0742046317050062

8. **Мороз Ю.Ф.,** Самойлова О.М. Особенности регионального и локального береговых эффектов в магнитотеллурическом поле Камчатки // Геофизические исследования, 2017, Т. 18, № 3, с.81-94. <u>DOI: 10.21455/gr2017.3-7</u>

9. Павленко О.В., **Тубанов Ц.А.** Характеристики излучения и распространения сейсмических волн в Байкальской рифтовой зоне, оцененные посредством моделирования акселерограмм зарегистрированных землетрясений // Физика Земли, 2017, № 1, с. 20-33. DOI: 10.1134/S1069351317010116

10. Саньков В.А., Парфеевец А.В., Мирошниченко А.И., Бызов Л.М., Лебедева М.А., Саньков А.В., Добрынина А.А., Коваленко С.Н. Позднекайнозойское разломообразование и напряженное состояние юго-восточной части Сибирской платформы // Геодинамика и тектонофизика, 2017, Т. 8, № 1, с. 81-105 <u>DOI: 10.1134/S1069351317010116</u>