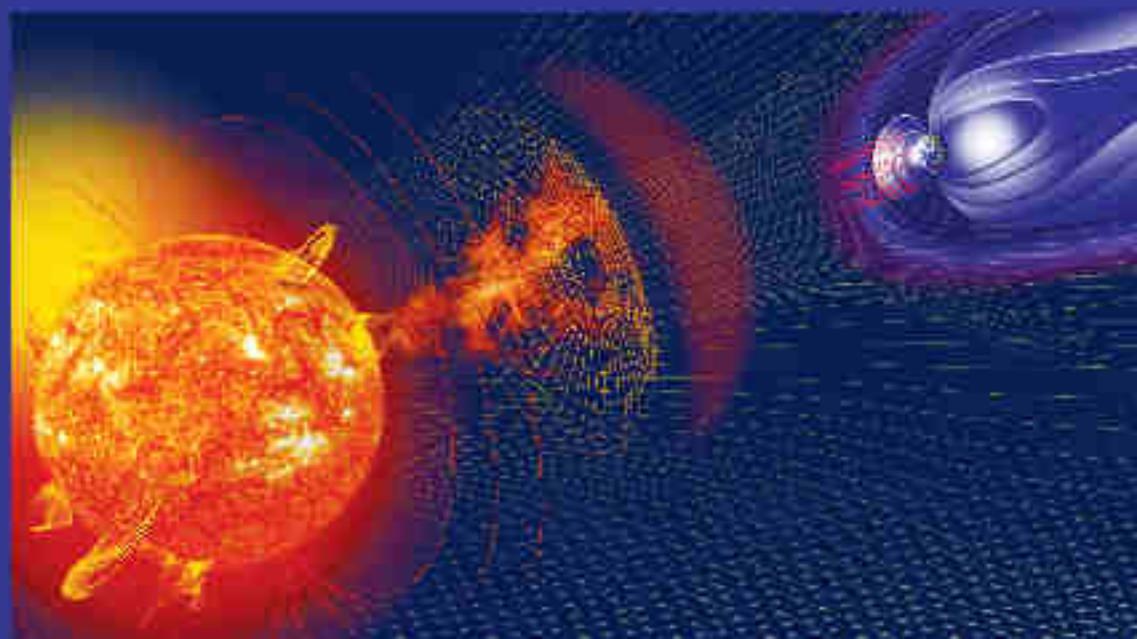




СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ГЕОДИНАМИКА
БАЙКАЛО-МОНГОЛЬСКОГО РЕГИОНА:
РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПОЛИТИКА



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИРКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ
ИНСТИТУТ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ

АКАДЕМИЯ НАУК МОНГОЛИИ
ИНСТИТУТ АСТРОНОМИИ И ГЕОФИЗИКИ

**СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ГЕОДИНАМИКА
БАЙКАЛО-МОНГОЛЬСКОГО РЕГИОНА:
РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПОЛИТИКА
(к 100-летию ИГУ)**

Тезисы докладов
XII Российско-монгольской
международной конференции



УДК 523.9(571.5)(063)
ББК 22.652л0
С60

Утверждено к печати ученым советом
Института земной коры СО РАН
24 июля 2018 г.

*Публикуется при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований,
проект № 18-05-20087-г*

Ответственные редакторы:

доктор геолого-минералогических наук *К. Ж. Семинский*,
доктор физико-математических наук *А. В. Медведев*,
доктор (Ph.D) *Ч. Оодонбаатар*

С60 **Солнечно-земные** связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика (к 100-летию ИГУ) : тез. докл. XII Рос.-монг. междунар. конф. / РАН, Сиб. отд-ние, Иркут. науч. центр, Ин-т земной коры, Ин-т солн.-зем. физики. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2018. – 173 с.

ISBN 978-5-9624-1608-3

Представлены результаты исследований солнечно-земных связей, космической погоды и климата, геофизических полей и сейсмичности, современных движений и напряженного состояния земной коры, опасных экзогенных процессов. Отдельно рассматриваются актуальные проблемы опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей.

Предназначено специалистам в области астрономии, современной геодинамики, геофизики, инженерной геологии и геоэкологии, а также аспирантам и магистрантам вузов Прибайкалья, Забайкалья и Монголии.

УДК 523.9(571.5)(063)
ББК 22.652л0

ISBN 978-5-9624-1608-3

© Ин-т земной коры СО РАН, 2018
© Ин-т солнечно-земной физики СО РАН, 2018

Содержание

Предисловие	12
Раздел 1 СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА	
Боровик А. В., Головки А. А., Поляков В. И., Трифионов В. Д., Язев С. А. Исследования Солнца в Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН	15
Головки А. А. Предвестники 24-го и 25-го солнечных циклов на средних и высоких гелиоширотах	16
Едемский И. К., Сулов В. С. Анализ отклика ПЭС на разрушение космических аппаратов при запуске	17
Исаева Е. С., Язев С. А. Рентгеновские вспышки и комплексы активности на Солнце	17
Колмаков А. А., Цюпа И. Ю. Оценка влияния солнечной активности на амплитуды мод шумановских резонансов по данным многолетних магнитных измерений в Томске	19
Коробцев И. В. Комплекс аппаратуры телескопа АЗТ-3ЗИК для наблюдений космических аппаратов и космического мусора в видимой и инфракрасной областях спектра	20
Левина Е. А. Проявления одиннадцатилетней периодичности в сейсмическом режиме регионов с различной геодинамической обстановкой	20
Науменко А. А., Подлесный А. В. Использование симметричного коротковолнового диполя для задач зондирования ионосферы из космоса	22
Нямсүрэн Б. Норма разности оскулирующих и средних элементов в системе, связанной с вектором скорости	22
Перевалова Н. П., Добрынина А. А., Шестаков Н. В., Орляковский А. В., Guojie M., Wu W. Регистрация возмущений, вызванных ядерными взрывами в Северной Корее	23
Смольков Г. Я. К изучению и объяснению солнечно-земных связей	24
Чипизубов А. В. К прогнозу изменений сейсмичности Земли по изменчивости солнечной деятельности и других геонимических процессов	25
Язев С. А. Структура комплексов активности на Солнце	26
Baatarkhuu D., Amarjargal Sh. The Results of Spectral Analysis of the Ionospheric Data	27
Munkhjargal Ch., Munkhmanlai D., Tuvshinjargal B., Batbayar B. Observations on Radiospectrometry CALLISTO	28
Sedykh P. A. Power Aspects of Processes at the Piston Shock Region	28

Раздел 2
КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

Амаржаргал Б., Сухбаатар У. Исследование магнитных бурь по данным магнитной обсерватории Монголии	30
Башкирцев В. С., Слепова М. А. Солнечная активность и прогноз климата Земли на XXI век	30
Буянова Д. Г., Пушкарев М. Г., Адвокатов В. Р., Башкуев Ю. Б. Анализ условий распространения СДВ-радиоволн во время магнитных бурь в сентябре 2017 года	31
Буянова Д. Г., Аюров Д. Б., Башкуев Ю. Б. Влияние солнечных затмений на ионосферу по данным спутника Demeter	32
Едемский И. К., Ясюкевич А. С. Наблюдения волновых пакетов в ПЭС, генерируемых солнечным терминатором в периоды действия тайфунов	34
Иванова В. А., Науменко А. А., Подлесный А. В. Вариации амплитудных характеристик ЛЧМ-сигнала во время рентгеновских солнечных вспышек	35
Иванова В. А., Подлесный А. В., Подельский И. Н., Подельский А. И. Регистрация ионосферных волновых возмущений во время магнитных бурь на основе данных КВ-распространения	36
Киселев А. В., Ковадло П. Г., Русских И. В., Томин В. Е., Шиховцев А. Ю. Перспективы развития астрономической адаптивной оптики в южной части Восточной Сибири: томография турбулентности	37
Киселев А. В., Ковадло П. Г., Шиховцев А. Ю. Астроклимат и адаптивная оптика в астрономии	38
Клибанова Ю. Ю., Мишин В. В., Цэгмэд Б., Караваяев Ю. А., Курикалова М. А., Луношкин С. Б. Динамика геомагнитных пульсаций, продольных токов и свечения ночной ионосферы на средних широтах во время суббуревых активизаций в ходе супербурь	39
Ковадло П. Г., Шиховцев А. Ю., Язев С. А. Климатические изменения и полярные ледники	39
Курикалова М. А., Мишин В. М., Мишин В. В., Луношкин С. Б. Оценка вкладов проводимости и электрического поля в интенсивность продольных токов в ночной полярной ионосфере во время взрывной фазы суббури	41
Ларюнин О. А. Исследование эффектов отражения радиосигнала от нестационарной ионосферы методом конечных разностей во временной области	41
Ларюнин О. А. Мультиинструментальные наблюдения ионосферных неоднородностей на базе вертикального и слабонаклонного зондирования	43
Леви К. Г., Мирошниченко А. И., Чечельницкий В. В., Ружников Г. М. Космический климат и сейсмическая погода в Байкальской Сибири	44
Поляков В. И., Фирстова Н. М. Структура и физические условия в На-петлях вспышки	45

Тунгалаг Н., Амарсайхан З., Батболд М., Батжаргал Б., Ирмүүнзаяа Б., Шижирбаяр Ц. Астрономические наблюдения в обсерватории Хурэлтоогоот в период 2014–2017 гг.	46
Ясюкевич Ю. В., Живетьев И. В., Киселев А. В., Шабалин А. С., Едемский И. К., Веснин А. М. Карты ионосферных возмущений по данным глобальных навигационных спутниковых систем	47
Dmitriev A. V. Recent Acceleration in the Equatorward Displacement of the Outer Radiation Belt over Siberia	48
Sedykh P. A. Global Equivalent El. Circuit of Magnetosphere-Ionosphere-Atmosphere Interaction	48

Раздел 3
110 ЛЕТ ТУНГУССКОМУ ФЕНОМЕНУ:
ФАНТАЗИИ И РЕАЛЬНОСТЬ

Иванов К. И., Комарова Е. С. Метеоры как инструмент исследования верхней атмосферы Земли	49
Коковкин А. А. Земные астроблемы и феномены неоплейстоцен-голоценового рубежа и голоцена	50
Коковкин А. А. Следы катастрофических землетрясений на рубеже неоплейстоцен – голоцен: Восток Азии, Поволжье	52
Лопатин М. Н., Язев С. А. Осинский болид сквозь призму пост-правды	54
Перевалова Н. П., Жеребцов Г. А. Геофизические эффекты Челябинского метеорита	55
Рахматулин Р. А., Пашинин А. Ю., Алешков В. М. Аналогии в поведении магнитного поля Земли при падении Тунгусского и Челябинского болидов	56

Раздел 4
СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ, ДЕФОРМАЦИИ
И НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Аль Хамуд А., Рассказов С. В., Коломиец В. Л., Будаев Р. Ц., Чувашова И. С., Рубцова М. Н. Строение опорного разреза Мишиха Танхойского третичного поля и его значение для реконструкций ранней истории Южно-Байкальской впадины и Хангайского орогена	57
Бартанова С. В., Санжиева Д. П.-Д., Тубанов Ц. А. Вариации радона в подземных водах при землетрясениях (термальная самоизливающаяся скважина в с. Сухая, Бурятия)	58
Борняков С. А., Пантелеев И. А., Черемных А. В., Каримова А. А. Экспериментальное исследование периодической активизации разлома в сейсмической зоне	59
Борняков С. А., Салко Д. В., Семинский К. Ж., Дэмбэрэл С., Ганзориг Д., Батсайхан Ц., Тогтохбаяр С. Результаты мониторинга деформаций горных пород в зонах разломов на Южно-Байкальском и Хустайском геодинамических полигонах	60

Бызов Л. М. Эволюция горного обрамления впадин Байкальской рифтовой системы в позднем кайнозое	62
Дембелов М. Г., Башкуев Ю. Б., Лухнев А. В., Лухнева О. Ф., Саньков В. А., Дэмбэрэл С., Батсайхан К. Определение влагосодержания над г. Улаанбаатаром по данным постоянных GPS-измерений и метеорологии	63
Денисенко И. А., Лунина О. В., Гладков А. С., Казаков А. В., Гладков А. А., Серебряков Е. В., Афонькин А. М. Оценка смещений при Цаганском землетрясении 1862 г. по данным георадиолокации (на примере сегмента Дельтового разлома между селами Шерашево и Инкино)	65
Лунина О. В., Гладков А. С., Денисенко И. А., Гладков А. А., Серебряков Е. В. Проявления опасных природных процессов в зонах активных разломов Байкальского региона по данным георадиолокации	66
Мирошниченко А. И., Леви К. Г., Саньков В. А., Лухнев А. В. Блоковое строение и современные деформации Байкало-Монгольского региона по результатам моделирования	67
Полешко Н. Н., Аристова И. Л., Михайлова Н. Н., Досайбекова С., Хачикян Г. Я. Особенности механизмов очагов землетрясений и сейсмотектонических напряжений на Северном Тянь-Шане: связь с магнитным полем Солнца	68
Ружич В. В., Вахромеев А. Г., Сверкунов С. А., Иванишин В. М. О технологии управления деформациями в сейсмоопасных разломах с применением глубокого бурения, гидроразрывов и закачек флюидов	69
Саньков В. А., Лухнев А. В., Мирошниченко А. И., Перевалова Н. П., Добрынина А. А., Лебедева М. А., Саньков А. В. Вариации современных вертикальных движений земной поверхности Байкальской рифтовой системы и окружающих территорий	71
Саньков А. В., Добрынина А. А., Саньков В. А., Шагун А. Н. Исследование зон разломов рифтовых впадин с применением микросейсмического профилирования	72
Семинский К. Ж., Бобров А. А., Дэмбэрэл С., Семинский А. К. Радоновая и тектоническая активность разломов земной коры	74
Хаптанов В. Б., Башкуев Ю. Б., Дембелов М. Г. Комплексирование георадарных и радиоимпедансных зондирований в Байкальской рифтовой зоне	75
Хассан А., Рассказов С. В., Чувашова И. С., Рубцова М. Н., Усольцева М. В. Литолого-минералогический анализ осадочных отложений верхнего кайнозоя в разрезе Бодон Баргузинской долины Байкальской рифтовой системы	76
Черемных А. В. Напряженно-деформированное состояние верхней части земной коры в разломных зонах Западного Забайкалья (результаты структурно-парагенетического анализа)	77
Baatarsuren G. Seismotectonic Mapping of Mongolia	78
Battsetseg A., Ulziibat M., Ganzorig D. The Primary Estimation of the Stress Field Orientation from Focal Mechanism of Earthquakes around Ulaanbaatar	79

Erdenezul D. GNSS Geodetic Network Development in Mongolia and its Application to Geodynamic Study	80
Nyambayar T.-A., Bano M., Schlupp A., Ulziibat M., Vyambakhорol B., Tseedulam K. Active Fault Modelling by Ground Penetrating Radar Technique: Example of Songino Fault, Ulaanbaatar, Mongolia	81

Раздел 5

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И СЕЙСМИЧНОСТЬ

Бадминов П. С., Оргильянов А. И., Намбар Б., Крюкова И. Г., Алексеев С. В., Сурмаажав Д., Оюнцэцг Д. Перспективы практического использования термальных вод Хангая	83
Базаров А. Д. Применение георадарного сканирования при разведке россыпного и рудного золота	84
Батсайхан Ц., Серебренников С. П., Баттувшин Г., Улзийжаргал М. Прогноз сейсмических воздействий сильных землетрясений Центральной и Северной Монголии	85
Баяраа Г., Ключевский А. В., Демьянович В. М. Сейсмоэнергетический потенциал активных разломов Монголии	86
Бержинский Ю. А., Бержинская Л. П., Ордынская А. П. Использование траекторий состояний зданий для оценки их уязвимости при сейсмических воздействиях	87
Бержинский Ю. А., Бержинская Л. П., Ордынская А. П. Спитак-1988: массовые обрушения каркасно-панельных зданий серии 111 можно было предотвратить	88
Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Ковалевский В. В. Онтологический подход к развитию научной среды для поддержки исследовательской деятельности в области активной сейсмологии	90
Буддо И. В., Шелохов И. А., Мисюркеева Н. В., Агафонов Ю. А. К вопросу об изучении геоэлектрической модели месторождений нефти и газа на всех этапах геолого-разведочных работ	91
Буянтогтох Б., Турутанов Е. Х., Тэнгис Б. Морфология плотностных неоднородностей Улаанбаатарского района по гравиметрическим данным	92
Васильев В. И., Васильева Е. В., Жатнуев Н. С., Санжиев Г. Д. Параметрическая модель образования и эволюции мантийно-корового мигранта	93
Вахромеев А. Г., Мазукабзов А. М., Горлов И. В., Станевич А. М., Шемин Г. Г., Шутов Г. Я., Смирнов А. С., Мисюркеева Н. В. Верхнеленское неотектоническое сводовое поднятие юго-восточной краевой области Сибирского кратона – крупный объект нефтегазопроисхождения исследований	94
Демьянович В. М., Ключевский А. В. Модель сейсмичности и ее характеристики в аддитивной разломной зоне	96
Джурик В. И., Брыжак Е. В., Серебренников С. П. К заданию исходных сигналов в пределах сейсмоклиматических зон Монголо-Сибирского региона	97

Добрынина А. А., Горбунова Е. А. Двумерное картирование характеристик затухания сейсмических волн в Байкальском рифте	98
Добрынина А. А., Саньков А. В., Саньков В. А. Характеристики микросейсм в Байкальском рифте по данным длительных измерений	99
Дядьков П. Г., Дучкова А. А., Козлова М. П., Кулешов Д. А., Романенко Ю. М., Цибизов Л. В. Култукское землетрясение 2008 года с $M_W = 6.3$ на Байкале: о модели подготовки и постсейсмическом процессе по результатам комплексных исследований	101
Ескин А. Ю., Джурик В. И., Брыжак Е. В. Применение геофизических методов при изучении гидротермальных источников на территории Монголо-Сибирского региона	102
Какоурова А. А., Ключевский А. В., Демьянович В. М. Цепочки землетрясений в литосфере Южного Прибайкалья и Северной Монголии	104
Ключевский А. В., Демьянович В. М., Ружников Г. М., Парамонов В. В. Оценка влияния модели среды на динамические параметры колебаний скального грунта (на примере городов юга Восточной Сибири)	105
Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Фатьянов А. Г., Караваяев Д. А., Тубанов Ц. А. Верификация скоростных моделей земной коры с применением методов активной сейсмологии	106
Меркулова Т. В. Миграция сейсмичности в Приамурье	107
Мисюркеева Н. В., Шелохов И. А., Буддо И. В., Агафонов Ю. А. Возможность оценки степени флюидопроницаемости разломных зон комплексом глубинных геофизических методов	108
Мордвинова В. В., Хритова М. А., Кобелев М. М., Кобелева Е. А. Глубинная сейсмическая анизотропия юга Сибирской платформы по данным станции «Саянск»	109
Мордвинова В. В., Кобелева Е. А., Хритова М. А., Кобелев М. М. Глубинное строение земной коры на контакте Сибирского кратона и Центрально-Азиатского подвижного пояса	111
Новопашина А. В., Кузьмина Е. А. Пространственное соотношение роев землетрясений и выходов подземных вод в Байкальской рифтовой системе	112
Оцимик А. А., Лесков В. В., Гомульский В. В., Безденежных С. А., Агафонов Ю. А. Прогноз зон золоторудной минерализации по результатам георадиолокационных зондирований в условиях Восточного Саяна	114
Папкова А. А., Гилёва Н. А., Хритова М. А. Мониторинг сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья	115
Пономарёва Е. И. Результаты изучения финальной стадии подготовки сильных землетрясений для совершенствования среднесрочного прогноза	116
Поспеев А. В. Роль природного водорода в геодинамике Земли	118
Поспеев А. В. Феномен аномальной мантии и геодинамика Байкальского рифта	119
Преден П. А., Добрынина А. А., Саньков В. А., Чечельницкий В. В., Герман В. И., Тубанов Ц. А. Временные вариации поглощения короткопериодных сейсмических волн в эпицентральных областях сильных землетрясений	120

Предин П. А., Добрынина А. А., Тубанов Ц. А., Герман Е. И. Анализ пространственных вариаций затухания сейсмических волн в центральной части Байкальской рифтовой зоны по записям близких землетрясений	121
Саландаева О. И. Характер развития архитектурно-пространственной структуры жилой застройки городов Прибайкалья с учетом сейсмогеологических условий	122
Санжиева Д. П.-Д., Герман Е. И., Тубанов Ц. А. Исследование параметров очагов землетрясений Байкальского рифта для целей оценки сейсмической опасности территорий	124
Серебренников С. П., Ескин А. Ю., Батсайхан Ц. Изучение состояния земляных плотин Монголо-Сибирского региона по геолого-геофизическим данным	125
Середкина А. И., Гилева Н. А., Мельникова В. И. Причины возникновения сейсмической активизации 1979–1993 гг. в Северо-Муйском районе Байкальской рифтовой зоны	126
Соловьев В. М., Чечельницкий В. В., Сальников А. С., Селезнев В. С., Лисейкин А. В., Галева Н. А. Верхняя мантия Прибайкалья и Забайкалья (аномалии скоростного строения по данным <i>P</i> - и <i>S</i> -волн от землетрясений и взрывов)	127
Сорокин А. Г., Ключевский А. В., Демьянович В. М. Инфразвуковое излучение при землетрясениях 5 декабря 2014 г. под озером Хубсугул	128
Тубанов Ц. А., Герман Е. И., Базаров А. Д. Проблемы детального исследования сейсмичности Байкальской рифтовой зоны и Забайкалья	130
Филиппов С. В., Середкина А. И. Определение глубин залегания изотермы Кюри по наземным и спутниковым магнитным данным на территории Сибири	131
Цыдыпова Л. Р. Структура литосферы по данным обменных волн под сейсмостанцией Котокель	132
Чечельницкий В. В., Хритова М. А. Определение сейсмической интенсивности по инструментальным данным в Байкальском регионе	133
Шелохов И. А., Мисюркеева Н. В., Буддо И. В., Агафонов Ю. А. Особенности гидрогеологической модели газоконденсатного месторождения Восточной Сибири и ее уточнение по данным электромагнитных зондирований	134
Baasanbat Ts., Baatarchuluun Ts. Crustal Structure Study in Mongolian Altai Range	135
Baldulam Ch., Odonbaatar Ch. The Seismic Hazard Assessment of Bulgan Province	136
Batmagnai E. The 1D Magnetotelluric Inversion Used Levenberg-Marquardt Algorithm	136
Batmagnai E., Sukhbaatar U. The Depth Electromagnetic Study in Mongolia	137
Bayaraa J., Munkhbayar B., Tuguldur G. Mongolian Seismic Stations, Data Availability and Detection Capability	138
Chuvashova I., Rasskazov S., Sun Y., Yasnygina T., Yang C., Xie Z., Saranina E., Gerasimov N. Convective Mantle Versus Local Lithospheric	

Isotope-Geochemical Signatures in Late Cenozoic Volcanic Rocks from Central Mongolia and Northeast China	139
Dagzinmaa L., Ulziibat M. Depth Estimation for Mongolian Strong Earthquakes by Application of a Cepstral	140
Dembereldulam M., Odonbaatar Ch., Dorjdavaa M. Estimation of Local Site Effects Using Microtremor Testing in Erdenet City	141
Dolgorjav T., Bayarsaikhan Ch., Baasanbat Ts. Determination of Crustal Thickness Beneath Tosontsengel Regional Seismic Station, in Mongolia	142
Enkhtulga D., Ulziibat M. Earthquake Monitoring: Automatic Processing at the Mongolian National Seismic Network	142
Enkhtuvshin A., Ulziibat M., Narmandakh A., Bayaraa J., Batsaikhan Ts. Earthquake Early Warning System of Ulaanbaatar City	143
Ganzorig D., Ulziibat M., Klinger Ya. Relocation of the Micro-Seismicity Using The Double Difference Algorithm at Large Surface Ruptures of Mongolia	144
Munkhsaikhan A., Ulziibat M., Dagzinmaa L., Dolgormaa M., Tuguldur G., Lkhagvadorj D. Seismic Activity around Ulaanbaatar City, Mongolia	144
Narmandakh A., Ulziibat M., Battulga B., Bayaraa J., Odbayar S., Lkhagvadorj D., Battsetseg A., Ariunaa G. Determine Properties of Anisotropy by Shear Wave Splitting Method in the Area of Ulaanbaatar	145
Radziminovich N. A., Miroshnichenko A. I., Zuev F. L. Analysis of the Earthquake Catalogue of the South and Central Baikal Basins for the Digital Period of Observations	146
Rasskazov S., Ilyasova A., Bornyakov S., Chuvashova I., Chebykin E. Different Earthquake Preparation at the Ends of the Tunka Valley, the Baikal Rift System: 6-Year Monitoring of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ in Groundwater from Active Faults	147
Ulziijargal M., Bayaraa J., Munkhbayar B. Mongolian Seismic Network and Data Center	149

Раздел 6
ОПАСНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Генсиоровский Ю. В., Казаков Н. А., Жируев С. П., Ухова Н. Н. Развитие экзогенных геологических процессов в районах строительства крупных линейных объектов (на примере Макаровского района Сахалинской области)	150
Добрынина А. А., Чечельницкий В. В., Макаров С. А. Сейсмические эффекты прохождения водокаменного селя 2014 г. на р. Кынгарга	151
Козырева Е. А., Рыбченко А. А., Мазаева О. А. Оценка потенциала проявления катастрофических процессов на территории Улаанбаатарской городской агломерации	152
Пеллинен В. А., Алексеев С. В. Применение беспилотных летательных аппаратов при анализе форм криогенного рельефа на примере долины реки Сенца, Восточный Саян	154

Пеллинен В. А., Козырева Е. А. Изучение абразионно-аккумулятивных процессов острова Ольхон	155
Рыжов Ю. В. Взаимодействие экзогенных процессов при формировании оврагов в лессовидных отложениях Западного Забайкалья	156
Рыжов Ю. В. Следы палеопаводков в разрезах отложений пойм и террас Прибайкалья и Забайкалья	157
Рященко Т. Г. Экзогенная геодинамика и грунтоведение: взаимосвязи, прогнозы, практика	158
Светлаков А. А., Козырева Е. А. Влияние температурного режима на развитие оползневых процессов (на примере о. Ольхон)	160
Ухова Н. Н., Штельмах С. И., Гринь Н. Н., Генсировский Ю. В. Комплексные исследования грунтов в районах строительства крупных линейных объектов (на примере Макаровского района Сахалинской области)	161

Раздел 7

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНЦ СО РАН И ИГУ КАК БАЗОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА И ЕГО МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ: ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ПРОГРАММ

Гладков А. А. Образовательные профориентационные мероприятия Института земной коры СО РАН для школьников и студентов профильных специальностей	163
Дэмбэрэл С., Одонбаатар Ч., Улзийбат М., Батсайхан Ц. Развитие геофизической науки в Монголии: подготовка национальных кадров Монголии в России и совместные научные достижения	164
Едемский И. К. Мероприятия ИСЗФ СО РАН по развитию интереса к физике и астрономии у школьников Иркутской области	165
Кононов А. М., Баттогтох Д., Старицын М. В., Иванов Е. Н., Цыдыпова Л. Р. Опыт взаимодействия молодых ученых России и Монголии	166
Примина С. П., Рассказов С. В., Липкина С. В. Опыт совместной работы монгольских вузов и Иркутского государственного университета в области подготовки геологов	167
Язев С. А. Астрономическое образование в Иркутске	168
Ясюкевич Ю. В., Хахинов В. В., Белецкий А. Б., Веснин А. М., Губин А. В., Жданов Д. А., Иванов Е. Ф., Колобов Д. Ю., Коробцев И. В., Лесовой С. В., Луковникова А. А., Ойнац А. В., Пашинин А. Ю., Ратовский К. Г., Рахматулин Р. А., Подлесный А. В., Сдобнов В. Е., Просовецкая Н. П., Челпанов А. А., Чупин С. А. Исследование околоземного космического пространства с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» ИСЗФ СО РАН	170
Altan-Ochir B., Gurragehaa J., Otgonsuren B., Amarjargal Ch., Undrakh D., Banzragch B., Enkhzul B., Gantuya B. Astropark in Mongolia	171
Ivanov A. V. Centre for Geodynamics and Geochronology at the Institute of the Earth's Crust SB RAS – an Analytical Division for Support of Geological Studies and Backing up Request from Industry	171

Предисловие

В сборнике представлены тезисы докладов XII Российско-монгольской международной конференции по астрономии и геофизике «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика» (к 100-летию ИГУ). Эта традиционная конференция проводится с начала 80-х гг. XX в. на базе Института земной коры СО РАН, Института солнечно-земной физики СО РАН или Института астрономии и геофизики Академии наук Монголии, которые являются партнерами по многолетним исследованиям многоплановых научных проблем, обусловленных солнечно-земными взаимосвязями. Научный форум 2018 г. посвящен 100-летию Иркутского государственного университета (ИГУ) как ключевого вуза, который в течение многих десятков лет готовил специалистов для работы в российских и монгольских научно-исследовательских институтах геологического, астрономического и физического профиля.

Проблематика XII конференции представляет три главных направления исследований. Первое из них является фундаментальным, так как объединяет проблемы, обусловленные взаимодействием Солнца и Земли и их определяющим влиянием на геодинамические процессы в литосфере и ее верхней части – земной коре. Исследования, которые будут представлены на конференции в рамках данного научного направления, относятся к области гелиогеодинамики и ориентированы на доказательство определяющего воздействия Солнца на геодинамические процессы, а также оценку роли в их проявлении внутриземных факторов. Конкретными проблемами, планируемыми в данном случае к рассмотрению на конференции, являются 1) создание модели геодинамики Байкало-Монгольского региона (БМР), которая непротиворечиво описывает взаимодействие отдаленных и местных энергетических источников в ходе деструкции литосферы; 2) создание схемы зонно-блоковой структуры БМР с выделением иерархии активных зон, согласующейся с глубинным строением территории; 3) реконструкция многоуровневой структуры поля современных тектонических напряжений с выходом на кинематику крупных разломов и опережающих структур; 4) типизация сценариев унаследованности разломообразования в районах с высоким уровнем сейсмической опасности и риском катастрофических про-

явлений опасных экзогенных процессов; 5) соотношение разрывной и пластической составляющих современных движений земной коры в регионах с разными геодинамическими режимами.

Вторую группу научных проблем объединяет отчетливо выраженный прикладной аспект, который в данном случае связан с опасным воздействием космических и геологических явлений на среду обитания человека. В области физики околоземного космического пространства и астероидно-кометной опасности особое внимание будет уделено проблеме влияния космической погоды на климат, а также современной оценке Тунгусского феномена, имевшего место в сибирской тайге 110 лет назад. В области геологии планируется обсудить результаты исследований опасных эндо- и экзогенных процессов, активно протекающих в Байкало-Монгольском регионе. Главными тематиками подобных работ будут: 1) уточнение сейсмического потенциала разноранговых активных зон с выходом на оценку уровней исходной сейсмической опасности для экономически значимых территорий БМР; 2) создание и использование в рамках сейсмического районирования нелинейных моделей поведения грунтов в зонах активных деформаций в ответ на сейсмические воздействия различной интенсивности и частотного состава; 3) принципы построения карт разломных зон для районов интенсивного природопользования с оценкой степени их современной активности на основе комплексного анализа сейсмологических, геологоструктурных, сейсмогеологических, GPS-геодезических, эманационных и других данных; 4) научные основы прогноза опасности, связанной для городских агломераций и линейных сооружений с инженерно-геологическими процессами, а также создание моделей их катастрофического развития при сочетании особых условий развития; 5) оценка радоновой опасности, обусловленной активностью тектонических нарушений, и принципы районирования городских территорий с выделением участков, неблагоприятных для проживания людей в плане риска онкозаболеваемости.

Третье направление вопросов, которые планируется обсудить на XII Российско-монгольской международной конференции, относится к научно-образовательной политике исследовательских и вузовских учреждений Байкальского региона, направленной на повышение уровня специальной подготовки студентов и эффективности научных разработок. Тематика докладов будет раскрывать научно-образовательный потенциал исследовательских институтов Сибирского отделения РАН и ИГУ как базовых составляющих опережаю-

щего экономического развития Байкальского региона в тесном и многоплановом сотрудничестве с Монголией. Предполагается рассмотрение этапов формирования Байкальского региона, его современное состояние, а также итоги реализации серии действующих интеграционных программ.

Таким образом, проводимое научное мероприятие будет способствовать решению комплекса взаимосвязанных фундаментальных и прикладных проблем геодинамики Байкало-Монгольского региона с выходом на использование полученных результатов для повышения эффективности дальнейших научных разработок, а также качества подготовки специалистов в вузах России и Монголии по астрономии, геофизике, инженерной геологии и геоэкологии.

ОРГКОМИТЕТ

РАЗДЕЛ 1

СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА

ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЦА В БАЙКАЛЬСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИСЗФ СО РАН

**А. В. Боровик, А. А. Головки, В. И. Поляков,
В. Д. Трифонов, С. А. Язев**

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
aborovik@iszf.irk.ru, algo149@gmail.com, polyak@iszf.irk.ru,
vdtrifon@bk.ru, syazev@gmail.com

25 апреля 2018 г. Байкальской астрофизической обсерватории (БАО) Института солнечно-земной физики исполнилось 40 лет. В докладе приводятся основные научные результаты исследований, полученные на основе анализа данных наблюдений Большого солнечного вакуумного телескопа (БСВТ) и хромосферного телескопа полного диска Солнца Байкальской астрофизической обсерватории. Перечень основных направлений исследований, выполняемых с помощью телескопов за этот период, следующий: 1) исследования механизма нагрева хромосферы и физических условий плазмы во время солнечных вспышек (Н. М. Фирстова, В. И. Поляков); 2) исследования феноменологии крупных солнечных вспышек (В. Г. Банин, А. В. Боровик, А. А. Головки, В. И. Сидоров, С. А. Язев); 3) исследования параметров комплексов активности на Солнце (В. Г. Банин, А. В. Боровик, А. А. Головки, С. А. Язев); 4) исследования структуры и развития малых солнечных вспышек (А. В. Боровик, Д. Ю. Мячин, А. А. Жданов); 5) исследования динамики волокон и протуберанцев (В. Д. Трифонов, С. А. Язев, Г. М. Хмыров); 6) исследования фрактальных характеристик проявлений солнечной активности (А. А. Головки, И. И. Салахутдинова). По результатам ис-

следований было опубликовано более 200 научных работ, защищены шесть кандидатских (А. В. Боровик, Л. К. Кашапова, Д. Ю. Мячин, В. И. Сидоров, В. Д. Трифонов, С. А. Язев) и три докторские диссертации (В. Г. Банин, Н. М. Фирстова, С. А. Язев), результаты вошли в состав нескольких монографий. Анализ получаемых на телескопах изображений лег в основу иркутской научной школы исследований комплексов активности на Солнце, включая их вспышечную активность, созданной В. Г. Баниным и продолжающей развиваться сегодня.

В ближайшие годы планируется цикл наблюдений Солнца в условиях пониженного уровня солнечной активности.

ПРЕДВЕСТНИКИ 24-го и 25-го СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ НА СРЕДНИХ И ВЫСОКИХ ГЕЛИОШИРОТАХ

А. А. Головко

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
golovko@iszf.irk.ru

Методом мультифрактальной сегментации фотосферных магнитограмм SOLIS, использованным в работе [1] для изучения процессов выхода нового магнитного потока в основной экваториальной зоне активности, по тем же данным исследованы проявления магнитной активности в области средних широт от 40 до 60° и в полярной зоне выше 60°. Проведены статистические исследования числа магнитных узлов диаметром 3–4", выявляемых таким методом. Они соответствуют некоторым образованиям магнитной сетки на границах супергранул.

Обнаружен предвестник 24-го солнечного цикла в виде всплеска числа магнитных узлов в 2007–2008 гг., превышающего в 20 раз его фоновое значение, характерное для периода 2011–2015 гг. Этот предвестник на два года опережает начало цикла. Сопоставление полярности магнитных узлов с полярностью фонового магнитного поля на тех же широтах по данным работы [2] показывает их совпадение в 77 % случаев.

В первом полугодии 2016 г. началось увеличение числа магнитных узлов, аналогичное зафиксированному во втором полугодии 2007 г., что можно считать предвестником начала 25-го цикла солнечной активности в области средних гелиоширот. На этом основании предполагается, что начало нового цикла может произойти в 2019 г. Интерпретация обнаруженного явления согласуется с кон-

цепочки начала солнечного цикла на высоких широтах, изложенной в работе [3]. Подобный результат получен в работе [4]: методами гелиосейсмологии на основании данных GONG в горизонтальных потоках вещества выявлен паттерн, который может быть рассмотрен как предвестник 25-го цикла.

Литература

1. Головки А. А., Салахутдинова И. И. // Астрон. журн. 2015. Т. 92. С. 650.
2. Mordvinov A. V., Golubeva E. M. // Solar Physics. 2017. Vol. 292. P. 175.
3. Tlatov A. G. // Solar Physics. 2009. Vol. 260. P. 465.
4. Komm R., Howe R. and Hill F. // Solar Physics. 2017. Vol. 292. P. 122.

АНАЛИЗ ОТКЛИКА ПЭС НА РАЗРУШЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ ЗАПУСКЕ

И. К. Едемский, В. С. Суслов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
ilya@iszf.irk.ru

Известно, что масштабные воздействия ударного типа на атмосферу вызывают генерацию волновых возмущений, которые могут распространяться до ионосферных высот и проявляться в виде перемещающихся ионосферных возмущений. Неудачные запуски космических аппаратов, окончившиеся взрывом ракеты-носителя, являются источником возмущений атмосферы и ионосферы, которые могут быть зарегистрированы по данным приемников ГНСС. В данной работе мы представляем результаты анализа вариаций ПЭС, наблюдаемых во время нескольких неудачных запусков космических аппаратов.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ВСПЫШКИ И КОМПЛЕКСЫ АКТИВНОСТИ НА СОЛНЦЕ

Е. С. Исаева, С. А. Язев

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
ele3471@yandex.ru, syazev@gmail.com

Крупномасштабные долгоживущие магнитные системы на Солнце, объединяющие иногда десятки активных областей (АО), последовательно и одновременно возникающие на Солнце, – комплексы активности (КА) – являются местами локализации наиболее крупных протонных солнечных вспышек. Ранее показано, что до

90 % сильных протонных вспышек, влияющих на природную среду Земли и сопровождающихся выбросами коронального вещества, происходят именно в КА. Известно, что КА на поздних стадиях эволюции связаны с корональными дырами, являющимися источниками высокоскоростного солнечного ветра. Таким образом, КА связаны с большинством геоэффективных процессов и явлений на Солнце.

В работе проведено исследование средних и сильных вспышек на Солнце (с рентгеновским баллом от М1 и выше), происшедших в течение текущего 24-го цикла солнечной активности (начиная с января 2009 г.).

В списке всех АО, наблюдавшихся в 24-м цикле, выделены области, в которых происходили вспышки. Таких областей оказалось 198, в том числе 119 в ядрах КА, 23 – в ветвях КА и 66 – в индивидуальных АО, не имеющих отношения к КА. При этом общее количество АО в составе ядер и ветвей КА и вне КА примерно одинаково. Таким образом, именно в ядрах и ветвях КА генерируется подавляющая часть (около 72 %) всех рентгеновских вспышек классов М-Х.

Для всех рассмотренных АО рассчитан вспышечный индекс, позволяющий оценить суммарную энергию, выделившуюся во вспышках в данной АО, в условных единицах. Распределение суммарных значений индекса составило для ядер КА 169 (58 %), для ветвей КА – 39 (13 %), для отдельных АО – 84 (29 %). Таким образом, на КА (ядра и ветви) падает около 71 % всей энергии, выделившейся на видимом полушарии Солнца во вспышках в течение 24-го цикла. Средняя удельная мощность одной вспышки, происшедшей в ядрах КА, в единицах вспышечного индекса составила 1.4, в ветвях КА – 1.5, в отдельных АО – 1.3. Следует учесть, что рассматривались только АО, где происходили вспышки анализируемых классов (во многих АО таких вспышек не было совсем), поэтому указанные оценки не характеризуют всю популяцию АО в 24-м цикле.

Полученные результаты анализа статистики вспышечной деятельности в 24-м цикле свидетельствуют о том, что основную долю средних и сильных вспышек, как по количеству, так и по объему выделенной энергии, генерируют КА (71–72 %).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА АМПЛИТУДЫ МОД ШУМАНОВСКИХ РЕЗОНАНСОВ ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ТОМСКЕ

А. А. Колмаков, И. Ю. Цюпа

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия, kolmakov@mail.tsu.ru

Интерференция электромагнитных волн крайне низких частот (3–30 Гц), генерируемых глобальной грозовой активностью, в окружающей среде (в полости между проводящей поверхностью Земли и ионосферой) приводит к возникновению глобального явления, называемого шумановскими резонансами (ШР). При этом ионосфера как среда распространения волн испытывает разнообразные внешние воздействия, что приводит к ее модификации с разнообразными пространственными и временными масштабами. Изменения состояния нижней ионосферы неминуемо находят свой отклик в характеристиках мод шумановских резонансов.

За период наблюдений с 2013 по 2017 г. в Томске замечены односторонние изменения среднегодовых значений амплитуд первых трех мод ШР и солнечной активности. Целью проводимых исследований является количественная оценка влияния уровня солнечной активности на амплитудные характеристики ШР.

Была проведена статистическая обработка основных параметров шумановских резонансов за период с 2013 по 2017 г. включительно. Экспериментально установлено, что в 2013 г. для амплитуды второй моды минимальное значение было ~ 0.268 пТл, в 2014 г. – ~ 0.262 пТл, 2015 г. – ~ 0.259 пТл, то в 2016 – ~ 0.240 пТл. В 2017 – ~ 0.245 пТл. В среднем уменьшение амплитуд первых трех мод ШР составило: ~ 0.012 пТл/год для первой моды, для второй ~ 0.008 пТл/год и ~ 0.005 пТл/год соответственно для третьей. Нормальная ошибка среднего получилась менее 10^{-3} . Аналогичным образом себя ведут среднегодовые и максимальные значения амплитуд ШР. Скорость уменьшения интегрального индекса солнечной активности составляет ~ 19 чисел Вольфа за год (Royal Observatory of Belgium: <http://www.sidc.be/silso>). В работе была построена весьма простая линейная регрессионная зависимость среднегодовых значений амплитуд ШР от уровня солнечной активности.

В результате проведенных исследований получены следующие основные результаты: обнаружено влияние солнечной активности, заданной числами Вольфа, на динамику среднегодовых значений амплитуд трех мод ШР, которое дает вклад $\sim 7\%$ от полной изменчивости этих параметров.

КОМПЛЕКС АППАРАТУРЫ ТЕЛЕСКОПА АЗТ-ЗЗИК ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА В ВИДИМОЙ И ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА

И. В. Коробцев

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
korobtsev@yandex.ru

В докладе представлены сведения об аппаратуре специализированного 1.6-метрового телескопа АЗТ-ЗЗИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН для наблюдений в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Данный телескоп используется для решения различных задач, связанных с контролем орбит и исследованиями фотометрических характеристик космических аппаратов (КА) и космического мусора (КМ). Приводятся результаты фотометрических наблюдений КА и КМ в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра.

ПРОЯВЛЕНИЯ ОДИННАДЦАТИЛЕТНЕЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ В СЕЙСМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РЕГИОНОВ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКОЙ

Е. А. Левина

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

Одиннадцатилетняя периодичность в сейсмическом режиме различных регионов Земли отмечается многими исследователями и часто связывается с периодами солнечной активности. Но есть сторонники мнения и об отсутствии такой связи. В работе на примере трех регионов с различной геодинамической обстановкой (Байкальская рифтовая зона (БРЗ), Гималайская зона коллизии и разломная

зона Сан-Андреас в Калифорнии) подтверждено наличие статистической связи между 11- и 22-летними солнечными циклами и уровнем сейсмической активности. Использован метод наложения эпох: для выяснения статистической связи двух процессов соответствующие ряды сначала сглаживаются с помощью одинакового временного окна; затем вычисляется, на какие фазы одного процесса приходятся максимальные значения параметров другого процесса, просуммированные по длительному промежутку времени. Сейсмическая активность представлена в виде рядов количества землетрясений и суммарной выделившейся сейсмической энергии. Для рассмотренных циклов выявлены фазы, на которые приходятся максимумы количества землетрясений или выделившейся сейсмической энергии, причем эти закономерности четче проявляются для рядов количества землетрясений. Показано, что распределение максимумов сейсмической активности по фазам солнечных циклов отличается для различных регионов и не всегда сохраняется при разных выборках: рассматриваются все события ($M \geq 3$) или только сильные ($M \geq 5$). В случае БРЗ главные максимумы сейсмической активности расположены на нисходящей ветви 11-летнего цикла, тогда как для зоны Гималайской коллизии – на восходящей. Для разломной зоны Сан-Андреас главный максимум располагается вблизи минимума ряда солнечной активности, но перемещается к окрестностям его максимума при выборке событий с $M \geq 5$, тогда как для БРЗ и зоны коллизии при изменении выборки результат сохраняется. Для 22-летнего цикла максимумы количества землетрясений в БРЗ есть в его обеих частях (и в четном, и в нечетном 11-летнем цикле), а в зоне коллизии и сдвиговой зоне – только во второй части (в нечетном 11-летнем цикле). Вывод: несмотря на то что сеймотектонические явления в литосферной оболочке Земли вызываются процессами, происходящими в ее недрах, постоянно действующие космические факторы способны модулировать диссипацию сейсмической энергии. Проявления такой модуляции различаются в регионах с различной геодинамической обстановкой, и их детальное изучение важно для использования в среднесрочном прогнозе землетрясений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИММЕТРИЧНОГО КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИПОЛЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ИЗ КОСМОСА

А. А. Науменко, А. В. Подлесный

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
naym@iszf.irk.ru

Задачи зондирования ионосферы из космоса активно ставились и решались во второй половине XX в. Полученные данные оказались крайне важными для изучения процессов, происходящих в ионосфере. Однако в силу технических сложностей с 1993 г. космических миссий с ионозондами на борту для изучения внешней ионосферы Земли больше не проводилось.

В работе рассмотрен опыт прошлых лет таких космических аппаратов, как «Алуэтт I», «Алуэтт II» и др., а также современного спутника для изучения Марса «MARSIS». Предложена конструкция согласующего устройства и антенной системы, состоящей из нескольких симметричных вибраторов, для зондирования ионосферы сверху при помощи непрерывного ЛЧМ сигнала.

Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-35-00510-мол_а.

НОРМА РАЗНОСТИ ОСКУЛИРУЮЩИХ И СРЕДНИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ, СВЯЗАННОЙ С ВЕКТОРОМ СКОРОСТИ

Б. Нямсүрэн

Институт астрономии и геофизики МАН, г. Улаанбаатар, Монголия
monastro@yandex.ru, nyamsuren@iag.ac.mn

Выведены формулы в задаче о движении с возмущающим ускорением F , постоянным в системе отсчета O_2 , связанной с вектором скорости. В этой системе ось x направлена по вектору скорости частицы, ось y – по главной нормали к оскулирующей орбите, ось z – по вектору площадей.

Используются формулы для нормы разностей координат, выраженных через разности элементов. Ограничиваясь первым порядком, заменили разности координат и элементов дифференциалами.

Оказалось, что среднеквадратичная норма в O_2 зависит от компонент вектора возмущающего ускорения F , большой полуоси и эксцентриситета оскулирующего эллипса.

РЕГИСТРАЦИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ЯДЕРНЫМИ ВЗРЫВАМИ В СЕВЕРНОЙ КОРЕЕ

Н. П. Перевалова¹, **А. А. Добрынина**^{2,3},
Н. В. Шестаков^{4,5}, **А. В. Орляковский**, **М. Guojie**⁶, **W. Wu**⁷

¹ Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
pereval@iszf.irk.ru

² Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

³ Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

⁴ Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

⁵ Институт прикладной математики ДВО РАН, г. Владивосток, Россия,

⁶ Institute of Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration, China

⁷ College of Surveying and Geo-Informatics Engineering, Tongji University, China

На основе данных сейсмических станций и сетей наземных двухчастотных приемников GPS/ГЛОНАСС проведено исследование литосферных и ионосферных возмущений, вызванных подземными ядерными испытаниями, проведенными в Северной Корее в 2006–2017 гг. Проанализирован частотный состав продольных и поперечных волн, записанных на сети широкополосных сейсмических станций, расположенных на расстояниях до 23° от Корейского полуострова. Выполнен анализ пространственного распределения пиковых частот. Исследованы вариации полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере, рассчитанные по данным станций GPS/ГЛОНАСС, входящих в различные сети и расположенных вблизи Корейского полуострова. В некоторых случаях удалось выделить возмущения ПЭС, с большой вероятностью обусловленные ядерным испытанием. Определены характеристики этих возмущений.

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC) за предоставление данных глобальной сети приемников ГНСС; Geospatial Information Authority of Japan за предоставление данных сети GEONET; Korea Astronomy & Space Science Institute за предоставление данных сети ГНСС в Южной Корее; ЦКП ВЦ ДВО РАН за предоставление данных сети ДВО РАН и ДВФУ; Institute of Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration за предоставление данных ГНСС на территории Китая, а также Центру данных IRIS и Байкальскому фи-

лиалу Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» за предоставленные записи сейсмических станций.

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16., а также при поддержке гранта РФФИ 17-55-53110_ГФЕН_а.

К ИЗУЧЕНИЮ И ОБЪЯСНЕНИЮ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ

Г. Я. Смольков

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
smolkov@iszf.irk.ru

Окружающая природная среда в значительной степени зависит от изменчивости солнечно-земных связей. Их изучение и объяснение оказались в неудовлетворительном состоянии вследствие учета лишь части внешних факторов, воздействующих на Землю. Практически они были монодисциплинарным сведением к поиску корреляций (даже без оценки их достоверности), моделированию при предположениях и необходимости подгонок, неизбежных неопределенностях без системного изучения и междисциплинарного объяснения. При таких обстоятельствах невозможно было объяснить механизмы связей, их цикличность и синхронизм, планетарную асимметрию, вариации силы тяжести, формы Земли, уровней океанов, температуры тропосферы, нестабильности суточного вращения Земли, сейсмике и вулканизма, природных катастроф. Поиски недостающего фактора привели к необходимости учета (наряду с солнечной активностью и потоками ГКЛ) эндогенной активности Земли, обусловленной гравитационным воздействием со стороны Луны, Солнца и планет в процессе барицентрического движения Солнечной системы в гравитационном поле Галактики, а также внешними воздействиями на Солнечную систему в целом. Ответы на перечисленные необъяснимые вопросы стали возможными.

К ПРОГНОЗУ ИЗМЕНЕНИЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗЕМЛИ ПО ИЗМЕНЧИВОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ДРУГИХ ГЕОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А. В. Чипизубов

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

Значительные квазипериодические изменения сейсмичности указывают на важность и необходимость исследований, направленных на прогноз ее изменений, в целях оптимальной оценки сейсмической опасности. Все земные процессы подвержены значительным квазипериодическим изменениям различного порядка, находятся во взаимной связи и даже рассматриваются как единый во времени процесс развития Земли. Исходя из этого, данные об изменении других геонимических процессов и внешних (космических) явлений имеют большое значение для прогноза изменений сейсмичности.

Наиболее длительным временным рядом (более 900 лет) характеризуется солнечная активность (ежегодные «нефизичные» числа Вольфа (W) по NAG-version of Shove's series). Однако автокорреляционным анализом ряда W до и после XVII в. выявлено значительное различие синусоид автокорреляционных кривых по продолжительности квазипериодов и их фазам, что подтверждает ранее высказанное сомнение о сопоставимости реконструированных и наблюдаемых данных. Следует отметить, что 11-летняя цикличность Солнца не находит адекватного отражения в сейсмичности Земли и других геонимических процессах. Убедительным подтверждением относительно сейсмичности является равномерное распределение ее параметров (число сильнейших и сильных землетрясений и их энергии (E) на глобальном, региональном и локальном уровнях) по годам 11-летнего солнечного цикла.

Взаимокорреляционный анализ (Чипизубов, 2012) сглаженных (11-летние средние) временных рядов показал, что очень тесная связь ($R = 0.86 \div 0.94$) наблюдается при запаздывании геонимических процессов (энергия землетрясений, скорость вращения Земли и температура приземного слоя) на 2–6 столетий относительно W . На основании полученных при этом регрессионных соотношений приводится прогноз развития сейсмического процесса Земли как по изменению солнечной деятельности, так и по изменениям других земных процессов. Поскольку наиболее реальная инерционность (367 лет для ротации, ≥ 662 года для сейсмичности и ≥ 887 лет для климати-

ческих изменений) может не являться действительной, а наблюдаемые и реконструированные значения W находятся в противофазе, предлагается несколько вариантов прогноза изменений сейсмичности. В ближайшие 20–30 лет станет ясно, какой из вариантов окажется ближе к истине.

СТРУКТУРА КОМПЛЕКСОВ АКТИВНОСТИ НА СОЛНЦЕ

С. А. Язев

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
syazev@gmail.com

Известны три иерархических уровня организации солнечной активности: солнечные пятна, комплексы активности и активные долготы. Комплексы активности (КА) представляют собой особые области на солнечной поверхности, где на протяжении нескольких месяцев постоянно наблюдается активность в виде групп солнечных пятен, непрерывно возобновляемая благодаря всплытию из-под уровня фотосферы новых порций магнитного потока. Может оказаться, что в течение многих месяцев на одном и том же участке фотосферы последовательно или одновременно формируются десятки групп пятен, объединенных единой общей системой магнитного поля.

Методика площадок длительной активности, разработанная для идентификации КА иркутской научной школой, основанной В. Г. Баниным, позволила построить феноменологическую модель КА и выявить структурные характеристики КА. На основе данных о КА в текущем 24-м цикле солнечной активности (начиная с января 2009 г.) составлен полный каталог КА. В КА выделяются ядра (область, в которой на протяжении не менее трех солнечных оборотов наблюдаются пятна) и ветви (группы пятен, связанные с ядрами, но существующие на протяжении одного солнечного оборота). КА могут быть разделены на одноядерные и многоядерные (в последнем случае в единую систему входят несколько – до трех ядер КА). Составлен отдельный каталог многоядерных КА в 24-м цикле. Показано, что 62 % всех ядер КА входили в состав многоядерных КА. Всего в 24-м цикле отмечено 19 многоядерных КА, в их числе 12 простых (двухъядерных).

В пространственном расположении КА, как правило, действует долготный принцип дополнительности: на одних и тех же долготах обычно одновременно не формируются КА в Северном и Южном полушариях. Тем не менее выявлены 12 случаев трансэкваториальных КА (ТКА), когда ядра КА развивались одновременно на одной долготе по разные стороны от экватора. Чаше наблюдались случаи трансэкваториальных систем, когда через экватор от ядра КА находилось не второе ядро КА, а индивидуальная группа пятен (ветвь КА). Всего таких случаев отмечено 48, в том числе 19, когда ядро КА было на севере, а группа пятен – через экватор на юге и 29 – с обратным расположением. Отмечена северо-южная асимметрия широтного расположения компонент ТКА: южные ядра КА были дальше от экватора, чем северные, т. е. наблюдалось опережение проявления закона Шперера для Северного полушария по сравнению с Южным.

Выдвинута гипотеза, объясняющая феномен трансэкваториальных КА.

THE RESULTS OF SPECTRAL ANALYSIS OF THE IONOSPHERIC DATA

D. Baatarkhuu, Sh. Amarjargal

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
baagii42@yahoo.com

In this paper we present some results of investigations carried out on the variation of the earth's ionospheric total electronic content (TEC) component during the period of one year and 2010–2014. We used series of TEC computed from the CHOB and DALN GPS stations out of the four continuous stations of the Astronomical Department. Our GPS stations in Mongolia belong to the mid-latitude ionosphere region. The attempt was made to correlate geophysical phenomenon such as geomagnetic storm, solar flare, solar rotations with the variability of ionospheric TEC rate. The TEC with 0.5, 1, 22.8, 26.2, 36.5, 91.2, 182.5, 365 day periods interval are obtained from the comprehensive time-frequency wavelet analysis. Local wavelet power spectrum of the TEC time series is calculated using the normalized Morlet wavelet. The period of 22.8, 26.2, 36.5 days corresponds to the period of the solar rotations.

OBSERVATIONS ON RADIOSPECTROMETRY CALLISTO

**Ch. Munkhjargal, D. Munkhmanlai,
B. Tuvshinjargal, B. Batbayar**

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
munkhjargal11@gmail.com

CALLISTO (Compound Astronomical Low-cost, Low-frequency Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory) spectrometers developed by the Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich), record the intensity of electromagnetic radiation and intended to monitor solar radio bursts in 24 hours. Currently 8 CALLISTO spectrometers operate worldwide, forming a network called e-CALLISTO. One such CALLISTO spectrometer was installed in June 2009 in the Astronomical Observatory of Mongolia. The antenna installed primarily was dedicated for a TV channel (DVB-T) with the frequency range of 49 MHz-800 MHz which did not well suit in this location for scientific applications.

POWER ASPECTS OF PROCESSES AT THE PISTON SHOCK REGION

P. A. Sedykh

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russian Federation
pvlsd@iszf.irk.ru

Identifying blast-wave shocks, which can arise during CME formation, is a much more complex problem. The difference from piston shocks is that a blast-wave shock originates from the explosions that frequently accompany CME formation, and further propagates freely without any CME piston effects. Earth's bow shock (BS) is a piston shock. Behind the bow shock front there is a flow of the modified solar wind plasma: transition layer, which also carries the modified magnetic field of solar wind. Velocity and density of plasma as well as parameters of magnetic field of this current can be estimated if the form of the bow shock front and of magnetopause are considered to be known. In this paper we assumed them to be paraboloids of rotation. In this paper we have determined potential distribution along magnetopause from the balance condition of substance coming into transition layer from the solar wind on one side and leaving through the gap between magnetosphere and the bow shock front and through magnetopause on another. To a first approxima-

tion this distribution differs from potential distribution at the BS front only in a constant multiplier. We used the established potential distribution as a boundary condition while solving the problem on potential distribution in the magnetosphere. The first solution harmonic turned out to coincide in the form with the boundary condition on magnetopause. We have constructed the full solution for electric field in the magnetosphere having limited ourselves to the first harmonic and corotation field. We have obtained necessary equations to model processes in the region of bow shock.

РАЗДЕЛ 2

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ ПО ДАННЫМ МАГНИТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МОНГОЛИИ

Б. Амаржаргал, У. Сухбаатар

Институт астрономии и геофизики МАН, г. Улаанбаатар, Монголия,
amarjargal98@iag.ac.mn

Пространственно-временные возмущения геомагнитного поля, одновременно наблюдаемые на сети наземных обсерваторий, в пунктах наблюдений геомагнитного поля и на спутниках, позволяют объяснить суть различных магнитно-гидродинамических процессов, возбуждаемых в магнитосфере и ионосфере, и их взаимодействия.

При сильных магнитных бурях развитие и распад магнитосферного кольцевого тока проявляется в возмущениях геомагнитного поля в средних широтах. На основе данных среднеширотных обсерваторий «Улаанбаатар» и «Ховд» с 6 сентября 2017 г. начаты исследования поведения геомагнитного поля после мощнейших серий вспышек выше класса X на Солнце.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ПРОГНОЗ КЛИМАТА ЗЕМЛИ НА XXI ВЕК

В. С. Башкирцев, М. А. Слепова

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
vsb@iszf.irk.ru

Солнечная активность (СА) в настоящее время снижается. Подход к своему окончанию не только текущий 24-й 11-летний цикл СА, но также и 210-летний цикл СА. Предстоящий вековой минимум СА будет относительно коротким и похожим на вековой минимум Дальтона (около 1810 г.). Фундаментальный 210-летний сол-

нечный цикл модулирует высоты (мощность) 11-летних циклов, входящих в него. Низкая активность Солнца в 11-летних циклах 24 и 25 приведет к понижению глобальной температуры на Земле: холодный климат Земли ассоциируется с длительной низкой активностью Солнца, теплый – с высокой. Прогнозируемый нами рост активности Солнца в последующих 11-летних циклах 26 и 27 (2033–2054 гг.) будет способствовать потеплению климата Земли. Спад СА в циклах 28 и 29 (2054–2076 гг.) обусловит похолодание. После чего последует потепление, связанное со вторым максимумом векового цикла СА (2080 г.). В конце нынешнего столетия мы ожидаем устойчивое длительное (десятки лет!) глобальное похолодание в связи с переходом к великому минимуму СА типа минимума Маундера. Очень низкая активность Солнца придется на начало будущего века.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СДВ-РАДИОВОЛН ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ В СЕНТЯБРЕ 2017 ГОДА

**Д. Г. Буянова, М. Г. Пушкарев,
В. Р. Адвокатов, Ю. Б. Башкуев**

Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
dbuy@mail.ru

Проведен анализ результатов измерений амплитуды и дополнительной фазы $\varphi_{\text{доп}}$ импульсно-фазовой РНС РСДН-20 на частотах 11.9 и 14.88 кГц во время сильных магнитных бурь и солнечных вспышек 1–12 сентября 2017 г. По данным Лаборатории рентгеновской астрономии Солнца ФИАН (<http://thesis.lebedev.ru/>), магнитные бури с K_p -индексом = 4–5 произошли 2, 4, 5, 7 сентября 2017 г. Особенно сильные многочасовые магнитные бури отмечены 8–9 сентября с K_p -индексом от 5 до 8 баллов. Также отметим, что 6, 7 и 10 сентября (спутник GOES-15) на Солнце произошло по девять вспышек класса С и выше, среди которых были очень сильные вспышки класса Х. Магнитные бури и потоки ультрафиолетового и рентгеновского излучения от солнечных вспышек, направленные в сторону Земли, существенно меняют свойства ионосферы и характеристики канала распространения СДВ-радиоволн, нарушая закономерные регулярные суточные амплитудно-фазовые характеристики сигналов. Исследованы радиотрассы широтного простираия: трасса 1 – «Новосибирск (55°45'22"N, 84°26'52.4"E) – Улан-Удэ (51°52'06"N,

107°39'48"E)» длиной 1580 км и трасса 2 – «Комсомольск-на-Амуре (50°04'24"N, 136°36'24"E) – Улан-Удэ» длиной 2080 км. Восточная трасса 2 длиннее западной трассы 1 на 500 км, поэтому уровень сигнала на данной трассе почти всегда ниже. На частоте 11.9 кГц в обычных геомагнитных условиях четко разделяются дневные и ночные уровни амплитуды и фазы радиосигнала. Дополнительная фаза $\varphi_{\text{доп}}$ имеет также закономерные регулярные суточные вариации в пределах до 120°. Существенные различия на трассах 1 и 2 наблюдаются в уровне амплитуды сигнала во время магнитных бурь и солнечных вспышек 5, 8, 9 и 10 сентября, на трассе 1 ночные уровни существенно ниже дневных, происходит уменьшение амплитуды до 6 раз. Это явление отмечено впервые за период наблюдений с 2013 года. Фаза ведет себя также аномально – часто наблюдается срывы фазы. Рассмотрены суточные вариации амплитуды и дополнительной фазы на частоте 14.88 кГц на тех же трассах. Установлены существенные различия в пространственных амплитудно-фазовых явлениях в обычных и аномальных геомагнитных условиях при распространении СДВ-радиоволн на частотах 11.9 и 14.88 кГц. Проведена обработка и визуализация большого массива данных суточных вариаций медианной амплитуды и дополнительной фазы $\varphi_{\text{доп}}$ радиосигналов на частотах 11.9 и 14.88 кГц на трассах 1 и 2 при помощи Matlab Signal Processing Toolbox (децимация и фильтрация массива измерений цифровым сглаживающим полиномиальным фильтром Савицкого – Голея).

Тезисы подготовлены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-47-030006.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ НА ИОНОСФЕРУ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА DEMETER

Д. Г. Буянова, Д. Б. Аюров, Ю. Б. Башкуев

Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
dbuy@mail.ru

Представлены результаты измерений электромагнитного поля в диапазоне ОНЧ, концентрации электронов и ионов, электронной температуры ионосферной плазмы на борту французского спутника DEMETER (<http://demeter.cnrs-orleans.fr/>) в период солнечных затмений 29 марта 2006 г. и 1 августа 2008 г. (<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html/>). Основной научной задачей спутника являлось обнару-

жение аномальных вариаций электромагнитного поля и плазменных параметров ионосферы (5 научных инструментов), которые могут быть связаны с сейсмической активностью. Полученная спутником база данных также позволяет провести исследования глобального электромагнитного окружения Земли в периоды геофизических явлений на высотах спутника (~700 км), изучение ионосферных возмущений, связанных с антропогенной деятельностью. В работе рассмотрены возможные механизмы генерации этих возмущений, приведены данные других авторов, которые изучали эффекты в ионосферной плазме во время затмений Солнца, полученные наземными и спутниковыми радиофизическими средствами. Большая часть полного солнечного затмения 29.03.2006 произошла в экваториальной области Земли, за этот период спутник дважды пересек область тени/полутени (полуорбиты 09253_0 и 09254_0). Затмение 01.08.2008 происходило в высоких и средних широтах, в этот период вблизи полутени затмения пролегла одна полуорбита (21827_0). Сравнение эффектов в ионосферной плазме во время затмений Солнца 29 марта 2006 г. и 1 августа 2008 г. по данным спутника DEMETER показало: во время обоих затмений отмечено увеличение интенсивности и уширение спектров сигналов мощных ОНЧ-передатчиков на частотах 16.56 кГц (DFY, Германия – 13.0E; 52. 5N), 17.8 кГц (JP, Япония ~130E; ~32N), 18.3 кГц (UFT, Франция – 1.05E; 46.37N), 19.8 кГц (NWC, Австралия – 114.08E; –21.47S) – инструмент ICE (измеряет три компоненты электрического поля от постоянного тока (DC) до 3.5 МГц). Так, на спектрограмме ~ 29 марта 2006 г. в 08:53 UT (полуорбита 09253_0) в течение ~ 10 минут наблюдаются интенсивные излучения мощных ОНЧ-радиостанций на частотах 16.56, 18.3 и 19.8 кГц, отмечено уширение верхней и нижней боковых полос, которые группируются относительно несущих частот и занимают полосу 0.3–0.5 кГц. Интенсивные излучения на этих же частотах выделяются во время пролета спутника в области затмения на следующем витке (10:07–10:17) (полуорбита 09254_0). Во время обоих затмений зарегистрировано понижение электронной температуры на 200–400 °К, обнаружены вариации уровня ионной и электронной концентраций – инструмент ISL (детектор Лэнгмюра), зависящие от обстоятельств затмений.

Тезисы подготовлены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-47-030006.

НАБЛЮДЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПАКЕТОВ В ПЭС, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СОЛНЕЧНЫМ ТЕРМИНАТОРОМ В ПЕРИОДЫ ДЕЙСТВИЯ ТАЙФУНОВ

И. К. Едемский, А. С. Ясюкевич

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
ilya@iszf.irk.ru

В работе представлены результаты анализа параметров возмущений полного электронного содержания (ПЭС), возбуждаемых во время прохождения солнечного терминатора (СТ), в периоды действия тропических циклонов. Было рассмотрено 16 интенсивных тропических циклонов (тайфунов), наблюдаемых в северо-западной части Тихого океана, вблизи территории Японии. Выполнен анализ двумерных распределений числа зарегистрированных волновых пакетов (ВП) в зависимости от различных параметров: местного времени, максимальной амплитуды пакетов, дальности до тайфуна. Показано, что в большинстве случаев максимальное число ВП наблюдается на расстоянии менее 500–1500 км от центра тайфунов и локализовано в окрестности времени прохождения вечернего солнечного терминатора. Для тайфунов, действовавших в осенние периоды, максимум числа ВП регистрируется в дневные часы местного времени и, по-видимому, не связан с солнечным терминатором. Распределения числа ВП в зависимости от их амплитуды имеют для всех рассмотренных случаев сходный вид, с максимумом вблизи значения ~ 0.2 TECU. При этом для некоторых тайфунов наблюдалось большое число ВП с амплитудой до 0.6–0.8 TECU, что существенно выше значений амплитуд ВП, характерных в спокойное время. Кратко обсужден механизм возможного взаимодействия ионосферных возмущений, вызванных двумя различными источниками – тропическими циклонами и движением солнечного терминатора.

ВАРИАЦИИ АМПЛИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЧМ-СИГНАЛА ВО ВРЕМЯ РЕНТГЕНОВСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

В. А. Иванова, А. А. Науменко, А. В. Подлесный

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
moshkova@iszf.irk.ru

Отклик ионосферы Земли на солнечные вспышки является одним из значительных проявлений космической погоды. Всплески рентгеновского излучения в моменты солнечных вспышек вызывают рост ионизации в D-области ионосферы. Это приводит к увеличению поглощения радиосигналов в декаметровом диапазоне. При этом в частотной области наблюдается увеличение минимальной частоты радиосигнала и, как следствие, уменьшение рабочего частотного диапазона. В данной работе исследуется влияние нескольких солнечных вспышек класса M и X на амплитудные характеристики сигналов вертикального зондирования (ВЗ), зарегистрированных на ионозонде вертикального и наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом «Ионозонд-МС» в ГФО ИСЗФ СО РАН (51.8° с. ш., 103.1° в. д.). «Ионозонд-МС» работает в режиме мониторинга с интервалами между сеансами ВЗ 1 мин, что позволяет проводить наблюдения быстропротекающих геофизических событий. Анализ данных выполнялся методом сопоставления потока рентгеновского излучения, зарегистрированного на спутниках GOES, и суммарных амплитуд, рассчитанных по ионограмме ВЗ с разделением по эффективной высоте выше и ниже 150 км. На высотах выше 150 км воздействие солнечных вспышек выражается в существенном снижении суммарных амплитуд в моменты рентгеновских всплесков. Ниже 150 км этот эффект выражен значительно меньше и наблюдается преимущественно при наличии отражений от слоя Es. Таким образом, метод суммарных амплитуд позволяет регистрировать проявления рентгеновских солнечных вспышек по данным ЛЧМ-зондирования ионосферы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N 18-05-00539 А. Результаты получены с использованием оборудования ЦКП «Ангара» в рамках базового финансирования программы ФНИ И.12.

РЕГИСТРАЦИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КВ-РАСПРОСТРАНЕНИЯ

**В. А. Иванова¹, А. В. Подлесный¹,
И. Н. Поддельский², А. И. Поддельский²**

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край, Россия
moshkova@iszf.irk.ru

Во время магнитных бурь в ионосфере Земли наряду с дневными и сезонными вариациями присутствуют перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ), связанные с различными источниками на высотах от тропосферы до нижней термосферы. На высотах термосферы ПИВ разделяются на два основных класса: крупномасштабные и среднемасштабные. Крупномасштабные ПИВ на ионограммах наклонного зондирования проявляются как существенные вариации максимальных наблюдаемых частот (МНЧ) без изменения структуры треков. В работе проведен анализ данных наклонного зондирования, полученных в азиатской части Российской Федерации с 2006 по 2011 г. во время 23 слабых и умеренных магнитных бурь с выделением крупномасштабных ПИВ как волнообразных отклонений МНЧ от месячных медианных значений. По результатам анализа получены средние относительные амплитуды и периоды волновых крупномасштабных ПИВ.

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.12. Результаты получены с использованием оборудования ЦКП «Ангара» <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ: ТОМОГРАФИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

**А. В. Киселев, П. Г. Коваadlo, И. В. Русских,
В. Е. Томин, А. Ю. Шиховцев**

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
kiselev@iszf.irk.ru

Исследования характеристик мелкомасштабной турбулентности в разных атмосферных слоях являются необходимыми для оснащения телескопов наземного базирования системами адаптивной оптики (АО), предназначенной для достижения дифракционного качества изображений. Следующее поколение АО-систем, корректирующих искажения в широком поле зрения, нуждается как в статистической информации о распределении турбулентности с высотой, так и в данных прямых оптических наблюдений.

Одной из основных требуемых характеристик оптической турбулентности для функционирования АО является размер изопланатической зоны, чувствительный к изменениям флуктуаций показателя преломления воздуха с высотой. При этом наибольший вклад в уменьшение угла изопланатизма вносит интенсивная мелкомасштабная турбулентность верхних слоев атмосферы. Рассматривается возможность определения размера области изопланатизма из анализа дрожания солнечных субизображений на датчике волнового фронта Шака – Гартмана. При угловом смещении наблюдаемого объекта (солнечного пятна, поры) во времени излучение проходит через различные турбулентные неоднородности так, что на некотором угловом расстоянии, большем, чем изопланатический угол оптической толщи атмосферы, коррелированность дрожания теряется. По данным анализа инструментальных наблюдений, выполненных совместно с сотрудниками ИОА СО РАН (В. П. Лукин, Е. А. Копылов и др.), показано, что в месте расположения Большого солнечного вакуумного телескопа ИСЗФ СО РАН изопланатический угол оптической толщи атмосферы изменяется в пределах от 1 в условиях сильной турбулентности до 5 угл. сек при больших значениях радиуса Фрида (> 5 см на 0.5 мкм). Результаты инструментальных наблюдений находятся в согласии с изменениями изопланатического угла, рассчитанного по региональной модели структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха $C_n^2(z)$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00033.

АСТРОКЛИМАТ И АДАПТИВНАЯ ОПТИКА В АСТРОНОМИИ

А. В. Киселев, П. Г. Ковадло, А. Ю. Шиховцев

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
Ashikhovtsev@iszf.irk.ru

В работе приводятся результаты исследований астроклимата и оптической турбулентности в месте расположения Большого солнечного вакуумного телескопа (БСВТ). Получены статистические оценки осредненных внутрисуточных и сезонных изменений структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха, а также полной (кинетической и потенциальной) энергии мелко-масштабной турбулентности по данным мачтовых измерений микрометеорологического комплекса АМК-03, установленного вблизи зеркала сидеростата БСВТ, за период 2014–2018 гг. Обсуждается модель изменений структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха с высотой, адаптированная к атмосферным условиям БСВТ по результатам цикла синхронных измерений волнового фронта солнечного излучения и микрометеорологических мачтовых измерений турбулентных характеристик в приземном слое атмосферы. На основании исследований крупно- и мелкомасштабных турбулентных атмосферных течений обсуждаются методы расчета и анализируются такие оптические характеристики (астроклимата), как seeing, радиус Фрида, изопланатический угол толщии атмосферы, эффективная скорость турбулентных течений, а также приводятся численные оценки средних значений и диапазона изменений этих величин.

Полученные результаты исследований обсуждаются в части уточнения расчета характеристик оптической турбулентности, которые могут быть использованы в построении новых адаптивных оптических систем, согласованных с атмосферными условиями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00033.

ДИНАМИКА ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ, ПРОДОЛЬНЫХ ТОКОВ И СВЕЧЕНИЯ НОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ НА СРЕДНИХ ШИРОТАХ ВО ВРЕМЯ СУББУРЕВЫХ АКТИВИЗАЦИЙ В ХОДЕ СУПЕРБУРЬ

**Ю. Ю. Клибанова^{1,2}, В. В. Мишин¹, Б. Цэгмэд³,
Ю. А. Караваев¹, М. А. Курикалова¹, С. Б. Лунюшкин¹**

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского,
г. Иркутск, Россия

³Исследовательский центр астрономии и геофизики МАН,
г. Улаанбаатар, Монголия

По данным среднеширотных геофизических обсерваторий ИСЗФ СО РАН исследуются короткопериодные иррегулярные геомагнитные пульсации, которые зарегистрированы при одновременном усилении оптических эмиссий в линиях 557.7 и 630 нм во время усиления суббуревой активности в ходе супербури. С помощью оригинальной техники инверсии магнитограмм ИСЗФ получено пространственное распределение плотности продольных токов в ионосфере. Показана связь всплесков пульсаций и свечений в послеполуночном секторе во время развития суббуревых активаций с высыпанием энергичных электронов (~кэВ) и усилением вытекающих продольных токов Зоны 2.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ПОЛЯРНЫЕ ЛЕДНИКИ

П. Г. Ковadlo, А. Ю. Шиховцев, С. А. Язев

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
kovadlo2006@rambler.ru

В работе обсуждается современная фаза наблюдаемого потепления в нижних слоях земной атмосферы, особенно выраженного в полярных широтах Северного полушария. Современные исследования показывают, что изменения температуры воздуха не могут быть полностью объяснены вариациями солнечной активности и резким увеличением концентраций парниковых газов антропогенного и природного происхождения за последние десятилетия. В особенности это касается полярной зоны Северного полушария, где рост температуры в зимний период (в отсутствие притока солнечной радиа-

ции) достиг 6–7 градусов за 60 лет. Отметим, что солнечная активность после 1985 г. начала снижаться, и эта тенденция подтверждается двумя последними 11-летними циклами. Что касается увеличения концентрации в атмосфере углекислого газа природного происхождения, выделяющегося из океанической воды при повышении ее температуры, то следует сказать, что это не является определяющим фактором, потому что океан в этом смысле служит естественным регулятором концентрации углекислого газа и его утилизирующие возможности, по оценкам специалистов, еще не достигнуты. Устойчивый рост приземной температуры воздуха, особенно в холодный период года, в обоих полушариях дает основание обратить внимание на таяние полярных ледников, прежде всего плавающих, так как они особенно интенсивно теряют массу. Ледники на планете являются аккумулятором огромного количества депонированного «холода», который играет существенную роль в климатической системе. Изменение этого ресурса в сторону уменьшения должно оказывать действие на систему в целом. Оценка масштабов этого воздействия представляется важной не только для практики составления прогнозов различного направления, но в большей степени сохранения устойчивости условий проживания. В настоящей работе изменения темпов роста приземной температуры воздуха рассматриваются как возможный отклик нижних слоев атмосферы на устойчивое уменьшение ледовых объемов тающего полярного льда за последние несколько десятилетий. Отдельно рассматриваются амплитуды изменений темпов роста температуры воздуха за счет неравномерного во времени таяния льда и вариаций массотеплопереноса в полярные широты воздушными и океаническими течениями.

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16, частично поддержана программой исследований президиума РАН «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования» на 2018–2020 годы. Роль солнечной активности в наблюдаемых изменениях климата в XX веке».

ОЦЕНКА ВКЛАДОВ ПРОВОДИМОСТИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОДОЛЬНЫХ ТОКОВ В НОЧНОЙ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ ВЗРЫВНОЙ ФАЗЫ СУББУРИ

**М. А. Курикалова, В. М. Мишин,
В. В. Мишин, С. Б. Лунюшкин**

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия,
kurikalova@iszf.irk.ru

На основе выходных данных техники инверсии магнитограмм анализируется динамика интенсивностей продольных токов в ночных мезомасштабных ячейках трех зон Ииджимы и Потемры (И-П) во время взрывной фазы магнитосферной суббури. Из уравнения непрерывности электрического тока $\operatorname{div}(\Sigma \cdot \nabla U) = i$ следуют два типа положительной обратной связи плотности продольных токов i : 1) с ионосферной проводимостью Σ и 2) с электрическим полем $E = -\nabla U$. В работе исследуются оба типа обратной связи в мезомасштабных ячейках Зон 0 и 1 втекающих и вытекающих продольных токов И-П в вечернем и утреннем секторах ночной полярной ионосферы на данных конкретных событий.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ОТРАЖЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА ОТ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

О. А. Ларюнин

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
laroleg@iszf.irk.ru

Метод конечных разностей во временной области (в зарубежной литературе – метод FDTD, Finite difference time domain) является одним из наиболее распространенных для решения задач электродинамики, представляет собой сеточный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными и основан на центрально-разностной дискретизации уравнений Максвелла [1].

Пусть монохроматическая волна распространяется в недиспергирующей среде с диэлектрической проницаемостью ϵ , зависящей от

координат и времени. В этом случае уравнения Максвелла в одномерном случае могут быть приведены к волновому уравнению вида $\frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\varepsilon(x,t)}{c^2} \frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial t^2}$. Здесь $U(x,t)$ – поле волны как функция координаты и времени, c – скорость света. Начальные и граничные условия заданы в виде $U(x,0) = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right)$ при $0 \leq x \leq x_k$ и $U(x,0) = 0$ за пределами данного интервала [2].

Возмущение диэлектрической проницаемости равномерно поднимается вверх со скоростью V :

$$\varepsilon(x,t) = \varepsilon_0(x) + \delta \exp\left[-\left(\frac{x - x_0(t)}{l}\right)^2\right], \quad x_0(t) = x_1 + Vt.$$

С помощью графической визуализации показано формирование отраженной волны. При рассмотрении свойств отраженной волны можно видеть, что ее пространственная длина выше, чем у падающей волны. Также изучены частотные спектры падающей и отраженной волн: доплеровский сдвиг связан с движением области отражения.

Литература

1. Yee K. S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media // IEEE T. Antenn. Propag. 1966. Vol. 14(3). P. 302–307.
2. Ларюнин О. А. Эффекты распространения радиосигнала в нестационарной ионосфере на основе численного решения одномерного волнового уравнения // Геомагнетизм и аэронавигация. 2016. Т. 56, № 5. С. 645–651.

МУЛЬТИИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА БАЗЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО И СЛАБОНАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

О. А. Ларюнин

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
laroleg@iszf.irk.ru

Используемые в работе данные вертикального зондирования получены в п. Торы, а слабонаклонного зондирования – на радиотрассе Усолье – Торы (координаты точек излучения и приема равны соответственно $52^{\circ}53'$ с. ш., $103^{\circ}16'$ в. д. и $51^{\circ}48'$ с. ш., $103^{\circ}5'$ в. д.). Запись ионограмм в обоих случаях ведется ежеминутно.

Анализ ионограмм вертикального и наклонного зондирования показывает, что признаки перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) зачастую имеют преемственность. Так, серповидные структуры, расслоения и другие дополнительные треки, наблюдаемые с помощью одного инструмента, могут спустя некоторое время дублироваться на другом инструменте. Благодаря высокой скважности зондирования оказывается возможным проследить образование серповидных структур, их движение и переход в основной трек ионограммы. При этом два разнесенных инструмента дают также информацию о скорости движения ПИВ, которое вызывает искажения трека ионограммы. Действительно, расстояние вдоль поверхности Земли от точки излучения/приема при вертикальном зондировании до средней точки трассы Усолье – Торы равно 60 км, тогда как временная задержка между появлениями идентичных признаков ПИВ на двух инструментах обычно составляет несколько минут. Таким образом, возмущения ионосферы имеют скорости дрейфа порядка 100–200 м/с.

Более детальный анализ параметров ПИВ выполнен с помощью численного моделирования в приближении геометрической оптики [1–2]. Обратная задача определения параметров ПИВ решена с помощью многократного решения прямой задачи с последующим фитированием полученных ионограмм.

Литература

1. Исследование квазипериодических ионосферных возмущений с помощью амплитудных карт / В. И. Куркин, О. А. Ларюнин, А. В. Подлесный, Д. С. Лукин, Я. М. Черняк, А. С. Крюковский, Д. В. Растягаев // *Нелинейный мир*. 2014. № 12. С. 12–19.
2. Ларюнин О. А. Оценка параметров перемещающихся ионосферных возмущений по ионограммам вертикального зондирования на основе модели комбинированного параболического слоя // *Геомагнетизм и аэронавигация*. 2018. Т. 58, № 2. С. 259–266.

КОСМИЧЕСКИЙ КЛИМАТ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА В БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ

**К. Г. Леви¹, А. И. Мирошниченко¹
В. В. Чечельницкий², Г. М. Ружников³**

¹ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
levi@crust.irk.ru, mai@crust.irk.ru

² Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия
bomse@crust.irk.ru

³ Институт динамики систем и теории управления СО РАН,
г. Иркутск, Россия
rugnikov@icc.ru

Анализ эпицентрального поля землетрясений в Байкальской Сибири выявил пространственно-временную неравномерность распределения сейсмических событий. Это позволило рассмотреть пространственное развитие сейсмического процесса через призму сейсмических структур литосферы, неравномерность проявления событий по времени в рамках сейсмической погоды и климата, а причины периодичных активизаций сейсмического процесса связать с внешним воздействием на физические поля Земли космических и солнечных факторов.

В рамках сказанного дается классификация сейсмических структур как неких геометрических объектов, располагающихся в теле литосферы и являющихся ее абстрактными структурными элементами. Изучены некоторые закономерности проявления сейсмических событий во времени.

Временной ход проявления сейсмичности проявляет сходство с протеканием гидрометеорологических процессов, что находит свое отражение в периодичности реализации упругой энергии, если анализировать изменение во времени числа землетрясений различных энергетических классов по годам.

Устойчивая периодичность сейсмических активизаций рассматривается и в рамках концепций гелиогеодинимики.

Исследования проводятся в рамках программы ИНЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей (0341-2015-0001)» и РФФИ-17-57-44806-МОНГ-А.

СТРУКТУРА И ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В H α -ПЕТЛЯХ ВСПЫШКИ

В. И. Поляков, Н. М. Фирстова

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
polyak@iszf.irk.ru

Предметом исследования были петли, наблюдаемые на Большом солнечном вакуумном телескопе (БСВТ) после вспышки $M = 7.7$, которая произошла в $\sim 04:17$ UT 19 июля 2012 г. в активной области (AR) NOAA 11520 на юго-западном лимбе Солнца. Она подробно исследована Лиу и др. [1] по данным RHESSI и SDO/AIA, к сожалению, в этой работе отсутствуют одновременные наблюдения петель в области линии H α . На БСВТ были выполнены спектральные наблюдения в линии H α на двухкамерном спектрографе с помощью широкоформатной матрицы Fligrab (диаметр 40 мм), также проводилась регистрация CCD-камерой Princeton Instruments через ИПФ изображения петель в центре линии H α в отраженном от зеркальной щели свете. Временной интервал этих наблюдений составил 06:54–07:40 UT.

БСВТ позволяет получать высокое пространственное и спектральное разрешение солнечных образований. Высота вспыхивающих H α -петель составила 42 000 км, поперечники петель сравнимы в ногах и ее вершине: 8500 и 11 400 км. Проведена оценка скорости подъема аркады петель, она соответствует порядка 3.5 км/с. Разность высот между H α -петлями и петлями в 94 Å составила около $2 \cdot 10^4$ км. Спектральные профили линии H α получены в петлях, фотосфере и хромосфере; в петлях – 237 профилей. Эквивалентные ширины профилей линии H α в петлях варьировались от 1.18 до 1.56 Å. Разброс лучевых скоростей в петлях большой, но он заметно уменьшается с увеличением эквивалентной ширины. Большинство значений лучевой скорости имеют отрицательные значения от -0.96 до -16.36 км/с. Измеренные доплеровские скорости H α -профилей (0.59–0.78 Å) позволили оценить температуру и скорость микротурбулентности. При значениях температуры порядка $1.5 \cdot 10^4$ K скорость микротурбулентности будет от 16.8 до 24.8 км/с. Зная эквивалентную ширину профилей линии H α , можно определить значения электронной концентрации. В результате наших расчетов электронная концентрация во вспыхивающих H α -петлях составляет $n_e = 10^{11}$ см $^{-3}$.

Литература

1. Liu W., Chen Q., and Petrosian V. // *Astrophys. J.* 2013. Vol. 767. P. 168.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ОБСЕРВАТОРИИ ХУРЭЛТОГООТ В ПЕРИОД 2014–2017 гг.

**Н. Тунгалаг, З. Амарсайхан, М. Батболд, Б. Батжаргал,
Б. Ирмүүнзаяа, Ц. Шижирбаяр**

Институт астрономии и геофизики МАН, г. Улаанбаатар, Монголия,
ntungalag@iag.ac.mn, namkhai_tungalag@yahoo.com

В 2013 г. в обсерватории Хурэлтогоот были установлены два современных телескопа VT78 и ORI-40 для регулярных астрономических наблюдений по программам исследования космического мусора, наблюдения астероидов и космических гамма-всплесков.

В период с 2014 по 2017 г. в обсерватории были проведены более 300 обзорных наблюдений космических мусоров. Наблюдения в основном направлены на обеспечение полноты информации о популяции объектов искусственного происхождения в околоземном пространстве, которые могут представлять опасность для высокоорбитальных космических аппаратов. Результаты наблюдений оперативно передаются в базу данных космических мусоров при Институте прикладной математики РАН (г. Москва, Россия) для дальнейшего анализа. По результатам наших наблюдений были уточнены положения нескольких сотен каталогизированных объектов, также был обнаружен и каталогизирован десяток новых объектов космического мусора.

В феврале 2014 г. обсерватория Хурэлтогоот получила постоянный код «O75» в Центре малых планет по наблюдениям астероида 4685 Karetnikov на телескопе ORI-40, что позволяет сотрудникам обсерватории предоставлять информацию по наблюдениям малых тел Солнечной системы в базу Центра малых планет. Был проведен ряд астрометрических наблюдений для подтверждения положений комет и вновь открытых околоземных астероидов, результаты которых опубликованы в электронном циркуляре Центра малых планет <http://www.minorplanetcenter.net/mpec/>.

Также с 2014 г. наблюдались более 20 областей космических гамма-всплесков, и в пяти случаях было обнаружено оптическое послесвечение. Результаты наблюдений GRB-всплесков опубликованы в циркулярах GCN (The Gamma-ray Coordinates Network Circular) http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3_archive.html.

КАРТЫ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Ю. В. Ясюкевич¹, И. В. Живетьев^{1,2}, А. В. Киселев¹,
А. С. Шабалин^{1,3}, И. К. Едемский¹, А. М. Веснин¹

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия,
yasukevich@iszf.irk.ru

²Институт космических исследований и распространения радиоволн
ДВО РАН, пос. Паратунка, Камчатский край, Россия

³Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия

В последние годы глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), такие как ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beidou, SBAS и т. д., все активнее используются для исследования околоземного космического пространства. Нами была разработана система сбора и обработки данных ГНСС региональных и мировых сетей SIMuRG (System for the Ionosphere Monitoring and Researching by GNSS). Система позволяет осуществлять сбор данных с сетей IGS, UNAVCO, CHAIN, CORS и иных сетей, находящихся в свободном доступе. В настоящее время система дает возможность строить пространственную картину вариаций полного электронного содержания в диапазонах периодов 2–20 мин и 20–60 мин на основе данных всех доступных навигационных систем. Временное разрешение получаемых карт составляет 30 сек. Система открыта для проведения исследовательских работ и расположена на ресурсе www.simurg.iszf.irk.ru. Получаемые карты могут использоваться для изучения ионосферных эффектов землетрясений, магнитных бурь, солнечных вспышек, солнечного терминатора, тропических циклонов, а также для комплексного изучения системы Солнце – атмосфера – ионосфера – магнитосфера – литосфера.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-20005).

RECENT ACCELERATION IN THE EQUATORWARD DISPLACEMENT OF THE OUTER RADIATION BELT OVER SIBERIA

A. V. Dmitriev

Institute of Space Science, National Central University, Jhongli, Taiwan,
Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia

Latitudinal location of the outer radiation belt (ORB) was determined during last 17 years from 2001 to 2018 with using NOAA/Polar-orbiting Operational Environmental Satellite observations of energetic electrons. It was found that the ORB was shifted a little (~ 1 degrees) in the European and North American sectors while in the Siberian sector, ORB was displaced equatorward by more than 3 degrees. The displacements corresponded qualitatively to the change of geomagnetic field predicted by the IGRF-12 model. However in the Siberian sector, the shift was found to be ~ 2 degrees larger than that predicted by the model. The equatorward shift became prominent after 2012 that might be related to a geomagnetic jerk occurred in 2012–2013. The displacement of ORB to lower latitudes in the Siberian sector can contribute to an increase in the occurrence rate of mid-latitude auroras observed in the Eastern Hemisphere.

GLOBAL EQUIVALENT EL. CIRCUIT OF MAGNETOSPHERE-IONOSPHERE-ATMOSPHERE INTERACTION

P. A. Sedykh

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russian Federation
pvlsd@iszf.irk.ru

The aim of this study is to investigate the magnetospheric disturbances effects on complicated nonlinear system of atmospheric processes. During substorms and storms, the ionosphere was subjected to rather a significant Joule heating, and the power of precipitating energetic particles was also great. Nevertheless, there were no abnormal variations of meteoroparameters in the lower atmosphere. If there is a mechanism for the powerful magnetospheric disturbance effect on meteorological processes in the atmosphere, it supposes a more complicated series of many intermediates, and is not associated directly with the energy that arrives into the ionosphere during storms. I discuss the problem of the effect of the solar wind electric field sharp increase via the global electric circuit during magnetospheric disturbances on the cloud layer formation.

110 ЛЕТ ТУНГУССКОМУ ФЕНОМЕНУ: ФАНТАЗИИ И РЕАЛЬНОСТЬ

МЕТЕОРЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

К. И. Иванов, Е. С. Комарова

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
ivorypalace@gmail.com, eskomarik@gmail.com

Роль атмосферы Земли очень велика. С одной стороны, она защищает планету от космогенных воздействий, с другой – оказывает комплексное влияние на гидросферу и литосферу. Интервал высот, где сгорают метеоры, расположенный на высотах от 80 до 120 км, совпадает с зоной температурного минимума и, как и вся атмосфера в целом, представляет собой сложную неоднородную среду. Протекающие здесь процессы обуславливаются поглощением солнечного ультрафиолетового излучения, вторжением высокоэнергичных заряженных частиц, а также энергией, переносимой широким спектром волн, генерируемых в нижних слоях атмосферы. По некоторым оценкам, доля энергии, приносимой внутренними гравитационными волнами (ВГВ) в данную область атмосферы, сопоставима с энергией коротковолнового излучения Солнца, контролирующего температурный режим на этих высотах. Все это приводит к перемешиванию атмосферы, сопровождающемуся интенсификацией множества фотохимических процессов и связанных с ними явлений. Результатом становятся пространственно-временные изменения структурных и динамических характеристик атмосферы, которые могут быть измерены путем анализа треков вторгающихся в нее метеорных частиц.

В рамках исследования метеорных явлений в 2015 г. в Тункинской долине Республики Бурятия был установлен автоматизированный комплекс SkyLine, разработанный в Астрономической обсерватории ИГУ и предназначенный для базисного видеонаблюдения ме-

теоров. В 2015 г. зарегистрировано более 1500 метеорных событий, в 2016 г. зафиксировано около 3500 метеоров. На основе полученных данных проведены исследования потока Геминиды, построены кривые блеска метеоров, вычислен порядок масс метеорных частиц (фотометрическая масса частиц оценена в пределах от 0.008 до 2 г). Исследованы яркости метеорных треков при наличии ярко выраженных ВГВ на высотах сгорания метеоров. Анализ и сопоставление данных указывает на совпадение характерных масштабов параметров ВГВ и вариаций яркости метеорного трека. Выполнены расчеты скорости ветра с использованием данных о величине ветровых сдвигов метеорных следов. Всё вышперечисленное делает метеоры уникальным инструментом для изучения верхних слоев земной атмосферы, практически недоступных для иных методов исследования.

ЗЕМНЫЕ АСТРОБЛЕМЫ И ФЕНОМЕНЫ НЕОПЛЕЙСТОЦЕН-ГОЛОЦЕНОВОГО РУБЕЖА И ГОЛОЦЕНА

А. А. Коковкин

Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН,
г. Хабаровск, Россия
kokovkin@itig.as.khb.ru

Под феноменом в естественных науках обычно понимается непривычное, необъяснимое в рамках сложившихся представлений явление. Проблема тесно взаимосвязанных феноменов голоцена и неоплейстоцен-голоценового рубежа даже для авторов, длительное время занимающегося акцентированным на новейший этап изучением континентальной коры, обозначилась далеко не сразу. Мешал сложившийся в геологии (парадоксальный, по сути) дефицит информации по всему новейшему этапу и особенно острый именно по голоцену. Вся мировая и отечественная геология до сих пор основное внимание традиционно уделяет более древним эпохам. Эта традиция выработала устойчивый стереотип «не замечать» масштабности и многообразия молодых процессов и самого существования их индикаторов, выраженных порой весьма ярко. Характерная для любого стереотипа реакция на непонятное явление «да ну, не может быть...» долгое время сопровождала и авторов при знакомстве с этими индикаторами. Убедительными доказательствами молодости всей современной глобальной структуры земной коры является поразительная молодость рельефа ложа Мирового океана и рельефа

континентов. На этом фоне еще более контрастно выделяются совсем уж молодые деформационные структуры континентальных астроблем. Эти кольцевые структуры, образованные в результате реактивной отдачи коры на удар астероида, взломали поверхность современного рельефа. Собственно, именно по этой своей яркой выраженности астроблемы и выделяются. Более древние астроблемы уже давно маскированы активно развивающимися на земной поверхности процессами химического выветривания и эрозии. На поверхности «маленькой» Луны, где эти процессы не работают, количество астроблем – следов многих астероидных потоков на несколько порядков выше, чем на Земле. Имеющиеся датировки древнего возраста земных астроблем объясняются использованием в качестве их индикаторов *возраста деформированных ими пород*. Характер выраженности астроблем в современном рельефе при этом не учитывался. Высказанные положения были сформулированы авторами после изучения новейшей структуры Намибии, насыщенной астроблемами и многочисленными надежными индикаторами ее эволюции. Фактическую основу этого моделирования обеспечили сведения, полученные в 2012 г. при проведении на ее территории 10 тыс. км рекогносцировочных маршрутов – от Анголы до ЮАР и от Атлантики до Ботсваны. Был сделан вывод, что во второй половине плейстоцена Земля была подвержена бомбардировке астероидами диаметром до многих километров. Массированный характер бомбардировки территории юго-западной Африки связан, по видимому, с неравномерностью распределения астероидов в потоке. На территории Намибии кольцевыми структурами астроблем была взломана плоская поверхность плейстоценового пенеплена, взброшенная ими до 400 м. Образование намибийских астроблем сопровождалось активизацией глубинных флюидопотоков, с импульсным выбросом углекислых растворов на поверхность и формированием на всей территории Намибии карбонатной корки мощностью от 1 м и менее до первых сотен метров. Максимум карбонатизации наблюдается в рыхлых осадках новейших рифтогенов, где над активизированными в это время разломами получили развитие объемные очаги карбонатизации. Отмеченная авторами карбонатизация на Волжском уступе, связанная с ударным воздействием поверхностных сейсмодислокаций, близка к намибийской по механизму формирования. Земля после этой бомбардировки резко изменила ход своего развития. Действовавший ранее, на протяжении большей части новейшего этапа, ритм глобального расширения сменился коротким, но весьма мощным ритмом сжатия. Его начало, приходящееся на рубеж неоплейстоцен –

голоцен, сопровождалось волной мощных землетрясений. На континентах с этого времени резко активизировался орогенез, а Океан стал наращивать свою водную оболочку, с развитием глобальной трансгрессии. Этот же рубеж определил и формирование среды обитания популяции *homo sapiens* с феноменом ее «взрывной» эволюции.

Поддержка РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00097.

СЛЕДЫ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА РУБЕЖЕ НЕОПЛЕЙСТОЦЕН – ГОЛОЦЕН: ВОСТОК АЗИИ, ПОВОЛЖЬЕ

А. А. Коковкин

Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН,
г. Хабаровск, Россия
kokovkin@itig.as.khb.ru

Авторы уже более 30 лет занимаются эволюционным междисциплинарным моделированием континентальной коры Востока Азии, акцентированным на новейший (эоцен-голоценовый) этап. Моделирование выполняется на основе синергетической методологии, в рамках базисной модели волновой нелинейной геодинамики. В соответствии с ней земная кора структурируется иерархией взаимосвязанных волновых процессов. Слобноорганизованные, глобального уровня пульсации мантийного вещества транслируются в континентальную кору возвратно-поступательными движениями ее жестких блоков, определяющими, в свою очередь, характер знакопеременно-сдвиговых перемещений по разломам и связанных с ними волновых сейсмических деформаций. В ходе этого комплексного моделирования проводится в том числе изучение современной и палеосейсмотектоники. Такой подход обеспечивает возможность исследования деформационной системы землетрясения в едином геологическом эволюционном контексте. В процессе исследования разработана резонансная модель землетрясения, объясняющая локальность и бескорневой характер волновых по природе сейсмодислокаций (СД) и разрушений, сформированных в неоднородной структуре поверхностной зоны коры, с контролем комплексными барьерами на границах неоднородностей. На Востоке Азии полигоном для изучения сейсмодислокаций послужила Хабаровско-Хехцирская система инверсионных поднятий, активно развивающаяся до настоящего времени под влиянием взаимодействующих знакопеременно-сдвиговых систем разломов Мишаньской ветви Танлу и разломов

Намурхэ-Амурской системы. На бортах этой структуры, на Амурском уступе, выявлено множество различных по морфологии сейсмодислокаций. Этими СД деформирован в том числе и культурный слой начального неолита (осиповская культура). Поселения этой культуры с возрастом 8–12 тыс. лет получили здесь широкое распространение. Судя по характеру СД, около 9 тыс. лет назад здесь произошло катастрофическое землетрясение ($M > 10$), после чего данные поселения прекратили свое существование. Время этого сейсмического события подтверждено радиоуглеродными датировками углей, отобранных из деформированных им культурных слоев двух поселений (Гончарка и Осиповка). Близкие по времени и характеру СД выявлены авторами и в разломах Иланьской ветви Танлу – на территории России и на северо-востоке Китая.

Много западнее, в центре Альпийско-Гималайского пояса, в ходе двух экспедиций «Гагаринского плавучего университета» 2015–2016 гг. автором было проведено изучение тектоники, сейсмотектоники и эндогенного эпигенеза новейшей структуры Среднего-Нижнего Поволжья – от Камышина до Ульяновска. На Правобережном уступе Волги (далее Уступ), с 800-километровой цепью его свежих, постоянно подновляемых абразией обнажений, впервые на этой территории, выявлена целая система сейсмодислокаций. Здесь получили широкое распространение клиновидные и оползневые СД, также и дислокации более сложной морфологии. Ими деформированы слагающие Уступ осадки – от известняков карбона до хвалынских слоев неоплейстоцена и раннеголоценовая палеопочва. Местами образование СД сопровождалось активизацией глубинного флюидопотока с выбросом карбонатных растворов в поверхностную зону коры и карбонатизацией пород верхней части Уступа. Судя по всему, и здесь, как и на Востоке Азии, в начале раннего голоцена произошло столь же мощное землетрясение или серия таких сближенных во времени событий. Этими землетрясениями в разных частях Евразии обозначен рубеж на границе неоплейстоцен – голоцен, положивший начало многообразию масштабных геологических процессов, во многом определивших характер современной структуры Земли, строение ее континентов и океанов.

Поддержка РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00097.

ОСИНСКИЙ БОЛИД СКВОЗЬ ПРИЗМУ ПОСТПРАВДЫ

М. Н. Лопатин, С. А. Язев

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
flamewolf@mail.ru, syazev@gmail.com

Яркий болид, наблюдавшийся 1 марта 2011 г. в Осинском районе Иркутской области, в некоторых СМИ, приукрашивавших показания очевидцев, был назван «небесным кошмаром», «кошмарным НЛО». Явление совпало по времени с военными учениями в Баяндаевском районе, где осветительные авиабомбы были восприняты как нечто неопознанное. В связи с этим наблюдатели Осинского болида приписывали ему техногенное происхождение даже после публикации доказательств его космической природы.

Первому автору в составе исследовательской группы в марте и затем самостоятельно в июле 2011 г. удалось опросить очевидцев из населенных пунктов, располагавшихся к востоку и западу от траектории болида. Наибольшее число очевидцев зафиксировано в муниципальном образовании «Хаха-Онгойское» в населенных пунктах Хокта, Мольта, Онгой и Северный. Над последним, судя по полученным данным, и проходила траектория падения небесного тела.

В населенных пунктах к западу от траектории наблюдения были ограничены из-за низкой облачности и осадков в виде снега (в Бильчире и Приморском очевидцы не смогли уверенно указать на небо точки появления и исчезновения болида). Однако в с. Обуса балл облачности был невысоким, что позволило одному очевидцу сфотографировать падение болида на мобильный телефон и установить точное время падения – 18:38 по местному времени.

На снимке прослеживается траектория падения небесного тела, которое на момент съемки разрушилось, о чем свидетельствуют ответвления в нижней и средней частях изображения. Угол падения составил около 60° к поверхности, это наряду с другими показаниями очевидцев позволило оценить высоту обнаружения метеорного тела в 18–23 км, что отвергает техногенную версию происхождения объекта.

Ударная волна отмечена во всех вышеуказанных населенных пунктах, очевидцы описывали тактильные ощущения, дрожание мебели, стен и стекла. Акустические эффекты зафиксированы и в районном центре – с. Оса.

Выполнены оценки параметров траектории падающего тела: с северо-востока – востока. По имеющимся данным, крупное тело (размерами до 1 м) разрушилось на большой высоте, не достигнув

земли. Об этом свидетельствует последующий облет территории средствами МЧС, в результате которого видимых разрушений в тайге обнаружено не было.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТЕОРИТА

Н. П. Первалова, Г. А. Жеребцов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
pereval@iszf.irk.ru

Падение метеорита в Челябинской области 15 февраля 2013 г. явилось уникальным событием для геофизики, физики атмосферы и ионосферы Земли. Это стало вторым по мощности взрыва событием с момента падения Тунгусского метеорита в 1908 г. Как показали оценки [1; 2; <https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/>], Челябинский метеорит имел размер около 16–20 м и массу порядка 7000–14 000 т. Его скорость при входе в атмосферу лежала в пределах 17.7–19.3 км/сек. Взрыв произошел в 03:20:32 UT на высоте около 27 км. Энергия взрыва оценивается в 440–590 кт в тротиловом эквиваленте. Анализ данных широкой сети геофизических инструментов позволил выявить эффекты, сопровождавшие падение и взрыв Челябинского метеорита, в литосфере (короткопериодные колебания, зарегистрированные сейсмическими станциями), атмосфере (инфразвуковые сигналы; увеличение яркости ночного неба в первые две ночи после падения метеорита) и ионосфере (крупномасштабные волнообразные возмущения в максимуме электронной концентрации по данным ионозондов; два типа возмущений полного электронного содержания по данным GPS; перемещающиеся ионосферные возмущения по данным когерентного радара, расположенного вблизи г. Екатеринбург). В докладе представлен обзор геофизических эффектов, инициированных Челябинским метеоритом, а также результатов их моделирования.

Литература

1. Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery, and characterization / О. Р. Попова [et al.] // *Science*. 2013. 342(6162). P. 1069–1073, doi:10.1126/science.1242642.
2. Параметры Челябинского метеороида: анализ данных / О. П. Попова [и др.] // *Динамические процессы в геосферах*. Вып. 4 : сб. науч. тр. / ИДГ РАН. М. : ГЕОС, 2013. С. 10–20.

АНАЛОГИИ В ПОВЕДЕНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПРИ ПАДЕНИИ ТУНГУССКОГО И ЧЕЛЯБИНСКОГО БОЛИДОВ

Р. А. Рахматулин, А. Ю. Пашинин, В. М. Алешков

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
rav@iszf.irk.ru

15 февраля 2013 г. суперболид диаметром около 17 м и массой порядка 17 тыс. т вошел в атмосферу Земли на скорости около 18 км/с и в 03:20:33 UT взорвался над Челябинском на высоте 22 км. После падения Тунгусского космического тела (ТКТ) 30 июня 1908 г. это второе по величине вторжение небесного тела в атмосферу Земли за прошедшие 100 с лишним лет.

В период, предшествовавший взрыву, 17-тысячетонная глыба, состоящая из камней, металла и льда, пролетела через все оболочки магнитного поля Земли – магнитосферу, плазмосферу и ионосферу. И если предположить, что полет этого небесного тела в магнитосфере Земли был геоэффективен, то полезный сигнал надо отслеживать после вторжения его в магнитосферу Земли за 80–60 мин до взрыва в атмосфере.

Анализ данных AE, AU, AL-, AO- и Kp-индексов показал, что время прохождения болида через магнитосферу Земли приходится на очень магнитоспокойный период.

Расшифровка записи индукционных магнитометров в среднеширотной обсерватории Монды, ($\varphi = 51.4^\circ$, $\lambda = 100.5^\circ$) продемонстрировала наличие шумового всплеска в вариациях геомагнитного поля в диапазоне частот 0, 2–5 Гц в интервале 02:45–02:58 UT, т. е. за 35 мин до взрыва метеороида. Причиной возникновения шумового всплеска на среднеширотных обсерваториях при спокойном геомагнитном фоне может являться взаимодействие метеороида с плазмосферой Земли.

Изучение литературы, описывающий возникновение магнитных эффектов во время полета и взрыва Тунгусского метеорита в магнитосфере и атмосфере Земли 30 июня 1908 года позволило определить, что отдельные исследователи обнаружили изменение в вариациях магнитного поля Земли за 80 мин до самого взрыва. Сравнительный анализ поведения вариаций магнитного поля Земли в периоды пролетов Тунгусского и Челябинского болидов в магнитосфере Земли показал подобие некоторых фрагментов.

Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИИ П.16.

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ, ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

СТРОЕНИЕ ОПОРНОГО РАЗРЕЗА МИШИХА ТАНХОЙСКОГО ТРЕТИЧНОГО ПОЛЯ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИЙ РАННЕЙ ИСТОРИИ ЮЖНО- БАЙКАЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ И ХАНГАЙСКОГО ОРОГЕНА

А. Аль Хамуд^{1,2}, С. В. Рассказов^{1,3}, В. Л. Коломиец⁴,
Р. Ц. Будаев⁴, И. С. Чувашова^{1,3}, М. Н. Рубцова³

¹ Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
hamoudadnan04@gmail.com

² Альфурат, г. Дер-эз-Заур, Сирия

³ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

⁴ Геологический институт БНЦ СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

В качестве ядра Байкальской рифтовой системы Н. А. Логачевым рассматривалась Южно-Байкальская впадина, в которой наиболее ранние отложения фрагментарно обнажены на Танхойском третичном поле Прихамардабанской тектонической ступени в виде дотанхойских слоев «синих глин», датированных второй половиной олигоцена. Новое местонахождение «синих глин» было вскрыто при проходке федеральной трассы на правом берегу р. Мишихи в 2014 г. В южной расчистке представлено основание разреза слоев «синих глин», в северной – вышележащая танхойская свита. Оба стратона со стратиграфическим несогласием перекрыты отложениями ановской свиты. Слои «синих глин» перемежаются с охристыми алевролитами и песчаниками. Своеобразная синяя окраска глин во влажном состоянии объясняется поступлением материала из особого источника, обусловившего цвет материала в связи с присутствием хлорита.

Идентификация отложений дотанхойских отложений «синих глин» только в основании разреза Прихамардабанской ступени свидетельствует об их образовании при размыве милонитов южнобай-

кальского фрагмента шовной зоны фундамента Сибирской платформы вследствие мел-палеогенового формирования Южно-Байкальского протоподнятия (орогена). На этом этапе Танхойское поле третичных отложений относилось к развивавшемуся на его фланге Селенгино-Витимскому предгорному прогибу. На рубеже олигоцена и миоцена восходящие движения протоподнятия сменились нисходящими движениями территории, которые привели к образованию Южно-Байкальской впадины с ее заполнением осадочными отложениями и водой, сопровождавшимся вулканизмом 18–12 млн лет назад.

Гипотеза о смене орогенеза (сжатия) в шовной структуре на Южном Байкале рифтогенезом (растяжением) согласуется с гипотезой о сочетании в новейшей геодинамической эволюции Азии орогенных и рифтогенных процессов. Подобные процессы запечатлены также в ранней истории вулканизма и осадконакопления, сопровождавших формирование Хангайского орогена.

ВАРИАЦИИ РАДОНА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ (ТЕРМАЛЬНАЯ САМОИЗЛИВАЮЩАЯСЯ СКВАЖИНА В С. СУХАЯ, БУРЯТИЯ)

С. В. Бартанова¹, Д. П.-Д. Санжиева¹, Ц. А.Тубанов^{1,2}

¹Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, bartanova@list.ru

²Бурятский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ, Россия, geos@ginst.ru

Происходящие при формировании очагов землетрясений изменения состава подземных вод и концентраций в них газов используются в качестве краткосрочных предвестников землетрясений. По данным работы (Уломов, Мавашев, 1987), незадолго до землетрясения возрастает уровень акустических шумов. При землетрясении наряду с основным разрывом в породах образуется огромное количество трещин, каждая из которых при возникновении вызывает упругие колебания высоких частот. Эти колебания могут влиять на изменение равновесия между адсорбированной и растворенной формами радона в системе «порода – вода». Под действием упругих колебаний равновесие между адсорбированным и растворенным газами смещается в сторону растворенных, вызывая повышение концентрации радона в подземных водах. Однако, если акустическая мощность превышает некоторое пороговое значение, величина которого зависит от физико-химического состояния жидкой фазы, то

наблюдается уменьшение количества растворенного радона за счет дегазации подземных вод (Султанходжаев, 2008).

Непрерывный мониторинг вариаций радона в воде проводился в самоизливающейся термальной скважине, находящейся в Оймур-Энхалукской впадине, которая примыкает к Селенгинской депрессии на востоке и далее протягивается вдоль побережья озера Байкал с юго-запада на северо-восток от д. Оймур до с. Сухая-Заречье. Впадина ограничена с юго-востока отрогами Морского хребта, а со стороны оз. Байкал в прибрежной зоне серией разломов.

При анализе вариаций растворенного радона в воде скважины и местной сейсмичности было получено, что в зависимости от силы землетрясения и расстояния от эпицентра наблюдаются разнотипные аномалии радона, возможно, связанные с влиянием упругих колебаний на процесс дегазации.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ РАЗЛОМА В СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

**С. А. Борняков^{1,2}, И. А. Пантелеев³,
А. В. Черемных¹, А. А. Каримова**

¹ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
bornyak@crust.irk.ru

² Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

³ Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, Россия

Выполнено физическое моделирование периодической активизации крупного разлома в упруговязкопластичной и упругой моделях литосферы. Моделируемый процесс фотографировался скоростной цифровой камерой с последующей компьютерной обработкой методом корреляции цифровых изображений (digital image correlation, DIC).

Результаты обработки показали, что в моменты импульсной активизации происходит реализация смещений по всему разрыву или на большей его части. Между такими активизациями разрыв имеет сегментную структуру с направленной эволюцией активных сегментов – от нескольких крупных сегментов к многочисленным мелким с постепенным вырождением последних. Долговременная деформационная динамика разрыва представлена закономерной последовательностью его полных активизаций. Установлено, что моментам таких активизаций в большинстве случаев соответствуют минималь-

ные значения угла наклона графика повторяемости (β) и максимальные значения информационной энтропии (S_i). Детальный анализ динамики деформаций на разрыве и в его крыльях между двумя полными активизациями позволил выявить, что они протекают закономерно в рамках регрессивной и прогрессивной фаз деформационного процесса с проявлением двух одноименных сценариев эволюции активных сегментов и пластических микросдвигов в их пределах. Определено, что деформационная активность сегментов и пластических микросдвигов на отдельных временных интервалах существенно отличается. Из этого следует, что при прогнозных статистических исследованиях зоны крупных сейсмоопасных разломов следует пространственно подразделять на центральную узкую подзону с магистральной плоскостью сместителя и две обрамляющие ее внешние широкие подзоны в его крыльях. Первая зона является источником сильного землетрясения, тогда как вторая выступает источником предваряющих его слабых сейсмических событий. С учетом результатов физического моделирования ширина центральной подзоны может составлять до 10 км, а суммарная ширина всех подзон до 100 км и более.

В целом полученные экспериментальные результаты способствуют развитию представлений о геодинамике крупных разломов в сейсмических зонах литосферы и показывают один из возможных механизмов подготовки в них сильных землетрясений.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНАХ РАЗЛОМОВ НА ЮЖНО-БАЙКАЛЬСКОМ И ХУСТАЙСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ

**С. А. Борняков^{1,2}, Д. В. Салко¹, К. Ж. Семинский¹,
С. Дэмбэрэл³, Д. Ганзориг³, Ц. Батсайхан³, С. Тогтохбаяр³**

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
bornyak@crust.irk.ru

²Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

³Институт астрономии и геофизики МАН,
г. Улаанбаатар, Монголия

Для изучения временной структуры деформаций горных пород в зонах разломов в пределах Южно-Байкальского (Россия) и Хустайского (Монголия) геодинамических полигонов созданы локальные пространственные сети точек деформационного мониторинга.

Результаты мониторинга показали, что деформации реализуются в форме колебательного процесса с широким спектром периодов колебаний. На эти медленно меняющиеся во времени деформации эпизодически накладываются аномальные выбросы. Эти импульсные аномальные деформации имеют волновую природу и являются следствием прохождения через точки мониторинга нерегулярных одиночных деформационных волн. Скорость их пространственной миграции в среднем составляет от первых сантиметров до первых десятков сантиметров в секунду. Кроме одиночных деформационных волн выделяются волны с постоянной составляющей, с длиной волны в первые сотни метров, периодом в первые часы, амплитудой – в первые микроны и скоростью пространственной миграции от первых сантиметров до первых десятков сантиметров в секунду. Вектор их движения в целом ориентирован с юго-запада на северо-восток и близок к направлению действия сжатия от Индостанской коллизии. Выявлено, что непосредственно перед землетрясениями скорость пространственной миграции деформационных волн испытывает существенные вариации.

В целом приведенные результаты позволяют констатировать, что в пределах геодинамических полигонов инструментально регистрируемый деформационный процесс имеет волновую природу. В нем выделяются периодическая и непериодическая составляющие. Все выделенные деформационные волны имеют один порядок скоростей пространственной миграции, но отличаются по амплитудам и длинам волн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Иркутского научного центра (Проект «Опасные геологические процессы в Байкало-Монгольском регионе на территориях активного природопользования: сопоставление, оценка, прогноз»).

ЭВОЛЮЦИЯ ГОРНОГО ОБРАМЛЕНИЯ ВПАДИН БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ В ПОЗДНЕМ КАЙНОЗОЕ

Л. М. Бызов

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
leo212002@yandex.ru

Формирование Байкальской рифтовой системы (БРС) является сложным многоэтапным процессом, в котором сочетаются периоды тектонической активности и периоды относительного покоя. В настоящее время, согласно данным [1; 2], территория находится в состоянии повышенной тектонической активности, что способствует интенсивному растяжению и углублению рифтовых впадин, а также поднятию сопряженных горных сооружений. Датировки начала этого этапа, называемого позднеорогенным [1], разнятся, но в любом случае указывают на ранний плиоцен (5–3.5 млн лет). Позднеорогенная стадия также неоднородна и характеризуется периодичностью тектонической активности. Эндо- и экзогенные геодинамические процессы, происходящие на позднеорогенном этапе, находят свое отражение в современном рельефе. В этом отношении наиболее показательными являются сбросовые эскарпы, обрамляющие крутые борта рифтовых впадин. Высота хребта, форма и размеры тектогенных граней (фасет), морфология гребней междуречий и распадков – все эти элементы содержат количественную информацию как о параметрах тектонического поднятия, так и о многочисленных экзогенных факторах, влияющих на эволюцию рельефа. В связи с особенностями генезиса сбросовые эскарпы могут служить хорошими объектами для комплексного математического моделирования, направленного на определение количественных характеристик орогенеза. В настоящем исследовании была применена программа CHILD [3], модифицированная нами для работы со сбросовой кинематикой. Данный инструмент располагает многочисленными опциями, позволяющими реконструировать эволюцию рельефа, принимая во внимание тектонику, русловые эрозионно-аккумулятивные процессы, склоновый крип, оползнеобразование и др. В качестве объектов моделирования использовалось более 60 сегментов бортов рифтовых впадин, расположенных в различных частях БРС. Основным критерием выбора объектов являлось наличие тектогенных базальных фасет, при этом сложные сочетания, включающие комбинированные фасеты, не рассматривались ввиду особенностей моделиро-

вания. В ходе исследования были проведены многочисленные эксперименты с различными вводными данными и получены трехмерные модели эволюции рельефа для всех выбранных объектов. Было показано, что формирование фасет требует определенной совокупности внешних и внутренних факторов, при этом, несмотря на общие черты, эволюция сбросовых эскарпов в различных впадинах БРС может иметь заметные отличия.

Литература

1. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история / В. Д. Мац [и др.]. Новосибирск : Изд-во СО РАН, фил. «Гео», 2001. 252 с.
2. How old is the Baikal rift zone? Insight from apatite fission track thermochronology / M. Jolivet, T. De Boissgrollier, C. Petit, M. Fournier, V. A. Sankov, J. -C. Ringenbach, L. Byzov, A. I. Miroshnichenko, S. N. Kovalenko, S. V. Anisimova // *Tectonics*. 2009. Vol. 28. TC3008. doi: 10.1029/2008TC002404.
3. Tucker G. E. CHILd Users Guide for version R9.4.1 // Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES) and Department of Geological Sciences University of Colorado, Boulder, CO 80309 USA, 2010. 52 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ НАД г. УЛААНБААТАРОМ ПО ДАННЫМ ПОСТОЯННЫХ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ И МЕТЕОРОЛОГИИ

**М. Г. Дембелов¹, Ю. Б. Башкуев², А. В. Лухнев²,
О. Ф. Лухнева², В. А. Саньков², С. Дэмбэрэл³, К. Батсайхан³**

¹Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
mdembelov@mail.ru

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

³Институт астрономии и геофизики МАН, г. Улаабаатар, Монголия

Изменение показателя преломления с высотой в нижней нейтральной атмосфере вызывает тропосферную рефракцию или отклонение траектории GPS-сигналов. Индекс рефракции радиоволн в тропосфере N , как и величина полной тропосферной зенитной задержки (ZTD), определяются в основном температурой, давлением и упругостью водяного пара. Компоненту влажной тропосферной задержки ZWD можно выделить из величины ZTD, вычитая значение «сухой» компоненты $ZHD = 0.002277 \cdot p$, где p – приземное атмосферное давление, мбар. Параметр ZWD практически пропорционален количеству влагозапаса в тропосфере над GPS-пунктом. Количество водяного пара в атмосфере над определенной точкой земной поверхности выражается в виде вертикально интегрированной мас-

сы водяного пара в расчете на единицу площади (IWV), кг/м². Соответствующая параметру IWV осаждаемая вода определяется в виде колонки жидкой воды (PW), м.

Рассматриваются обработанные данные по полной тропосферной зенитной задержке сигналов на постоянном пункте GPS-измерений ULAB (Улаанбаатар) за весь 2017 год. Приземные метеорологические данные в г. Улаанбаатаре были получены на сайте www.rp5.ru. Для «влажной» компоненты тропосферной зенитной задержки ZWD учитывалось известное выражение в виде интеграла

по высоте h : $ZWD = 10^{-6} k_2 \int_0^{\infty} \frac{e}{T^2} dh$, где e – упругость водяного пара

в вертикальном «столбе», мбар; T – температура в вертикальном «столбе», К; $k_2 = 3.73 \cdot 10^5$ – вторая рефракционная константа,

К²/мбар. С учетом выражения для суммарного пара $IWV = \int_0^{\infty} \rho_{WV} dh$,

где ρ_{WV} – плотность водяного пара, кг/м³, формулу для ZWD можно переписать в виде зависимости суммарного пара IWV от «влажной»

компоненты ZWD: $IWV = 10^6 \frac{T_m}{k_2 \cdot R_W} ZWD$. Здесь R_W – специаль-

ная газовая постоянная для водяного пара, Дж·К⁻¹·кг⁻¹. Параметр «средневзвешенной» по упругости водяного пара температуры в вертикальном столбе T_m над пунктом ULAB определялся в виде от-

ношения: $T_m = \int_0^{\infty} \frac{e}{T} dh / \int_0^{\infty} \frac{e}{T^2} dh$. Для этого использовались резуль-

таты ежедневных 2-разовых радиозондирований на метеостанции г. Улаанбаатара.

**ОЦЕНКА СМЕЩЕНИЙ ПРИ ЦАГАНСКОМ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 1862 Г. ПО ДАННЫМ
ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ
(НА ПРИМЕРЕ СЕГМЕНТА ДЕЛЬТОВОГО РАЗЛОМА
МЕЖДУ СЕЛАМИ ШЕРАШЕВО И ИНКИНО)**

**И. А. Денисенко¹, О. В. Лунина¹, А. С. Гладков¹, А. В. Казаков²,
А. А. Гладков¹, Е. В. Серебряков¹, А. М. Афонькин¹**

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
denisenkoivan.1994@mail.ru

²Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия

Цаганское землетрясение (12.01.1861, $M \sim 7.5$) считается одним из крупнейших сейсмических событий, произошедших на Байкале за исторический период. Сейсмогенерирующей структурой являлся Дельтовый разлом, простирающийся в северо-восточном направлении в районе дельты р. Селенги. Амплитуда сброса, зафиксированная по одному из сейсмогенных разрывов по перемещению пашенной городьбы между деревнями Дубинино и Оймур, составила 4.2 м (Фитингоф, 1885). Максимальное смещение, указанное в каталоге сильных землетрясений СССР (Kondorskaya & Shebalin, 1982), принято 8 м.

Цель настоящей работы заключалась в выявлении по данным георадиолокации особенностей подповерхностной структуры Дельтового разлома и оценке возможных смещений по нему при Цаганском землетрясении 1862 г. на участке между селами Шерашево и Инкино. Работы выполнялись георадаром ОКО-2 с экранированными антенными блоками АБ-90 и АБ-250М. В результате проведенных работ получены радарограммы по пяти георадиолокационным профилям, расположенным в 25 м друг от друга. Интерпретация данных позволила проследить главный сейсмогенный разрыв на изученном участке и определить вертикальные амплитуды смещений, варьирующие в разных сегментах разлома от 2.6 до 4.5 м. Кроме того, прослежены другие второстепенные разрывы, часть из которых, возможно, образовалась при Среднебайкальском землетрясении 1959 г. с $M = 6.8$. Для понимания существующей тектонической обстановки была построена 3D-модель исследуемого участка. Она иллюстрирует разные временные промежутки развития уступа Дельтового разлома, непосредственно после землетрясения и в настоящее время. Необходимы дальнейшие исследования на других сегментах сейсмогенерирующей структуры для получения полной картины смещений вдоль ее простираения.

ПРОЯВЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНАХ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

**О. В. Лунина, А. С. Гладков, И. А. Денисенко,
А. А. Гладков, Е. В. Серебряков**

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

Многие опасные природные процессы связаны с землетрясениями, при которых на юге Сибири и в Монголии чаще всего проявляются разжижение, проседание, склоновые движения и разрывообразование. Следы этих процессов со временем исчезают с поверхности Земли, но сохраняются в разрезах в виде деформаций осадочных отложений. Их своевременное обнаружение и изучение позволяет прогнозировать негативные последствия сейсмических событий.

В последние два десятилетия широкое развитие в мире получил метод георадиолокации, с помощью которого успешно решаются различные геологические задачи. Цель настоящего доклада – на основе пятилетнего опыта показать эффективность использования метода георадиолокации в Байкальском регионе для подповерхностного изучения тектонических и сопутствующих деформаций, связанных с землетрясениями.

Георадиолокационная съемка проводилась нами с помощью георадара ОКО-2 и антенн АБ-700, АБ-250М, АБ-90 и АБДЛ Тритон. В зависимости от задач и условий работ применялись разные антенные блоки на суше и воде. Исследования выполнялись в зонах Севербайкальского, Дельтового, Баргузинского, Мондинского, Приморского, Жемчужного и других разломов Байкальского региона. В итоге по данным георадиолокации с привлечением геологических, геоморфологических и структурных данных показаны возможности: 1) обнаружения следов разрывообразования, разжижения, просадочных и гравитационных процессов; 2) исследования особенностей внутреннего строения зон разломов; 3) определения амплитуд смещений по разломам; 4) оценок скоростей осадконакопления в водоемах после известных сейсмических событий; 5) построения 3D-моделей геологической среды.

Комплексирование метода георадиолокации с геоморфологическими и геолого-структурными наблюдениями, а также с малоглубинным бурением отдельных скважин и тренчингом повышает эффективность метода, а сам комплексный подход является универсальным для изучения скрытых проявлений опасных природных процессов.

БЛОКОВОЕ СТРОЕНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ БАЙКАЛО-МОНГОЛЬСКОГО РЕГИОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

**А. И. Мирошниченко¹, К. Г. Леви¹,
В. А. Саньков^{1,2}, А. В. Лухнев¹**

¹ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия, mai@crust.irk.ru

² Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Литосфера Байкало-Монгольского региона на неотектоническом этапе характеризуется наличием нескольких крупных жестких неоднородностей первого и второго порядков: Сибирского как части Северной Евразии, Восточно-Монгольского как части Амурской плиты и Центрально-Монгольского, разделенных крупными системами активных разломов. Сдвиго-надвиговые и сдвиговые разломы преобладают в центральной и западной части территории, и сбросы и сдвиго-сбросы преобладают в Байкальской рифтовой системе. Современные движения этих блоков, деформации в пределах разделяющих их разломных систем описаны в ряде публикаций (Calais et al., 2006; Лухнев и др., 2010; Саньков и др., 2011; Ашурков и др., 2016; Мирошниченко и др., 2018). Менее изучены современные деформации в пределах литосферных блоков.

Детальное изучение напряженно-деформированного состояния и степени активизации разломов проведено с использованием математического и оптического моделирования. В моделях исследованы упругие и непрерывные неупругие деформации моделей, нарушенных разломами. По данным экспериментов составлены серии карт, отображающих мгновенные скорости на поверхности, интегрированные по толщине модели максимальные сдвиговые напряжения, скорости горизонтальных деформаций и ориентация нормальных напряжений в исследуемых моделях, величины и типы подвижек по разломам. Результаты экспериментов положены в основу схемы районирования исследуемой территории по степени современной активности.

Выделенные области характеризуются специфическими наборами геолого-геофизических параметров, определяющих и сопровождающих современные деформации земной коры и литосферы. Применение регрессионного, кластерного и факторного анализа позволило на количественной основе выделить эти группы параметров, отвечающих неотектоническому и современному этапу развития территории исследования, и показать их взаимосвязь и особенности проявления в различных структурных элементах Байкало-Монгольского региона.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта РФФИ №17-05-00826_a.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ: СВЯЗЬ С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СОЛНЦА

**Н. Н. Полешко¹, И. Л. Аристова¹, Н. Н. Михайлова¹,
С. Досайбекова², Г. Я. Хачикян³**

¹Институт геофизических исследований РК, г. Курчатов, Казахстан
poleshko@kndc.kz

²Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция, г. Алматы, Казахстан

³Институт ионосферы, Национальный центр космических исследований,
г. Алматы, Казахстан

По статистически представительному материалу механизмов очагов землетрясений почти за пятидесятилетний период установлено, что характер сейсмоструктурного деформирования (СТД) земной коры Северного Тянь-Шаня изменяется во времени от условий сжатия до условий горизонтального растяжения [1]. Причем эпизод резкого изменения условий от горизонтального сжатия в 1993 г. (взбросовый тип в очагах землетрясений составлял 70 %) до условий растяжения в 1994 г. (взбросовый тип составлял 48 %) в Тянь-Шане наблюдался также и в Байкальском регионе [2].

В данном исследовании показаны особенности временного хода превалирующих типов механизмов очагов и, соответственно, напряженно-деформированного состояния в Северном Тянь-Шане в связи с процессами, происходящими в магнитном поле Солнца.

Продемонстрировано, что сейсмоструктурные условия в Северном Тянь-Шане реагируют на 22-летний магнитный цикл Солнца (цикл Хейла). Среднегодовое количество взбросов, как правило, превышает 50 %, что свидетельствует об условиях горизонтального сжатия. Однако четко выделяются три временных интервала (1974–1976 гг., 1994 г. и 2013–2015 гг.), когда количество взбросов было ниже 50 %, т. е. преобладали сбросы, реализующиеся в условиях горизонтального растяжения. Сопоставление экспериментальных данных по механизмам очагов и напряженности магнитного поля Солнца позволяет отметить, что периоды аномального деформационного режима Северного Тянь-Шаня совпали с периодами максимальной напряженности общего магнитного поля Солнца, когда полярность на северном полюсе была положительной, а на южном полюсе – отрицательной.

Литература

1. Полешко Н. Н., Досайбекова С. Сейсмотектоническая обстановка по данным механизмов очагов землетрясений Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона Казахстана // Вестн. АО «КазНИИСА». 2016. № 4(9). С. 25–33.

2. Сейсмотектоническая активизация Байкальского региона в 1989–1995 годах: результаты экспериментальных наблюдений и численное моделирование изменений напряженно-деформированного состояния / П. Г. Дядьков [и др.] // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. С. 373–386.

О ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЯМИ В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЗЛОМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ, ГИДРОРАЗРЫВОВ И ЗАКАЧЕК ФЛЮИДОВ

**В. В. Ружич¹, А. Г. Вахромеев^{1,2},
С. А. Сверкунов², В. М. Иванишин²**

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
ruzhich@crbst.irk.ru.

²Иркутский национальный исследовательский
технический университет, г. Иркутск, Россия
andrey_igp@mail.ru

В докладе обсуждается разрабатываемая технология управления режимами деформаций в сейсмоопасных разломах с использованием горизонтального, наклонного и вертикального бурения, гидравлического разрыва породных массивов, а также закачек растворов различного состава. Цель – барическое воздействие на внутриразломную систему трещин. Для создания технологии используется многолетний опыт натурных испытаний в геологической и ледовой средах, физического и численного моделирования, а также опыт разведки, освоения бурением и эксплуатации месторождений нефти и газа на территории юга Сибирской платформы (Вахромеев, Иванишин, Сверкунов и др., 2015, 2017). Применение техногенных воздействий на выявленные и изученные глубинные участки потенциально сейсмоопасных разломов направлено на перевод фрикционного режима прерывистого высокоскоростного скольжения (stick-slip) в режим ускоренного асейсмического крипа.

При дальнейшем научно-практическом совершенствовании технологии актуальным условием становится выбор испытательного полигона, в котором необходимо наличие доступного крупномасштабного сейсмоактивного сегмента разлома, а также благоприятных гидрогеологических и горно-геологических условий. Тогда в

зоне разлома оправданно бурение глубоких наклонно направленных скважин, через которые можно осуществлять разнообразные воздействия на плоскости скольжения с применением эффекта гидроразрыва, чтобы раскрыть трещинную систему разлома и «накачать» в нее расчетные объемы жидкости с антифрикционными (триботехническими) добавками для снижения сдвигового сопротивления. Согласно накопленному опыту можно ожидать, что подобный способ гидродинамических воздействий, при необходимости дополненный виброимпульсным нагружением, позволит реализовать необходимое снижение накопленных в крыльях разломов избыточных напряжений и объема упругой энергии до безопасного фонового уровня посредством ее расходования на механическую работу и тепловые процессы. Очаги наиболее опасных землетрясений, формирующиеся в зонах активных разломов, по мнению многих ученых, в частности (Ружич, Кочарян, 2017), имеют протяженность во многие десятки-сотни километров. Поэтому участки проведения техногенных воздействий следует распределять в пределах зоны разлома, а отклики на воздействия контролировать с применением средств сервоуправления, чтобы исключить ситуации непреднамеренного спонтанного высвобождения упругой энергии недр. В последние два десятилетия в США, Японии, Китае, Германии и других странах проводятся испытания с глубоким наклонным бурением и закачками флюидов в сейсмоактивные разломы (Savage et al., 2017). В России и Монголии также есть благоприятные геолого-технологические условия для проектов, направленных на совершенствование способов управления деформациями в зонах сейсмоопасных разломов на полигонах Восточной Сибири.

ВАРИАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ И ОКРУЖАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

**В. А. Саньков^{1,2}, А. В. Лухнев¹, А. И. Мирошниченко¹,
Н. П. Перевалова¹, А. А. Добрынина¹, М. А. Лебедева¹,
А. В. Саньков¹**

¹ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
sankov@crust.irk.ru

² Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

³ Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия

Анализируются данные о современных вертикальных движениях земной поверхности территории Прибайкалья и Забайкалья. Крупномасштабные измерения методом нивелирования были проведены в регионе в XX в. Их результаты частично отражают неотектоническую составляющую движений, а в некоторых случаях связаны с заполнением Иркутского и Братского водохранилищ. С использованием результатов GPS-измерений на Байкальском геодинамическом полигоне нами получены новые данные о вертикальных движениях земной поверхности региона. В его пределах выделены области унаследованного развития и области инверсии движений. В частности, показано, что область устойчивого опускания связана с Ольхонско-Святоносской перемычкой, а в Западном Забайкалье за последние годы отмечается область опусканий на месте обширного поднятия, которое наблюдалось по данным наземных измерений.

На примере измерений в эпицентральных зонах Южнобайкальского 25.02.1999 ($M = 6.0$) и Култукского землетрясений 27.08.2008 ($M = 6.3$) на юге Байкала продемонстрированы проявления вариаций вертикальных движений, связанные с процессом подготовки сильных сейсмических событий.

Проанализированы характерные длинные ряды вертикальных движений по данным постоянных GPS-измерений, иллюстрирующих сезонные вариации, отличающиеся по амплитудам для разных пунктов. Спектральный анализ рядов показывает, что основной гармоникой в спектре являются колебания с периодами около 365 дней (годовая гармоника). Выделяются колебания, близкие к периоду полугодовой гармоник, а также пики в районе 120–130 и 80–90 дней. Годовые и полугодовые гармоники полностью совпадают с характерными колебаниями атмосферного давления и температуры в ре-

гионе. Экстремумы нагрузки от изменения уровня оз. Байкал (многолетний статистический минимум в апреле и максимум – в сентябре) не совпадают с экстремумами, связанными с барическими нагрузками (максимум атмосферного давления в январе и минимум – в июле). Те же закономерности характерны для колебаний уровня водохранилищ Ангарского каскада ГЭС с поправкой на наличие большой техногенной составляющей. Названные обстоятельства затрудняют выделение в рядах GPS-измерений сигнала, связанного с изменением уровней водных резервуаров.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке РФФИ и правительства Иркутской области, проект № 17-45-388088_p-a.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОН РАЗЛОМОВ РИФТОВЫХ ВПАДИН С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

**А. В. Саньков¹, А. А. Добрынина¹,
В. А. Саньков^{1,2}, А. Н. Шагун¹**

¹ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
sankov@crust.irk.ru

² Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Глубинное строение рифтовых впадин Прибайкалья и Забайкалья изучено крайне неравномерно. Наиболее известны детали внутреннего строения кайнозойской Байкальской впадины благодаря использованию методов сейсмического профилирования. Другие рифтовые впадины, как кайнозойские, так и мезозойские, изучены в этом отношении фрагментарно. Для исследований зон краевых и внутренних разломов рифтовых впадин нами применены методы микросейсмического профилирования, в частности метод спектральных отношений Накамуры (H/V-отношения) (Nakamura, 1989), а также анализ поляризации микросейсмических колебаний в зонах разломов в соответствии с подходами (Pischiutta et al., 2013). При изучении внутреннего строения рифтовых впадин и зон активных разломов измерения микросейсмического поля (МСП) проводились как на длинных профилях, пересекающих впадины, так и на профилях, ориентированных поперек простирания зон разломов. Время регистрации МСП в каждом пункте составляло от 30 мин и более.

В результате исследований было установлено сложное ступенчатое строение зоны Тункинского разлома под осадками северного борта кайнозойской Торской впадины. Во внутреннем поле впадины выявлены аномалии, которые могут интерпретироваться как погребенные вулканические потоки.

По данным профилирования, через Тункинскую впадину определено наиболее вероятное местоположение основного сместителя зоны Байкало-Мондинского сейсмоактивного разлома под километровой толщей осадков. Зона Тункинского разлома, обрамляющего впадину с севера, характеризуется наличием широкой переходной ступени, ограниченной с юга субпараллельным сместителем с высокоамплитудным опусканием фундамента.

Проведены исследования закономерностей проявления поляризации микросейсмических колебаний в крест и по простиранию зон активных разломов (Тункинского, Главного Саянского и др.). Направление горизонтальной поляризации колебаний и ее проявленность меняются как в крест, так и по простиранию разломов, что зависит от строения зоны разлома, степени раздробленности среды, наличия рыхлых осадков и их мощности.

В юго-восточном борту раннемеловой Чикойской впадины установлен узкий грабен, осложняющий внутреннюю структуру впадины. Зона краевого разлома северо-западного борта впадины, который подновлен в позднем плейстоцене, характеризуется проявленной горизонтальной анизотропией микросейсмических колебаний.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что методы микросейсмического профилирования дают возможность получить новую информацию о строении зон разломов под осадками рифтовых впадин и характере анизотропии сейсмических колебаний в зонах активизированных разломов.

Работа выполняется при поддержке интеграционной программы ФГБУН ИИЦ СО РАН, проект 3.2.

РАДОНОВАЯ И ТЕКТОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РАЗЛОМОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

К. Ж. Семинский¹, А. А. Бобров¹,
С. Дэмбэрэл², А. К. Семинский¹

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
seminsky@crust.irk.ru

²Институт астрономии и геофизики МАН, г. Улаанбаатар, Монголия

Характер взаимосвязи радоновой и тектонической активности разломов является одной из наиболее сложных проблем в геодинамике вследствие повышенной чувствительности газовых эманаций к разнотипным внешним и внутренним по отношению к Земле воздействиям. Вместе с тем для тектонически активных регионов в стандартных по содержанию урана геохимических обстановках вклад внутренних деформирующих сил в формирование поля радона доминирует, так как именно они определяют динамику напряженного состояния верхней коры, которая обуславливает выход газа в атмосферу.

Целью проведенных исследований было рассмотрение взаимосвязи радоновой и тектонической активности разломов на примере двух регионов Центральной Монголии. Это район сильного Могодского землетрясения ($M = 7.8$; 05.01.1967), а также окрестности Улаанбаатара, где, с одной стороны, в последние годы возросла сейсмическая активность, а с другой – проживает почти половина населения Монголии. Объектами исследования являлись 10 разрывных нарушений, пять из которых представлены разломами Улаанбаатарской площади и пять – прямолинейными сегментами крупных дизъюнктивов. Методика реализованной в ходе проведения работ профильной радоновой съемки, а также обработки ее результатов подробно изложена в статье [1].

В работе показана связь радоновой и тектонической активности разломов и установлено, как ее отдельные характеристики влияют на поле радона. Радоновая активность разломов в целом повышается с увеличением вклада растяжения в динамической обстановке их формирования, усилением сейсмической активности, а также у сосредоточенных дизъюнктивов поздних стадий развития по сравнению с широкими зонами разрывов ранних этапов формирования внутренней структуры. Неоднородное строение приразломной аномалии радона является ее неотъемлемым свойством и определяется, прежде всего, неравномерной нарушенностью субстрата разломной зоны разрывами и пространственными вариациями амплитуды смещения.

Работа выполнена в рамках Интеграционной программы ИИЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей (0341–2015–0001)».

Литература

1. Seminsky K. Zh., Demberel S. The first estimations of soil-radon activity near faults in Central Mongolia // Radiation measurements. 2013. Vol. 49. P. 19–34.

**КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОРАДАРНЫХ
И РАДИОИМПЕДАНСНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ
В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ**

В. Б. Хаптанов, Ю. Б. Башкуев, М. Г. Дембелов

Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
vkhaptanov@mail.ru

Рассмотрены вопросы комплексирования ОНЧ-НЧ и УВЧ-ОВЧ радиотехнических методов для радиоволновой диагностики разломных структур в земной коре в широком диапазоне радиоволн (от десятков килогерц до единиц гигагерц). Радиоимпедансное профилирование и зондирование в диапазоне ОНЧ-НЧ позволяют обнаружить и локализовать разломы в земной коре по изменению импеданса и геоэлектрического разреза. Георадиолокация разломных структур на УВЧ-СВЧ-частотах позволяет дифференцировать тонкую структуру разлома вплоть до отдельных сейсмодислокаций в осадочных и кристаллических породах и кинематику движений в разломной зоне. Представлены результаты радиофизической томографии разломов сейсмоактивной Байкальской рифтовой зоны в районах Тункинской впадины, южного и среднего Байкала. Определены электрофизические свойства и строение слоисто-неоднородных горных пород по данным наземных радиоволновых измерений в ОНЧ-НЧ- и ОВЧ-УВЧ-диапазонах. На примере озер Байкальского региона показаны возможности и особенности георадарной и радиоимпедансной диагностики акваторий. Сочетание радиолокационного принципа зондирования среды короткими электромагнитными импульсами со спектром в диапазоне 50–1700 МГц, реализованного в георадаре (глубинность 0.1–15 м), с методом радиоимпедансного зондирования непрерывными сигналами радиостанций в диапазоне 0.01–300 кГц (глубинность до сотен метров в диапазоне ОНЧ) позволяет получить подробную информацию о строении водной толщи

и осадочных отложений водоемов Байкальской рифтовой зоны. Комплексирование радиоимпедансного и георадарного зондирования – новая высокоразрешающая технология диагностики приповерхностного слоя литосферы и гидросферы.

ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕГО КАЙНОЗОЯ В РАЗРЕЗЕ БОДОН БАРГУЗИНСКОЙ ДОЛИНЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ

**А. Хассан^{1,2}, С. В. Рассказов^{1,3}, И. С. Чувашова^{1,3},
М. Н. Рубцова³, М. В. Усольева⁴**

¹Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

²Университет Аль-Басс, г. Хомс, Сирия
abdulmonemhassan86@gmail.com

³Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

⁴Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

Изучены осадочные отложения в разрезе южной части Баргузинской долины Байкальской рифтовой системы. Использован керн скважин 531 и 532, пройденных в районе с. Бодон в долине р. Ина. В разрезе охарактеризованы три стратона. Нижний представлен сероцветными угленосными миоцен-нижнеплиоценовыми отложениями танхойской свиты, залегающими на породах фундамента, средний – охристыми верхнеплиоценовыми – эоплейстоценовыми отложениями ановской свиты, верхний – пестроцветными четвертичными полифациальными отложениями. Танхойская свита расчленена на две толщи: нижнюю, полифациальную, и верхнюю, озерную. Для нижней толщи танхойской и ановской свит характерно преобладание в обломочном материале кварца, полевого шпата, биотита и рудного минерала. Обломки плохо сортированы, не окатаны. Полевые шпаты серицитизированы и пелитизированы, рудный минерал лимонитизирован. Цемент каолиновый и каолинит-гидрослюдистый. В отложениях верхней толщи танхойской свиты обломочный материал хорошо сортирован, слабо окатан и представлен кварцем, хлоритом, биотитом. Глинистый цемент распределен равномерно.

По результатам рентгеноструктурных исследований представительных образцов разновозрастных стратонов определены каолиновая, гидрослюдистая, смектитовая и хлоритовая ассоциации глинистых минералов. В отложениях нижней части разреза преобладает каолинит, присутствуют хлорит и группа гидрослюды – смектита.

В озерной толще танхойской свиты выявлено повышенное содержание глинистых минералов группы каолинита, гидрослюды и хлорита. По сравнению с отложениями нижней толщи танхойской свиты в отложениях аносовской свиты содержания глинистых минералов группы гидрослюды – смектита увеличиваются, содержания каолинита – снижаются.

Отложения нижней подсвиты танхойской свиты формировались в условиях гумидного климата при повышенной щелочности среды с изменениями стадии раннего эпигенеза, отложения озерной толщи – при влажном, умеренно влажном климате с изменениями стадии среднего эпигенеза, а отложения аносовской свиты – в условиях семиаридного климата с изменениями стадии позднего диагенеза.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЗЛОМНЫХ ЗОНАХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ (РЕЗУЛЬТАТЫ СТРУКТУРНО-ПАРАГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА)

А. В. Черемных

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

Парагенетический анализ геолого-структурных наблюдений о разрывах и трещиноватости горных пород в пределах разломных зон Западного Забайкалья позволил реконструировать напряженно-деформированное состояние верхней части земной коры региона. Изучены четыре крупные разломные зоны: Северо-Тугнуйская, Северо-Заганская, Хилокская и Чикой-Ингодинская. Проведенное исследование показало, что всё многообразие локальных разрывов может быть отнесено к двум (в зонах Чикой-Ингодинского и Хилокского разломов) или к трем (в зонах Северо-Тугнуйского и Северо-Заганского дизъюнктивов) основным этапам тектогенеза. Два этапа характерны для всех изученных разломных зон и являются результатом действия разновозрастных региональных полей напряжений – сжатия и растяжения с северо-запад – юго-восточной ориентировкой субгоризонтальных главных осей.

В разновозрастных породах, в том числе в кайнозойских осадках, района исследований широко распространены структурные парагенезы крупных сбросов восток-северо-восточного простирания, что наряду с механизмами очагов землетрясений свидетельствует о

молодом возрасте поля растягивающих напряжений. Для разломов восток-северо-восточной ориентировки в пределах Тугнуйской впадины и к юго-востоку от Чикойской депрессии реконструированы обстановки правостороннего сдвига. Кроме того, откартирован диагональный по отношению к впадинам левосторонний сдвиг (аз. прост. 30°), который «накладывается» на зоны Хилокского и Северо-Заганского дизъюнктивов. Данная структура для района исследований не типична, а ее проявление в кайнозойских осадках может быть обусловлено молодым возрастом образования разлома, что, вероятно, связано со сменой напряженного состояния верхней коры в регионе. Однако для выяснения генезиса этого дизъюнктива необходимы дальнейшие геолого-структурные исследования.

Так, впервые на количественной основе изучены парагенезы разломов Западного Забайкалья, реконструированы этапы формирования сети крупных разломов территории и кинематический тип систем разрывов 2-го порядка, составляющих внутреннюю структуру изученных дизъюнктивов на каждом этапе их тектонического развития.

Исследования выполнены при частичной поддержке проекта РФФИ № 16-05-00154.

SEISMOTECTONIC MAPPING OF MONGOLIA

G. Baatarsuren

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
baatarsuren@iag.ac.mn

The assessment of regional seismotectonic environment is very important for seismic safety evaluation of engineering sites, and it is essential to compile a regional seismotectonic map for the region where engineer site is. For reusing the work products of seismic hazard evaluations in past years and lessening repetitive hard work, it is valuable work to build a database of regional seismotectonic map for regions where a number of seismic safety evaluation of engineering sites have been accomplished.

In the past few years, we have accomplished many projects of micro seismic sites in Mongolia. Combining with the work of other groups, it is possible to build the database of regional seismotectonic map in Mongolia. As a useful desktop mapping software and ArcGIS provides a powerful solution for mapping geographic information. It is selected as the platform to build our database.

In database design of ArcGIS, the spatial information and attribute information are usually separated considering the large quantity of data, efficiency and convenience in analysis and query of spatial information. Separate design of spatial and attribute database is also convenient for extension and share of database.

The regional seismotectonic map is including: 1) age, type and kinetic characteristic of faults in Quaternary; 2) active fault segment; 3) range and sediment thickness of active basin in Quaternary; 4) characteristic of modern tectonic folded zone; 5) the epicenter distribution of earthquakes from M-3 to M-8 in Mongolia. This decides that the database of regional seismotectonic map is composed of multiple layer, multiple basic types and multiple relational tables.

The database of regional seismotectonic map of Mongolia on ArcGIS platform is built by using the separate design of spatial database and attribute dataset with the structure of multiple layers, multiple data types and multiple relational tables.

THE PRIMARY ESTIMATION OF THE STRESS FIELD ORIENTATION FROM FOCAL MECHANISM OF EARTHQUAKES AROUND ULAANBAATAR

A. Battsetseg, M. Ulziibat, D. Ganzorig

Department of Seismology, Institute of Astronomy and Geophysics of MAS
Ulaanbaatar, Mongolia
battsetseg@iag.ac.mn

Seismic activities have been observed around Ulaanbaatar city since 2005. Most of the population of Mongolia lives in Ulaanbaatar city therefore there was needed to do more detailed satellite image processing, seismology, geology and geophysics studies. Result of these studies were discovered active faults which are Emeelt, Khustai, Gunj and Avdar, Mungunmorit, Sharkhai and Avdar active faults.

Small earthquakes precisely monitoring has began about 20 years ago around the Ulaanbaatar city when first digital seismographs were installed. The data of the Ulaanbaatar city region collected by the UBM and UOM seismic networks which have been located by daily analysis. We selected about 116 events since 1994 with magnitude larger than 2.5 which should be recorded at least 4 stations.

We conduct relocation of hypocenter of the selected earthquakes. The focal depths before relocation are in the range between 2 and 15 km. It is important to perform relocation because take-off angles depend on

hypocenters which used for well focal mechanism determination. We used HYPOCENTER program with MNDC 2D velocity model for relocation.

We determined focal mechanisms of the selected earthquakes. In this study we used FOCMEC program (Snoke et al., 1984) to obtain focal mechanism solutions. We use P-wave polarity data from vertical component of short period and broadband seismograms and use SH/P amplitude ratio data from broadband seismogram. FOCMEC conduct a grid search to find acceptable focal mechanism solutions for given conditions on the minimal number of inconsistent polarity data. The first motion polarity of P wave are picked and measured from the vertical component of the seismogram.

We used STRESSINVERSE-inversion for stress field orientations from focal mechanisms. We used Matlab software package on Michael's method (1984, 1987) in which an instability criterion proposed by Lund & Slunga (1999) is incorporated. The input file of this program including focal mechanism fault azimuth, dip angle and rake angle.

GNSS GEODETIC NETWORK DEVELOPMENT IN MONGOLIA AND ITS APPLICATION TO GEODYNAMIC STUDY

D. Erdenezul

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
erdenezul@iag. ac. mn

The recent development and establishment of GNSS geodetic networks in Mongolia make it possible to define an increasingly detailed spatial and temporal resolution of the ongoing crustal deformation and to visualize the complex interplay between different orogens in Central Asia. The requirements for establishing permanent stations are based on both off-line and real-time data availability, imposed by global, regional geodetic and local survey actions.

The purpose of the study is to evaluate causes of the deformation and stress accumulation of the Mongolian territory by processing digital signals receiving from satellites and linking it with geological structure, and to study possibility of earthquake prediction.

All available GPS raw data from continuous sites in the time span 2010–2017 has been analyzed by using the Gamit/Globk software and constructed time series of GNSS stations referenced to a common reference frame that can give fundamental information for both regional and

local geodynamic studies and finally produced the tectonic velocity field providing an updated detailed picture of the kinematics (velocity map) and deformation pattern (strain rate map) of the Mongolian area.

We describe in detail the operations used to collect, archiving and processing the raw data in order to combine all these information into one uniform crustal velocity field.

The research method of geodynamic parameters fulfilled in plate tectonics of active regions of Mongolia, and numerical values of modern deformations received from these methods. Results can be further used for geo-kinematics purposes, and for a better understanding of the resent geodynamic processes that are deforming the lithosphere in Mongolia and surrounding regions and will be implemented for assessment of global deformation of the Earth's surface.

ACTIVE FAULT MODELLING BY GROUND PENETRATING RADAR TECHNIQUE: EXAMPLE OF SONGINO FAULT, ULAANBAATAR, MONGOLIA

**T.-A. Nyambayar, M. Bano, A. Schlupp,
M. Ulziibat, B. Byambakhorol, K. Tseedulam**

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
nyambayar@iag.ac.mn

The seismic activity observed in the vicinity of UB city has been increased since 2005. Several active faults has been identified around 150km of the UB city, for example Khustai fault (90 km long), Emeelt fault (40 km long), Avdar fault (60 km long), Sharkhai fault (75 km long), Batkhaan fault (30 km long), Songino fault (20 km long), Mungunmorit fault (60 km long) and Gynjin fault (20 km long). Their length and morphology indicate that they could be the results of earthquakes of magnitude 5.5 to 7.5. However, the fault geomorphology has been smoothed due to erosion processes and a low slip rate, and the exact location of the fault is thus hidden.

In such a context, the Ground Penetrating Radar (GPR) method gives good and useful results and can help to characterize faults by identifying offsets of radar reflections and buried fluvial channel deposits. In order to image and characterize these faults, we have conducted many GPR campaigns over active faults around UB during the period of 2010–2016. In our study we present some results of GPR measurements performed along the different structured faults. The objective is to understand its geometry

(dip, length, orientation) and the type of displacements and amplitude. In these surveys we used 250 MHz, 500 MHz shielded antenna and RTA 50 MHz unshielded antenna for different deep structure and also used a differential GPS in order to measure the topography. Moreover, trench has been dug in all the fault areas and also some samples have been collected for dating. The interpretation of some trench result combined with GPR images.

In such a context, the Ground Penetrating Radar (GPR) method gives good and useful results and can help to characterize faults by identifying offsets of radar reflections and buried fluvial channel deposits. In order to image and characterize these faults, we have conducted many GPR campaigns and the complex studies over active faults around UB during the period of 2010–2016. The objective is to understand its geometry (dip, length, orientation) and the type of displacements and amplitude. In these surveys we used 250 MHz, 500 MHz shielded antenna and RTA 50 MHz unshielded antenna for different deep structure and also used a differential GPS in order to measure the topography. Moreover, trench has been dug in the fault area. The interpretation and the fault modeling of trench result combined with GPR images.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И СЕЙСМИЧНОСТЬ

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ХАНГАЯ

**П. С. Бадминов, А. И. Оргильянов, Б. Намбар,
И. Г. Крюкова, С. В. Алексеев, Д. Сурмаажав,
Д. Оюнцэцэг**

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
prokop_sbad@mail.ru

Постоянный рост энергопотребления и сокращение запасов углеводородов стимулируют использование альтернативных источников энергии, в частности геотермальной энергии.

Геотермальная энергия (тепло земных недр) является экологически чистым, возобновляемым ресурсом. Одно из огромных преимуществ – его доступность. Постоянный поток тепла Земли обеспечивает неисчерпаемый источник энергии [1].

Теплоэнергетические воды с температурой на выходе 80–120 °С могут применяться для производства электроэнергии путем установки бинарных станций с легкокипящими газами замкнутого цикла. Такая технология позволяет использовать геотермальные ресурсы Земли сначала для получения электроэнергии, а затем для обогрева и горячего водоснабжения. Остывший теплоноситель закачивается обратно в реинжекционные скважины, расположенные выше сброса подземного потока. Вода, проходя сквозь горячий участок земной коры, снова нагревается, и этот источник тепла можно потреблять практически без потерь.

Термальные воды с температурой 40–70 °С используются для обогрева и горячего водоснабжения. Эксплуатация более холодных (субтермальных) вод с помощью тепловых насосов позволяет экономить электроэнергию и все чаще практикуется в Европе.

Термальные воды Хангая (Монголия) имеют температуру от 50 до 90 °С [2] и могут применяться в основном для горячего водоснабжения, а при бурении глубоких скважин – для производства электроэнергии. Неглубокие скважины на месторождениях Шиверт, Чулуут, Цэнхэр, Шаргалжут вывели на поверхность термальные воды с температурой 44–90 °С. Они используются для теплоснабжения курортов и в тепличном хозяйстве. Бурение глубоких скважин предполагает проведение дорогостоящего комплекса гидрогеологических, гидрохимических и геофизических работ, однако при сопоставлении с традиционными источниками энергии геотермальные ресурсы имеют ряд преимуществ: неисчерпаемость, близость к потребителю, полная автоматизация, экологическая чистота, экономическая конкурентоспособность. Этого вполне достаточно, чтобы отдать приоритет в теплоснабжении местным геотермальным ресурсам [3].

Литература

1. Leslie Blodgett. Geothermal 101: Basics of Geothermal Energy. Geothermal Energy Association, 2014. P. 6–7.
2. Писарский Б. И., Намбар Б., Арьядагва Б. Карта минеральных вод Монголии, М 1:2 500 000. Улаанбаатар : Гос. упр. геодезии и картографии Монголии, 2003.
3. Перспективы использования Горячинского месторождения термальных вод (Республика Бурятия) для целей теплоснабжения / П. С. Бадминов, С. В. Жарков, А. И. Оргильнов, И. Г. Крюкова, Д. Ганчимэг // Приоритеты и особенности развития Байкальского региона : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2011. С. 83–85.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДАРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ РОССЫПНОГО И РУДНОГО ЗОЛОТА

А. Д. Базаров

Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
adbazarov@yandex.ru

Георадарное сканирование является относительно молодым методом, широко внедряемым последние 10 лет в различные области, где необходимо изучение геологической среды на глубинах от долей метра до 100 м и более, с высокой разрешающей способностью.

Для разведочной геофизики на золото основными задачами для георадарного сканирования являются: определение глубин и рельефа коренных пород; поиск тальвегов древней гидросистемы; выделение зон тектонических нарушений; поиск и прослеживание кварц-сульфидных жил, штокверков. Для методических работ использовался низкочастотный георадар серии «Лоза» с антеннами 3 и 6 м,

позволяющий изучать геологическое строение россыпей до глубин порядка 50 м. Георадар «Лоза» состоит из двух модулей: передатчика, который излучает зондирующий широкополосный импульс с несущей частотой 50 или 25 МГц для антенн 6 и 3 м соответственно и амплитудой порядка 10 кВ; приемника, который принимает отраженный сигнал от границ тел с различными электрофизическими свойствами.

Методические работы были проведены на россыпном и рудном месторождениях золота: Рывеевском рудно-россыпном поле, расположенном на арктическом побережье Чукотки; в Восточном Саяне на Владимировском лицензионном участке. Рывеевская группа россыпей представляет собой одно из уникальнейших месторождений россыпного золота, выявленных на северо-востоке, аналогов которому как по набору генетических типов, так и по времени их формирования в мире нет. Располагаясь на низменном побережье Чукотки на площади около 70 кв. км, оно включает в себя комплекс богатых погребенных россыпей различного генезиса и возраста с общими запасами около 280 т.

Обобщая полученный материал, можно уверенно утверждать, что георадарное сканирование является высокоэффективным инструментом в разведочной геофизике для определения глубин и рельефа плотика, поиска тальвегов древней гидросистемы и прослеживания кварц-сульфидных жил, штокверков.

ПРОГНОЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ

**Ц. Батсайхан, С. П. Серебренников,
Г. Баттувшин, М. Улзийжаргал**

Институт астрономии и геофизики МАН, г. Улаанбаатар, Монголия
batsaikhan@iag.ac.mn

В течение последних 10 лет проведены детальные исследования очагов сильных землетрясений в окрестности г. Улаанбаатара, осуществлен тщательный анализ зоны сейсмической активизации Эмээлт.

Институтом астрономии и геофизики Монгольской академии наук по заказу от Министерства строительства и градостроительства Монголии в 2013–2015 гг. выполнены работы по сейсмическому микрорайонированию на территории г. Улаанбаатара, Эмээлтской зоны и районов Налайх, Багануур, Багахангай в масштабе 1:10 000.

В 2016 г. утверждена новая карта сейсмического микрорайонирования территории г. Улаанбаатара.

Наибольшую сейсмическую опасность для г. Улаанбаатара представляют зоны разломов Хустай и Гунж, которые учитываются в первую очередь при расчетах сейсмических воздействий.

Для архитектурного проектирования для участков будущего строительства рассчитываются синтезированные акселерограммы ожидаемых сильных землетрясений.

В статье подробно описаны исследования на участках будущего строительства в черте столицы Улаанбаатар.

СЕЙСМОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ МОНГОЛИИ

Г. Баяраа, А. В. Ключевский, В. М. Демьянович

Институт астрономии и геофизики МАН, г. Улаанбаатар, Монголия,
bayar.gangaa@gmail.com

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
akluhev@crust.irk.ru, vmdem@mail.ru

На территории Монголии к генеральным разломным структурам относятся системы глубинных линеаментов Центральной Азии: Монголо-Охотского – Болнайский разлом, Главного Монгольского – Богдинский разлом, Западного Монголо-Алтайского – Фуюньский разлом, Восточного Монголо-Алтайского – Кобдинская зона разломов. В этих структурах в XX веке произошли катастрофические землетрясения – Цэцэрлэгское ($M = 7.6$; $I_0 = 10$), Болнайское ($M = 8.2$; $I_0 = 11-12$), Монголо-Алтайское ($M = 8.0$; $I_0 = 11$), Гоби-Алтайское ($M = 8.1$; $I_0 = 11-12$), Могодское ($M = 7.8$; $I_0 = 10-11$) и огромное количество менее значительных сейсмических событий. Разломные структуры и реализованные землетрясения находятся в определенной связи: в отдельных крупных разломах происходят редкие сильные землетрясения, а на многочисленных мелких разломах – большое число менее значительных сейсмических толчков.

Поскольку сейсмоактивные разломы имеют различную протяженность и могут генерировать землетрясения разного энергетического класса (магнитуды), чтобы оценить энергетический потенциал таких разломов и величину возможных землетрясений, нами обобщены материалы по параметрам разломов и построена карта сейсмоэнергетического потенциала активных в кайнозое основных разло-

мов Монголии. На этой карте энергетический потенциал разломов характеризуется логарифмом сейсмического момента – параметра, определяющего работу по перемещению «очагового» блока в стесненных условиях литосферы, и моментной магнитудой M_W возможного толчка.

Анализ азимутального распределения землетрясений обусловлен поиском связи сейсмичности, разломной тектоники и фокальных механизмов сильных землетрясений. Проведенные расчеты и построения показали, что в каждой очаговой зоне имеется преимущественная направленность распространения сейсмичности, которая соответствует ориентировке зоны основного разлома. Анализ временных изменений динамических параметров в секторах указывает на сохранение в целом наблюдаемой картины распределения с резкими изменениями суммарных параметров после достаточно сильных землетрясений, вызвавших усиление сейсмической деятельности.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ СОСТОЯНИЙ ЗДАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ УЯЗВИМОСТИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Ю. А. Бержинский, Л. П. Бержинская, А. П. Ордынская

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

Траектория состояния здания (ТС) представляет собой функциональную зависимость ускорения основания от средней степени повреждения, рассматриваемую для двух состояний здания – в «условно упругом» и в состоянии, близком к предельному. ТС по своему физическому смыслу тесно связаны с нормативным коэффициентом допускаемых повреждений K_1 . Величина, обратная коэффициенту K_1 , показывает, во сколько раз ускорение основания, вызывающее наступление предельного состояния здания, больше расчетного ускорения, при котором здание находится в условно упругом состоянии.

Знание ТС позволяет описать механизм перехода здания в предельное состояние, характеризуемое степенью повреждений $d \geq 3$. Уравнение ТС может быть получено как экспериментальным, так и теоретическим путем, например, с помощью сейсмической шкалы. Для кирпичного (тип Б по шкале MSK-64, класс С6 по шкале MMSK-86) и крупнопанельного (тип В, класс С7) зданий уравнения ТС имеют вид соответственно:

$$d = I - 5.4, \quad d = 1.075 I - 7.1, \quad (1)$$

где I – ускорения основания в баллах, d – степень повреждения здания.

С помощью формулы (1) может быть оценена интенсивность землетрясения в баллах (с точностью до 0.1 балла), при которой здание получит различные степени повреждений. Согласно шкале ШСИ-2017, инструментальная часть которой построена на отказе от принципа удвоения кинематических параметров, зависимость между ускорением основания в физических единицах и баллами имеет вид: $\ddot{Y}_0 = 0.1771 \cdot \exp(0.9201 I)$.

Используя эту зависимость, получим ускорения основания, при которых здания различных классов сейсмостойкости, получают разные степени повреждений, в том числе при переходе в предельное состояние: для кирпичного здания (К)/ крупнопанельного (КПД) в см/с²: при 1-й степени повреждений – $\ddot{Y}_0 = 64/176$, при 2-й степени – $\ddot{Y}_0 = 160/441$, при 3-й степени – $\ddot{Y}_0 = 402/1010$ и при 4-й степени – $\ddot{Y}_0 = 1010/$.

Известны также соотношения между уязвимостью зданий V (относительной стоимостью их восстановительного ремонта) и степенью повреждения. Используя эти соотношения, получим оценки уязвимости зданий при различной степени их повреждений (К/КПД): при $d = 1 V = 0.02/0.02$, при $d = 2 V = 0.10/0.06$, при $d = 3 V = 0.20/0.15$, при $d = 4 V = 0.45/$.

Таким образом, информация о траекториях состояний зданий различных классов сейсмостойкости является достаточной для оценки их уязвимости.

СПИТАК-1988: МАССОВЫЕ ОБРУШЕНИЯ КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ СЕРИИ 111 МОЖНО БЫЛО ПРЕДОТВРАТИТЬ

Ю. А. Бержинский, Л. П. Бержинская, А. П. Ордынская

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

Специалистам хорошо известен факт массовых обрушений каркасно-панельных жилых домов серии 111 при Спитакском землетрясении. Только в г. Гюмри (Ленинакане) из 65 жилых домов этой серии 58 зданий были признаны подлежащими сносу при степени по-

вреждений $d = 3.5-5.0$. В Заключении государственной комиссии указано, что тяжелые последствия землетрясения были обусловлены тремя основными факторами: 1) более высокой интенсивностью сейсмического воздействия по сравнению с нормативными значениями; 2) нарушением требований нормативных документов и низким техническим уровнем проектных решений; 3) низким качеством строительно-монтажных работ.

Первый из этих факторов хорошо известен. В изучении сейсмичности территории Большого Кавказа доминировала московская школа сейсмологов, представители которой считали, что на Кавказе не ожидается землетрясений с магнитудой $M = 7.0$ и выше, вследствие чего интенсивность землетрясений прогнозировалась на уровне 7–8 баллов. Однако исследования, проведенные сибирскими сейсмогеологами (В. П. Солоненко, В. С. Хромовских), с применением палеосейсмогеологического метода подняли потолок магнитуд до $M = 8$, что привело к прогнозу интенсивности землетрясений 9–10 баллов.

К сожалению, практически остались неизвестными события 1976 г., связанные с вибрационными испытаниями серии 111 в г. Ереване. По результатам экспериментальных исследований, проведенных ЦНИИЭП жилища, было подготовлено отрицательное заключение. Таким образом, за 12 лет до сейсмической катастрофы непригодность серии 111 для строительства в сейсмическом районе была известна. Вместо того чтобы принять срочные меры по устранению проектных и строительных дефектов серии 111, Госстрой Армении оспорил как результаты испытаний, так и методику их проведения. На руководителя лаборатории д-ра техн. наук, проф. Г. А. Шапиро было оказано беспрецедентное давление, однако он отказался переделывать заключение в угоду заказчику. Несмотря на это, НТС Госкомархитектуры удовлетворил просьбу Госстроя Армении и разрешил продолжить строительство жилых домов серии 111 с незначительными замечаниями. В Заключении государственной комиссии от 1989 г. дословно сказано: проекты (серии 111) не могут применяться для строительства в сейсмических районах без коренной переработки. Итог безответственного решения, принятого на уровне республиканского ведомства, – тысячи погибших и потеря жилищного фонда серии 111 в объеме сотен тысяч квадратных метров. Такова цена профессиональной некомпетентности и ведомственных амбиций.

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗВИТИЮ НАУЧНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ АКТИВНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

Л. П. Брагинская, А. П. Григорюк, В. В. Ковалевский

Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
ludmila@opg.sccc.ru

Определение основных закономерностей изменения геофизических полей, выделение их аномалий являются основой решения широкого спектра прогностических задач, способствуют лучшему пониманию природы происходящих в литосфере геодинамических процессов. В последние десятилетия широкое развитие получили методы активного геофизического мониторинга, основанные на исследовании отклика литосферы на искусственные воздействия различной физической природы.

ИВМиГ СО РАН участвует, начиная с 1995 г., в экспериментальных работах по активному вибросейсмическому мониторингу литосферы в сейсмоопасных районах России. В последнее десятилетие авторами данной работы развивалась научная информационная система (НИС) для комплексной поддержки исследований в области активной сейсмологии.

Основой контента НИС является накопленный в результате многолетнего геофизического мониторинга экспериментальный материал, не имеющий аналогов в мире ни по длительности наблюдений, ни по регулярности, ни по площади охвата сейсмоопасной территории. НИС обеспечивает доступ пользователей к данным, полученным в ходе полевых и вычислительных экспериментов по глубинному зондированию Земли, средствам их визуализации и анализа, имеет картографический сервис, а также включает в себя пополняемую пользователями тематическую электронную библиотеку, содержащую отчеты, полные тексты статей и другие документы.

В данной работе предложен онтологический подход к развитию научной информационной среды для исследований в области активной сейсмологии, который обеспечивает интеграцию информационных ресурсов без их физического слияния. Данный подход обеспечивает содержательный доступ к цифровым научным данным, а также позволяет исследователям получить наиболее полное представление как о предмете изучения и результатах исследований, так и о научной деятельности и персонах, развивающих различные методы активной сейсмологии и смежных областей научных знаний.

К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА НА ВСЕХ ЭТАПАХ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

**И. В. Буддо¹, И. А. Шелохов¹,
Н. В. Мисюркеева¹, Ю. А. Агафонов²**

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
biv@ierp.ru

² Иркутское электроразведочное предприятие, г. Иркутск, Россия

Существуют четыре этапа геолого-разведочных работ (ГРР) на нефть и газ: региональный, поисковый, разведочный и промышленная разработка. На каждом этапе решаются особые геологические задачи, для которых характерно усложнение на каждом последующем этапе. Для решения соответствующих задач применяется комплекс методов исследований, включающих ряд методов наземной геофизики (сейсморазведка, электроразведка, грави- и магниторазведка, дистанционные зондирования и т. д.), геохимию, бурение и геофизические исследования в скважинах (ГИС). На каждом этапе ГРР применяется соответствующий комплекс методов исследований, оптимальный для решения задач необходимой детальности. Подобно усложнению комплекса методов, на каждой стадии ГРР применяется геоэлектрическая модель – результат электроразведочных работ – соответствующей детальности. Данная последовательность усложнения геоэлектрических моделей характерна для стадийности изучения нефтегазоконденсатных месторождений Восточной Сибири [1].

Детальность геоэлектрической модели месторождений нефти и газа зависит от геоэлектрических свойств изучаемого разреза (контраста), качества полевого материала, наличия априорной информации о разрезе, а также решаемой геологической задачи. Следовательно, для каждого этапа ГРР присущи особые геологические задачи, а значит, и степень детальности геоэлектрической модели.

Опыт применения электроразведки ЗСБ на разных этапах ГРР показывает, что для каждого этапа свойственна соответствующая детальность геоэлектрической модели. На начальных этапах исследований (региональном и поисково-оценочном) метод ЗСБ может применяться без опоры на сейсморазведку, привнося в региональную геологическую модель информацию о поведении удельного электрического сопротивления основных интервалов разреза. Вместе с тем решение более «тонких» задач – оценки фильтрационно-емкостных свойств и типа насыщения коллектора – требует повышения детальности геоэлектрической модели и комплексирования с данными сейсморазведки ЗД, ГИС и результатами исследования ядра.

Литература

1. Современная практическая электроразведка / А. В. Поспеев, И. В. Буддо, Ю. А. Агафонов, М. В. Шарлов, С. В. Компаниец, О. В. Токарева, Н. В. Мисюркеева, В. В. Гомульский, Л. В. Суров, А. И. Ильин, В. С. Емельянов, Е. В. Мурзина, Р. Г. Гусейнов, И. К. Семинский, Р. В. Шарлов, А. Г. Вахрамеев, Е. А. Сен. Новосибирск : Гео, 2018. 231 с.

МОРФОЛОГИЯ ПЛОТНОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ УЛААНБААТАРСКОГО РАЙОНА ПО ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Б. Буянтогтох¹, Е. Х. Турутанов², Б. Тэнгис¹

¹ Институт астрономии и геофизики МАН, г. Улаанбаатар, Монголия,
buyantogtokh@iag.ac.mn

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

Площадной гравиметрической съемкой среднего масштаба покрыты Тольская (Улаанбаатарская) кайнозойская впадина, Налайхская угленосная мезозойская котловина и Богдуулинский средневерхнеюрский гранитоидный массив. Работы выполнены с помощью гравиметров scintrex autograv CG-5 по стандартной методике. Высоты пунктов наблюдения определялись приборами Trimble 5700 GPS. Среднеквадратическая точность вычисления гравитационных аномалий и густота сети наблюдений отвечают техническим требованиям, предъявляемым к гравиметрическим съемкам масштаба 1:100 000. Поправка за рельеф введена в радиусе 200 км.

По результатам гравиметрической съемки получены карты аномалий силы тяжести в редукции Буге исследуемых объектов. На основе интерпретации полученных данных построены схемы изопахит осадочных отложений впадин и объемная модель гранитоидного массива.

Максимальная мощность осадочных отложений Тольской впадины составляет 400 м, Налайхской – 800 м. Мощность (толщина) гранитоидного массива доходит до 9 км. Сведения о мощности осадков и морфологии фундамента впадин вместе со сведениями о форме и размерах Богдуулинского массива могут быть использованы при инженерно-сейсмологических работах по уточнению сейсмической опасности отдельных участков Улаанбаатарского района и г. Улаанбаатара.

Данные о подземной геометрии гранитоидного массива могут быть полезны при заключении о перспективах его металлогенической специализации, признаки которой в отношении отдельных минералов связаны с особенностями его формы и установлены геолого-геофизическими и геохимическими исследованиями.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ МАНТИЙНО-КОРОВОГО МИГРАНТА

**В. И. Васильев, Е. В. Васильева,
Н. С. Жатнуев, Г. Д. Санжиев**

Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
geovladi@yandex.ru

На глубине H под барьером прочности S за счет привноса глубинного вещества формируется камера с пониженной плотностью D относительно плотности среды R . В процессе формирования мощность камеры L_c растет. Разность плотностей $(R - D)$ приводит к тому, что по достижении камерой критической мощности избыточное давление в камере сравнивается с прочностью вышележащего барьера; в последнем происходит гидроразрыв, являющийся триггером сейсмического события, и вещество камеры заполняет образовавшуюся вертикальную полость. Образование мигранта контролируется следующим условием:

$$\int_0^{H+L_c} gR(H + L_c)d(H + L_c) - \int_0^H gRHdH - \int_H^{H+L_c} gDL_c dL_c \geq S, (1)$$

где g – ускорение свободного падения. В выражении (1) первые два члена в левой части – это литостатические давления внешней среды в подошве камеры и на прочностном барьере соответственно; третий член – гидростатическое давление в подошве камеры. Вся левая часть представляет собой избыточное давление вещества. После образования мигранта высоты L существует три варианта развития событий в зависимости от объема камеры:

1) объема камеры достаточно для формирования мигранта с глубины H до поверхности ($L \approx H$) – происходит излияние вещества мигранта на дневную поверхность (примером могут служить базальтовые траппы);

2) объем камеры формирует мигрант, высота которого значительно превышает глубину залегания прочностного барьера ($L > H$), – происходит выброс (эксплозия) вещества мигранта (пример – кимберлитовые «трубки взрыва»);

3) высота мигранта значительно меньше глубины залегания прочностного барьера ($L < H$) – мигрант движется вверх по механизму, предложенному Н. С. Жатнуевым [2].

Реализация модели выполнена на языке C++ в виде платформы моделирования – программного продукта VladI Overpressure 4.0

(32-битное приложение для Microsoft Windows), позволяющего задавать входные параметры, функции и ограничения и получать на выходе численные и визуальные (2D) результаты согласно методике [1]. Расчет скорости подъема мигранта производится по одному из пяти уравнений: Ньютона, Риттингера, Стокса, Аллена – Лященко, Спера.

Литература

1. Васильев В. И. Объектно-ориентированный подход в компьютерном моделировании геологических явлений и процессов // Вестн. ИрГСХА, 2013. Вып. 57, ч. 1. С. 79–86.
2. Жатнуев Н. С. Динамика глубинных магм // Докл. РАН. 2010. Т. 430, №6. С. 787–791.

ВЕРХНЕЛЕНСКОЕ НЕОТЕКТОНИЧЕСКОЕ СВОДОВОЕ ПОДНЯТИЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ КРАЕВОЙ ОБЛАСТИ СИБИРСКОГО КРАТОНА – КРУПНЫЙ ОБЪЕКТ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**А. Г. Вахромеев, А. М. Мазукабзов, И. В. Горлов,
А. М. Станевич, Г. Г. Шемин, Г. Я. Шутов,
А. С. Смирнов, Н. В. Мисюркеева**

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
andrey_igp@mail.ru

Кайнозойский этап эволюции зон нефтегазонакопления на Сибирской платформе рассмотрен в ограниченном ряде научных работ (Геология, 1981; Конторович, 1986; Шутов, 1987; Фукс, 2000 и др.). По А. Э. Конторовичу и др. (1986), мезозойско-кайнозойский этап истории формирования Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции сыграл *«огромную роль»*, которая выразилась в *«интенсивном прогреве осадочного чехла, интенсифицировавшем процессы нефтегазообразования; в переформировании структурного плана и струйном перетоке УВ в новые ловушки; в резком снижении температур осадочного чехла и формировании мощных толщ ММП»*. К неотектоническому этапу активизации относят серьезную по масштабам структурную перестройку перикратонных областей Сибирской платформы, в первую очередь ее восточного и юго-восточного борта в связи с формированием Байкальской рифтовой зоны (Мазукабзов, 2003) на фоне общих неотектонических деформаций региона. В докладе рассматривается Верхнеленское антиклинальное поднятие, или «свод», главный положительный структурный элемент Ангаро-Ленской ступени в северо-восточной части Иркутского амфитеатра (Флоренсов, Логачев, 1962; Золотарев, 1974; Шутов, 1987). В контурах свода обнаружены и разведаны гигантское Ковыктинское газо-

конденсатное месторождение (КГКМ) и ряд более мелких месторождений. По результатам геолого-разведочных работ (ГРР) доказанный контур газоносности КГКМ расширился не только на запад, но на север и юго-восток. На востоке месторождение практически «пересекло» принятую геологическую границу Ангаро-Ленской ступени как платформенной структуры и «ушло» в Предпатомский краевой прогиб, что доказано бурением и испытанием скважин Хандинского участка. Анализ геологических материалов ГРР по Ковыктинскому ГКМ и смежным площадям позволяют утверждать, что контуры Ковыктинской зоны нефтегазонакопления (ЗНГН) сопоставимы с границами Верхнеленского свода (Вахромеев и др., 2017), она локализована в рифейском, вендском терригенном и карбонатном (автохтон) и кембрийском карбонатном (аллохтон) природных мегарезервуарах. Распределение пустотного пространства в каждом из этих мегарезервуаров подчинено своей геологической природе и развивалось многоэтапно. При этом формирование современной геолого-структурной картины свода – итог многоэтапной структурно-тектонической перестройки, эволюции краевой области Сибирского кратона.

Локализация группы газоконденсатных месторождений в зоне сочленения двух региональных геологических структур (и двух нефтегазоносных областей – типично платформенной и перикратонной) – веское основание к пересмотру модели формирования структурного плана природных резервуаров и их заполнения газоконденсатными пластовыми углеводородными системами на заключительном кайнозойском этапе переформирования залежей углеводородов (Конторович и др., 1986). Тезис о современном периоде формирования термобарических условий пластовых углеводородных систем юга Сибирской платформы (Фукс, 2000) трактуется значительно шире, в ключе поэтапной смены направлений миграции углеводородов и окончательных контуров месторождений, сформированных в неогее, что доказано сегодня бурением.

Системная подготовка сырьевой базы углеводородов для газодобывающей промышленности (Иркутский кластер ПАО «ГАЗПРОМ») видится за счет открытия и разведки газоконденсатных месторождений в пределах общей структуры неотектонического Верхнеленского свода. Перспективны как юго-восточные (относительно КГКМ) области поднятия, так и западные склоны южной части Предпатомского осадочного бассейна – Казачинской депрессии Предпатомского регионального прогиба (Конторович и др., 1995; Шемин и др., 2017) и северо-западные – Прибайкальского прогиба.

МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧНОСТИ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В АДДИТИВНОЙ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЕ

В. М. Демьянович, А. В. Ключевский

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
vmdem@mail.ru

В работе представлены предварительные результаты моделирования и исследования «аддитивной» сейсмичности, накопленной в зонах нескольких основных сейсмоактивных разломов Монголо-Сибирского региона за 50 лет мониторинга. Применение подхода продиктовано тем, что при суперпозиции полей эпицентров стохастические проявления сейсмичности нивелируются, а регулярная компонента структуры разломной сейсмичности усиливается. Зона Белино-Бусийнгольского разлома взята за основу, на которую были последовательно добавлены эпицентры землетрясений из других зон разломов (Тункинский, Цэцэрлэгский, Окинский, Морской, Ольхонский, Баргузинский, Ковоктинский, Муяканский, Уколкитский). Устранение влияния разной длины разломов выполнено путем нормировки координат эпицентров толчков на длину каждого разлома L . По времени слияние происходит в хронологическом порядке. В дальнейшем временные параметры, в том числе и энергетические, рассчитываются как привязанные ко времени, так и в пошаговом режиме.

Исходя из эргодичности динамической системы сейсмичности, такую модель можно рассматривать как некий суммарный разлом с большим набором событий за сейсмический цикл и как систему одновременно деформируемых разломов. Модель аддитивной разломной зоны дает возможность проанализировать структуру и динамику распределения землетрясений и сейсмотектонической энергии в трансляции на большой временной период (сейсмический цикл), а также выявить сейсмотектонические аномалии, обусловленные строением и напряженно-деформированным состоянием литосферы в зоне разлома.

В рамках предложенной модели получены основные характеристики изменения сейсмичности в пространстве, времени и по энергии в аддитивной разломной зоне. Установлено, что распределение толчков вдоль зоны имеет преимущественно случайный характер. Поперек зоны сейсмические события создают преимущественно нормальное распределение с повышенной концентрацией толчков около зоны разлома. Наиболее значительные изменения в пространственно-временной и энергетической структуре сейсмичности происходят при реализации сильных землетрясений с длительными и мощными сериями афтершоков.

К ЗАДАНИЮ ИСХОДНЫХ СИГНАЛОВ В ПРЕДЕЛАХ СЕЙСМОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН МОНГОЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

В. И. Джурик, Е. В. Брыжак, С. П. Серебренников

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

Оценка вероятных сейсмических воздействий для территорий строительства связана с необходимостью набора сейсмогеологических данных, наличия обоснованных сейсмических моделей и сформированных исходных сигналов. Получение таких данных осложняется, когда территория исследований испытывает сильные воздействия из нескольких эпицентральных зон и расположена в пределах криолитозоны.

Исходный сигнал по своим параметрам должен отвечает сейсмическому воздействию прогнозируемого сильного землетрясения для определенной категории грунтов исследуемой территории. Для их задания используются записи землетрясений как временными, так и постоянными сейсмическими станциями. В этом случае исходные записи зарегистрированных местных землетрясений отвечают колебаниям грунтов в основаниях регистрирующих приборов. Грунтовые основания под сейсмостанциями не являются однородными как по составу, так и по состоянию, а параметры колебаний грунтов зависят от времени года. Выделены «летние» и «зимние» формы спектров и частотных характеристик верхних слоев, различающиеся по частотам основного максимума и его уровню. Для дальнейшего их использования, для решения наших задач, необходимо исключить влияние приповерхностных неоднородностей грунтовых слоев, связанных не только с составом грунтов, но и с годовыми вариациями температур. Эта задача является наиболее актуальной при районировании сейсмической опасности территорий криолитозоны и направлена на усовершенствование прогноза сейсмических воздействий сильных землетрясений для выделяемых сейсмоклиматических зон Восточной Сибири.

Анализировались землетрясения, произошедшие в течение последних 20 лет и зарегистрированные сетью постоянных сейсмических станций в рассматриваемом регионе. Отбирались землетрясения с магнитудой больше 3, энергетическим классом больше 10 и эпицентральной расстоянием в большинстве случаев от 40 до 250 км. Полученные результаты конкретизированы в направлении реше-

ния поставленной основной задачи, связанной с учетом влияния мерзлотных условий на регистрируемый спектральный состав колебаний при землетрясениях и на обнаружение проявления сейсмичности в различных сейсмоклиматических зонах Северной Монголии и Сибири.

Полученные данные необходимы для решения задач фундаментальной и прикладной сейсмологии, районирования сейсмической опасности и расчета сейсмических воздействий для прогнозируемых сильных землетрясений в регионе.

ДВУМЕРНОЕ КАРТИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАТУХАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В БАЙКАЛЬСКОМ РИФТЕ

А. А. Добрынина^{1,2}, Е. А. Горбунова¹

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
dobrynina@crust.irk.ru

²Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

В настоящей работе приведены результаты исследования латеральных вариаций параметров затухания сейсмических волн (сейсмической добротности по прямым волнам и коде, зависимости добротности от частоты и коэффициента затухания, внутреннего затухания и затухания вследствие рассеяния на неоднородностях среды) на территории Байкальской рифтовой системы и их связи с геолого-геофизическими характеристиками региона.

В качестве исходных данных использовались значения параметров затухания, полученные авторами ранее в работах [1–3]. Двумерное картирование региона по параметрам затухания было выполнено согласно методу [4], реализованному авторами в программе Quality. Карты латеральных вариаций параметров затухания строились с осреднением $0.10^\circ \times 0.10^\circ$, $0.15^\circ \times 0.15^\circ$, $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ в зависимости от покрытия рассматриваемой территории сейсмическими трассами «источник – приемник».

Анализ пространственных вариаций затухания сейсмических волн показывает мозаичное распределение параметра сейсмической добротности в пределах рассматриваемого региона. В рифтовых впадинах наблюдается чередование областей с высоким затуханием со сравнительно узкими районами со слабым затуханием.

Совместный анализ карт кумулятивного сейсмического момента, плотности эпицентров, теплового потока и поверхностной плот-

ности разломов продемонстрировал, что максимальное затухание наблюдается в областях с наиболее высоким уровнем сейсмической активности и плотности разломов, при этом такие области не всегда совпадают с местами наибольшей концентрации сейсмических событий. Наибольшее затухание характерно для областей с высоким уровнем теплового потока.

Литература

1. Dobrynina A. A. Coda-wave attenuation in the Baikal rift system lithosphere // *Phys. Earth Planet. In.* 2011. Vol. 188. P. 121–126. doi: 10.1016/j.pepi.2011.05.008.
2. Spatial changes of seismic attenuation and multiscale geological heterogeneity in the Baikal Rift and surroundings from analysis of coda waves / A. A. Dobrynina, V. A. Sankov, V. V. Chechelnitzky, J. Déverchère // *Tectonophysics.* 2016. Vol. 675. P. 50–68.
3. Факторы, влияющие на затухание сейсмических волн в литосфере в зонах континентального рифтогенеза / А. А. Добрынина, В. А. Саньков, Ж. Девершер, В. В. Чечельницкий // *Геодинамика и тектонофизика.* 2017. Т. 8, № 1. С. 107–133. doi: 10.5800/GT-2017-8-1-0234.
4. Mitchell B., Cong L., Ekström G. A continent-wide map of 1-Hz Lg coda Q variation across Eurasia and its relation to lithospheric evolution // *J. Geophys. Res.* 2008. B04303, doi: 10.1029/2007JB005065.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОСЕЙСМ В БАЙКАЛЬСКОМ РИФТЕ ПО ДАННЫМ ДЛИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

А. А. Добрынина^{1,2}, А. В. Саньков¹, В. А. Саньков^{1,3}

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
dobrynina@crust.irk.ru

²Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

³Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Микросейсмы (микросейсмический шум) наблюдаются на всей поверхности Земли и в зависимости от своих свойств несут информацию как о ее верхних, так более глубоких частях. По происхождению микросейсмы можно разделить на экзогенные (связанные с внешними источниками: волнение воды, ветер, деятельность человека) и эндогенные (обусловлены внутренними источниками, процессами трещинообразования в объеме геосреды, смещением блоков горных пород, перестройкой структур за счет тектонических сил и деформирующих воздействий различной природы). В настоящей работе приводятся результаты наблюдений за микросейсмическим полем на стационарных короткопериодных сейсмических станциях Байкальского региона (рабочая полоса частот ~0.5–10(20) Гц).

Для исследования временных вариаций микросейсмического поля использовался метод спектральных отношений Накамуры [1] (H/V -отношения), а также спектрально-поляризационный анализ. Для анализа применялись записи микросейсм, полученные на разных сейсмических станциях в один промежуток времени. Чтобы избежать случайных ошибок (техногенные помехи, транспорт, землетрясения, погодные условия и др.), брался отрезок записи длительностью не менее 1 часа. Для учета суточных, недельных и сезонных вариаций рассматривались данные непрерывной регистрации за сутки, в разные дни недели (будни, выходные) и в разные сезоны (лето, зима).

Полученные кривые H/V для разных сейсмических станций делятся на три группы: 1) с устойчивой кривой H/V , независимо от сезона (станции Закаменск, Кумора, Листвянка, Монды, Неляты, Онгурены, Орлик, Суво, Тупик, Уакит, Улюнхан, Уоян, Хапчеранга, Чара, Чита); 2) с заметными суточными или сезонными вариациями кривой H/V (станции Аршан, Иркутск, Нижнеангарск, Северомуйск, Талая, Тырган); 3) с неустойчивой кривой H/V (станции Бодайбо и Кабанск).

Анализ спектров горизонтальных и вертикальных компонент для станций 2-й группы показывает большее увеличение амплитуд горизонтальных колебаний относительно вертикальных для летнего периода. Это увеличение может быть связано с изменением в волновом составе микросейсм в зависимости от сезонных и техногенных условий. Для большинства станций 2-й группы сезонные вариации кривых H/V могут быть обусловлены приливными и прибойными эффектами на оз. Байкал – станции расположены на береговой линии (Нижнеангарск, Тырган, Талая, Кабанск). Вариации кривой H/V для станций Иркутск, Северомуйск, Бодайбо объясняются присутствием сильных техногенных помех (транспорт, ГЭС, железная дорога).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-45-388088_p-a).

Литература

1. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // QR Railw. Tech. Res. Inst. 1989. Vol. 30. P. 25–33.

**КУЛТУКСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2008 ГОДА
С $M_w = 6.3$ НА БАЙКАЛЕ: О МОДЕЛИ ПОДГОТОВКИ
И ПОСТСЕЙСМИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**П. Г. Дядьков, А. А. Дучкова, М. П. Козлова,
Д. А. Кулешов, Ю. М. Романенко, Л. В. Цибизов**

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
DyadkovPG@ipgg.sbras.ru

27 августа этого года исполняется 10 лет Култукскому землетрясению на Южном Байкале с $M_w = 6.3$, которое явилось наиболее сильным событием в Байкальской впадине за последние почти 60 лет. За прошедшее десятилетие выполнен анализ большого объема экспериментального материала, предложены модели подготовки и реализации этого землетрясения. Выявлен ряд изменений в физических полях, предшествующих этому событию.

Целью доклада является анализ и обобщение результатов комплексных исследований для определения наиболее вероятной геодинамической модели подготовки Култукского землетрясения. В докладе будут рассмотрены следующие важные вопросы, ответы на которые способствуют выполнению этой цели и выяснению механизмов сопутствующих процессов в земной коре этого района.

1. Определение структурных особенностей земной коры района Култукского землетрясения: выделение «жестких» блоков, выяснение их роли в процессе подготовки этого события.

2. Рассмотрение возможной роли региональных и мегарегиональных сейсмических активизаций в подготовке и генерации Култукского землетрясения и его возможной связи с сильнейшими событиями в ближайших зонах коллизии и субдукции.

3. Совместный анализ данных мониторинга напряжений (тектономагнитные наблюдения) (Дядьков и др., 2016) и деформаций (деформографические, GPS-наблюдения) (Тимофеев и др., 2012; Лухнев и др., 2010) и абсолютных измерений силы тяжести.

4. Анализ предложенных моделей подготовки и результатов их численного моделирования, включая модель с зоной деформационной тени.

По данным о пространственном распределении сейсмичности и аномального магнитного поля выделены основные структурные и реологические неоднородности в земной коре этого района, в том числе два жестких блока, взаимодействие которых с Сибирской платформой могло играть определяющую роль в формировании области подготовки и характере реализации Култукского землетрясения.

Тектономагнитными наблюдениями зарегистрирован процесс стабилизации изменений напряженного состояния перед Култукским землетрясением (2006–2008 гг.) и его релаксация в 2008–2011 гг. на отрезке Главного Саянского разлома, примыкающем к Байкальской впадине. Здесь же в этот период имело место сейсмическое затишье.

Нельзя исключать влияния на подготовку этого землетрясения и его реализацию сейсмической активизации, имевшей место в Центральной Азии в 2008 г.: прежде всего это землетрясение Вэнчуань в Китае 12 мая 2008 г. с $M = 7.9$, а также ряд событий в Байкальской рифтовой системе, включая землетрясение 16 августа 2008 г., с $M = 5.4$, севернее зоны Бусингольской активизации. Сразу после этого события нами были зарегистрированы значимые изменения в магнитном поле в пункте Талая.

После 2012 г. наблюдается дальнейший спад значений аномального магнитного поля, что может свидетельствовать о соответствующих изменениях напряжений согласно магнитоупругой модели среды (Дядьков и др., 2017).

Численные эксперименты на 3D-модели с блочной структурой показали, что при сцеплении жесткого Зун-Муринского блока с Сибирской платформой вблизи будущего очага могла существовать зона деформационной тени, характеризующаяся разуплотнением среды и наличием вблизи этой зоны участка с высокими тангенциальными напряжениями.

Исследование частично поддержано РФФИ 17-05-01234, междисциплинарным проектом 34 СО РАН и программой ФНИ IX.128.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ МОНГОЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

А. Ю. Ескин, В. И. Джурик, Е. В. Брыжак

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

В целом геофизическими методами планировалось решение широкого круга задач: исследование разломных зон, уточнение их морфологии, определение глубин залегания подземных вод и оценка сейсмической опасности территорий, перспективных для использования гидротермальных ресурсов Северного Хангая Монголии и юга Иркутской области России.

Данные же исследования территории Монголо-Сибирского региона проводились для выявления наиболее перспективных участков расположения подземных вод как на территории России, так и на территории Северного Хангая.

Для решения поставленной задачи применялся комплекс геофизических методов, включающий в себя сейсморазведку (метод преломленных волн (МПВ)) для изучения верхней части геологического разреза (до глубины 15–20 м) и электроразведку (метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ)) для изучения разреза до глубины 100–150 м.

Работы выполнялись в течение нескольких полевых сезонов. Вначале основное внимание уделялось изучению электрических и сейсмических параметров грунтов верхней части разреза в районе аймачного центра Цэцэрлэг, всего 6 участков. В дальнейшем исследования были продолжены с целью получения геоэлектрического разреза на глубину до 50–100 м в районе источников Шиверт – Аршан, Халун – Ус, на р. Снежной; кроме того, обследованы термальные источники Чулуутын аршан, Бор – Тал.

По результатам работ следует отметить, что наиболее информативными для решения поставленных гидрогеологических задач являются электроразведочные методы, так как термальные воды имеют удельное сопротивление, выраженное в Ом·м, на 1–2 порядка ниже по сравнению с вмещающими скальными породами. Это в полной мере подтверждается работами, выполненными методом ВЭЗ, основополагающим при создании геолого-геофизических моделей.

При изучении верхней зоны геологического разреза, особенно в Монголии, применение сейсморазведки, которая отмеченные задачи решает с высокой достоверностью, весьма целесообразно. Для комплексной интерпретации гидро-геофизических данных и оценки сейсмических свойств грунтов данный метод крайне необходим. Поэтому сейсморазведка в комплексе с электроразведкой позволят получить более достоверные геофизические данные для решения намеченных задач.

ЦЕПОЧКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЛИТОСФЕРЕ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ И СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ

А. А. Какоурова, А. В. Ключевский, В. М. Демьянович

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
anna1015@crust.irk.ru

Для выявления цепочек землетрясений в литосфере Байкальского региона нами был разработан способ определения и выделения цепочек сейсмических событий, основанный на статистическом азимутальном анализе большого количества землетрясений в широком диапазоне энергетических классов [1]. В отличие от разработанных ранее приемов выделения цепочек [2; 3], данный способ является формализованным и пригоден для поиска цепочек как сильных, так и слабых землетрясений.

С помощью разработанного способа произведено определение и выделение цепочек землетрясений Южного Прибайкалья и Северной Монголии в секторах допустимой нелинейности $q = 10^0$ (300 цепочек) и $q = 20^0$ (625 цепочек) и исследованы пространственные, временные и энергетические закономерности их распределения. Установлено, что большинство выделенных цепочек состоят из $n = 3$ землетрясений, однако встречаются цепочки, состоящие из $n = 4$ сейсмических событий. Число цепочек землетрясений возрастает примерно в два раза с увеличением сектора допустимой нелинейности от $q = 10^0$ до $q = 20^0$. Графики годовых чисел цепочек показали, что число цепочек возрастает с ростом годовых чисел землетрясений. Азимуты цепочек соответствуют ориентации основных сейсмоактивных разломов. Графики распределения логарифма числа цепочек разных энергетических классов указывают на уменьшение числа цепочек землетрясений с ростом энергетического класса толчков, а наклоны этих графиков имеют значения -0.48 ; -0.46 и -0.42 в районе и двух участках соответственно [1].

Литература

1. Ключевский А. В., Какоурова А. А., Демьянович В. М., Ключевская А. А., Черных Е. Н. Способ определения цепочек землетрясений в эпицентральной поле сейсмичности. Заявка № 2017131805.
2. Levina E. A., Ruzhich V. V. The seismicity migration study based on space-time diagrams // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2015. Vol. 6, N 2. P. 225–240. <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2015-6-2-0178>.
3. Новопашина А. В. Методика выявления миграции сейсмической активности Прибайкалья средствами ГИС// *Геоинформатика*. 2013. № 1. С. 33–36.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДЕЛИ СРЕДЫ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОЛЕБАНИЙ СКАЛЬНОГО ГРУНТА (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ)

**А. В. Ключевский, В. М. Демьянович,
Г. М. Ружников, В. В. Парамонов**

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
akluchev@crust.irk.ru, vmdem@mail.ru

Институт динамики систем и теории управления СО РАН, г. Иркутск, Россия,
rugnikov@icc.ru, slv@icc.ru

Новейшие исследования по общему сейсмическому районированию территории Российской Федерации показали, что более 15 % общей площади страны занимают чрезвычайно опасные в сейсмическом отношении 8–10-балльные зоны, требующие выполнения обязательных антисейсмических мероприятий. Научное обоснование сейсмического районирования предполагает анализ геолого-геофизических особенностей природной обстановки, сочетающей в себе геологическое строение, рельеф, геодинамические факторы и сейсмичность. Настоящая работа направлена на выявление и учет особенностей очаговой среды и физических процессов, происходящих в очаговых зонах землетрясений Южного Прибайкалья. Эти особенности связаны с геологическим строением, структурой, вещественным составом, напряженно-деформированным состоянием и скоростью деформации очаговой среды и обусловлены геодинамическими факторами и сейсмическим режимом. На практике они проявляются различным уровнем и формой амплитудного спектра Фурье сейсмических событий, зарегистрированных на одинаковом гипоцентральноном расстоянии от землетрясений одного энергетического класса, но произошедших в разных сейсмогенных зонах.

Модельный расчет средних динамических параметров упругих колебаний скального грунта от землетрясений Южного Прибайкалья выполнен для трех городов юга Восточной Сибири – Иркутска, Ангарска и Усолье-Сибирского. Установлено, что:

1) если величину максимально возможного энергетического класса землетрясений Южного Прибайкалья принять равной $K_{\max} = 18$, то рекуррентные интервалы толчков с $K = 16$ составят около 120 лет. Вероятность реализации землетрясения такого класса на исследуемой территории в течение 50 лет равна $P = 0.34$ и доста-

точно высока, чтобы считать реальной возможность такого толчка в Южном Прибайкалье;

2) уравнения корреляции динамических параметров очагов и энергетического класса землетрясений вычислены для совокупностей землетрясений, произошедших в пределах элементарных площадок размером $1.0^\circ \times 1.0^\circ$. На основании уравнений выполнены расчеты средних значений максимальной амплитуды и периода колебаний скального грунта в городах Иркутске, Ангарске и Усолье-Сибирском. Установлено, что при одинаковом энергетическом классе землетрясений наиболее сильные сотрясения в Иркутске, Ангарске и Усолье-Сибирском могут быть вызваны толчками из зоны Главного Саянского разлома.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 17-57-44006).

ВЕРИФИКАЦИЯ СКОРОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ АКТИВНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

**В. В. Ковалевский, Л. П. Брагинская, А. П. Григорюк,
А. Г. Фатьянов, Д. А. Караваяев, Ц. А. Тубанов**

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

В докладе рассмотрена задача верификации скоростных моделей земной коры на основе применения математического моделирования и методов активной сейсмологии. Рассматриваются две скоростные модели земной коры, полученные для юга Байкальской рифтовой зоны и сопредельных областей Монголии на близких профилях в экспериментах BEST (Baikal Explosion Seismic Transect) и PASSCAL (Program for the Array Seismic Study of Continental Lithosphere). Представлены результаты математического моделирования полных волновых полей для этих моделей и данные глубинных вибросейсмических зондирований, проведенных ИВМиМГ СО РАН и ГИН СО РАН в этом регионе.

МИГРАЦИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ В ПРИАМУРЬЕ

Т. В. Меркулова

Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН,
г. Хабаровск, Россия
merculova@itig.as.khb.ru

Одной из составляющих сейсмического процесса является существование направленной миграции землетрясений в зонах динамического влияния разломов или векторных тенденций в распределении максимумов выделившейся сейсмической энергии. Изучение миграции землетрясений для территории Восточного Приамурья выполнялось по профилям, выбор которых базировался на разломно-блоковой структуре, структурированности сейсмичности, направлении аномалий геофизических полей и линейментов рельефа региона. По профилям анализировалась миграция землетрясений с $M \geq 3$, $M \geq 3.5$, $M \geq 4$, $M \geq 4.5$. В результате выбиралось то распределение, где миграция землетрясений фиксировалась достаточно уверенно. Для определения направления миграции эпицентров и оценки скорости были построены графики, на оси абсцисс которых откладывается длина профиля, по оси ординат – даты этих событий. Далее строились линии регрессии, по которым определялась скорость.

В большинстве случаев для профилей северо-восточного, северо-западного и субширотного направлений отмечается разнонаправленный характер миграции с запада (юго-запада) на восток (северо-восток) или с востока (юго-востока) на запад (северо-запад). Скорости миграции в отдельных профилях северо-восточного, северо-западного и субширотного направлений несколько различаются, но в большинстве случаев скорость с запада в пределах одного профиля характеризуется большими величинами, чем с востока. Для профилей северо-восточного направления скорость с запада 7–45 км/год, с востока 7–21 км/год. Для профилей северо-западного направления скорость с запада имеет величину 10–42 км/год, с востока 4–15 км/год. Максимальными значениями характеризуется скорость по профилям субширотного направления – от 12–29 км/год, иногда достигая 45–70 км/год, с востока величина скорости составляет 7–18 км/год. По профилям субмеридионального простирания миграция устанавливается только в некоторых случаях. Миграция землетрясений в основном направлена с севера на юг. Скорость с севера составляет 6–30 км/год, что выше скорости с юга – 3–7 км/год. Таким образом, величина скорости по профилям разного направления

составляет в среднем 3–45 км/год, что согласуется с данными по соседним регионам.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ (проект № 16-05-00097а).

ВОЗМОЖНОСТЬ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ФЛЮИДОПРОНИЦАЕМОСТИ РАЗЛОМНЫХ ЗОН КОМПЛЕКСОМ ГЛУБИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

**Н. В. Мисюркеева¹, И. А. Шелохов¹,
И. В. Буддо¹, Ю. А. Агафонов²**

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
mnv@ierp.ru

²Иркутское электроразведочное предприятие, г. Иркутск, Россия

Геологический разрез осадочного чехла месторождений Восточной Сибири характеризуется сложными горно-геологическими условиями бурения. В составе всех стратиграфических уровней разреза осадочного чехла находятся горизонты-коллекторы, проявляющиеся осложнениями в процессе бурения, такими как поглощение бурового раствора и вскрытие зон с аномально высоким пластовым давлением (АВПД) насыщающего флюида (высокоминерализованная пластовая вода) [1].

Представляется, что в соленосной формации многочисленные интенсивные поглощения и рапопроявления свидетельствуют о наличии в ней пластов-коллекторов с высокой емкостью и проницаемостью, а значительные диапазоны варьирования коэффициента аномальности и высоты пьезоуровней – об энергетической возможности подземных перетоков между пластами в различных направлениях (вверх и вниз). Перетоки происходят в основном по вторичным трещинам, которые пересекают и карбонатные, и соляные пласты [1]. Коллекторы приурочены к интервалам трещиноватости и кавернозности карбонатных образований (преимущественно доломитам), в качестве флюидоупоров выступают мощные прослои солей.

В данной работе авторами рассматриваются подходы к исследованию и картированию тектонических нарушений осадочного чехла, а также оценке их флюидопроницаемости на основе данных высокоплотных геофизических съемок: сейсморазведки МОВ ОГТ 3D и электроразведки методом зондирования становлением поля в ближней зоне в модификации 3D (3D ЗСБ). За счет большого количества

пространственных накоплений и высокой вертикальной разрешающей способности данные методы позволяют картировать разрывные нарушения, характеризующиеся различной степенью флюидопроводности [2]. Указанный комплекс методов является эффективным при решении проблемы картирования разрывных нарушений для целей прогноза горно-геологических условий бурения, а также прогноза перспектив газоносности резервуаров карбонатно-галогенной части разреза.

Литература

1. Вахромеев А. Г. Закономерности формирования и локализации месторождений промышленных рассолов в карбонатных каверново-трещинных резервуарах кембрия юга Сибирской платформы : монография. Иркутск, 2015.

2. Возможность оценки степени флюидопроницаемости разломных зон комплексом глубинных геофизических методов / Н. В. Мисюркеева, И. В. Буддо, И. А. Шелохов, А. Г. Вахромеев, Ю. А. Агафонов, И. В. Горлов, А. С. Смирнов // ГеоБайкал-2018. Иркутск, 2018.

ГЛУБИННАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО ДАННЫМ СТАНЦИИ «САЯНСК»

**В. В. Мордвинова¹, М. А. Хритова^{1,2},
М. М. Кобелев^{1,2}, Е. А. Кобелева^{1,2}**

¹Институт земной коры СО РАН,

²Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия hritova@crust.irk.ru

Юг Сибирской платформы не относится к сейсмически опасным районам. За последние 25 лет на территории, ограниченной 53–60° N и 99–106° E, произошли всего два десятка сейсмических событий, имеющих техногенный характер, из которых можно выделить довольно сильное Богучанское землетрясение 17 января 2014 г. с $K_p = 13.3$. Тем не менее предрасположенность к сейсмическим подвижкам обусловлена историей развития окраины Сибирской платформы, отразившейся не только в ее поверхностной структуре, но и в глубинной, что выяснено на примере окружающей г. Саянск территории. Она относится в основном к позднеархейскому, переработанному в раннем протерозое Окинскому террейну, контактирующему на юго-востоке (особенно в мантийной части) с позднеархейской Урикско-Китойской зоной тектонического мегамеланжа [1].

С целью детального исследования неоднородностей скоростной структуры земной коры и мантии этого района в 2014 г. в г. Саянске Институтом земной коры установлена сейсмическая станция (SAY, 54.10° N, 102.17° E). За 2014–2016 гг. удалось записать с хорошим качеством 136 сильных ($M > 5.5$) далеких ($\Delta \geq 30\text{--}90^\circ$) землетрясений со всех направлений относительно сейсмостанции, кроме северного, при наибольшем их количестве с юго-востока (95). Методом продольной приемной функции (P receiver function, или PRF) в модификации Л. П. Винника с соавторами [2] для каждого из 30-градусных диапазонов азимутов рассчитана зависимость скорости поперечных сейсмических волн от глубины, $V_S(h)$. Стандартная ошибка $V_S(h)$ одномерных моделей порядка 0.1 км/с. По построенным моделям можно увидеть, что коромантийный переход преимущественно резкий, толщина коры составляет 40 км. Средняя скорость поперечных S-волн в средней коре 3.7–3.8 км/с, непосредственно под корой 4.3–4.5 км/с.

Более наглядно скоростную структуру в окрестности точки наблюдения представляют круговые модели до глубины 70 и 270 км, разработанные нами на базе одномерных и двумерных моделей с учетом так называемого сейсмического сноса. При среднем угле падения сейсмических лучей на дневную поверхность в точке приема около 25° и максимально доступной методу PRF глубине исследования 270 км радиус основания конусовидной области зондирования вокруг станции оценивается в 150 км.

На круговой модели до 70 км выявляется сложная скоростная структура без явной оси симметрии относительно станции, которая могла бы служить свидетельством мантийного современного или «вмороженного» течения. Однако в азимутальных диапазонах 210–270° и 90–150° можно проследить схожесть в распределении в коре высокоскоростных слоев, что может быть реакцией глубин на сжатие примерно в направлении восток – запад. Это предварительный результат, поскольку еще недостаточно телесеизмических данных для северного азимутального диапазона (от 330 до 30°).

Литература

1. Эволюция южной части Сибирского кратона в докембрии / под ред. Е. В. Склярова. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2006. 367 с.
2. Kosarev G. L., Petersen N. V., Vinnik L. P. et al. // J. Geophys. Res. 1993. Vol. 98 (B3). P. 4437–4448.

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА КОНТАКТЕ СИБИРСКОГО КРАТОНА И ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА

**В. В. Мордвинова¹, Е. А. Кобелева^{1,2},
М. А. Хритова^{1,2}, М. М. Кобелев^{1,2}**

¹ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

² Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия

ekobeleva@crust.irk.ru

Современная южная граница Сибирского кратона довольно условна, поскольку его первичные контуры неизвестны и не установлены истинные амплитуды горизонтальных перемещений по ограничивающим разрывным зонам [1]. Между тем именно знание более точной конфигурации и характера границ Сибирского кратона позволит обоснованно судить о его взаимодействии со смежными тектоническими областями. Предварительные геофизические исследования по Юго-Западному Прибайкалью позволяют полагать, что фундамент кратона прослеживается далеко под горное сооружение Хамар-Дабан, т. е. под складчатую систему [2].

Деять широкополосных сейсмостанций в ключевой в тектоническом отношении зоне сочленения докембрийского Сибирского кратона с Центрально-Азиатским подвижным поясом (ЦАПП) позволили дополнить исследования глубин с помощью более детального по сравнению с томографией метода продольных приемных функций [3]. По изменению форм приемных функций найдены азимутальные диапазоны с потенциально разнородной скоростной структурой, для них рассчитаны одномерные $V_S(h)$ модели от поверхности до глубины 70–80 км. Вместе с полученными ранее [4] они включены в скоростные разрезы вдоль профилей различного направления.

При ближайшем рассмотрении уже построенных и вновь полученных моделей можно сделать вывод о важном влиянии конфигурации глубинных форм кратона на существующую тектоническую обстановку и геодинамическую историю. Моделирование убедительно показало, что разница в глубинных контактах Сибирского кратона на южной и юго-восточной стороне, кстати, не так сильно удаленных друг от друга, неслучайна. Она объяснима окружающей тектонической обстановкой и, в свою очередь, объясняет ее. Визуализируемые с помощью сейсмических скоростей черты глубинного строения свидетельствуют о коллизии прочного кратона с менее плотной южной областью. Выявлено наличие тепловых ловушек на

откосах кратона, которые нарушают свободную конвекцию и способствуют накоплению энергии, питающей щелевой рифтогенез. Одной из таких ловушек является верхний «козырек» на юго-востоке кратона. Инициация Байкальского рифтогенеза могла начаться именно на юге из-за вынужденного растяжения и разломообразования литосферы при конвергенции юго-западной окраины Сибирского кратона с ЦАПП вследствие удаленного воздействия Индо-Евразийской коллизии. Дальнейшее развитие рифта в северо-восточном направлении на окраине кратона, вероятно, обеспечено своеобразной цепной реакцией в зрелой флюидизированной литосфере кратона, его ролью как индентора и, безусловно, наличием энергетических ловушек [5].

Литература

1. Эволюция южной части Сибирского кратона в докембрии / под ред. Е. В. Склярова. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2006. 367 с.
2. Low seismic velocity layers in the Earth's crust beneath Eastern Siberia (Russia) and Central Mongolia: receiver function data and their possible geological implication / Yu. Zorin [et al.] // *Tectonophysics*. 2002. Vol. 359 (3–4). P. 307–327.
3. Receiver functions for the Tien Shan analog broadband network: contrast in the evolution of structures across the Talasso-Fergana fault / G. L. Kosarev, N. V. Petersen, L. P. Vinnik, S. W. Roecker // *J. Geophys. Res.* 1993. 98 (B3). P. 4437–4448.
4. Мордвинова В. В., Дешам А., Дугармаа Т. и др. Исследование скоростной структуры литосферы на Монголо-Байкальском трансекте 2003 по обменным SV-волнам // *Физика Земли*. 2007. № 2. С. 11–22.
5. Глубинное строение переходной зоны Сибирской платформа – Центрально-Азиатский подвижный пояс по телесейсмическим данным / В. В. Мордвинова, М. М. Кобелев, А. В. Треусов, М. А. Хритова, Д. С. Трынкова, Е. А. Кобелева, О. Ф. Лухнева // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2016. Т. 7, № 1. С. 85–103.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ СООТНОШЕНИЕ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВЫХОДОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЕ

А. В. Новопашина, Е. А. Кузьмина

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
e-mail: anek_sanek@mail.ru

Для территории Байкальской рифтовой системы (БРС) рассмотрены особенности пространственного взаиморасположения активных тектонических структур, выходов подземных вод и роев землетрясений, произошедших в период инструментальных наблюдений 1974–2016 гг. В палетке $0.37^{\circ} \times 0.37^{\circ}$ получено количество активных разломов (n), выходов холодных и термальных источников и число

попаданий роев землетрясений в квадрат палетки. Анализ распределений количества источников и попаданий роев в квадрат палетки по параметру плотности разломов ($1 \leq n \leq 26$ при размере палетки $0.37^\circ \times 0.37^\circ$) показал, что количество всех источников (холодных и горячих) на единицу площади прямо пропорционально n , а количество термальных источников и роев землетрясений возрастает с увеличением n до определенного узкого диапазона выше среднего значения ($n = 9.8$), затем снижается. В области значений n выше среднего попадает 80 % всех (горячих и холодных), 90 % термальных источников и 83 % роев землетрясений.

На всем спектре плотности активных разломов общее количество источников в ячейках палетки без попаданий роев землетрясений в разы превосходит количество источников в ячейках с роями и сильными сейсмическими событиями. То есть рои землетрясений происходят чаще в областях с меньшим количеством источников, как холодных, так и термальных. Но в диапазоне плотности 10–13 соотношение обратное. Для данной области повышенных значений плотности разломов (выше среднего, но не максимальных) характерна высокая активность недр: совместное проявление максимального количества роев землетрясений и гидротермальных источников с высокой и средней температурой.

Структура сети плотности разломов отражает гетерогенность земной коры Байкальской рифтовой системы. Аномально высокая плотность разломов n связана с трещиноватым межблоковым пространством, для которого характерны множественные, но менее горячие термальные источники и миграционные последовательности слабых и умеренных сейсмических событий. Пониженная плотность разломов связана с консолидированными блоками земной коры, обрамляемыми глубинными региональными разломами, к которым приурочены редкие, но более горячие термальные источники. Роевые события также связаны с глубинными разломами, разделяющими области высоких и низких значений n .

ПРОГНОЗ ЗОН ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОГО САЯНА

**А. А. Оцимик, В. В. Лесков, В. В. Гомульский,
С. А. Безденежных, Ю. А. Агафонов**

Иркутское электроразведочное предприятие, г. Иркутск, Россия
оaa@ierp.ru

Метод георадиолокационного подповерхностного зондирования базируется на излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства [2].

При проведении георадарных работ применялся георадар «ЛЮ-ЗА-1Н», с помощью которого возможно исследование геологической структуры на глубины до 60 м в стандартной комплектации и до 200 м с передатчиками повышенной мощности (в зависимости от поглощающих свойств породы) [1].

Испытания проводились в пределах одного из золоторудных месторождений Восточного Саяна в условиях резкорасчлененного рельефа с колебанием высот от 700 до 3400 м над уровнем моря.

Золото-полисульфидная минерализация рудного поля парагенетически связана с гранитоидными штоками холбинского комплекса.

В результате георадарных зондирований в условиях Восточного Саяна:

- 1) изучен разрез на глубину 225 м;
- 2) путем сопоставления полученных данных с известными эталонными объектами сформирован комплекс критериев для выявления потенциально рудоносных объектов в пределах площади работ;
- 3) заверена аномалия, выявленная по результатам геофизических работ методом переходных процессов;
- 4) выявлены дополнительные прогнозные зоны рудной минерализации;
- 5) по профилям, отработанным с применением двух антенных комплексов – 3 и 10 м, в пределах выявленных минерализованных зон согласно методике [3] выделены потенциально рудоносные кварцевые жилы.

Литература

1. Беркут А. И., Копейкин В. В., Морозов П. А. Подповерхностное зондирование с помощью геофизического комплекса «ЛЮЗА»: метод. рекомендации. ВНИИСМИ, 2012.
2. Владов М. Л., Судакова М. С. Георадиолокация. От физических основ до перспективных направлений : учеб. пособие. М. : ГЕОС, 2017. 240 с.
3. Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных : учеб. пособие. М. : Изд-во МГУ, 2008. 192 с.

МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧНОСТИ ПРИБАЙКАЛЬЯ И ЗАБАЙКАЛЬЯ

А. А. Папкина, Н. А. Гилёва, М. А. Хритова

Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия
alalp@inbox.ru

Байкальская рифтовая зона – это уникальный регион мира, который отличается высокой сейсмической активностью. Известны такие сильные землетрясения, как Цаганское (12.01.1862), при котором интенсивность сотрясений в эпицентре достигала $I_0 = 10$ баллов. В результате землетрясения под воду ушла территория площадью около 230 км^2 , образовался новый залив – Провал. В XX веке сильнейшим землетрясением на оз. Байкал стало Среднебайкальское (29.08.1959) силой $I_0 = 9$ баллов. Общая площадь, охваченная сотрясениями при нем, составила около 700 тыс. км^2 . В последние годы высокий сейсмический потенциал Байкальской рифтовой зоны также подтверждается сильными землетрясениями, такими как Култукское (27.08.2008, $M_w = 6.3$, $I_0 = 8-9$) с эпицентром в акватории Южного Байкала.

В настоящее время Байкальский филиал Геофизической службы РАН располагает сведениями о сильных землетрясениях исторического прошлого, а также информацией более чем о 250 тыс. землетрясений, зарегистрированных в результате инструментальных наблюдений, которые проводятся в Прибайкалье с 1901 года. В последнее десятилетие в зоне регистрируется в среднем более 10 тыс. слабых и сильных землетрясений в год. Служба срочных донесений Прибайкалья и Забайкалья уже более 60 лет, используя различные виды связи, собирает данные с региональных станций и, обрабатывая их, отправляет в дальнейшие инстанции. За последние пять лет в службы МЧС России переданы сведения, включая макросейсмические данные, о 211 землетрясениях с магнитудой $M \geq 3.9$ со средним временем подачи 17.7 мин с момента события. Кроме того, результаты обработки сильного землетрясения незамедлительно публикуются на сайте БФ ФИЦ ЕГС РАН. Наличие в пределах Байкальской зоны объектов хозяйственно-бытовой инфраструктуры предполагает проведение мониторинга развития сейсмического процесса для исключения катастрофических последствий от сильных землетрясений. Важно, чтобы система наблюдений отличалась надежностью, быстротой реагирования и наименьшей погрешностью получаемых данных.

В 2018 г. в составе сети Байкальского филиала Геофизической службы РАН работает 25 сейсмических станций, оборудованных

короткопериодной и длиннопериодной аппаратурой. В последние годы на семи станциях БФ ФИЦ ЕГС РАН в дополнение к имеющимся приборам установлены современные трехкомпонентные широкополосные высокочувствительные сейсмометры Guralp CMG-3ESPCD.

Все станции имеют доступ в Интернет, что дает возможность реализовать применение программ, решающих проблему автоматической отправки фрагментов волновых форм землетрясений (программа Send Agent) со станций и получения (программа Receive Agent) в центре сбора в режиме, приближенном к реальному времени. Это сокращает время обработки сильных землетрясений, улучшает качество выдаваемых данных, а также позволяет осуществлять оперативный контроль состояния регистрирующей аппаратуры. Также в центре сбора работает программа автоматической обработки региональных землетрясений AutoBykl. Более 50 % землетрясений зоны с $K_p \geq 9.5$ обрабатываются программой AutoBykl в течение в среднем до 5 мин с момента землетрясения. Разница между автоматической локализацией эпицентров и определениями операторов в большинстве случаев не превышает 10 км.

Дальнейшее расширение сети сейсмологических наблюдений на территории Прибайкалья и Забайкалья, оснащение новым современным оборудованием и средствами связи положительно скажется на детальности сейсмологических исследований и на результативности сеймотектонического мониторинга территории региона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФИНАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА

Е. И. Пономарёва

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

В докладе представлены результаты ретроспективного анализа и оценок периодов подготовки ощутимых и сильных с $M \geq 4.5$ землетрясений, находящихся на финальной стадии, что представляет важность для прогноза местоположения очагов будущих опасных сейсмических событий. Основное внимание уделялось землетрясениям в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ), но также использовались некоторые мировые данные о сильных землетрясениях. В финальную

стадию подготовки землетрясений включались две фазы – предшествующая форшоковая активизация и последующая фаза сейсмического затишья.

Для исследований были использованы программы EQ и EQ Wave (Менакер И. Г. и Левина Е. А.), позволяющие визуализировать пространственно-временную динамику сейсмического процесса. Исходные данные с 1960 по 2017 г. были взяты из мирового каталога землетрясений USGS / National Earthquake Information Center (NEIC) и каталога, предоставленного Байкальским филиалом ФИЦ ЕГС РАН (г. Иркутск). Акцент сделан на подготовке локализованных очагов отдельных землетрясений с $K \geq 12$ ($M \geq 4.5$) в БРЗ и с $K \geq 15.0$ ($M \geq 6.5$) в мире. Площади эпицентров подбирались индивидуально для каждого землетрясения в зависимости от геометрии эпицентральных полей форшоков и афтершоков. Рассмотрены сведения о 187 наиболее опасных и разрушительных сейсмических событиях, демонстрирующие соотношения длительностей периодов подготовки к энергии главного энергетического события. Для БРЗ получено уравнение связи, имеющее следующий вид: $y = 4.8 \ln(x) - 11.70$ при значениях $R^2 = 0.72$. С учетом вероятности различий режимов формирования очагов землетрясений в разных геодинамических условиях крупные события из мировой статистики были разделены на группы. Например, для зон субдукции данная зависимость имеет вид: $y = 1.88 \ln(x) - 4.03$ при значениях $R^2 = 0.61$.

Оценены временные интервалы финальной стадии подготовки землетрясений. Для БРЗ они укладываются в диапазон 400–1000 сут. (для $M = 4.5-7.2$). Для мировых событий подобный диапазон составил 350–1500 сут. в зависимости от энергетического уровня для значений $7 \leq M \leq 9$. Установлено, что рост длительности подготовки следует рассматривать как один из показателей возрастания вероятности реализации более сильных землетрясений, что важно для оценок сейсмического потенциала. Рассмотренные результаты используются для мониторинга пространственно-временного распределения эпицентров текущих сейсмических событий с целью выявления мест подготовки будущих ощутимых или более сильных сейсмических событий.

РОЛЬ ПРИРОДНОГО ВОДОРОДА В ГЕОДИНАМИКЕ ЗЕМЛИ

А. В. Поспеев

Иркутский научный центр СО РАН,
Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
avp@ierp.ru

Наряду с традиционной моделью строения Земли в последнее время набирает популярность, казалось бы, давно забытая гипотеза «изначально гидридной Земли». В соответствии с ней на стадии образования Земли, в силу специфики распределения элементов в протопланетном диске, первичное вещество планетезималей его внутренней части было переобогащено водородом, вошедшим затем в виде раствора и гидридов металлов в состав ядра планет. За счет его высвобождения формируется интенсивный мантийный водородный флюидопоток Земли, обеспечивающий в том числе масштабную дегазацию водорода на дневной поверхности и протекание пульсирующих геодинамических процессов (Ларин, 2005).

Предполагаемый механизм обогащения протопланетного вещества водородом – так называемая магнитная сепарация – легко подвергается критике. Представляется, что для этого отсутствовало необходимое сильное магнитное поле протосолнца, а также соответствующий уровень ионизации вещества (Витязев и др., 1990).

Оценка массовой доли водорода по изучению упругих характеристик ядра, возможного количества исходного водорода в процессе аккреции Земли, его растворимости в жидком железе ядра показывает, что содержание водорода в недрах Земли в гипотезе «изначально гидридной Земли» завышено на 1.5–2 порядка (Литасов, Шацкий, 2016). Вследствие этого невероятным следует считать возможность существования так называемой металлосферы Земли – подастеносферной части мантии, сложенной интерметаллизацией и силицидами металлов. Данные о глубинной электропроводности мантии подтверждают ее силикатный состав, отличающийся удельным сопротивлением около единиц – первых десятков Ом·м (Файнберг и др., 1977). Вывод о наличии «металлосферы» Земли не согласуется с результатами анализа глубинных магматических ассоциаций. Это относится как к мантии в целом, так и к глубинной геологической структуре Байкальской рифтовой зоны (Ащепков, 1991; Рассказов, 1993).

Несомненно влияние водорода на термодинамические параметры и активность астеносферы, однако представляется, что в целом не играет главенствующей роли в обеспечении геодинамической эволюции Земли.

ФЕНОМЕН АНОМАЛЬНОЙ МАНТИИ И ГЕОДИНАМИКА БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА

А. В. Поспеев

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия, avp@ierp.ru

Феномен «аномальной» мантии был выявлен сейсмологическими исследованиями (Рогожина, Кожевников, 1970) и работами ГСЗ в 60–70-е гг. прошлого века (Крылов и др., 1981). Общепринятым является мнение, что слой «аномальной мантии» сложен частично расплавленными мантийными породами и отделен от основной астеносферы твердофазовым промежуток. Внедрение «аномальной мантии» в подкоровую область вызвало формирование Саяно-Байкальского сводового поднятия, в осевой части которого образовалась цепочка рифтовых депрессий (Зорин, 1971).

Между тем гипотеза «мантийного диапиризма» сталкивается с рядом несоответствий. Так, наблюдаемый в Байкальской рифтовой системе региональный тепловой поток примерно в два раза меньше, чем это следует из гипотезы частично расплавленной «аномальной мантии» (Голубев, 2007). Оценки средней температуры поверхности мантии, вытекающие из термических параметров мантийных ксенолитов, показывают, что в пределах Витимского плоскогорья и Джидинского района она составляет около 900 °С (Добрецов, Ащепков, 1991).

Н. А. Логачев (2003) отмечал: «Не может не озадачивать полное отсутствие проявлений глубинного магматизма в Южно-Байкальской впадине... Почему в этих вполне благоприятных термодинамических условиях базальтовые расплавы не появились на поверхности, остается загадкой».

По данным магнитотеллурических исследований Байкальской рифтовой зоны, интервал разреза, соответствующий «аномальной мантии», является относительно непроводящим (Gjcgtd, 1984), а кровля мантийного проводника соответствовала прогнозируемому положению кровли астеносферы, оцененному по геотермическим данным (Чермак, 1983; Адам, 1980). Анализ геотерм, построенных по геотермическим, петрологическим и геоэлектрическим данным, демонстрирует их принципиальное соответствие, что позволяет говорить о приближительной стационарности регионального теплового потока в Байкальском рифте.

Рассмотрение петрологических и петрофизических данных по породам ультраосновного состава приводит к выводу, что «аномальная мантия» в пределах Байкальской рифтовой системы является

частью ультраосновного мантийного вещества, находящегося в условиях шпинель-пироксеновой субфации. Таким образом, «аномальная мантия» является пассивным отражением существования обширной области разогрева тектоносферы Байкальского рифта и сопредельных регионов; ее роль в процессах рифтогенеза можно считать минимальной.

ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОГЛОЩЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

**П. А. Предин^{1,2}, А. А. Добрынина^{1,3}, В. А. Саньков^{3,4},
В. В. Чечельницкий⁵, В. И. Герман⁶, Ц. А. Тубанов^{1,2}**

¹ Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
dobrynina@crust.irk.ru

² Бурятский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ, Россия

³ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

⁴ Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

⁵ Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия

⁶ Красноярский научно-исследовательский институт геологии
и минерального сырья, г. Красноярск, Россия

Поглощение сейсмических волн в земной коре зависит от многих факторов, таких как геологическое строение и возраст коры региона, тектоническая активность, механическая нарушенность среды, тепловой поток, содержание флюидов и пр. Помимо этого, наблюдаются быстрые временные вариации поглощения, связанные, по-видимому, с активными процессами в литосфере. В работе представлены результаты исследования поглощения сейсмических волн в очаговых областях сильных землетрясений юга Восточной Сибири на примере Бусингольского (27.12.1991, $M = 6.5$), Южно-Байкальского (25.02.1999, $M = 5.9$), Кичерских (21.03.1999, $M = 6.0$ и $M = 5.9$), Чаруодинских (10.11.2005, $M = 5.8$ и 11.12.2005, $M = 5.6$) и Тувинских землетрясений (27.12.2011, $M = 6.1$ и 26.02.2012, $M = 6.4$). Анализ проводился на основе рассмотрения временного распределения отношений амплитуд (A_S/A_P) и скоростей (V_P/V_S) объемных прямых поперечных (S) и продольных (P) волн в афтершоковых последовательностях, сопровождавших выбранные сильные землетрясения, и показал существование временных вариаций затухания сейсмических волн в очаговых областях сильных землетрясений. Изменение пара-

метров затухания сейсмических волн связывается с миграцией флюидов при изменении напряженно-деформированного состояния среды. При этом в зонах преимущественного растяжения флюиды концентрируются в области готовящегося очага, а затем перераспределяются в более широкой области разрушения. Для зон с преобладанием режимов сжатия и сдвига флюид, выдвинутый в процессе усиливающегося во времени сжатия перед началом сейсмической активизации, мигрирует в область сформировавшихся хрупких деформаций, существенно изменяя поглощающие свойства массива.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-35-50011-мол_нр).

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВАРИАЦИЙ ЗАТУХАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ ПО ЗАПИСЯМ БЛИЗКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

**П. А. Преден¹, А. А. Добрынина^{1,2},
Ц. А. Тубанов¹, Е. И. Герман¹**

¹ Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
crmpeter@gmail.com

² Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

В районах с высоким уровнем сейсмической активности, к которым относится Байкальская рифтовая зона, знание региональных закономерностей и особенностей затухания сейсмических волн имеет большое практическое значение. Оценить поглощение сейсмической энергии при прохождении в среде позволяет безразмерный параметр сейсмической добротности (Q), обратный затуханию. Для расчета параметров затухания сейсмических волн в настоящей работе были использованы записи землетрясений и промышленных взрывов на эпицентральных расстояниях до 70 км, зарегистрированных на территории центральной части Байкальской рифтовой зоны. Изучение локальных землетрясений позволяет исключить из анализа поверхностные волны [1].

Полученные с помощью программы CodaQ [2] значения параметра сейсмической добротности по кода-волнам (Q_c) применялись для построения карт латеральных вариаций параметров затухания и их сопоставления с геофизическими характеристиками исследуемого региона.

Совместный анализ пространственных вариаций добротности с суммарной сейсмической энергией и плотностью эпицентров земле-

трясений показал, что максимальное затухание наблюдается в областях с наиболее высоким уровнем сейсмической активности, при этом такие области не всегда совпадают с местами наибольшей концентрации сейсмических событий.

Также были выделены области аномально высокого затухания сейсмических волн в Забайкалье. В отличие от остальной части рифта, здесь для расчетов добротности использовались записи промышленных взрывов, отличающихся от землетрясений как глубиной, так и частотным составом. При известных региональных значениях сейсмической добротности такое явление (резкое увеличение затухания сейсмических волн) может расцениваться в качестве одного из критериев для разделения слабых землетрясений и промышленных взрывов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-35-50011-мол_нр).

Литература

1. Aki K. Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves // J. Geophys. Res. 1969. Vol. 74. P. 615–631.
2. J. Havskov M. B., Sorensen D. V. and B. Li. Coda Q in different tectonic areas, influence of processing parameters // Bulletin of the Seismological Society of America. 2016. Vol. 106, N 3. P. 956–970.

ХАРАКТЕР РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДОВ ПРИБАЙКАЛЬЯ С УЧЕТОМ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

О. И. Саландаева

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
saland@crust.irk.ru, salandaeva@rambler.ru

Рассматриваются современные проблемы формирования городской структуры жилой застройки городов Прибайкалья; трансформации существующей застройки; освоения новых городских территорий периферии, срединной и центральной частей г. Иркутска.

Необходимость повышения эффективности градостроительной организации жилой застройки в сложных сейсмогеологических условиях и сложившейся градостроительной структуре с учетом ландшафтных, природно-климатических условий, в ситуации формирования новых социально-экономических отношений ставит задачи комплексного и системного подхода к планированию город-

ских территорий, проектированию современных типов жилых зданий, реконструкции существующих строений.

Устойчивое развитие жилой застройки предполагает минимальное вмешательство в структуру ландшафта и минимальное энергопотребление, с одной стороны, и внедрение инновационных систем управления городом – с другой. Для формирования современного, жизнеспособного, удобного, комфортного и безопасного для проживания в развивающемся городе в сложных сейсмогеологических условиях, зачастую на деградированных грунтах, разрушенном ландшафте, с изношенной застройкой и инфраструктурой, необходима комплексная оценка существующей городской территории, в том числе актуализация карт сейсмического микрорайонирования и карт сейсмического риска.

В статье представлены основные типологические признаки жилых зданий г. Иркутска, характеризующие степень их сейсмической устойчивости (конструктивная уязвимость здания): период строительства (дореволюционный, советский, постсоветский); физический и сейсмический износ; габариты зданий (размеры в плане, этажность); конфигурация зданий; конструктивные и строительные системы зданий; строительные материалы; технологии возведения. Также отмечены внешние факторы, влияющие на устойчивость жилой застройки (здания) (планировочная уязвимость): сейсмичность территории; гидрогеологические условия; ландшафтные условия (рельеф, развитая корневая система деревьев, кустарников, травяных покровов, отсутствие эрозии почвы и др.); градостроительная ситуация (плотность застройки, этажность, положение красных и желтых линий, плотность населения) и др.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ

Д. П.-Д. Санжиева¹, Е. И. Герман^{1,2}, Ц. А. Тубанов^{1,3}

¹Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
gindarima@mail.ru

²Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ, Россия
net-admin@list.ru

³Бурятский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ, Россия
geos@ginst.ru

Район Центрального Байкала (106.1–109.1° в. д. и 51.7–53.7° с. ш.) является одной из наиболее сейсмически активных областей Байкальского рифта. Эта область представляет собой зону сеймогенерирующих структур (имеются высокоплотностные дислокации очагов слабой сейсмичности и эпицентры сильных землетрясений с $M \geq 5$). Оценка вероятности возникновения землетрясений в пределах промышленных районов Республики Бурятия и Иркутской области нуждается в детализации. Для оценки сейсмического эффекта от сильных землетрясений необходимо, наряду с информацией о свойствах среды распространения сейсмических волн, исследование очаговых параметров.

Предметом исследования является изучение очаговых характеристик (в частотном диапазоне 0.2–25 Гц) землетрясений диапазона $M = 1–6$, зарегистрированных сейсмостанциями Бурятского филиала ФИЦ ЕГС РАН и ГИН СО РАН и Байкальского филиала ФИЦ ЕГС.

С использованием модели круговой дислокации Бруна были рассчитаны значения сейсмического момента M_0 , линейных размеров очагов R , угловой частоты f_c , и сброшенного напряжения σ . Для этого был произведен спектральный анализ записей, из спектров были вычтены составляющие, характеризующие геометрическое расхождение и неупругое затухание волн в среде распространения. Спектр смещений в этом случае описывается с помощью двух прямых – горизонтальной в области низких частот, высота которой пропорциональна сейсмическому моменту, до частоты f_c , (corner-частота), и наклонной в области высоких частот, связанной с линейными размерами очага землетрясения. Форма спектра смещений в очаге является основной моделью очага, используемой в стохастических методах моделирования сейсмического воздействия.

Пространственное распределение очагов по частотам f_c позволяет выделить зоны со сходными формами спектров, что в совокупности с информацией о сейсмогенерирующих структурах линейно-доменно-фокальной теории дает возможность более корректного расчета синтетических акселерограмм для решения задач сейсмического микрорайонирования.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН МОНГОЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

С. П. Серебренников, А. Ю. Ескин, Ц. Батсайхан

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

В докладе представлены результаты исследований земляных плотин от этапов инженерно-геологического изыскания площадок проектируемых плотин, их строительства до этапов эксплуатации и реконструкции уже существующих данных объектов.

Главный интерес направлен на изучение сейсмической безопасности и особенностей фильтрационного поля земляных плотин и их основания.

Земляные плотины являются, как правило, ограждающими дамбами золошлакоохранилищ существующих и проектируемых ТЭЦ и горно-перерабатывающих комбинатов для хранения продуктов технологического процесса.

Геофизическое изучение площадок дамб проводилось комплексом электроразведочных методов. Известно, что движение воды в грунтах плотин происходит в виде просачивания, что ведет к возникновению электрического поля фильтрации. В реальных условиях имеют значение гранулометрический состав, проницаемость, скорость передвижения воды и фильтрации для водопроводящих пластов в целом. Кроме этого, натурные наблюдения проводились по поверхности толщ грунтов, перекрывающих водоносный горизонт; учитывались геометрические и электрические свойства перекрывающей и подстилающей этот горизонт толщ грунтов.

Результатом исследований является выделение зон с относительно высокой пористостью, трещиноватостью и фильтрацией. Построены инженерно-геологические модели оснований плотин и фильтрационного поля тела плотин, что позволяет дифференцировать исследуемые объекты по критериям экологического риска.

При изучении сейсмической опасности реализуется подход, основанный на анализе основных количественных характеристик колебаний грунтов при сильных землетрясениях. В методологическом аспекте весь процесс подготовки районирования техногенной опасности сооружений включает ряд этапов, общий для земляных плотин. На первом этапе проанализированы и собраны основные сейсмологические данные. Второй этап – технологический и основан на сейсмондировании участков эксплуатации и строительства объектов методами малоглубинной геофизики. Анализ полученных материалов при геолого-геофизическом изучении позволяет оценить существующие и возможные проявления техногенной опасности в процессе эксплуатации земляных плотин.

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ 1979–1993 ГГ. В СЕВЕРО-МУЙСКОМ РАЙОНЕ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

А. И. Середкина^{1,3}, Н. А. Гилева², В. И. Мельникова¹

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
ale@crust.irk.ru

²Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия
nagileva@crust.irk.ru

³Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, г. Троицк, г. Москва, Россия

В работе рассматривался Ангараканский рой землетрясений, произошедший в Северо-Муйском районе Байкальской рифтовой зоны в 1979–1993 гг. Данная последовательность насчитывала около 3 тыс. толчков с энергетическим классом $Kp \geq 6$. В качестве исходного материала для исследования использовался региональный каталог землетрясений Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН. Для определения особенностей напряженно-деформированного состояния земной коры были исследованы фокальные механизмы землетрясений на рассматриваемой территории до роя и в процессе его реализации. В результате были установлены пространственно-временные границы роя. Показано, что большинство его землетрясений произошло в верхней части земной коры под влиянием субгоризонтального (рифтового) растяжения. В гипоцентральном поле основной массы сейсмических толчков с течением времени наблюдалась тенденция к заглублению очагов. Результаты проведенных

оценок параметра проницаемости среды ($D = 0.33 \text{ м}^2/\text{с}$, 1979–1983 гг.) при сопоставлении с характерными значениями, полученными в экспериментах с наведенной сейсмичностью в скважинах и при анализе сейсмических активизаций в Западной Богемии, свидетельствуют о существенном влиянии флюидизации среды на возникновение и сценарий развития рассматриваемой сейсмической активизации в первые четыре года. В пользу такого предположения свидетельствуют также пониженные скорости сейсмических волн в верхнем слое мантии и повышенные значения теплового потока (до 147 мВт/м^2) в рассматриваемом районе.

Работа выполнена в рамках Междисциплинарного интеграционного проекта «Сейсмичность, глубина очагов землетрясений, сейсмоплотностная структура и трехмерное напряженно-деформированное состояние земной коры Востока Байкальской рифтовой зоны (блоки 3, 5)».

ВЕРХНЯЯ МАНТИЯ ПРИБАЙКАЛЯ И ЗАБАЙКАЛЯ (АНОМАЛИИ СКОРОСТНОГО СТРОЕНИЯ ПО ДАННЫМ P- И S-ВОЛН ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВЗРЫВОВ)

**В. М. Соловьев¹, В. В. Чечельницкий², А. С. Сальников³,
В. С. Селезнев⁴, А. В. Лисейкин⁴, Н. А. Галева¹**

¹ Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Россия
solov@gs.nsc.ru

² Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия
chechel@crust.irk.ru

³ Сибирский институт геологии, геофизики и минерального сырья,
г. Новосибирск, Россия
seispy@sniiggims.ru

⁴ Сейсмологический филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Россия
sel@gs.nsc.ru

Представлены новые сведения о скоростном строении верхней мантии Прибайкалья и Забайкалья по данным глубинных сейсмических исследований на опорном 1200-километровом геофизическом профиле 1-СБ и площадной интерпретации сейсмологических данных от достаточно сильных землетрясений. В обработке было использовано 615 времен пробега продольной преломленной волны от границы Мохоровичича и 428 времен S-волны на удалениях от 180 до 1200–1400 км в соответствии с сейсмологическими данными Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН за период с 2002 по 2014 год от

достаточно сильных землетрясений с энергетическими классами (K) от 12.0 до 15.9. В рамках упрощенной однородной двуслойной модели среды с горизонтальной границей Мохоровичича и специальных предварительных процедур подготовки данных проводилась томографическая интерпретация сейсмологических данных с построением карт граничной скорости P - и S -волн по поверхности Мохоровичича для территории Прибайкалья и Забайкалья. В качестве опорных данных (референтной модели среды) использовались данные скорости P - и S -волн в коре и по границе M с профилями ГСЗ 70–80-х годов прошлого столетия и распределения граничной скорости P - и S -волн на детальном профиле 1-СБ. Результаты опорного профиля 1-СБ и сейсмологии существенно дополнили построенные ранее карты граничной скорости в Прибайкалье и Забайкалье. В северо-западной, северной и северо-восточной частях площади исследований (в пределах Байкальской рифтовой зоны) граничная скорость имеет пониженные значения в 7.80–7.95 км/с по данным продольных волн и 4.3–4.5 км/с по данным поперечных волн. В юго-восточной части площади в верхней мантии выделен мантийный блок с поперечными размерами около 600×600 км с высокими значениями скорости продольных и поперечных волн, соответственно в 8.4 ± 0.15 км/с и 4.9 ± 0.05 км/с. Высказано предположение о том, что он представляет пластину эклогитов (или эклогитоподобных пород) в районе Монголо-Охотского орогенного пояса. Проведено сопоставление полученных результатов с материалами других исследований.

ИНФРАЗВУКОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ 5 ДЕКАБРЯ 2014 Г. ПОД ОЗЕРОМ ХУБСУГУЛ

А. Г. Сорокин¹, А. В. Ключевский², В. М. Демьянович²

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
sor@iszf.irk.ru

²Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

Одним из мощных источников инфразвуковых колебаний являются землетрясения: совместные сейсмические и инфразвуковые сигналы от сильных землетрясений регистрируются давно и достаточно часто. Например, при Аляскинском землетрясении 1964 г. (магнитуда $M \sim 9.0$) были сгенерированы атмосферные волны давления с необычно длинным периодом (около 14 мин), которые были

четко зарегистрированы в Беркли и нескольких калифорнийских инфразвуковых станциях. Результаты опубликованы в серии статей, где сообщалось о генерации инфразвуковых колебаний при вертикальных движениях земной поверхности, связанных с локальными волнами Рэлея, а также с источником в эпицентре Аляскинского землетрясения. Позже был установлен третий тип генерации инфразвуковых сигналов, обусловленный сотрясениями горного хребта Rocky Mountains в системе Кордильер при прохождении сейсмических волн от Аляскинского землетрясения.

В данной работе обсуждаются результаты регистрации сейсмических и инфразвуковых волн от главного землетрясения и его афтершока (моментная магнитуда $M_W = 4.9$ и $M_W = 4.2$ соответственно), произошедших 5 декабря 2014 г. в акватории оз. Хубсугул на севере Монголии. Совместный анализ волновых форм сейсмических и инфразвуковых колебаний показал, что записанный на инфразвуковой станции Института солнечно-земной физики СО РАН сигнал формируется от источников трех типов генерации: локального, вторичного и эпицентрального. На основе анализа волновых форм сигналов предлагается модель генерации эпицентрального инфразвукового сигнала изгибными волнами в упругой ледовой мембране на поверхности оз. Хубсугул, возникающими при прохождении пакетов продольных P -, поперечных S - и поверхностных L -волн. Модель строится методом конечных разностей на основе решения волнового уравнения для мембраны с заданными граничными условиями. Предложенная модель объясняет подобие сейсмического и эпицентрального инфразвукового сигналов, отрицательную начальную фазу эпицентральных инфразвуковых волн, а также фиксацию слабого инфразвукового сигнала, возникшего после афтершока небольшой магнитуды.

ПРОБЛЕМЫ ДЕТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ И ЗАБАЙКАЛЬЯ

Ц. А. Тубанов^{1,3}, Е. И. Герман^{1,2}, А. Д. Базаров^{1,3}

¹Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
geos@ginst.ru

²Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ, Россия
net-admin@list.ru

³Бурятский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ, Россия
adbbazarov@yandex.ru

Непрерывные инструментальные сейсмологические наблюдения ведутся в Прибайкалье с 1902 г. Значительное расширение инструментальной сети произошло после сильных землетрясений 50-х гг. XX в.: Мондинского, Гоби-Алтайского, Муйского, Среднебайкальского землетрясений (Голенецкий, 1977). Региональная сеть сейсмостанций была способна вести уверенную регистрацию землетрясений начиная с восьмого энергетического класса и предназначалась для решения задач региональной сейсмичности. Высокая разреженность сети наблюдений, не допускающая получения материалов необходимого качества, и недостаточная оперативность их обработки ограничивали возможность использования данных региональной сети для задач сейсмического прогноза.

Сегодня широко используется сочетание стационарных и временных сетей станций в экспериментах по детальному исследованию напряженно-деформированного состояния земной коры. Происходит развитие как приборной базы, так и методики ведения эксперимента. Для цифровых станций при сетях высокой плотности с современными широкополосными сейсмографами разрабатываются алгоритмы цифровой обработки сигналов, позволяющие существенно повысить информативность сейсмологических исследований, что помогает получать достоверную и детальную информацию о процессах в очагах землетрясений и взаимосвязи сейсмического процесса в регионах с тектоникой в целом. Исследуется физика процесса изменений земной коры и закономерности формирования сейсмичности во времени и пространстве. При этом развитие мониторинга сейсмоактивных областей направлено не только на исследование физики сейсмического процесса, но и на исследование глубинного строения очаговых зон и сейсмоактивных районов в целом.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИН ЗАЛЕГАНИЯ ИЗОТЕРМЫ КЮРИ ПО НАЗЕМНЫМ И СПУТНИКОВЫМ МАГНИТНЫМ ДАННЫМ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ

С. В. Филиппов¹, А. И. Середкина^{2,3}

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н. В. Пушкова РАН, Троицк, Москва, Россия
sfilip@izmiran.ru

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

³Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н. В. Пушкова РАН, г. Троицк, г. Москва, Россия

Как правило, существующие модели строения литосферы для любого участка земной поверхности пока не обладают достаточной точностью, которая бы позволяла эффективно использовать их для решения различных фундаментальных и прикладных задач. Поэтому включение в такие модели дополнительных параметров, в частности оценки глубины залегания изотермы Кюри, является актуальной задачей. Изотерма Кюри – это глубина размагничивания горных пород, которое наступает при температуре ~ 600 °С (точка Кюри).

В настоящей работе использован метод, позволяющий с помощью профильных данных о геомагнитном поле (наземных, аэро-статных, спутниковых) определить глубины залегания изотермы Кюри. В основе метода лежит Фурье-анализ данных геомагнитного профиля. Для анализа мы использовали аэромагнитные данные на приземных высотах и спутниковые данные миссии CHAMP на высоте ~ 300 км. В обоих случаях применялись результаты измерения модуля геомагнитного поля. По аэромагнитным данным определялась глубина залегания верхней границы магнитоактивного слоя, по спутниковым данным – глубина залегания центра масс этого слоя. Затем по найденным глубинам рассчитывалась глубина залегания нижней границы магнитоактивного слоя, соответствующая изотерме Кюри.

Географическое расположение профиля, начинающегося на Сибирской платформе, пересекающего юго-западный фланг Байкальского рифта и Хангайское сводовое поднятие, было выбрано таким образом, чтобы профиль находился в пределах района, хорошо изученного с помощью других геофизических методов. Профиль был разбит на куски, соответствующие различным тектоническим структурам. Таким образом, были получены средние оценки глубин залегания изотермы Кюри для каждой структуры. Результаты расчетов согласуются с существующими сейсмологическими моделями лито-

сферы и данными о тепловом потоке исследуемого района, что позволяет сделать вывод о достоверности получаемых оценок с помощью примененного в работе подхода.

СТРУКТУРА ЛИТОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ОБМЕННЫХ ВОЛН ПОД СЕЙСМОСТАНЦИЕЙ КОТОКЕЛЬ

Л. Р. Цыдыпова

Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
tsydyпова@ginst.ru

В данной работе представлены результаты исследования структуры земной коры и верхней мантии методом приемных функций в окрестности сейсмостанции Котокель (KEL).

В методологии приемных функций [1] используются обменные волны, образующиеся на границах в коре и мантии при прохождении через них объемных (продольных и поперечных) волн от далеких землетрясений. Мы можем получать сведения о глубинном строении целого региона путем предварительного изучения его отдельных участков по данным телесейсмических землетрясений с отдельных станций.

При фиксированной глубине время обменной волны зависит от эпицентрального расстояния и вычисляется для каждой трассы. Представленные трассы описывают смещения в искомой обменной волне PS , они являются функцией приемника и характеризуют среду в подстанционной области. Наличие четко выраженных максимумов функций приемника определяет наличие обменов на границе: Мохо, репер на времени 4.9 сек; на мантийных границах – на глубине 410 км на времени 45.78 с и 660 км на времени 70.03 сек. Время на 410 км больше соответствующего времени для модели IASP91 на 1.78 сек, что может свидетельствовать о слегка пониженных скоростях волн в верхней мантии.

Скоростной разрез до 300 км характеризуется сложным строением и дает информацию о ~150 км области в окрестности станции. В разрезе наблюдается несколько границ раздела, выделенных по разной степени прослеживаемости обменных волн. Наиболее интенсивно в земной коре выделяются слой пониженных скоростей, возможно, приуроченный к волноводу, в интервале глубин 20–35 км, раздел Мохо на глубине 35 км со скоростями в подстилающей мантии $V_s = 4.5$ км/сек. Мощность литосферы достигает 100 км. Ниже в

диапазоне глубин 100–150 км по *S*-волнам прослеживается астеносферный слой – область пониженных скоростей. В остальной части мантии полученный нами разрез близок к модели Земли IASP91. Особенностью полученного скоростного разреза является небольшая глубина залегания раздела «кора – мантия». Наблюденное утонение консолидированной коры под станцией KEL, расположенной в близости от акватории оз. Байкал, может быть связано с растяжением коры в условиях континентального рифтогенеза.

Литература

1. Vinnik L. P., Reigber Ch. and al. Receiver function tomography of the central Tien Shan // Earth Planet. Sci. Lett. 2004. Vol. 225. P. 131–146.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

В. В. Чечельницкий, М. А. Хритова

Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия
chechel@crust.irk.ru

Согласно ГОСТ Р 57546-2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности» интенсивность землетрясения I может определяться не только по макросейсмическим данным, но и по инструментальным. С помощью программы AutoIntensivEQ (автор Хритова М. А.), обработаны 307 записей ускорений, полученных на сейсмостанциях БФ ФИЦ ЕГС РАН при ощутимых землетрясениях в 1998–2017 гг.

Наилучшей характеристикой воздействий, по мнению Ф. Ф. Аптикаева и О. О. Эртелевой, является условная мощность сейсмической волны W . Количество акселерограмм с $I_W \geq 2.5$ – 142. Наибольшее количество записей получено на сейсмостанциях: «Северомуйск (SVKR)» – 40, «Улюнхан (YLYR)» – 17, «Тырган (TRG)» – 16, «Уоян (YOA)» – 14, расположенных близко к очагам землетрясений. Основная часть записей сильных движений по классификации ШСИ-17 соответствует слабым, ощутимым и умеренным землетрясениям. Три записи с $I_W = 6.7$ балла можно отнести к сильным землетрясениям. Записи сильных движений зарегистрированы на эпицентральных расстояниях от 2.4 до 326 км при землетрясениях энергетического класса от 9.3 до 15.9.

Если сравнивать средние оценки сейсмической интенсивности по условной мощности и пиковой скорости, то они неплохо совпадают в интервале 2.4–4.0 балла, а выше 4 баллов $I_W > I_{PCV}$ на 0.4 балла. Оценки интенсивности по пиковому ускорению и по пиковому ускорению с учетом ширины импульса отличаются от I_W на 0.8–1.3 и 0.6–1.1 балла в большую сторону. Для трети землетрясений интенсивность сотрясений по инструментальным данным на 1–2 балла отличается от интенсивности по макросейсмическим данным. Расхождение в оценках объясняется тем, что по инструментальным данным оценивается интенсивность сотрясений в пункте регистрации, а по макросейсмическим сведениям дается интенсивность территории населенного пункта. При оценке интенсивности по инструментальным данным, по нашему мнению, необходимо учитывать не только длительность, но и частотный состав колебаний.

Программный модуль для определения интенсивности по инструментальным данным функционирует на ряде сейсмостанций БФ ФИЦ ЕГС РАН в режиме реального времени. Так, сообщение о землетрясении с интенсивностью $I_W = 4.3$ балла на сейсмостанции «Северомуйск» 17 апреля 2018 г. в 23:53:54 (время максимальной амплитуды колебаний) пришло в центр сбора в Иркутск через 1 мин 20 с.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ЕЕ УТОЧНЕНИЕ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

**И. А. Шелохов¹, Н. В. Мисюркева¹, И. В. Буддо¹,
Ю. А. Агафонов²**

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Иркутское электроразведочное предприятие, г. Иркутск, Россия
sia@ierp.ru

При современных методах и скоростях проходки скважин для успешного бурения и водоснабжения месторождения особое место занимают вопросы гидрогеологической, гидродинамической и гидрохимической изученности разреза.

В целях выявления основного водоносного горизонта на одном из газоконденсатных месторождений Восточной Сибири проведен комплекс гидрогеологических и геофизических исследований. По данным проведенных гидрогеологических исследований и результа-

тов электроразведочных работ мЗСБ составлена принципиальная физико-геологическая модель верхней части разреза месторождения с выделением основного (цокольного) водоносного горизонта и локальных водоносных линз.

Модель представляет собой верхнюю часть разреза до глубины около 500 м, которая состоит из зоны аэрации, неполного и полного насыщения. Для каждого гидрогеологического уровня определены гидрогеохимическая и гидродинамическая характеристики. Прослеживается хорошо выраженная гидрогеохимическая зональность по величине минерализации и составу, тесно связанная с гидродинамической зональностью.

По данным мЗСБ произведено разделение пород по электрическим характеристикам. Выявлено, что основной (цокольный) водоносный горизонт залегает в отложениях нижней подсвиты устькутской свиты. Породы илгинской и особенно верхоленской свиты рассматриваются в качестве регионального относительного водоупора.

Проведение подобных исследований позволяет оптимизировать план водоснабжения месторождения. В последующем по данным мЗСБ и гидрогеологических исследований выдаются рекомендации по бурению водозаборных скважин на месторождении.

CRUSTAL STRUCTURE STUDY IN MONGOLIAN ALTAI RANGE

Ts. Baasanbat, Ts. Baatarchuluun

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
baasanbat@iag.ac.mn

Mongolian Altai is western part of Mongolia and it is considered seismically active region. There are several active faults such as Sagsai, Ar-Khutul and effect of movement on these active faults cause earthquakes along these faults. In order to study detailed seismicity and crustal structure in Mongolian Altay range, IAG temporarily installed 20 seismic stations in Mongolian Altai range, starting from September 2017. Distribution of temporary seismic station covers relatively large area. Currently, many local and teleseismic events detected and recorded on temporary seismic network and study on detailed seismicity in this region and crustal structure study are going on. Findings from teleseismic receiver function analysis for crustal structure will be presented in the conference.

THE SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF BULGAN PROVINCE

Ch. Baldulam, Ch. Odonbaatar

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS
baldulam@iag.ac.mn,

The main objective of this study is to assess the seismic hazard for territory of the Bulgan province using probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) and deterministic seismic hazard analysis (DSHA). For the analysis, we use seismic active zones within 300km distance that include 4 seismic zones and 8 active faults. Both PSHA, and DSHA calculations were based on the Chandra's (Chandra, 1979) seismic ground motion prediction equation (GMPE). The obtained results using DSHA method shows that Bulgan province is in 0.8332 g or X intensity MSK-64 scale.

Following result is obtained when the seismic hazard assessment was evaluated at the capital of Bulgan province:

Using DSHA method to calculate the seismic hazard assessment of Bulgan, a X intensity MSK-64 scale (0.8332g or 817 cm/s²) earthquake is probable for bedrock site in Bulgan, the capital of Bulgan province. For fault regions, if a Mw = 7.6 earthquake occurs at the Bayan-agt's fault then in Bulgan city, X intensity will be felt.

However, when PSHA method is used to evaluate the seismic hazard assessment of Bulgan, a VIII intensity is probable in capital of Bulgan where the peak ground acceleration is 0.281g or 275 cm/s².

THE 1D MAGNETOTELLURIC INVERSION USED LEVENBERG-MARQUARDT ALGORITHM

E. Batmagnai

Department of Geomagnetic, Institute of Astronomy and Geophysics of MAS,
Ulaanbaatar, Mongolia, batmagnai@iag.ac.mn

The inversion is process to determine model parameters from measured data set. Inversion is very important because subsurface image is obtained from this process. There are many algorithms that have been introduced and applied in geophysical model problems, one of them is known Levenberg – Marquardt (LM) algorithm. LM algorithm is optimization method for non-linear least square problem it combined two

different types optimization algorithm there are Gauss – Newton and Gradient Descent methods. Known Gauss – Newton algorithm is very suitable for search global minimum (but it on depend initial step) and a Gradient Descent is depended gradient, so it very good for search local minimum. Unlikely both methods are, if objective function trapped within local minimum, we couldn't do nothing. However, we known LM method is combined these methods.

In this work, we will present one of LM algorithm application in one-dimensional magnetotelluric (MT) case. To simplify the comparison, simple synthetic model is used in this study. From this study, the new algorithm developed with generic algorithm MT study. I have used generic algorithm for the generate random model from start model and chosen best initial model. The algorithm created from this study is then used in our modeling program.

THE DEPTH ELECTROMAGNETIC STUDY IN MONGOLIA

E. Batmagnai, U. Sukhbaatar

Department of Geomagnetic, Institute of Astronomy
and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
batmagnai@iag.ac.mn

Electromagnetic method is strongly technique for the depth study of the earth. Last years, electromagnetic variation associated with seismic, volcanism and tectonic mechanism (Surkov, Hayakawa, 2014). These studies were called «Seismo-, Volcano- and Tectono-Electromagnetics». It has been long suggested that the electrical conductivity structure changes by seismicity and volcanism. The western area of Ulaanbaatar (UB., Capital city of Mongolia) is may be a seismic active zone, due these faults Hustai, Emeelt, Sharkhai and Avdar are located on western site from UB. Hence we interested this area for seismo and tectono-electromagnetic studies.

In this work, we will discuss about deep electromagnetic study in Mongolia (included tectono-electromagnetic and magnetotelluric study in Hangai dome). Since 2016, we have been working with magnetotelluric (MT) data when installed magnetotelluric station (Lemi-418) in the Tavantolgoi magnetic observatory (Batmagnai et al., 2016, 2017). Moreover, we have installed Lemi-30 induction magnetometer in other sites. Hence we show some results of data from these stations, general status of data acquisition and future plan of researcher work.

We have developed processing code written in Matlab which is supposed to magnetic and magnetotelluric transfer functions (Batmagnai., 2017). From the results we can view magnetic and magnetotelluric transfer function at these site and conductivity distribution used MT data when measured in Hangai dome (Matthew, 2017, 2018).

MONGOLIAN SEISMIC STATIONS, DATA AVAILABILITY AND DETECTION CAPABILITY

J. Bayaraa, B. Munkhbayar, G. Tuguldur

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
bayaraa@iag.ac.mn

In 1957, international geophysical year, very first seismic station was installed in Mongolia and seismic monitoring started from this year. The Mongolia is seismically active region and generally, seismic activity of The Mongolian Seismic Network has been expanding year by year and now seismic station including 5 mini-arrays (one of them belongs to CTBTO) are working at 17 separate points in Mongolian territory and Ulaanbaatar network. A seismicity of Mongolia is recorded by The Mongolian Seismic Network, sparse network at present and determining and improving of detection capability of the Mongolian Seismic Network is important for seismic event detection and characterization in Mongolia. We will present Detection Capability of the Mongolian Seismic Network in this presentation.

In order to estimate of background noise of seismic network of Mongolia, use 2 years seismic data recorded with seventeen stations were selected. The recorded data of these stations was analyzed by PQLX which is based on the probability density functions (PDF) of power spectral densities (PSD).

The minimum detectable magnitude versus distance at 17 seismic stations of the MNDC seismic network is estimated from the noise observations. The average value of the power spectral density of noise levels relative to $1(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ was used to quantify the average peak amplitude of the noise at each station. Minimally detectable event is defined, as the signal recorded at seismic station should be three times the background noise amplitude because it is a realistic level for detection and phase identification amidst background noise. The magnitude is calculated by using the following equation.

$$ML = \log A + 0.816 \log \Delta + 0.00045 \Delta - 1.22$$

In the result, a map with magnitude scale shows seismic station's detection capability in Mongolia.

CONVECTIVE MANTLE VERSUS LOCAL LITHOSPHERIC ISOTOPE-GEOCHEMICAL SIGNATURES IN LATE CENOZOIC VOLCANIC ROCKS FROM CENTRAL MONGOLIA AND NORTHEAST CHINA

**I. Chuvashova^{1,2}, S. Rasskazov^{1,2}, Y. Sun³, T. Yasnygina¹,
C. Yang³, Z. Xie³, E. Saranina¹, N. Gerasimov⁴**

¹ Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia
chuvashova@crust.irk.ru

² Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

³ Institute of Volcano and Mineral Spring, Heilongjiang Academy of Sciences,
Wudalianchi, Heilongjiang, China

⁴ Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

Convective processes in the mantle result in isotopic homogenization of sub-lithospheric domains that might yield eruptions of liquids showing a signature of a uniform reservoir. More often, however, isotope-geochemical signatures of continental basalts indicate predominating melting of local heterogeneous lithospheric sources with small (several percent) admixture of a common component derived from the convective mantle material. From Pb and Nd isotope signatures, Cenozoic volcanic rocks of Asia denote regional sources of convective mantle domains (sub-domains) that generated: (1) in the Hadean (~4.3 Gyr ago) (North Trans-Baikal), (2) at the end of the Archean (~2.6 Gyr ago) (North Trans-Baikal, East Asia), and (3) in the Neoproterozoic (700–600 Myr ago) (Central Mongolia, West Trans-Baikal). During closure of Solonker and other fragments of late Phanerozoic paleoceans, regional homogenization of sources had not been achieved (South Gobi).

A fundamental difference between common reservoirs for volcanic rocks from East Asia (Wudalianchi and other field) and Central Mongolia is due to origin of the former from the Bulk Earth material and the latter from more differentiated mantle, isotopically similar to the modern oceanic domains. Consistent variations of major oxides, trace-elements abundances and Pb isotope ratios in volcanic rocks reveal the Huo, Laoshantou, Gelaqiu, Wohu, and Molabu primary lithospheric sources, generated from a material of the common reservoir at about 2.6, 1.87, 0.15 Gyr ago and recently. In Central Mongolia, volcanic rocks were derived from local lithospheric sources that show signatures (1) undistin-

guishable from ocean basalts, (2) similar to the lower continental crust, (3) evolved to a crust-complementary mantle restite, and (4) demonstrated an advanced melt–fluid transformation of the restite material.

DEPTH ESTIMATION FOR MONGOLIAN STRONG EARTHQUAKES BY APPLICATION OF A CEPSTRAL

L. Dagzinmaa, M. Ulziibat

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
dagzinmaa@iag.ac.mn

The Cepstral Stacking Method (CSM) initially developed by one of the authors (Alexander) has been shown to determine accurate focal depths for earthquakes and explosions recorded at one or more regional and teleseismic stations. The CSM depths can now be automatically determined using an integrated software environment through the IRIS database and processing system.

Cepstral techniques are used to detect echoes in a signal (such as the depth phases pP and sP) and have been utilized in the past for seismic depth determination by Alexander (1996), Bennett *et al.* (1989) and Kemerait (1982)

We relocate all events that occurred in the Mongolian territory during the period 1900 to 2014 with more than 3.5 Ml magnitude and are well-constrained teleseismically by arrival-time data reported to the International Seismological Centre (ISC) and to the Mongolian National Data Center (MNDC).

We can view the stacked cepstral outputs for any given event(s) to verify that appropriate pP and/or sP delay times were picked based on radiation patterns, consistency among stations, elimination of peaks from P to S conversions at the station, or other criteria. Depth phases can be calculated using available theoretical travel-time tables, and the Tau-p method can be utilized automatically to calculate theoretical pP, sP arrival times using known regional velocity models.

ESTIMATION OF LOCAL SITE EFFECTS USING MICROTREMOR TESTING IN ERDENET CITY

M. Dembereldulam, Ch. Odonbaatar, M. Dorjdavaa

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
dembereldulam@iag.ac.mn

Site effects associated with local geological conditions constitute an important part of seismic hazard assessment. This work was done in frame of the projects «Seismic microzoning 12 aimag centers» that funded by Ministry of Construction and Urban development. In order to estimate site effect we used seismic weak motion, seismic noise survey and seismic array measurement data.

The weak motion survey were applied for 15 sites including 1 outcropping rock site that used as reference site with duration of a 14 days. Other 14 site location are selected by different geotechnical condition area. Seismic microtremor measurements done with 500 meter distance grid and in total 527 sites were measured with duration of a hour. All the measurements were used Guralp CMG3EPS seismometer and REFTEK 130b digitizer.

All the noise and weakmotion measured sites we obtain amplified frequency using Horizontal to Vertical noise spectral ratio (HV). With obtained HV ratio we made each sites with different engineer geological condition area. With this sites we clearly observed development of peak on Spectral ratio. The peak frequency was shifted lower frequency when the sediment thickness is decreased in all sites. For weakmotion measured sites all SSR amplified frequency fits or close to HV ratio peaks. Also obtained amplified frequency compared simplified model that obtained geophysical survey using simplified equation $H = V_s/4f$. here H-thickness of sediment, V_s - average S wave velocity, f - amplified frequency. Consequently we deduced Amplified frequency map using amplified frequency. The map borders are determined by geotechnical engineering and topo maps.

DETERMINATION OF CRUSTAL THICKNESS BENEATH TOSONTSENGEL REGIONAL SEISMIC STATION, IN MONGOLIA

T. Dolgorjaw, Ch. Bayarsaikhan, Ts. Baasanbat

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
tscm@iag.ac.mn

In this study, the receiver function analysis method was utilized to determine the crustal structure in the vicinity Tosontsengel regional seismic station. Receiver functions were calculated from about 150 teleseismic events for TSC broadband three-component seismic station. Hypocentral parameters of 150 teleseismic earthquakes equal to or greater than an instrumental magnitude of 5.5 that occurred at a distance between 30° and 90° far from the central coordinates of TSCB were retrieved from the Incorporated Research Institutions Seismology earthquake catalogue. We use the H-k stacking approach (Zhu and Kanamori, 2000) to estimate the crustal thickness and the V_p/V_s ratio.

Result of this study, the crustal thickness under station estimated as 53 km with V_p/V_s ratio 1.74.

EARTHQUAKE MONITORING: AUTOMATIC PROCESSING AT THE MONGOLIAN NATIONAL SEISMIC NETWORK

D. Enkhtulga, M. Ulziibat

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
enkhtulga@iag.ac.mn

Institute of Astronomy and geophysics operates a real time seismic network which is designed to monitor the seismic activity on the Mongolian territory, which is the region of high seismic activity.

The ability to reduce the impact of earthquakes on society depends on the existence of a large number of high-quality observational data. The development of the network in recent years and an advanced seismic acquisition are crucial to achieving this objective. The software package used to perform the automatic real-time locations is Seiscomp3. Seiscomp3 is a fully featured automated real-time earthquake monitoring software developed by GeoForschungZentrum Potsdam in collaboration with commercial partner, gempa GmbH. It is in its core open source, and

becoming a community standard software for earthquake detection and waveform processing for regional and global networks across the globe.

An accurate choice of the Seiscomp3 setting parameters is necessary to ensure the best performance of the real-time system i. e. the most accurate location for the earthquakes and avoiding any false and miss located events. The aim of this study is to optimize the algorithms of the real-time system that detect and locate the earthquakes in the monitored area. This goal is pursued by testing different parameters (e. g., STA/LTA, BK and AIC picking, filters applied to the waveforms) on a data set of representative earthquakes of the regional and local seismicity.

We operate several parallel processing "pipelines" to detect and locate local, regional and global seismicity. Additional pipelines with lower detection thresholds can be defined to monitor seismicity within dense subnets of the network, especially Ulaanbaatar area. The result of tuning procedure and appropriate setting of parameters will be presented.

EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEM OF ULAANBAATAR CITY

**A. Enkhtuvshin, M. Ulziibat, A. Narmandakh,
J. Bayaraa, Ts. Batsaikhan**

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
Enkhtuvshin@iag.ac.mn

The purpose of earthquake early warning system is to provide warning information of ground shaking hazard before dangerously ground motion is felt. Earthquake early warning systems are algorithms designed to detect the initial P-waves from an earthquake, rapidly estimate the magnitude of the event, and predict subsequent ground shaking in the surrounding regions.

In this paper review of the earthquake early warning system (EEWS) using in Mongolia, its requirement of development in future and implementation of onsite EEWS. As this this paper is intended for a general audience, no technical details will be present.

RELOCATION OF THE MICRO-SEISMICITY USING THE DOUBLE DIFFERENCE ALGORITHM AT LARGE SURFACE RUPTURES OF MONGOLIA

D. Ganzorig, M. Ulziibat, Ya. Klinger

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
ganzorig@iag.ac.mn

Four large ($8 \geq M$) earthquakes occurred in western Mongolian and in near vicinity during the last century, in 1905, 1931 and 1957. The total surface rupture length for these four earthquakes is over 800 km. (Ulziibat. M., 2003). Morphotectonic analyses was carried out along these ruptures for each fault system (M. Rizza et al., 2015; Choi et al., 2018; Kurtz et al., 2018). The faults are mainly left-lateral strike-slips and are characterized by several meters of horizontal offset (M. Rizza et al., 2015; Choi et al., 2018). These large earthquakes of western Mongolia are also characterized by some significant micro-seismicity, which origin is not well known. The micro seismicity could actually be related to some long-term aftershock activity associated to the major earthquakes from the last century.

Here we use the full catalogue of seismic data from the Mongolian National Data Center database based on permanent and temporary seismic networks. This catalogue includes more than ~ 3000 events, which range in magnitude between 1 and 5. Our objective is to relocate clusters of micro-seismicity located along the major earthquake rupture using the double difference algorithm by F. Waldhauser et al. (2001), to test if the micro-seismicity can inform us about the geometry of the rupture at depth for these past earthquakes (Bulnay-Tsetserleg 1905 and Gobi-Altay 1957) which shows seismic cluster highlight on the geometry and depths of faults.

SEISMIC ACTIVITY AROUND ULAANBAATAR CITY, MONGOLIA

**A. Munkhsaikhan, M. Ulziibat, L. Dagzinmaa,
M. Dolgormaa, G. Tuguldur, D. Lkhagvadorj**

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
moogii@iag.ac.mn

The seismic activity observed in the vicinity of Ulaanbaatar is relatively low compared to the activity observed in western Mongolia. Nevertheless, we observed a high seismic activity in the north of the Emeelt town, about 14 km to the WSW from the urban area of Ulaanbaatar city.

Since the beginning of this high seismic activity in middle of 2005, more than 2000 earthquakes with magnitude up to 4.2 have been observed by our network through this area.

Based on the distribution of these earthquakes and the evidence of surface ruptures discovered after field investigations in this area, the question raised of the relation between this seismicity and the fault and the maximum magnitude that occurred in the past on it. We have done several geophysical and paleoseismic studies around Ulaanbaatar and its surrounding areas. Those areas, which could be one of most seismic active zone around Ulaanbaatar, dramatically increases the seismic hazard of the capital of Mongolia where is concentrated about of 1/3 of the Mongolia population and the majority of industries of the country.

In addition to the complexity of the tectonics context, the lack of large magnitude earthquake in this area conjugated with the recent triggered high seismic, which has been well monitored by local digital seismic network, makes the study of this earthquake activity fundamental for the estimation of Ulaanbaatar seismic hazard. In this presentation, we will discuss results of geological survey and analyze this seismic activity, such as the time evolution of the earthquake swarms.

DETERMINE PROPERTIES OF ANISOTROPY BY SHEAR WAVE SPLITTING METHOD IN THE AREA OF ULAANBAATAR

**A. Narmandakh, M. Ulziibat, B. Battulga, J. Bayaraa,
S. Odbayar, D. Lkhagvadorj, A. Battsetseg, G. Ariunaa**

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
narmandakh@iag.ac.mn

Seismic anisotropy is a powerful tool to study the deformation and dynamics of crust. Knowledge about seismic anisotropy can provide important insight into the deformation of the crust beneath tectonically active regions. The anisotropy is the result of stress-aligned fluid-saturated grain-boundary cracks and pore throats in almost all crustal rocks. Here we focus on the area of Ulaanbaatar, Mongolia. We measured shear wave splitting parameters of seismic anisotropy of crust using 10 000 local earthquakes recorded by more than 16 stations of the Ulaanbaatar Seismic Network between January 2014 and April 2018. The resulting 600 shear wave splitting measurements provide a uniform and comprehensive database of local shear wave splitting measurements in

Ulaanbaatar. Those measurements are made using an `anisomat_auto` program that azimuth of the fast polarization direction ϕ and delay time δt of the split shear wave. In an anisotropic medium, shear waves split into faster and slower components with almost orthogonal polarizations. For nearly vertical propagation the polarization of fast shearwave is parallel to both the strike of the cracks and the direction of maximum horizontal stress, therefore it is possible to use polarization of fast shearwave to study stress in the crust. This phenomenon is called shear wave splitting. We select events with incident angle from 0 to 45 and calculated splitting parameters using a multi-channel and a single-record cross-correlation method. Each splitting result is visually checked to ensure the quality of the analysis. From splitting measurements, we calculated delay times range from 0.02 to 0.68 seconds and possibly resulting from stress-aligned fluid filled microcracks in the upper crust. The fast directions at many stations are consistent with regional maximum compressional stress σ_{\max} . However, several regions show clear deviations from the σ_{\max} directions. These include geological blocks of Ulaanbaatar Basin and regions around the Khustai, Sharkhai, Avdar Uul and the Gunj faults.

ANALYSIS OF THE EARTHQUAKE CATALOGUE OF THE SOUTH AND CENTRAL BAIKAL BASINS FOR THE DIGITAL PERIOD OF OBSERVATIONS

N. A. Radziminovich, A. I. Miroshnichenko, F. L. Zuev

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia
nradzim@crust.irk.ru

In this study, the earthquake catalogue of the South and Central Baikal basins has been analyzed since 2003 when all stations of the network were changed over to digital recording. Our analysis is based on the postulate of self-similarity of the earthquake process and a power law approximation of the frequency-magnitude distribution. First, we evaluated the magnitude of completeness based on the frequency-magnitude distribution. The average value of the magnitude of completeness was found to be $M_c 1.1 (K6.0) \pm 0.05$. However, mapping of M_c value shows its spatial and temporal heterogeneity caused by network configuration change and two large aftershock sequences occurrence in 2008.

After assuming the level of magnitude of completeness, b -value in the Gutenberg-Richter relation (γ -value in terms of K-class) was estimat-

ed using the modified maximum likelihood method. The slope of the frequency-magnitude distribution shows the average value as $b = 0.94$. The Kultuk depression is characterized by lower background values ($b < 0.8$) whereas the Selenga-Buguldeika isthmus and the area of the Selenga delta and further east including Proval Bay is distinguished by higher values ($b > 1.1$). Lower b -values may imply increased differential stress in the crust, and vice versa higher b -values may be due to decreased stress. The Kultuk depression unlike other territory of Lake Baikal is under transtension; moreover, it is an area of conjunction of two master faults that may redistribute stress and result in its increasing. To explain the high values in the area near the Selenga delta we refer to the largest known earthquakes (1862, M7.5, and 1959, M6.8) which occurred here.

In addition, we quantified spatial epicenter distribution through fractal dimensions. The obtained values of capacity, information, and correlation dimensions give indication to multifractality that reflects nonuniformity of epicenter distribution. Correlation dimension in the South basin is found to be closed to 1 that is interpreted as a tendency of epicenters to be distributed along a line; while in the Central basin the obtained values of the dimension are higher. More planar earthquake distribution in this basin corresponds to the listric fault type which is suspected from geomorphic signs and rifting models with detachment.

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research according to the grant N 16-05-00224.

DIFFERENT EARTHQUAKE PREPARATION AT THE ENDS OF THE TUNKA VALLEY, THE BAIKAL RIFT SYSTEM: 6-YEAR MONITORING OF $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ IN GROUNDWATER FROM ACTIVE FAULTS

**S. Rasskazov^{1,2}, A. Ilyasova¹, S. Borneyakov^{1,2},
I. Chuvashova^{1,2}, E. Chebykin^{1,3}**

¹Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

³Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

High $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio ($AR4/8$), identified in groundwater from the Elovka-Kultuk and Nilovka-Mondy inversion sections of the Tunka Valley, coincide with areas of earthquake concentrations. To use this parameter for earthquake prediction, its spatial and temporal variations in underground water from active faults were studied.

At the eastern end, the Kultuk, Zaktuy, and North-Tory $AR4/8$ and earthquake anomalies occur in the periphery of the Elovka-Kultuk section and mark boundaries of the Khamar-Daban lithospheric block that was flattened against the edge of the Siberian platform basement. The Kultuk polygon is of particular interest as a sensitive point for monitoring of seismic activity in the South Baikal basin. Variations of this parameter were assumed to reflect a quasi-periodic alternation of crack opening / closing that facilitated and prevented water circulation in an active fault. Responses of $AR4/8$ to weak seismic events that occurred directly on the polygon and to a large remote earthquake were designated by the transitions from disordered, high-amplitude fluctuations of this parameter to its consistent, low-amplitude ones at different monitoring sites. In groundwater from the Kultuk polygon, decreasing $AR4/8$ values were followed with their sharp increasing and transition to low-amplitude variations.

At the western end of the valley, a 6-year monitoring of water from the Mon-D well in the Mondy basin was performed. A recorded gradual decrease of $AR4/8$ values in water of this well, coeval with preparation and implementation of an earthquake with the energy class $K = 13.9$ in the north of lake Khubsugul, reflected crack closure that prevented deep water penetration in the Tumelik-Mondy aseismic zone. Destroying of the Mondy anomaly in this zone, accompanied by a continuous activity of the Turan and Nilovka anomalies within the Nilovka-Mondy section, emphasized its specific role of an intermediate chain between the Khubsugul segment of radial rifts, originated in front of the Hangay orogen, and the largest central basin of the Tunka Valley.

The hydroisotopic method of detecting the seismically dangerous state of an active fault is a new approach for a large earthquake prediction with an approximate indication of its time. From the observations done in the eastern end of the Tunka Valley, a strong earthquake is predicted in the South Baikal basin in early 2019. Another style of a large earthquake preparation at the western end of the valley requires special approach to hydroisotopic observations in this area.

MONGOLIAN SEISMIC NETWORK AND DATA CENTER

M. Ulzijargal, J. Bayaraa, B. Munkhbayar

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
ulzijargal@lag.ac.mn

In 1957 the very first Mongolian seismic station was installed in Ulaanbaatar with assistance from the Soviet Union. Mongolia is situated in a seismically-active region due to its situation between the Indian sub-continent and Eurasia. Several strong earthquakes have been registered in Mongolia over the last century. The Mongolian Seismic Network has been expanding year on year and now seismic stations, including 6 mini-arrays (one of them belongs to CTBTO), are working online at 17 separate points on Mongolian territory. An earthquake early warning system and geophysical monitoring system for the study of active faults around Ulaanbaatar city has also been established by the Mongolian government. Nonetheless the Mongolian Seismic Monitoring Network, which records seismic events in the country, is sparse at present. Determining and improving detection capability is an important challenge. This paper presents improvements made in technical availability and Mongolian Data Center.

In 2012, the Institute of Astronomy and Geophysics (IAG) has been built a real-time seismic and geophysical observation network, in the vicinity of Ulaanbaatar. Still we keep improving its performance. The purpose of this station network is monitor seismic activity near Ulaanbaatar region, its vicinity area and establish earthquake forecasting system on the preliminary basis at the present, 41 seismic and number of geophysical equipments are currently five tiltmeters, seven permanent GPS, six radon, the 20 of them are seismic instruments and on gauges, three magnetometers. All data transmissions are in realtime, receiving at the Mongolian National Data Center (MNDC).

ОПАСНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

РАЗВИТИЕ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНАХ СТРОИТЕЛЬСТВА КРУПНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ МАКАРОВСКОГО РАЙОНА САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ)

**Ю. В. Генсиоровский¹, Н. А. Казаков¹,
С. П. Жируев², Н. Н. Ухова³**

¹Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН,
г. Южно-Сахалинск, Россия

²АНО НИЦ «Геодинамика», г. Южно-Сахалинск, Россия

³Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
gensiorovskiy@mail.ru

Практика последнего времени показала, что прокладка крупных линейных объектов (нефтегазопроводы, автомобильные и железнодорожные магистрали) в районах интенсивного развития экзогенных геологических процессов (ЭГП) требует проведения исследования специалистов в области оценки опасных природных процессов на всех этапах – от проектирования до строительства, эксплуатации и ликвидации при необходимости. Для территории Сахалинской области, где в последние годы построен ряд крупных линейных объектов, это является актуальной задачей.

На значительной части территории Макаровского района широко развиты такие процессы, как оползни, сели, плоскостная и линейная эрозия, крип, солифлюкция и др.

На исследуемой территории широкое развитие получили породы глинистого ряда. Небольшое удельное сцепление, низкие углы внутреннего трения, хорошая размокаемость и набухаемость, характеризующие данные породы, способствуют их активному вовлечению в оползневые и селевые процессы.

Возникновение и активное развитие всего спектра ЭГП вызваны сочетанием природных и антропогенных факторов. Природные фак-

торы: геологическое строение, большое количество атмосферных осадков, вызывающих сильное обводнение оползневых, селевых массивов. Антропогенные факторы: крупные отвалы грунтов, искусственно созданные во время добычи угля (до середины 90-х годов прошлого века) и строительства нефтегазопроводов «Сахалин-2»; обводнение массивов естественных и техногенных грунтов подземным стоком, перераспределенным при строительстве нефтегазопроводов «Сахалин-2»; сбросом поверхностного стока с полосы отвода нефтегазопроводов «Сахалин-2» на оползневые массивы и крутые склоны, на которых до этого эрозионные и оползневые процессы либо развивались незначительно, либо были не развиты совсем.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРОХОЖДЕНИЯ ВОДОКАМЕННОГО СЕЛЯ 2014 Г. НА Р. КЫНГАРГА

А. А. Добрынина^{1,2}, В. В. Чечельницкий³, С. А. Макаров⁴

¹ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
dobrynina@crust.irk.ru

² Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

³ Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия

⁴ Институт географии им В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

Селевые потоки, как правило, возникают в бассейнах небольших горных рек во время интенсивного таяния снега или продолжительных ливневых дождей и могут быть крайне разрушительными явлениями. При движении селевого потока по руслу вследствие турбулентности потоков и соударений камней и обломков горных пород о стенки и дно русла возникают упругие колебания, которые могут быть зарегистрированы расположенными поблизости сейсмическими станциями. В работе представлены результаты анализа уникальных сейсмических записей катастрофического водокаменного селя 27–29 июня 2014 г. на р. Кынгарга (Республика Бурятия), полученных на сейсмической станции «Аршан», находящейся в районе прохождения селевого потока.

Анализ сейсмических записей показал, что движение селевых масс, представленных валунно-галечниковыми отложениями, началось 27 июня в 17 ч 19 мин и продолжалось, то ослабевая, то усиливаясь, в течение почти трех суток. Зафиксировано три продолжительных сейсмических события длительностью 8–12 мин, которые могут быть интерпретированы как движение влекомых наносов в селевом потоке. Спектр этих событий представлен высокочастотны-

ми колебаниями (22–48 Гц), также значительный вклад вносит низкочастотная составляющая – 0.35–0.45 Гц. Те же низкочастотные колебания наблюдаются и для фона за весь период селевой активности. Такое разделение спектра скоростей колебаний на две составляющие может быть объяснено наложением двух процессов – потока водных масс с образованием турбулентных потоков (низкочастотная компонента с максимумом 0.4 Гц) и ударов твердой фракции селевого потока о дно и стенки русла (высокочастотная компонента с максимумом излучения в диапазоне 30–44 Гц). В процессе движения влекомых наносов, а также до их начала и в конце отмечаются разнородные высокочастотные импульсные и достаточно продолжительные события (их длительность может варьироваться от 2 до 30 сек), которые также представляют собой соударения и волочение камней и обломков горных пород в русле потока. Поляризационный анализ сейсмических записей во время селевого потока (перемещение селевых масс, отдельные импульсные события и микросейсмический фон) показал преобладание северо-восточной или северо-северо-восточной ориентации колебаний при слабой выраженности колебаний в вертикальной плоскости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-45-388088_р-а).

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПРОЯВЛЕНИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ УЛААНБААТАРСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Е. А. Козырева, А. А. Рыбченко, О. А. Мазаева

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

Территория городской агломерации Улаанбаатара характеризуется сложными геолого-геоморфологическими условиями и проявлением катастрофических паводков, которые по историческим данным отмечались в 1778, 1915, 1966, 1982, 2000, 2003, 2004, 2009, 2015 и 2016 гг. В связи с активным освоением новых городских территорий все острее встает проблема обеспечения безопасности проживания людей на предгорных ландшафтах. Одна из задач – выделить территории с высоким потенциалом развития опасных экзогенных процессов, формирование которых определяется сочетанием геоморфологического, геолого-литологического и климатического факторов.

Для целей планирования и безопасного использования городской территории при выделении территориальных элементов одного уровня использованы границы водосборных бассейнов как однородные геоморфологические единицы. Городская территория охватывает водосборные бассейны разных порядков, примыкающие к межгорной впадине – долине р. Туул. Количественные данные получены в результате обработки топографических карт и цифровых моделей рельефа в ГИС-программах. Рассчитаны специальные морфометрические параметры водосборных бассейнов, характеризующие рельеф бассейна, его геометрию и состояние дренажной сети, построены тематические оценочные карты.

На основе комплексного анализа всех компонентов геологической среды дана оценка инженерно-геологических условий и predisposedности бассейнов к проявлению водной эрозии дождевого происхождения, составлена Карта инженерно-геологического районирования территории города Улаанбаатар М 1:100 000.

Выделены три инженерно-геологических района. Центральный район включает водосборные бассейны 4-го и 5-го порядков, с крупными хорошо проработанными речными долинами рек Толгойт, Сэлбэ, Улиастай и Холыйн. Наличие тектонических зон, распространение литолого-генетических комплексов мощностью до 30 м, плотная застройка осложняют инженерно-геологические условия, формируют зоны риска от развития катастрофических процессов и требуют практически повсеместной инженерной защиты. В пределах восточного (водосборы рек Найлайхын, Элот, Овор, Дендийн, Гацууртын) и западного (водосборы от 1-го до 6-го порядков, р. Тургенчин) инженерно-геологических районов меры защиты от опасных геологических процессов необходимы на локальных территориях.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ФОРМ КРИОГЕННОГО РЕЛЬЕФА НА ПРИМЕРЕ ДОЛИНЫ РЕКИ СЕНЦА, ВОСТОЧНЫЙ САЯН

В. А. Пеллинен, С. В. Алексеев

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск
vadim.a.pellinen@ya.ru

В последние годы отмечено увеличение количества исследований, основанных на сборе данных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Настоящая работа является частью большого исследования по эволюции криогенных процессов Восточного Саяна и заключается в построении современной модели рельефа для фиксации его изменений во времени.

Исследования были выполнены с помощью БПЛА (DJI Inspire 1 pro), оснащенный камерой, для получения аэрофотоснимков с разрешением 3840×2160 пикселей. Для проверки точности построения модели рельефа использован электронный тахеометр (Trimble TS635) и дальномер (Leica DISTO D510).

В результате применения БПЛА на первом этапе составлена цифровая модель ключевого участка, на которой были околтурены фрагменты бугров пучения, а также озеро. С помощью тахеометра построены трехмерные модели бугров, а путем нивелирной съемки – поперечные профили между буграми и рекой. Дальнейшие исследования и обработка DEM-моделей дадут возможность оценить темпы разрушения бугров пучения.

Проект выполнен при финансовой поддержке РФФИ (№ 16-05-00115).

ИЗУЧЕНИЕ АБРАЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ОСТРОВА ОЛЬХОН

В. А. Пеллинен, Е. А. Козырева

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
vadim.a.pellinen@ya

Цель работы состояла в изучении абразионно-аккумулятивных берегов в пределах северо-западной части о. Ольхон на основе применения прямых и косвенных методов исследования. В данном случае к косвенным методам исследования относятся аэрофотосъемка, выполненная с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), а к прямым методам – морфометрические измерения, выполняемые с помощью тахеометра, эхолота и GPS-приемника. Работы проводились на участках в пределах абразионного и аккумулятивного типов берегов, отражающих все его морфогенетические особенности.

В результате анализа полученных данных установлено, что современное колебание уровня озера незначительно влияет на абразионно-аккумулятивный берег в пределах о. Ольхон. Следовательно, в переформировании берегового склона ведущую роль играют различные экзогенные геологические процессы, которые развиты на данной территории. В пределах аккумулятивного типа берега ежегодные морфометрические измерения позволили установить, что основное поступление на пляж песчаного материала, пригодного для формирования пляжей, пересыпей на острове, происходит с подводного склона в период летних штормов. Осенью происходит смена ветров с северо-восточного на северо-западный, что способствует разрушению сформированных береговых валов и обеспечивает поступление материала для аккумулятивных форм.

Расчет разницы между данными, полученными с БПЛА в ходе обработки DEM-модели (Digital elevation model), тахеометрической съемки, и дешифровки аэрофото- и космоснимков в разные временные отрезки позволил отследить динамику переформирования некоторых аккумулятивных форм берега. Стоит отметить, что полеты в прибрежных районах могут быть трудновыполнимыми из-за риска быстрого изменения метеорологических условий. Несмотря на эти ограничения, данное исследование показывает, что БПЛА в сочетании с прямыми морфометрическими методами могут быть успешно использованы в процессе изучения береговой зоны.

Формирование подобных типов берега, которые представлены в заливах западного побережья острова, происходит в результате вли-

яния комплекса природных компонентов, усиливающих или ослабляющих действие друг друга. Характер распределения гранулометрического состава отложений в пределах аккумулятивных берегов является своеобразным индикатором современной активности некоторых процессов. Динамика абразионных берегов о. Ольхон зависит, в первую очередь, от процессов, осложняющих склон при значительном колебании уровня оз. Байкал.

Работа выполнена в рамках проекта «Цифровой Байкал».

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОВРАГОВ В ЛЕССОВИДНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Ю. В. Рыжов

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
ryzhov Yuriy@yandex.ru

Взаимодействию экзогенных процессов на разных этапах развития форм рельефа, в том числе и оврагов, уделяется недостаточное внимание. Ведущие экзогенные процессы на водосборных бассейнах создают структуры, которые трансформируются при климатических изменениях и хозяйственной деятельности. Овражная эрозия – один из ведущих экзогенных процессов в лессовидных отложениях Западного Забайкалья. Овраги в своем развитии проходят несколько стадий (врезания, расширения, заполнения и погребения).

Ведущие экзогенные процессы (суффозия, термокарст, криогенное растрескивание, оплывание и др.): 1) образуют разнообразные отрицательные формы рельефа на поверхности земли, подземные полости, которые при благоприятных условиях могут превратиться в овраги; 2) формируют эрозионно-оползневые, суффозионно-эрозионные региональные комплексы оврагов; 3) осуществляют частичное и полное заполнение оврагов и/или переход в другую категорию эрозионных форм (лога, логовины, балки, лоцины, ложбины).

Экзогенные процессы по степени их участия в образовании и развитии оврагов делятся на три группы: определяющие (напрямую или косвенно участвующие в образовании и развитии оврага), сопутствующие (существующие до появления оврага, не участвующие напрямую в его образовании) и обусловленные его возникновением. Первая (суффозия, карст, тоннельная эрозия, термоэрозия, оползание, оплывание, криогенное растрескивание и др.) предопределяет местополо-

жение оврага, создавая отрицательные формы рельефа различных размеров и генезиса. Вторая группа экзогенных процессов (крип, смыв, дефляция, эоловая аккумуляция и др.) проявляются на водосборе независимо от оврага. Третья (осыпание, обваливание, солифлюкция) проявляется только после образования оврага. Типы и интенсивность экзогенных процессов зависят от стадии и фазы развития оврага.

В лесостепных и степных районах Забайкалья овражная эрозия тесно взаимодействует с криогенными, суффозионными, оползневыми, эоловыми процессами. Проявление ведущих экзогенных процессов обуславливает морфологические особенности, специфику развития и заполнения оврагов. Участие в эволюции форм размыва нескольких ведущих геоморфологических процессов, их неоднократная смена и большие различия в активности определяют наряду с объемами стока особенности морфологии форм размыва, их местоположение и особенности их динамики, обуславливает их полигенетичность.

СЛЕДЫ ПАЛЕОПАВОДКОВ В РАЗРЕЗАХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЙМ И ТЕРРАС ПРИБАЙКАЛЬЯ И ЗАБАЙКАЛЬЯ

Ю. В. Рыжов

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
ryzhovyurij@yandex.ru

Сведения об экстремальных паводках на реках Прибайкалья и Забайкалья за последние 1000 лет опубликованы в различных изданиях и содержатся в исторических хрониках и летописях (Задонина, Леви, 2008). Для более раннего времени их следы сохранились в осадках пойм и надпойменных террас. Они представлены различными по составу отложениями, отличными от выше- и нижележащих. Наиболее широко применяется радиоуглеродный метод датирования палеопаводков (Venito et al., 2004).

В разрезах отложений пойм и террас последствия высоких паводков выражены в виде прослоев крупнозернистого песка, гальки среди песчаных, суглинистых отложений. Они фиксируют фазы активизации флювиальных процессов, размыва берегов, врезания рек. Нами детально исследованы разрезы отложения низких террас рек Прибайкалья и Забайкалья (Иркута, Тарбагатайки, Мензы, Чикоя). Для них получены серии радиоуглеродных датировок, которые позволили выделить фазы повышенной водности рек.

На основе детальных стратиграфических и геохронологических исследований отложений первой и второй надпойменных террас р. Тарбагатайки выявлено 10 фаз повышенной водности и аккумуляция песчаного аллювия в течение 14–3.4 тыс. кал. л. н. В верхней части разреза аллювиальных отложений первой надпойменной террасы р. Мензы (Усть-Менза-1) зафиксировано шесть фаз высокой флювиальной активности возрастом 13.2–8.5 тыс. кал. л. н. Примерно 8.5 тыс. кал. л. н. после завершения аккумуляции песчаного аллювия произошел врез реки на 1–2 м. В бассейне р. Иркутка в отложениях второй террасы у с. Гужиры зафиксированы слои песков с галечником, отражающим этапы экстремальных паводков. Возраст их 10.1–9.2, 5.2–4.5 тыс. кал. л. н.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными о реконструкции речного стока в оз. Байкал и сведениями о его палеоуровнях, полученными по геоархеологическим данным. В голоцене выделяются три периода увеличения стока в оз. Байкал (10–9, 7–5 и 5–4 тыс. кал. л. н.) (Goldberg et al., 2005). Максимальная приточность воды (более 150 м³/год), согласно данным авторов, была 9.7–9.2, 8.5–8.1, 7.0–6.7, 6.0–5.8, 4.7–4.2 тыс. кал. л. н. Согласно геоархеологическим данным (Воробьева, Горюнова, 2013), повышенные уровни Байкал имел 5.5–5, 4–3.9 и примерно 2 тыс. л. н., а существенное понижение уровня озера было 6.3–5.5 тыс. кал. л. н.

ЭКЗОГЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И ГРУНТОВЕДЕНИЕ: ВЗАИМОСВЯЗИ, ПРОГНОЗЫ, ПРАКТИКА

Т. Г. Рященко

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

Грунтоведение, инженерная геодинамика и региональная инженерная геология – равноценные и взаимосвязанные научные разделы инженерной геологии. Опасные экзогенные геологические процессы (ОЭГП), методы их изучения, прогноз и инженерная защита относятся к числу проблем, которыми занимается Международная ассоциация инженерной геологии и охраны окружающей среды (International Association for Engineering Geology and the Environment). Естественно, можно согласиться с влиянием активности Солнца на проявление ОЭГП (гелиогеодинамика), но неизбежно приходится обра-

щаться к грунтам, которые являются средой развития процессов и составляют объект и предмет грунтоведения.

Взаимосвязи ЭГП и грунтоведения имеют прямой и обратный характер: грунты влияют на проявление процессов, но при этом изменяются признаки самих грунтов – эрозия возможна в легкоразмываемых лессовидных отложениях (Иркутск, Эрдэнэт) и лессах (Ланьчжоу, Китай), но в водонасыщенном состоянии они превращаются в опасные пльвуны, усиливающие сейсмический эффект (техногенный водоносный горизонт в лессовой толще, скв. 1–98) или образуют конусы выноса особого состава и свойств; карстовые процессы приводят к образованию пещер, на дне которых формируются песчано-глинистые отложения с особенными признаками микроструктуры и минерального состава, по которым удастся «прочитать» литологические записи уникальных событий (пещера Горомэ на Окинском плато, Восточный Саян). *Прогнозировать селевые потоки* следует не только по количеству осадков, но и на основе данных о гранулометрическом и химическом составе твердой составляющей, в разных объемах формирующейся при выветривании различных пород (селевые отложения на участке Кадар – Леприндо трассы БАМ). *Прогноз просадочных процессов в лессовых грунтах* невозможен при отсутствии сведений об их природной влажности и плотности, проявлении набухания и усадки, составе глинистых минералов и особенностях микроструктуры.

В практике инженерно-геологических изысканий грунтоведческий блок данных ограничен ГОСТом и не предполагает комплексных лабораторных исследований, но в ряде случаев для «доизучения» грунтовых толщ применяется метод «контрольной скважины» (площадка в районе г. Шелехова). Однако, по нашему мнению, «контрольная скважина» должна существовать в процессе изысканий, в том числе и на участках развития ОЭГП. При взаимном изучении ОЭГП и среды их развития безусловной перспективой является использование «беспилотников»-квадрокоптеров (участок долины р. Ида, Боханский район).

Главная идея доклада: реализация системы изучения ОЭГП на основе прочных взаимосвязей с грунтоведением.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА РАЗВИТИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ О. ОЛЬХОН)

А. А. Светлаков, Е. А. Козырева

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
sir.swetlackov@yandex.ru

Температурные колебания в пределах сезонно-талого слоя являются важным критерием развития экзогенных геологических процессов, особенно на участках с развитием высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов, среднегодовая температура которых изменяется в пределах от -0.1 до -0.5 °С [1]. Такие мерзлые грунты являются климатически уязвимыми элементами природной среды.

Исследования проводились на территории о. Ольхон в пределах залива Харалдайский вблизи от пос. Харанцы. Объектом изучения являлись оползневые участки разной степени активности. В геокриологическом отношении участок относится к области развития редких линз мерзлых грунтов, где изменение температурного режима грунтов приводит к активизации оползневых процессов и смещению грунтов по еще не протаявшему сезонно-талому слою.

Температурный режим грунтов в пределах сезонно-талого слоя напрямую зависит от температуры атмосферного воздуха. В период наблюдений за 2012–2014 гг. во всех скважинах в пределах искомого участка отмечались положительные среднегодовые показатели температуры в пределах сезонно-талого слоя. Среднегодовое значение температуры на отметке 0.6 м составило 1.9 °С, ситуация меняется лишь на глубине 3.6 м, где в период наблюдений отмечается постоянная отрицательная температура -0.1 °С. В цикле годовых теплооборотов выделяют два полных полупериода нагревания и два полных полупериода охлаждения грунтов. Температура грунтов имеет значительные амплитуды колебаний: на глубине 0.6 м она изменяется от 14.9 до -11.8 °С, на глубине 1.0 м – от 8.8 до -7.1 °С, на отметке 1.6 м температура варьируется от 5.0 до -3.8 °С.

Важной характеристикой развития солифлюкционных оползней является сдвиг фазы годового хода (запаздывание) температуры [2]. Так, для преодоления температурным потоком интервала глубин от 0.6 до 1.0 м в среднем затрачивается 30–40 сут., от 1.0 до 1.6 м составил 50–60 сут. и на глубине от 1.6 до 3.6 м переход от положительной температуры к отрицательной происходит через 60–70 сут. Такое значительное запаздывание указывает на постепенное протаивание грунтов на данном участке, что и определяет активизацию оползневых процессов.

Грунты до глубины 0.6 м в период с мая по июнь проявляют оползневую активность по не протаявшему сезонно-талому слою, мощность блоков смещения не превышает глубины протаивания. Более глубокие деформации возникают в осенний период – в сентябре-октябре. Распределение температурного режима грунтов в годовом цикле теплооборотов позволяет определить и спрогнозировать временные периоды и наиболее вероятные виды деформаций при активизации склоновых процессов.

Литература

1. Лешиков Ф. Н. Мерзлые породы Приангарья и Прибайкалья. М. ; Новосибирск : Наука, 1978. 142 с.
2. Шерстюков А. Б. Запаздывание годового хода температуры почвогрунтов на глубинах до 320 см по данным метеостанций России // Анализ изменений климата и их последствий. 2010. С. 92–96.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ В РАЙОНАХ СТРОИТЕЛЬСТВА КРУПНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ МАКАРОВСКОГО РАЙОНА САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ)

**Н. Н. Ухова¹, С. И. Штельмах¹,
Н. Н. Гринь², Ю. В. Генсиоровский³**

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

³Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия,
nat_ukhova@crust.irk.ru

В районах интенсивного развития экзогенных геологических процессов (ЭГП) строительство крупных линейных объектов (нефтегазопроводы, автомобильные и железнодорожные магистрали) и их эксплуатация требуют проведения инженерно-геологических изысканий и мониторинга взаимного влияния антропогенных и природных факторов на динамику развития ЭГП. Сотрудниками ДВГИ ДВО РАН проводятся многолетние наблюдения в Макаровском районе Сахалинской области вдоль линейных объектов. В зону антропогенного влияния попадают грунты, представленные аргиллитами и алевролитами, которые меняют свои прочностные характеристики при изменении внешних условий. Это приводит к расширению площадей, пораженных ЭГП (оползни, сели, плоскостная и линейная эрозия и др.).

В рамках мониторинговых исследований возникла необходимость дополнительного изучения грунтов и оценки изменения их состава и свойств. Для отобранных образцов (10) был выполнен комплекс лабораторных исследований: в Лаборатории по изучению состава и физико-механических свойств горных пород ИрННТУ по стандартным методикам (ГОСТ 5180-84, ГОСТ 12536-2014) определены физические и физико-механические свойства и гранулометрический состав. В ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН установлены: минеральный состав образцов методом порошковой дифракции на дифрактометре «ДРОН-3», глинистые минералы – методом «ориентированных препаратов», содержание породообразующих элементов (метод силикатного анализа), микроэлементный состав – методом количественного рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с помощью спектрометра S8 Tiger (фирма Bruker, Германия).

Полученные данные будут использованы для оценки динамики изменения свойств грунтов (сравнение с предыдущими материалами); результаты глинистой минералогии объясняют механизмы развития ЭГП и будут учтены при разработке рекомендаций по уменьшению негативных влияний ЭГП на линейные объекты и транспортные магистрали.

**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ
ИНЦ СО РАН И ИГУ КАК БАЗОВАЯ
СОСТАВЛЯЮЩАЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО
РАЗВИТИЯ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА
И ЕГО МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ:
ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ,
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, РЕАЛИЗАЦИЯ
ИНТЕГРАЦИОННЫХ ПРОГРАММ**

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОФОРИЕНТАЦИОННЫЕ
МЕРОПРИЯТИЯ ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН
ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ И СТУДЕНТОВ ПРОФИЛЬНЫХ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

А. А. Гладков

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
anton90ne@rambler.ru

В соответствии с Программой развития Института земной коры (ИЗК) СО РАН на период 2017–2021 гг. развитие кадрового потенциала и образовательная деятельность являются одним из приоритетов ИЗК СО РАН.

Институт ведет активную профориентационную и образовательную работу, а также деятельность по популяризации науки, среди школьников старших классов и студентов профильных специальностей вузов Иркутской области. В число мероприятий, организатором которых является ИЗК СО РАН, входят традиционные «дни открытых дверей», курсы научно-популярных лекций, экскурсии в музеи, центр коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» и лаборатории института. Институт принимает активное участие во всероссийских мероприятиях по популяризации науки (Нау-

ка 0+, Дни науки, различные тематические выставки и экспозиции и т. д.). Сотрудники института выступают в качестве экспертов и наставников во многих научно-практических конференциях школьников регионального и муниципального уровня.

Каждые два года в ИЗК СО РАН проводится Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика», активное участие в которой традиционно принимают студенты геологического факультета Иркутского государственного университета и Института недропользования Иркутского национального исследовательского технического университета.

В докладе будет представлен подробный обзор всех перечисленных мероприятий и проектов ИЗК СО РАН.

РАЗВИТИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ НАУКИ В МОНГОЛИИ: ПОДГОТОВКА НАЦИОНАЛЬНЫХ КАДРОВ МОНГОЛИИ В РОССИИ И СОВМЕСТНЫЕ НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ

**С. Дэмбэрэл, Ч. Одонбаатар,
М. Улзийбат, Ц. Батсайхан**

Институт астрономии и геофизики МАН, г. Улаанбаатар, Монголия
demberel@iag.ac.mn

Иркутский государственный университет прошел славный вековой путь и сегодня стоит на передовом краю подготовки кадров, решения актуальных вопросов города и области.

Обучение монгольских граждан в Иркутском государственном университете началось с 1925 г. В этот период формируются унифицированные правила приема монгольских студентов, разработаны методики обучения монгольских студентов русскому языку, изучения дисциплин общественно-гуманитарного цикла на русском языке. Традиция обучения монголов в Иркутске уходит своими корнями в давние и устойчивые связи Монголии и России.

В период с 1941 по 1991 г. российско-монгольские образовательные контакты переживают бурный подъем, страны входили в единый социалистический лагерь. В связи с созданием и расширением промышленных и хозяйственных предприятий, развитием просвещения и науки в Монголии возникла острая нужда в высококвалифицированных национальных кадрах. Это время совпадает с периодом заложения фундамента высших учебных заведений и академических институтов в Монголии.

Необходимо отметить, что основной поток монгольских студентов в России концентрировался в учебных заведениях г. Иркутска: Институте народного хозяйства, Политехническом, Педагогическом, Медицинском, Сельскохозяйственном институтах. Особое место в подготовке научных работников Монгольской академии наук занимает Иркутский государственный университет.

Монгольские специалисты продолжают обучаться в России и в настоящее время.

За неоценимый вклад в дело подготовки национальных кадров Государственный университет, Институт народного хозяйства, Политехнический институт г. Иркутска награждены орденом Трудового красного знамени Монголии.

Выражаю благодарность от лица студентов разных поколений Правительству Российской Федерации за поддержку граждан Монголии при обучении в учебных заведениях России.

МЕРОПРИЯТИЯ ИСЗФ СО РАН ПО РАЗВИТИЮ ИНТЕРЕСА К ФИЗИКЕ И АСТРОНОМИИ У ШКОЛЬНИКОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

И. К. Едемский

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
ilya@iszf.irk.ru

ИСЗФ СО РАН регулярно проводит мероприятия, имеющие целью популяризацию науки и развитие интереса к физике и астрономии у старшеклассников. В число этих акций входят ежегодная межрегиональная научная конференция школьников «Человек и космос», интеллектуальная игра «Брейн-ринг», практические занятия с учащимися старших классов лицей-интерната № 1. Кроме того, в институте действует кружок дополнительного образования «Астрошкола».

Доклад содержит обзор научных мероприятий, ориентированных на школьников, проводившихся в последние несколько лет. Мы представим общее описание мероприятий и их цели, расскажем о существующих сложностях и успехах в подготовке научной смены.

ОПЫТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ РОССИИ И МОНГОЛИИ

**А. М. Кононов, Д. Баттогтох, М. В. Старицын,
Е. Н. Иванов, Л. Р. Цыдыпова**

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

Развитие отношений между Россией и Монголией в сфере науки и образования имеет большое значение для укрепления сотрудничества и реализации проектов в различных сферах. В последнее время значительную роль в укреплении отношений играют молодежные научные организации: Секция молодых ученых Координационного научного совета при губернаторе Иркутской области, Ассоциация молодых ученых Монголии, Объединенные советы научной молодежи Иркутского и Бурятского научных центров.

Одним из первых совместно организованных крупных мероприятий стала Международная молодежная научно-практическая конференция (Россия – Монголия), посвященная 95-летию установления дипломатических отношений между Россией и Монголией и 50-летию молодежного фестиваля советско-монгольской дружбы «Манжерок». Данная конференция была проведена в два этапа: первый состоялся в г. Иркутске в мае 2016 г., а второй – в г. Улаанбаатаре в сентябре этого же года. В рамках конференции были организованы научные, культурные и спортивные мероприятия. Формат мероприятия вышел далеко за пределы традиционной конференции, и за счет включения спортивных состязаний, игр, концертной программы, подготовленной самими участниками, он стал хорошим примером настоящей «народной дипломатии».

Продолжением налаженного сотрудничества явился Международный междисциплинарный форум молодых ученых «Науки о жизни и зеленые технологии: Научный шелковый путь», прошедший в июне 2017 г. в рамках форума «Байкал». Данное мероприятие осуществлялось в трехстороннем формате «Россия – Китай – Монголия» и объединило молодых ученых, студентов, сотрудников инновационных компаний и корпоративных научных центров. Основной задачей форума было объединение молодых ученых, исследователей, студентов, разработчиков и предпринимателей, представляющих сферы деятельности в области «наук о жизни» и «зеленых технологий» в соответствии с тремя направлениями: наука, образование, инновации. Большой акцент в работе форума был сделан на

цели устойчивого развития и международное сотрудничество России, Китая и Монголии, эти вопросы обсуждались на соответствующих секциях. Результатом работы секций стало понимание о направленности сотрудничества в рамках проекта «Экономический пояс шелкового пути» и необходимости разработки совместных научных и инновационных проектов и создания направления «Научный шелковый путь».

В рамках форума совместно с клубом «Байкальские стратегии» была проведена стратегическая сессия, в ходе которой рассматривались современные тренды в обществе, экономике, науке как Байкальского региона, так и мира в целом. Результатом работы явились два проекта – Baikal Big Data и Research and travel: LabNet. Данные проекты рассматривались как единая платформа для междисциплинарных исследований и пример реализации сотрудничества и развития концепции «Научный шелковый путь».

Опыт проведения данных мероприятий говорит о том, что в настоящее время сотрудничество молодых ученых России и Монголии развивается, увеличивается число совместных научных проектов, укрепляются дружественные связи, обсуждаются планы по организации и проведению конференций и форумов.

ОПЫТ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ МОНГОЛЬСКИХ ВУЗОВ И ИРКУТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА В ОБЛАСТИ ПОДГОТОВКИ ГЕОЛОГОВ

С. П. Примина, С. В. Рассказов, С. В. Липкина

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
svetlana.primina@gmail.com

Иркутский государственный университет с первых лет своего существования стал одним из главных источников интеллектуальных ресурсов Сибири и Дальнего Востока. Университет начал подготовку кадров для зарубежных стран в 1925 г., приняв на обучение группу монгольских учащихся в количестве семи человек. Группа была командирована Министерством просвещения Монголии, а в университете созданы подготовительные курсы. Это были знаменитые Монголкурсы при Иргосуе. Курсы положили начало обучению монгольской молодежи в Восточной Сибири. С 1925 по 1932 г. здесь получили образование более 100 монгольских граждан.

В суровые дни Второй мировой войны, в октябре 1942 г. был открыт Монгольский государственный университет – первенец высшего образования в МНР, и Советский Союз горячо приветствовал этот новый очаг национальной культуры, оказывал всю возможную помощь в становлении МонГУ. Среди советских специалистов – первых преподавателей МонГУ – были педагоги и ученые Иркутского университета, преподавателями МонГУ стали также монгольские ученые – выпускники основных факультетов ИГУ. Начиная с 1960 г. подготовка специалистов для монгольского народного хозяйства начинает приобретать массовый характер, а подготовка геологов активизировалась с 1962 года, когда формировались группы по 5–7 студентов из выпускников школ МНР, которые готовились по специальности «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых». В 1992 г. 15 геологов из МНР повышали квалификацию на геологическом факультете ИГУ по нефтяной геологии. В 1987–1989 гг. доцент факультета А. А. Белоголов приглашался в МонПИ для чтения курсов на горно-геологическом факультете. В 1991–1992 гг. проводилась совместная советско-монгольская учебно-ознакомительная практика со студентами в Прибайкалье и Центральной Монголии, когда практику прошли по 20 студентов из Монголии и геологического факультета ИГУ. Учебные практики возобновились в последнее десятилетие. Новое направление получила работа по совместной подготовке школьников, основанная на дружественных мероприятиях монгольских вузов и геологического факультета ИГУ.

АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ИРКУТСКЕ

С. А. Язев

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
syazev@gmail.com

История астрономического образования в Иркутске содержит множество персоналий и организаций. Школьное астрономическое образование, будучи государственным, развивалось синхронно с процессами во всей стране, курс астрономии читался в школах города с 1935 г. Начиная с 1993 г. школьная астрономия в городе стала исчезать, сохраняясь в виде факультативов и элективных курсов в отдельных лицеях и школах. С 2017/18 учебного года астрономия вернулась в школы Иркутска. За весь период существования Всерос-

сийской астрономической школьной олимпиады, даже в отсутствие соответствующего школьного предмета, муниципальный этап олимпиады никогда не отменялся. Несколько раз школьники из Иркутска становились призерами и даже победителями всероссийских олимпиад по астрономии.

Дополнительное астрономическое образование связано с деятельностью астрономической секции ученического общества «Знание» при областном Дворце пионеров и школьников (1972–1993), работой Иркутского астроклуба (1989–2005), Детского космоцентра (1992–2012). Через эти кружки и клубы прошли многие школьники и взрослые люди, интересующиеся астрономией. Некоторые участники этих объединений стали профессионалами. В настоящее время действует детский астроклуб «Бета Дракона» на базе астрономической обсерватории ИГУ, а также астрофизическая школа при ИСЗФ СО РАН. Эти сообщества организуют выездные летние мероприятия, в которых могут принимать участие школьники, интересующиеся астрономией. Иркутск является одним из немногих отечественных городов, где в советский период работал планетарий (1950–1986), дополнительные знания по астрономии школьники могли получить и здесь.

Курсы, имеющие отношение к астрономии, велись в Иркутском государственном университете на географическом и физическом факультетах, а также в Иркутском государственном педагогическом институте. В настоящее время преподавание курсов, имеющих отношение к астрономии, в ИГУ продолжается. Кроме того, курсы повышения квалификации учителей астрономии реализует в Иркутске Институт развития образования.

В Иркутске в области астрономии работали и работают многие известные преподаватели, педагоги, ученые, в их числе В. К. Абольд, В. И. Курышев, А. А. Каверин, И. Н. Язев, В. Ф. Ениш, К. С. Мансурова, В. Н. Захаров, В. Л. Поляченко, Р. Т. Сотникова, Г. А. Каменева, Л. Е. Голубь, Л. М. Любушкина, С. А. Язев, А. А. Дворкина-Самарская, Э. Г. Зуев, Е. С. Шерстова, Д. Ю. Климушкин, К. А. Кутелев и др.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ ЦЕНТРА КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ «АНГАРА» ИСЗФ СО РАН

**Ю. В. Ясюкевич, В. В. Хахинов, А. Б. Белецкий,
А. М. Веснин, А. В. Губин, Д. А. Жданов, Е. Ф. Иванов,
Д. Ю. Колобов, И. В. Коробцев, С. В. Лесовой,
А. А. Луковникова, А. В. Ойнац, А. Ю. Пашинин,
К. Г. Ратовский, Р. А. Рахматулин, А. В. Подлесный,
В. Е. Сдобнов, Н. П. Просовецкая, А. А. Челпанов, С. А. Чупин**

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия
yasukevich@iszf.irk.ru

В настоящее время для наблюдений за околоземным космическим пространством (ОКП) в ИСЗФ СО РАН развернут крупный кластер научных установок, составляющих центр коллективного пользования (ЦКП) научным оборудованием «Ангара» ИСЗФ СО РАН. Кластер позволяет изучать широкий спектр задач солнечно-земной физики, включая кооперативные исследования физики Солнца, солнечного ветра и межпланетной среды, физики магнитосферы, физики атмосферы и ионосферы, солнечно-земных связей, распространения радиоволн, астероидно-кометной опасности, влияния солнечной активности на глобальные изменения климатической системы Земли, космической погоды и ее влияния на функционирование сложных технических систем наземного и космического базирования; а также развитие новых методов исследований и совершенствования оборудования в области солнечной астрофизики и космической геофизики, мониторинг естественной и техногенной обстановки в ОКП. ЦКП «Ангара» содержит следующее научное оборудование:

- астроизмерительный комплекс;
- автоматизированный солнечный телескоп;
- комплекс цифровых ионозондов DPS-4;
- магнитометрический комплекс;
- многопозиционный ионозонд с линейной частотной модуляцией излучаемого сигнала (ЛЧМ-ионозонд);
- оптический комплекс;
- Прибайкальская сеть приемников ГЛОНАСС/GPS;
- Саянский спектрографический комплекс космических лучей;
- солнечный спектрополяриметр 2–24 ГГц;
- солнечный телескоп оперативных прогнозов;
- Сибирский солнечный радиотелескоп (уникальная научная установка № 01-27).

ASTROPARK IN MONGOLIA

**B. Altan-Ochir, J. Gurragchaа, B. Otgonsuren, Ch. Amarjargal,
D. Undrakh, B. Banzragch, B. Enkhzul, B. Gantuya**

Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Ulaanbaatar, Mongolia
altan.ochir@yahoo.com

In 1957, the astronomical observatory was established at Bogdkhan mountain pass Khureltogoot. Significance of the location is that Bogdkhan mountain has been revered for centuries by Mongolians. The observatory is the heart of one of the three main study fields of IAG, which are astronomy, seismology and magnetology.

Further, the first visual observation of satellites was made in 1958 with Astronomical Tube AT-1. At the time, satellite geodesy was in its early stage and we contributed to the formation of global geodetic network.

In the year 1960, our country first brought a small plating equipment from the USSR to the youth's first technical training center, then transferred it to "nairamdal" international children's camp. Planetarium and space science building serves as an education and science popularization facility on astronomy and space science for the general public. Its goal is to inspire appreciation of astronomy, astrophysics and space science in the community through the wonders of scientific achievements of humankind.

The inauguration of the Planetarium and Space Science Museum took place on the 1st of June 2014 within the Institute of Astronomy and Geophysics, Mongolian.

CENTRE FOR GEODYNAMICS AND GEOCHRONOLOGY AT THE INSTITUTE OF THE EARTH'S CRUST SB RAS – AN ANALYTICAL DIVISION FOR SUPPORT OF GEOLOGICAL STUDIES AND BACKING UP REQUEST FROM INDUSTRY

A. V. Ivanov

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia
e-mail: aivanov@crust.irk.ru

Various analytical laboratories at the Institute of the Earth's Crust SB RAS had their own glorious history and were merged into the Centre for Geodynamics and Geochronology (CGG) in October 2015. At present, the CGG consists of 25 personnel, among which are seven researchers and 18 technical staff.

Major research lines and activities are:

- Development of new analytical procedures and protocols
- Analytical support of research projects at the Institute of the Earth's Crust SB RAS

- Providing analytical data for external academic users and industry
- Conducting studies for own research projects

The analytical methods used are:

- Noble gas (NG) mass-spectrometry for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K-Ar geochronology
- Thermal ionization mass-spectrometry (TIMS) for Sr, Nd, Pb isotope geochemistry
- Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) for trace element geochemistry
- X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) for major and trace element geochemistry
- X-ray diffraction (XRD) for mineral investigations
- Atomic absorption (AA) spectroscopy, atomic emission (AE) spectroscopy, flame photometry (FP), spectrophotometry (SP), gravimetry, titrimetry and potentiometry for major and selected trace element geochemistry

The CGG is equipped with:

- A NG mass-spectrometric complex ARGUS VI with the double-vacuum induction oven and a CO_2 laser
- A TIMS Finnigan MAT262
- A clean lab of class 1000 and conventional chemical laboratories
- A wavelength XRF spectrometer S8 TIGER and total XRF spectrometer S2 PICOFOX
- A DRON-3 diffractometer, URS-55a x-ray apparatus, and a Gandolfi camera
- An AA spectrophotometer SOLAAR M
- Three SP complexes GENESYS 10S
- An AE spectrographic complex MAES
- A collection of standard reference materials
- A water flow table Holman 8000

Our personnel have also access to analytical devices at other institutes of the Irkutsk Research Centre, especially for performing ICP-MS measurements.

The CGG is famous for participation over the years in discovery of 13 new minerals among which zemkorite and florensovite were named after the Institute of the Earth's Crust and its founding director, respec-

tively. Besides routine analytical work, personnel of the CGG are actively publishing in high-rank geological and chemical journals and participating at Russian and International conferences.

The further information is available in Internet in Russian (<http://crust.irk.ru/industry/analytics.html>, <http://www.ckp-rf.ru/ckp/433687>) and English (<http://www.en.crust.irk.ru/lab08.html>).

Научное издание

**СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ГЕОДИНАМИКА
БАЙКАЛО-МОНГОЛЬСКОГО РЕГИОНА:
РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПОЛИТИКА
(к 100-летию ИГУ)**

ISBN 978-5-9624-1608-3

Редактор В. В. Попова

Подписано в печать 17.09.2018. Формат 60x90 1/16
Усл. печ. л. 10,9. Тираж 300 экз. Заказ 118

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИГУ
664072, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 124