



**XIV РОССИЙСКО-
МОНГОЛЬСКАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
по астрономии и геофизике**



Иркутск, 15-20 сентября 2023 г.

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ**

**ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ
ИНСТИТУТ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ**

**АКАДЕМИЯ НАУК МОНГОЛИИ
ИНСТИТУТ АСТРОНОМИИ И ГЕОФИЗИКИ**

**СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ГЕОДИНАМИКА
БАЙКАЛО-МОНГОЛЬСКОГО РЕГИОНА**

Тезисы докладов
XIV Российско-Монгольской международной конференции

Иркутск
15–20 сентября 2023 г.

УДК 523.9(571.5)(063)

Утверждено к печати ученым советом
Института земной коры СО РАН
24 августа 2023 г.

*Публикуется при финансовой поддержке проекта
«Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и
прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»
(грант № 075-15-2020-787)*

Ответственные редакторы:

кандидат геолого-минералогических наук *В.А. Саньков*,
кандидат физико-математических наук *А.А. Добрынина*

Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: тез. докл. XIV Рос.-Монг. междунар. конф. / РАН, Сиб. отд-ние, Ин-т земной коры, Ин-т солн.-зем. физики. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. – 90 с.

ISBN 978-5-6046471-3-4

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 комплексного мониторинга опасных геологических процессов.

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)

ISBN 978-5-6046471-3-4

© Ин-т земной коры СО РАН, 2023

© Ин-т солнечно-земной физики СО РАН, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	9
<i>Аржанников С.Г., Аржанникова А.В., Броше Р.</i> Гляциальные суперпаводки Восточной Сибири и Монголии (на примере Дархадского мегафлада).....	10
<i>Аржанникова А.В., Аржанников С.Г., Чеботарев А.А., Номин-Эрдэнэ Э.</i> Палеосейсмогенная активизация Северо-Дархатского разлома (юго-западный фланг Байкальского рифта, Монголия).....	11
<i>Аиуурков С.В.</i> Скорости смещений и дефицит сейсмического момента главных разломов юго-западного крыла Байкальской рифтовой системы по сейсмологическим, геологическим и GPS данным.....	12
<i>Базаров А.Д., Шагун А.Н., Тубанов Ц.А.</i> Анализ сейсмического воздействия на высотное здание по данным инженерно-сейсмометрических наблюдений.....	13
<i>Батсайхан Ц., Джурик В.И.</i> Инженерно-сейсмологические изыскания в г.Улаанбаатар.....	14
<i>Башкирцев В.С., Машинич Г.П.</i> Современная солнечная активность и климат Земли...	14
<i>Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тацилин М.А., Яковлева И.П., Васильев Р.В., Татарников А.В., Щеглова Е.С., Костылева Н.В.</i> Использование широкоугольных камер Национального Гелиогеофизического комплекса для мониторинга прозрачности атмосферы в ночное время.....	15
<i>Бержинская Л.П., Иванова Н.В.</i> Территориально-градостроительная оценка уязвимости для планирования и развития застройки на сложном природном рельефе (на примере г. Иркутска).....	16
<i>Борняков С.А., Салко Д.В., Мирошниченко А.И., Шагун А.Н., Встовский Г.В., Вольвач А.Е., Синцов А.Е.</i> Особенности деформаций горных пород перед землетрясениями.....	17
<i>Боровик А.В., Жданов А.А.</i> Солнечные вспышки и особенности эволюции магнитных полей в активной области NOAA 12673.....	18
<i>Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Ковалевский В.В., Добрынина А.А.</i> Основанная на знаниях интеграция данных геофизического мониторинга БПТ.....	19
<i>Буддо И.В., Шелохов И.А., Мисюркеева Н.В.</i> Комплексные геофизические исследования как эффективный инструмент при решении фундаментальных и научно-практических задач.....	20
<i>Буянтогтох Б., Турутанов Е.Х.</i> Геолого-геофизическая модель плотностных неоднородностей земной коры Улаанбаатарского района по гравиметрическим данным.....	21
<i>Буянхишиг Р., Батжаргал Б., Ирмуунзаяа Б.</i> Наблюдения космического мусора в обсерватории Хурэлтогoot.....	22
<i>Головко А.А.</i> О роли фрактального анализа в междисциплинарных исследованиях....	23

<i>Гололобов А.Ю., Голиков И.А.</i> Численное моделирование влияния компонент ММП на крупномасштабную структуру высокоширотной ионосферы.....	24
<i>Гребенщикова В.И., Демьянович В.М., Кузьмин М.И.</i> О связи изменений концентрации урана и ртути в воде с сейсмическим процессом в Байкальском регионе..	24
<i>Григорьев В.М., Ермакова Л.В.</i> Существуют ли "активные долготы" и какова структура крупномасштабного магнитного поля на фазе минимума солнечной активности?.....	25
<i>Григорюк А.П., Брагинская Л.П., Добрынина А.А., Король С.А.</i> Длиннопериодные микросейсмические колебания как краткосрочные предвестники землетрясений в Байкальском рифте.....	26
<i>Деев Е.В, Сафронов О.В., Бричёва С.С., Дергач П.А., Зорина В.В., Зобнин Г.Ю.</i> Сейсморазрывы сильного голоценового землетрясения на северном фланге Толбонурского разлома в Горном Алтае.....	27
<i>Дембелов М.Г., Башкуев Ю.Б., Буянова Д.Г., Ангархаева Л.Х.</i> Электрические свойства и геоэлектрический разрез некоторых горных пород Байкальского региона по данным радиоимпедансных зондирований.....	28
<i>Дембелов М.Г., Башкуев Ю.Б., Лухнев А.В.</i> Полное влагосодержание тропосферы над городами Иркутск и Якутск по данным GPS наблюдений, радиозондирований и реанализа ERA5.....	29
<i>Джурик В.И., Брыжак Е.В., Батсайхан Ц., Серебренников С.П., Какоурова А.А.</i> Формирование исходных сигналов по данным спектрального анализа сильных землетрясений с целью прогноза сейсмических воздействий Байкало-Монгольского региона.....	30
<i>Добрынина А.А., Саньков В.А., Саньков А.В., Король А.А., Рыбченко А.А.</i> Мониторинг микросейсмических шумов в Байкальском рифте.....	31
<i>Дядьков П.Г., Козлова М.П., Цибизов Л.В.</i> Магнитоупругая модель земной коры Селенгинской депрессии.....	32
<i>Едемский И.К., Ойнац А.В.</i> Пространственные параметры СМ ПИВ в средних широтах по данным спутников SWARM.....	32
<i>Еленин Л.В., Молотов И.Е., Буянхишиг Р., Тунгалаг Н.</i> Обнаружение АСЗ малыми обзорными телескопами.....	33
<i>Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Ершов Р.А.</i> Наведённая сейсмичность в районах сильного техногенного воздействия на земную кору.....	34
<i>Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Радзиминович Я.Б., Фролов М.В.</i> Хубсугульское землетрясение 2021 г. в структуре сейсмичности сочленения Алтае-Саянской коллизийной области и Байкальской рифтовой зоны.....	35
<i>Иванов А.В.</i> ЦКП "Геодинамика и геохронология" Института земной коры СО РАН..	36
<i>Иванов К.И., Комарова Е.С.</i> Проект SkyLine: комплексное исследование метеоров методом базисных видеонаблюдений.....	37

<i>Иванова В.А., Подлесный А.В., Поддельский А.И.</i> Морфологические особенности проявления "сумеречного" эффекта на трассах наклонного зондирования.....	38
<i>Какоурова А.А., Демьянович В.М., Джурик В.И., Брыжак Е.В., Ключевская А.А.</i> Исследование согласованности параметров пространственно-временного и энергетического распределения землетрясений Байкальского региона и Монголии...	39
<i>Караваев Ю.С., Коробцев И.В., Мишина М.Н., Еселевич М.В., Горяшин В.Е.</i> Фотометрические наблюдения и моделирование формы космического мусора на средневысотных орбитах.....	40
<i>Киселев Д.В., Бержинская Л.П.</i> Проблемы и методы оценки сейсмостойкости жилой застройки в Иркутской области.....	40
<i>Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю., Язев С.А.</i> Особенности современного климатического режима в полярных областях Земли.....	41
<i>Ковалевский В.В., Караваев Д.А., Григорюк А.П.</i> Исследование чувствительности вибросейсмического мониторинга методами математического моделирования.....	42
<i>Костарев Д.В., Пилипенко В.А., Козырева О.В.</i> Влияние космической погоды на трубопроводы в арктической зоне РФ.....	43
<i>Кузин С.В.</i> Малоразмерная космическая аппаратура для гелио- и геофизических исследований для кубсатов.....	44
<i>Куляндина А.С.</i> Пространственная локализация очагов сильных землетрясений в зонах влияния крупных разломных нарушений и их особенности в геофизических полях.....	45
<i>Левина Е.А., Ружич В.В.</i> О предполагаемой модуляции сейсмического режима космическими факторами (на примере БРЗ).....	46
<i>Леженин А.А., Рапота В.Ф.</i> Модели оценивания регионального влияния газовых и аэрозольных источников примесей на характеристики прозрачности пограничного слоя атмосферы.....	47
<i>Лунина О.В., Гладков А.А.</i> Мониторинг деформаций земной поверхности на основе данных аэрофотосъемки.....	48
<i>Лухнев А.В., Лухнева О.Ф., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Бызов Л.М., Саньков А.В.</i> Современные тектонические деформации центральной части Байкальского рифта по данным GPS-измерений.....	49
<i>Макаров А.А., Куляндина А.С.</i> Анализ кластерного распределения сейсмичности Центрально-Алданского тектонического блока (граница Байкальского рифта и Олёкмо-Становой зоны).....	50
<i>Мирошниченко А.И., Леви К.Г., Саньков В.А., Лухнев А.В.</i> Районирование Монголо-Байкальского региона на основе статистического анализа геолого-геофизических параметров.....	51
<i>Мистюркеева Н.В., Вахромеев А.Г., Буддо И.В., Смирнов А.С., Агафонов Ю.А.</i> Особенности глубинного строения и флюидодинамики в зоне сочленения Сибирской платформы и Байкало-Патомского надвигового пояса.....	52

<i>Михайлова О.С., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н., Магер О.В., Рубцов А.В., Смотровая Е.Е.</i> Резонансная генерация магнитосферных альфвеновских волн энергичными протонами и электронами.....	53
<i>Нямсүрэн Б.</i> Об опасных небесных телах и их оценке.....	53
<i>Папкова А.А., Грачева О.А., Ныrkова С.В.</i> Анализ состояния детальной сводной обработки землетрясений Прибайкалья и Забайкалья.....	54
<i>Перевалова Н.П., Добрынина А.А., Шестаков Н.В., Болсуновский М.А., Саньков В.А., Золотухина Н.А.</i> Эффекты извержения вулкана Хунга-Тонга в литосфере и атмосфере Земли.....	55
<i>Перетокин С.А., Миронов В.А., Чечельницкий В.В.</i> Разработка эмпирического уравнения прогнозирования движения грунта для Байкальского региона.....	56
<i>Предеин П.А., Тубанов Ц.А., Добрынина А.А.</i> Параметры источника, среды и локальных эффектов приемника по кода-волнам землетрясений Байкальского рифта..	57
<i>Радзиминович Н.А., Тубанов Ц.А., Смекалин О.П., Санжиева Д.Б.-П.</i> Сейсмичность Центрального Байкала (район дельты Селенги) как отражение разломно-блокового строения земной коры.....	58
<i>Рассказов С.В., Чебыкин Е.П., Ильясова А.М., Снопков С.В., Чувашова И.С., Борняков С.А.</i> Косейсмическая химическая гидрогеодинамика: мониторинг процессов в Култукском резервуаре подземных вод в парагенезисе с подготовкой и реализацией землетрясений в центральной части Байкальской рифтовой системы.....	59
<i>Рубцов А.В., Шубин Д.А., Якимчук А.И., Климушкин Д.Ю.</i> Поляризация УНЧ-волн в магнитосфере Земли: неожиданные результаты спутниковых измерений.....	60
<i>Ружич В.В., Савельева В.Б.</i> О результатах изучения глубинных зеркал скольжения и псевдотахилитов в эксгумированных разломах Прибайкалья и Монголии.....	61
<i>Саландаева О.И.</i> Жилая среда как компонент геосистемы.....	62
<i>Санжиева Д.П.-Д., Тубанов Ц.А., Радзиминович Н.А.</i> Сейсмическая активизация центральной части Байкальского рифта в 2020-2022 гг.....	63
<i>Саньков А.В., Добрынина А.А., Саньков В.А.</i> Кинематика и морфология зон активных разломов Байкальской рифтовой системы по данным микросейсмического зондирования.....	64
<i>Саньков А.В., Саньков В.А., Добрынина А.А.</i> Комплексный мониторинг опасных геологических процессов на территории Байкальского рифта.....	65
<i>Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Аиурков С.В., Лебедева М.А., Саньков А.В., Бызов Л.М., Ефимов Е.Ю.</i> Комплексное применение спутниковых геодезических методов для исследования современной геодинамики Юга Сибири.....	66
<i>Семинский К.Ж., Бобров А.А., Семинский А.К.</i> Мониторинг радона в Прибайкалье: результаты и перспективы.....	67

<i>Смекалин О.П., Белоусов О.В., Герман В.И., Ескин А.Ю.</i> Сейсмогеологические и геофизические исследования северо-западной части Восточного Саяна для уточнения сейсмической опасности в районе Красноярска.....	68
<i>Смотров Е.Е., Михайлова О.С., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю.</i> Многоспутниковые наблюдения полоидальной УНЧ-волны в области кольцевого тока магнитосферы....	70
<i>Соловьев В.М., Селезнев В.С., Чельницкий В.В., Гилева Н.В., Сальников А.С., Галева Н.А.</i> Особенности глубинного строения северо-восточного фланга БРЗ на участке Муйского и Муяканских землетрясений (в створе опорных профилей ГСЗ 1-СБ и 8-ДВ).....	70
<i>Сорокин А.Г., Добрынин В.А.</i> Атмосферный эффект извержения вулкана Hunga Tonga	71
<i>Турова И.П., Григорьева С.А., Ожогина О.А.</i> Динамические процессы в спокойной области на Солнце по линиям CaII.....	72
<i>Хритова М.А., Гилёва Н.А.</i> Автоматизация процесса обработки афтершоковой последовательности Хубсугульского землетрясения 11 января 2021 г.....	73
<i>Чельницкий В.В., Добрынина А.А., Саньков В.А.</i> Сравнение параметров сейсмических колебаний при Култукском 27.08.2008 г. Mw 6.3, Быстринском 21.09.2020 г. Mw 5.5 и Хубсугульском 11.01.2021 г. Mw 6.8 землетрясениях.....	74
<i>Чувашиова И.С., Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Саранина Е.В.</i> Новейший вулканизм Дариганги – показатель современной тектонической активности литосферы на юго-востоке Монголии: факторы высокой температуры и дегазации первичной и модифицированной мантии.....	75
<i>Шелохов И.А., Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Добрынина А.А.</i> Совместная интерпретация данных пассивной сейсморазведки и электроразведки с целью изучения бугров пучения.....	76
<i>Шубин Д.А., Якимчук А.И., Рубцов А.В., Климушкин Д.Ю.</i> Кластеризация УНЧ-волн методами машинного обучения по спутниковым данным.....	77
<i>Язев С.А., Исаева Е.С., Томозов В.М.</i> Комплексы активности на Солнце как основной источник геоэффективных возмущений.....	77
<i>Язев С.А., Исаева Е.С., Хос-Эрдэнэ Б.</i> Развитие солнечной активности на фазе роста 25-го цикла Швабе-Вольфа.....	78
<i>Язев С.А.</i> Лунные кольца как возможная причина вариаций земного климата.....	79
<i>Batbayar B., Munkhjargal Ch., Batmunkh D.</i> Dependence of drift rate of radio bursts on frequencies for the period of solar activity 2019-2020.....	80
<i>Davaadalai P.</i> The seismicity of Khovsgol region before and after the 2021 Mw6.7 Khovsgol earthquake.....	80
<i>Demidov M.L., Hanaoka Y., Wang X.F.</i> Impact of Low Boundary Conditions on the Predictions of Some Space Weather Parameters.....	81
<i>Dolgorjav T., Bayarsaikhan Ch., Baasanbat Ts.</i> Determination of crustal thickness beneath Tosontsengel regional seismic station, in Mongolia.....	82

<i>Dulmaa B., Buyandelger D., Batbold B., Batjargal Z., Munkhsaikhan A.</i> Seismic activity in Tonhil and surrounding area.....	82
<i>Karavaev Yu.A., Mishin V.V., Kapustin V.E., Marchuk R.A., Lunyushkin S.B., Penskiikh Yu.V.</i> Asymmetry in the distribution of electric currents of the magnetosphere-ionosphere system in the autumn equinox pre-storm period.....	83
<i>Klibanova Yu.Yu., Mishin V.V., Marchuk R. A., Mikhaleva A.V., Penskiikh Y.V.</i> Bursts of PiB geomagnetic pulsations and airglow at middle latitudes during periodic substorm activations during strong magnetospheric storms.....	83
<i>Marchuk R.A., Mishin V.V., Klibanova Y.Y., Mikhalev A.V., Penskiikh Y.V.</i> Some paradoxes in the evolution of the magnetospheric storm 20 December 2015.....	84
<i>Mishin V.V., Kurikalova M.A., Marchuk R.A., Penskiikh Yu.V.</i> Interhemispheric asymmetry in the distribution of electric currents of the magnetosphere-ionosphere system in the spring equinox pre-storm period.....	85
<i>Odonbaatar Ch., Munkhsaikhan A., Dembereldulam M.</i> Seismic response spectra for building code.....	85
<i>Oyunbileg Ch., Batsaikhan Ts.</i> Study of seismic regime in Umnugobi province.....	86
<i>Pellinen V.A.</i> Evolution of the shore zone of lake Baikal under anthropogenic impact.....	86
<i>Unensaikhan D., Batsaikhan Ts.</i> Detailed study of earthquake hazard assessment of hotel construction site to be constructed in Devsger, Erdeneborgan Sum area, Arhangai province..	87
<i>Zagsuren S., Batbayar P.</i> Study of seismic regime fault along the Baatarkhairkhan.....	88
<i>Zagsuren S., Chimedtseren P.</i> Data processing of core magnetic field peaks and results of determining baseline values of magnetic field elements.....	88

ПРЕДИСЛОВИЕ

В сборнике представлены тезисы докладов XIV Российско-Монгольской международной конференции по астрономии и геофизике «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона». Эта традиционная конференция проводится с начала 80-х годов двадцатого века 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 взаимодействиями. Это партнерство зародилось в середине прошлого века, когда по приглашению правительства Монгольской Народной республики большая группа ученых из Института земной коры работала в эпицентральной зоне катастрофического Гоби-Алтайского землетрясения 04.12.1957 г. с магнитудой $M=8.1$. Обучение монгольских студентов вузах г. Иркутска, совместные исследования геологов, геофизиков, астрономов на территории Монголии и Восточной Сибири способствовали укреплению взаимно полезных связей, выделению наиболее актуальных направлений исследований.

Проблематика XIV конференции представляет несколько таких направлений исследований. Первые два направления – «Солнечно-земные связи и современная геодинамика» и «Космическая погода и климат Земли» – являются фундаментальными, объединяющими проблемы влияния на геодинамические процессы в литосфере и климат Земли со стороны Солнца и ближнего космоса. Направления «Глубинное строение земной коры по геофизическим данным» и «Современные движения, деформации и напряженное состояние земной коры» сочетают рассмотрение как фундаментальных проблем геодинамики, так и подходов к решению практических задач. Широко представлено направление «Геофизические поля и сейсмичность». Представленные его в рамках материалы направлены главным образом на решение проблем, связанных с высокой сейсмической активностью территории Монголии и Восточной Сибири и разработкой мер по обеспечению сейсмобезопасности территорий.

В целом, проводимое научное мероприятие будет способствовать решению комплекса взаимосвязанных фундаментальных и прикладных проблем геодинамики Байкало-Монгольского региона с выходом на практическое использование полученных результатов для рационального освоения территории Восточной Сибири и Монголии.

XIV Российско-Монгольская международная конференция по астрономии и геофизике «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона» организована в рамках выполнения Крупного проекта «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории» (грант № 075-15-2020-787).

ОРГКОМИТЕТ

ГЛЯЦИАЛЬНЫЕ СУПЕРПАВОДКИ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И МОНГОЛИИ (НА ПРИМЕРЕ ДАРХАДСКОГО МЕГАФЛАДА)

С.Г. Аржанников, А.В. Аржанникова, Р. Броше

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

На сегодняшний день известны три крупных палеозера, ответственных за образование гляциальных суперпаводков в горах Южной Сибири и Монголии в позднем плейстоцене: Чуйско-Курайское на Алтае, Дархадское в Северной Монголии и Витимское в Забайкалье.

Наиболее полно эрозионно-аккумулятивный комплекс, сформированный при гляциальном суперпаводке при разгрузке Дархадского палеозера, представлен в долине р. Енисей и его притоках в Северной Монголии, Тувинской и Южно-Минусинской впадинах.

Проведенный комплекс геоморфологических и геохронологических исследований был направлен на уточнение причин формирования приледникового Дархадского палеозера и возраста Дархадского гляциального суперпаводка. Охарактеризованы основные формы рельефа и осадочные толщи, образованные в пределах прохождения Дархадского мегафлада.

На основе анализа радарных данных (ALOS) и космоснимков (Google Earth) получены новые данные об условиях формирования ледниковой дамбы в долине р. Шишхид-Гол. Слияние крупных ледников Хара-Барянгийн-Гол и Их-Джамс Гол ниже устья р. Тэнгисийн-Гол образовало подпор р. Шишхид-Гол. Высота ледниковой дамбы составляла около 300 м. Наличие береговых линий палеозера до абсолютной высоты 1713 м в непосредственной близости от вновь выделенной ледниковой дамбы свидетельствует о ее доминирующей роли в образовании Дархадского палеозера. В пределах Дархадской впадины в результате анализа высот максимально высокой береговой линии Дархадского палеозера выявлены нисходящие тектонические деформации за последние 18–23 тыс. лет с максимальной амплитудой 27 м.

В результате полевых исследований и космогенного *in situ* ^{10}Be датирования получены первые даты по экспонированному возрасту валунов в пределах четырех полей гравийных дюн, а также эрратического валуна, экспонированного в пределах бара в долине р. Енисей. Распределение экспонированного возраста 14 образцов показало разброс дат в рамках 38–18 тыс. лет, которые имеют три пика. Два из них соответствуют двум гляциальным суперпаводкам 36–38 тыс. лет и 18–23 тыс. лет, а третий, промежуточный, связан с прерывистым экспонированием в результате воздействия второго мегафлада на экспозицию валунов в пределах гравийных дюн.

ПАЛЕОСЕЙСМОГЕННАЯ АКТИВИЗАЦИЯ СЕВЕРО-ДАРХАДСКОГО РАЗЛОМА (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ФЛАНГ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА, МОНГОЛИЯ)

А.В. Аржанникова¹, С.Г. Аржанников¹, А.А. Чеботарев¹, Э. Номин-Эрдэнэ²

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

²Институт Астрономии и Геофизики МАН, Улаанбаатар, Монголия

Юго-Западный фланг Байкальского рифта проявляет высокую сейсмическую активность на современном этапе. Два наиболее крупных землетрясения 4 апреля 1950 г. с магнитудой M_w 6.9 и 11 января 2021 г. с M_w 6.7 произошли в Тункинской и Хубсугульской впадинах по Мондинскому и Хубсугульскому разломам соответственно [Delouis et al., 2002; Liu et al., 2021]. Дархадская впадина является наименее сейсмически активной среди впадин Юго-Западного фланга Байкальского рифта. Так, за инструментальный период здесь были зафиксированы лишь слабые землетрясения с $M_w < 5$ [Radziminovich et al., 2016]. При этом в зоне Северо-Дархадского разлома были обнаружены сейсмогенные деформации, свидетельствующие о проявлении сильных землетрясений в прошлом [Кочетков и др., 1993]. Детальные исследования, связанные со вскрытием разлома, определением кинематики подвижек, датированием палеосейсмических событий, оценкой периодов их повторяемости и скоростей смещения по разлому до настоящего времени не проводились. Мы провели полный комплекс морфотектонических и палеосейсмологических исследований структуры Джара-Гол в зоне Северо-Дархадского разлома, что позволило установить параметры палеосейсмических событий, пригодные для оценки сейсмического потенциала разлома. Результаты исследований позволили определить сбросовый тип смещения по разлому и выделить два палеосейсмических события, которые произошли в зоне Северо-Дархадского разлома в последние ~8.4 тыс. лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 22-17-00049).

ЛИТЕРАТУРА

Delouis B., Déverchère J., Melnikova V., Radziminovich N., Loncke L., Larroque C., et al. A reappraisal of the 1950 (M_w 6.9) Mondy earthquake, Siberia, and its relationship to the strain pattern at the south-western end of the Baikal rift zone. *Terra Nova*. 2002. Vol. 14. P. 491–500.

Liu G., Qiao X., Yu P., Zhou Y., Zhao B., Xiong W. Rupture Kinematics of the 11 January 2021 M_w 6.7 Hovsgol, Mongolia, earthquake and implications in the western Baikal rift zone. *Seismol. Res. Lett.* 2021. Vol. 92. P. 3318–3326. DOI: 10.1785/0220210061.

Кочетков В.М., Хилько С.Д., Зорин Ю.А. и др., 1993. Сейсмотектоника и Сейсмичность Прихубсугулья (отв. ред. Логачев Н.А.). Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма. 184 с.

СКОРОСТИ СМЕЩЕНИЙ И ДЕФИЦИТ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОМЕНТА ГЛАВНЫХ РАЗЛОМОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫЛА БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ ПО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ, ГЕОЛОГИЧЕСКИМ И GPS-ДАНЫМ

С.В. Ашурков

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

Дана количественная оценка скорости накопления упругих деформаций на главных разломах юго-западной границы Сибирской платформы и юго-западного крыла Байкальской рифтовой системы с позиций разломно-блокового строения земной коры. Предложенная модель представлена как территория, разделенная на геоблоки различного масштаба разломами, способными генерировать землетрясения с магнитудой 5.5 и выше. Основой построения разломно-блоковой модели послужила карта сейсмоактивных разломов юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии [Лунина, 2016].

Движение выделенных блоков описываются эйлеровыми полюсами вращения, а межсейсмическое обратное смещение (backward slip) [Savage, 1983] вдоль разломов — на основе формул [Okada, 1985]. Скорости деформации, возникающие в результате таких изменений напряжений в зоне разлома, определялись одновременно с параметрами движения блоков в программе TDEFNODE [McCaffrey, TDEFNODE Users' Manual, 2020]. Поиск наилучших параметров модели проводился с помощью методов оптимизации: имитации отжига (simulated annealing methods) и поиска по сетке (greed search), также реализованных в программе.

Накопление деформации представлено как дефицит сейсмического момента, который в долгосрочной перспективе уравнивается моментом, высвобождаемым при землетрясениях и асейсмическом смещении.

ЛИТЕРАТУРА

McCaffrey, R. (2020). TDEFNODE users' manual. Получено 14.05.2021 г., https://robmccaffrey.github.io/TDEFNODE/manual/tdefnode_manual.html#SM.

Okada, Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 1985. Vol. 75. P. 1135–1154.

Savage J.C. A dislocation model of strain accumulation and release at a subduction zone. *J. Geophys. Res.* 1983. Vol. 88. P. 4984–4996.

Лунина О.В. Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии. *Геодинамика и тектонофизика.* 2016. Т. 7, № 3. С. 407–434.

АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЫСОТНОЕ ЗДАНИЕ ПО ДАННЫМ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.Д. Базаров^{1,3}, А.Н. Шагун², Ц.А. Тубанов^{1,3}

¹Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

²Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

³Бурятский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба РАН», Улан-Удэ, Россия

Байкальский регион характеризуется высокой сейсмичностью, что делает его одним из самых активных сейсмических зон в России. Мощные землетрясения происходят здесь с определенной периодичностью: 7-балльные – каждые 1-2 года, 8-балльные – раз в пять лет. За последние тридцать лет на территории Прибайкалья произошло семь землетрясений магнитудой 9–10 баллов. Особенно опасно то, что в крупных городах региона находятся промышленные предприятия, в катастрофических ситуациях представляющие угрозу для окружающей среды. Для оценки негативного воздействия землетрясений на здания и сооружения Институтом земной коры СО РАН и лазерной партией СО РАН создана инженерно-сейсмометрическая станция [Павленов и др., 1997]. В настоящее время станции установлены на Ангарском электролизно-химическом комбинате, Иркутской ГЭС и жилом девятиэтажном здании 135-й серии в Академгородке (Иркутск).

В работе выполнен анализ инструментальных записей Южно-Байкальского (1999 г.) и Култукского (2008 г.) землетрясений, зарегистрированных сейсмометрической станцией в Академгородке.

На основе вейвлет-анализа получены спектрограммы сейсмического воздействия и динамического отклика несущих конструкций здания. Выявлено снижение резонансной частоты здания в процессе сейсмического воздействия. Получены функциональные зависимости снижения частоты от амплитуды ускорения землетрясения.

Полученные результаты позволяют оценить негативное воздействие землетрясений и проследить динамику сейсмического старения девятиэтажного здания.

ЛИТЕРАТУРА

Павленов В.А., Черных Е.Н., Чечельницкий В.В. и др. Восстановление инженерно-сейсмометрической службы в г. Иркутске. *Проблемы оценки и прогноза устойчивости геологической среды г. Иркутска*. Иркутск: ИГТУ, 1997. С. 95–98.

Мельникова В.И., Гилева Н.А., Арефьев С.С., Быкова В.В., Середкина А.И. Култукское землетрясение 2008 г. с $M_w=6.3$ на юге Байкала: напряженно-деформированное состояние очаговой области по данным об афтершоках. *Физика Земли*. 2013, № 4. С. 1–15.

Радзиминович Н.А., Гилева Н.А., Мельникова В.И. и др. Южно-Байкальское землетрясение 25 февраля 1999 г. с $M_w=6.0$, $J_0=8$ (Прибайкалье). *Землетрясения Северной Евразии, 1999 год*. Обнинск: ФОП, 2005. С. 264–279.

ИНЖЕНЕРНО-СЕЙМОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ В УЛААНБААТАРЕ

Ц. Батсайхан¹, В.И. Джурик²

¹Институт астрономии и геофизики МАН, Улаанбаатор, Монголия

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

Условия строительства в Улаанбаатаре постоянно усложняются. Строительство новых зданий в черте города, особенно в его центральной части, осуществляется, как правило, рядом с существующей застройкой и может оказывать на нее негативное влияние. Развивается точечное строительство высотных зданий с высокими значениями удельной нагрузки на основание. Возрастают объемы реконструкции существующих зданий с надстройкой на один этаж.

Вместе с тем значительная часть территории города и его центр характеризуются сложными неблагоприятными для строительства инженерно-геологическими условиями. Здесь возможны опасные инженерно-геологические процессы (оползневые, эрозия, подтопление), залегание специфических грунтов (насыпные техногенные, слабые глинистые, пучинистые, набухающие). Указанные условия часто осложнены негативными техногенными факторами (утечки из водонесущих коммуникаций, откачка подземных вод, подрезка склонов).

Все это обуславливает необходимость увеличения объема инженерных изысканий для строительства, особенно при прогнозе изменений инженерно-геологической обстановки и развития опасных геологических процессов, а также при оценке сейсмического риска.

Анализ общей ситуации показывает, что многие застройщики недооценивают роль инженерно-геофизических изысканий для строительства.

В работе обобщены инженерно-сейсмологические условия новых строительных площадок в Улаанбаатаре.

СОВРЕМЕННАЯ СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И КЛИМАТ ЗЕМЛИ

В.С. Башкирцев, Г.П. Машнич

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия,

mashnich@iszf.irk.ru, vsb@iszf.irk.ru

Солнечная активность со временем меняется и следует за циклическим ходом чисел солнечных пятен (числа Вольфа). В 2015 г. мировой центр регистрации и анализа чисел Вольфа (SILSO, Бельгия) представил современную версию определения чисел солнечных пятен. Уровень солнечной активности, как показывают многочисленные исследования, определяет климат Земли: теплый климат ассоциируется с длительной высокой активностью Солнца, холодный — с низкой. Выполненный нами долговременный прогноз

солнечной активности позволяет дать прогноз климатических изменений на сто лет вперед. Наш предыдущий прогноз (2000 г.) об отсутствии глобального потепления в ближайшие 25 лет, как показал реанализ глобальной приземной температуры воздуха, оказался успешным. Окончание 24-го цикла солнечной активности и начало текущего 25-го совпало с минимумом вековой активности Солнца. В последующем вековая солнечная активность будет быстро нарастать и достигнет первого максимума активности к середине столетия, что приведет к потеплению на Земле. Понижение глобальной температуры, аналогичное похолоданию около 1970 г. и обусловленное уменьшением солнечной активности, наступит около 2070 г. с последующим потеплением, связанным со вторым максимумом векового цикла активности (2080 г.). После этого мы ожидаем устойчивое длительное (десяtkи лет!) глобальное похолодание в связи с переходом к великому минимуму солнечной активности типа минимума Маундера. Согласно нашему прогнозу, будущий великий минимум активности Солнца ожидается в 2120 г. (± 20 лет). Реальное время наступления этого великого минимума может немного отличаться от расчетного, однако вхождение Солнца в глубокий минимум активности является неизбежным. Отметим, что поскольку коэффициент корреляции долговременных вариаций солнечной активности и глобальной температуры близок к единице, ход глобальной температуры фактически повторяет ход долговременной солнечной активности с временным запаздыванием до четырех лет. Работа выполнена при финансовой поддержке базового проекта «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности» (0278-2021-0008).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШИРОКОУГОЛЬНЫХ КАМЕР НАЦИОНАЛЬНОГО ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ В НОЧНОЕ ВРЕМЯ

**А.Б. Белецкий, Т.Е. Сыренова, М.А. Тащилин, И.П. Яковлева, Р.В. Васильев,
А.В. Татарников, Е.С. Щеглова, Н.В. Костылева**

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

Рассматривается возможность мониторинга прозрачности атмосферы в темное время суток с помощью существующих наземных широкоугольных оптических систем регистрации собственного излучения атмосферы Национального гелиогеофизического комплекса (НГК). Аэрозоль, присутствующий в различных слоях атмосферы, может оказывать влияние на спектральное распределение сумеречного и ночного свечения атмосферы за счет составляющей непрерывного фона, который образуется в результате многократно рассеянной солнечной радиации.

Приводится оценка атмосферного поглощения в темное время суток на примере нескольких звезд по данным камер всего неба НГК. Для этих кадров была адаптирована

методика выделения и идентификации звезд, разработанная для широкоугольной оптической системы KEO Sentinel. Представленные результаты демонстрируют возможность оценки прозрачности атмосферы с помощью данных камер всего неба. Оптические инструменты НКК работают в мониторинговом режиме и могут использоваться не только для исследования верхней атмосферы, но и для экологического мониторинга, а также для дополнения информации о вариациях параметров нижней атмосферы.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»). Использованы данные, полученные с помощью оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» (<http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>).

ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЗАСТРОЙКИ НА СЛОЖНОМ ПРИРОДНОМ ЛАНДШАФТЕ (НА ПРИМЕРЕ Г. ИРКУТСКА)

Л.П. Бержинская^{1,2}, Н.В. Иванова^{1,2}

¹*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, Berj.LP@yandex.ru, cotinata@gmail.com*

²*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

В условиях дефицита городских территорий давно отменены нормативные положения, ограничивавшие застройку на сложном природном рельефе. Несмотря на высокую сейсмическую опасность территорий, в Иркутске под строительство выделяются участки, на которых возможны требующие проведения специальных инженерных мероприятий геологические процессы, такие как подтопление, оползни, карстово-суффозионные проявления, а также наличие оврагов и крутых склонов. Следовательно, при освоении таких территорий должен действовать принцип повышения несущей способности грунтового основания при максимальном сохранении существующего рельефа и естественных форм поверхности, играющих значительную роль в формировании урбанизированного ландшафта, при этом изменения, внесенные в рельеф, не должны способствовать активизации любых нежелательных гидрогеологических ситуаций. Формы рельефа должны активно включаться в объемную структуру застройки и влиять на восприятие окружающего пространства.

Основная тенденция последних десятилетий – повышение этажности городских строений, увеличение плотности застройки, усложнение инженерной инфраструктуры. Каждый тип рельефной ситуации предопределяет индивидуальную разработку конкретного

планировочного решения. Однако проявляется определенная общность градостроительных разработок рельефных ситуаций и планировочных структур различных типов, например, линейная застройка в низинах и ее концентрический тип на глубоко изрезанной территории побережья. При строительстве на склонах, конфигурация домов в основном повторяет изгибы горизонталей – криволинейные, изломанные секции с уступами, сдвинутыми в плане, а также поворотные блок-вставки. К этой же группе можно отнести односекционные дома башенного и галерейного типов, размещение которых определяется спецификой инсоляции и благоприятным визуальным восприятием; дома ступенчатого типа, ступени которых соответствуют уклону застраиваемого участка; дома переменной этажности с различным числом этажей в разных частях здания, зависящим от перепада рельефа в плане. Конечно, освоение участков со сложным рельефом позволяет создать интересные градостроительные решения в застройке города. Однако обязательным условием должен быть принцип обеспечения прогноза надежности и устойчивости любого грунтового основания в течение всего срока эксплуатации застройки.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

**С.А. Борняков¹, Д.В. Салко¹, А.И. Мирошниченко¹, А.Н. Шагун¹, Г.В. Встовский²,
А.Е. Вольвач³, А.Е. Синцов⁴**

¹*Институт земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск, Россия
bornyak@crust.irk.ru*

²*Центральный научно-исследовательский и проектный институт строительных конструкций
им. Н.П. Мельникова, Москва, Россия*

³*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Кацивели, Крым, Россия*

⁴*Открытое акционерное общество «Безопасность», Москва, Россия*

В пределах Южного Прибайкалья проводится инструментальный мониторинг деформаций горных пород сетью пунктов с 2008 г. с целью поиска деформационных предвестников сильных землетрясений. Анализ накопленных данных показывает, что в целом деформации имеют определенный тренд развития, реализуясь в пределах этого тренда в виде колебательного процесса в режиме сжатия/растяжения с широким спектром периодов колебаний от первых десятков секунд до 10–15 дней. Трендовая составляющая развития деформаций имеет тектоническую природу, связанную с энергетическим воздействием удаленных и местных энергетических источников на литосферу Южного Прибайкалья, а колебательная составляющая обусловлена колебаниями разномасштабных блоков верхней части литосферы в пределах расположения пунктов мониторинга. На эти составляющие накладываются постоянная и нерегулярная волновые составляющие. Первая представляет собой малоамплитудные деформационные волны с длиной первых сотен

метров, постоянно идущие через массив горных пород в пункте мониторинга; вторая является следствием эпизодического прохождения через него одиночных волн, отражающегося во временных рядах данных в виде импульсных деформационных аномалий.

Выполнен комплексный количественный анализ данных деформационного мониторинга в сейсмически спокойные периоды и перед Култукским (27.08.2008, M_w 6.3), Быстринским (21.09.2020, M_w 5.4) и Кударинским (10.12.2020, M_w 5.6) землетрясениями.

Установлено, что перед землетрясениями, в отличие от сейсмически спокойных периодов, меняется деформационный отклик горных пород на лунно-солнечные приливные воздействия, колебательный процесс переходит из хаотического в упорядоченное состояние, возрастают скорость распространения малоамплитудных постоянных деформационных волн и частота появления одиночных волн.

СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ И ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ NOAA 12673

А.В. Боровик, А.А. Жданов

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

По данным наблюдений SDO (Solar Dynamics Observatory) изучена динамика продольного магнитного поля активной области NOAA 12673. За время прохождения активной области по диску Солнца пятна и фоновые поля в ней показывали сложные траектории движения, наблюдалось образование многочисленных локальных короткоживущих мелкомасштабных линий раздела полярностей (ЛЛРП), которые формировались в АО при появлении новых магнитных потоков и их сближении с полями противоположной полярности. Протяженность таких ЛЛРП составляла менее 15000 км (менее 20 угл. сек), время существования — несколько часов. Исследование вспышечной активности NOAA 12673 показало, что перед вспышками малой мощности (площадь менее 2 кв. град) и крупной вспышкой 6.09.2017 (оптический балл 3В, рентгеновский класс X9.3) на ограниченных участках ЛЛРП и ЛРП и только в областях солнечных вспышек наблюдались сдвиговые напряжения магнитного поля и рост градиента: в области малых вспышек до значений 1.3–1.5 Гс/км, в области крупной вспышки — 3–3.5 Гс/км. Полученные результаты свидетельствуют о том, что перед вспышками малой мощности и перед крупными мощными вспышками продольное поле ведет себя аналогичным образом.

ОСНОВАННАЯ НА ЗНАНИЯХ ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БПТ

Л.П. Брагинская¹, А.П. Григорюк¹, В.В. Ковалевский¹, А.А. Добрынина²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск,
Россия, ludmila@opg.sscc.ru, and opg.sscc.ru, kovalevsky@sscc.ru

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

Комплексный геофизический мониторинг Байкальской природной территории (БПТ) базируется на организации сети непрерывных долговременных наблюдений за параметрами геофизических полей на исследуемой территории [Семинацкий и др., 2022]. Мониторинг включает регистрацию, дальнейшую оперативную обработку и интерпретацию данных. Важным элементом прогнозирования экологической обстановки БПТ определение предвестников опасных геологических процессов (ОГП) на основе анализа длинных рядов данных для создания моделей прогнозирования.

В работе рассмотрена организация информации о комплексном геофизическом мониторинге на единой центральной интеграционной платформе. Разработанная авторами цифровая платформа (ЦП) позволяет синхронно визуализировать результаты анализа данных, полученных на разных станциях мониторинга различными методами в выбранном пользователем интервале времени. Дополнительная информация, которая может повысить эффективность исследований, направленных на обнаружение предвестников ОГП, структурирована и формализована на основе разработанной авторами онтологии предметной области [Григорюк и др., 2022]. На основе онтологии организуется удобная навигация и содержательный поиск данных, представленных на ЦП, средств и результатов вычислительного анализа.

Работа выполнена при поддержке проекта Минобрнауки РФ № 075-15-2020-787 «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории» и проекта НИР ИВМиМГ СО РАН 0251-2022-0004.

ЛИТЕРАТУРА

Григорюк А.П., Брагинская Л.П., Семинацкий И.К. и др. Цифровая платформа для интеграции и анализа данных геофизического мониторинга Байкальской природной территории. *Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности. ITES-2022. Электронные библиотеки.* 2022. Т. 25, № 4. DOI: 10.26907/1562-5419-2022-25-4-303-316.

Семинацкий К.Ж., Добрынина А.А., Борняков С.А. и др. Комплексный мониторинг опасных геологических процессов в Прибайкалье: Организация пилотной сети и первые результаты. *Геодинамика и тектонофизика.* 2022. Т. 13, № 5. DOI: 10.5800/GT-2022-13-5-0677.

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПРИ РЕШЕНИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

И.В. Буддо^{1,2}, И.А. Шелохов^{1,2}, Н.В. Мисюркеева³

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

²ООО СИГМА-ГЕО, Иркутск, Россия

³ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Салехард, Россия

Зачастую при проведении как фундаментальных, так и научно-практических исследований применяется какой-то один геофизический метод. К примеру, изучение глубинного строения Земли выполняется с помощью сейсмических методов — как с активным искусственным возбуждением, так и за счет сильных землетрясений, шумов и т. д. При проведении нефтегазопоисковых исследований основной также является сейсморазведка, обычно с помощью метода отраженных волн в варианте общей глубинной точки. Верхнюю часть разреза изучают, как правило, электроразведкой. Вместе с тем применение метода зондирования становлением поля в ближней зоне позволяет выполнять исследования до глубины 4–5 км, а магнитотеллурические зондирования — до 10 км и более.

При этом сейсморазведкой изучаются упругие свойства среды, а электроразведкой — электрические, что открывает возможность получения информации не только о структуре разреза, но и о литологии, наличии разрывных нарушений, ослабленных зон, резервуаров нефти и газа, типе насыщающих коллекторы флюидов, границе многолетнемерзлых пород, а также другой ценной геологической информации.

К сожалению, тенденции последних десятилетий привели к тому, что очевидно эффективный путь — комплексирование геолого-геофизической информации — стал применяться крайне редко, уступив место монометодам.

Вместе с тем очевидно, что геологические задачи некоторых типов не могут решаться лишь одним методом, например, поиски месторождений нефти и газа, кимберлитовых трубок, изучение геотермальных систем, картирование и оценка проницаемости разрывных нарушений и многие другие.

Рассматриваются возможности подходов комплексирования геолого-геофизической информации для решения широкого круга геологических задач. Однако начать следует с четкой постановки задачи, построения априорной физико-геологической модели среды и строгого обоснования оптимального комплекса геофизических методов.

Исследование выполнено при поддержке РФФ (грант № 22-17-20009, <https://rscf.ru/project/22-17-20009>). Проект № 22-17-20009 «Современные методы геофизических исследований для разработки и научного обоснования подходов к изучению внутреннего строения криолитозоны и поверхностных криогенных форм рельефа Арктики

и их возможной связи с флюидодинамическими процессами» реализуется при поддержке правительства Ямало-Ненецкого автономного округа.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛОТНОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ УЛААНБААТАРСКОГО РАЙОНА ПО ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Б.Буянтогтох¹, Е.Х.Турутанов²

¹ *Институт Астрономии и Геофизики МАН, Улаанбаатар, Монголия, buyantogtokh@iag.ac.mn*

² *Институт Земной коры СО РАН, Иркутск, Россия*

В результате проведенных исследований получены схемы внутренних структур Улаанбаатарской и Налайхинской впадин и модели строения Богдуулинского и Горхинского гранитных массивов, составляющих плотностную неоднородность земной коры данного района.

Анализ гравитационного поля позволил оценить мощность рыхлых отношений и охарактеризовать морфологию поверхности фундамента Улаанбаатарской впадины. На основании интерпретации аномалии силы тяжести с привлечением решения одномерной задачи с учётом экспоненциального уплотнения осадков с глубиной построена схема изопохит, которая отражает структуру данной впадины. Максимальная мощность линз рыхлых отложений оценена в 200 метров. Фундамент впадин нарушен разломами разных направлений. При этом, Хонхоринский разлом, разветвляясь на запад, под рыхлыми отложениями проходит через центральную часть впадины и далее, соединяясь с Эмээлтинским разломом, и может быть сейсмогенерирующим.

Анализ результатов инверсии поля силы тяжести позволил определить форму и размеры Богдуулинского гранитного массива. Максимальная толщина тела составляет 4.5 км. На основе интерпретации данных гравиметрической съемки построена модель Горхинского гранитного массива, толщина тела составляет 4.0 км.

В результате трёхмерного гравитационного моделирования установлено, что фундамент Налайхинской угленосной впадины имеет блоковое строение и ограничен разломами северо-западного, западного и северного простирания. Максимальная мощность мезо-кайнозойских отложений в данной структуре доходит 800 метров.

В сеймотектоническом плане Улаанбаатарский район, как составная часть (юго-западная) Хэнтэйского поднятия, может быть отнесён к области, характеризующейся слабодифференцированными, преимущественно положительными, вертикальными движениями.

НАБЛЮДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА В ОБСЕРВАТОРИИ ХУРЭЛТОГООТ

Р. Буянхишиг, Б. Батжаргал, Б. Ирмуунзаяа

Институт астрономии и геофизики, МАН, Улаанбаатар, Монголия, byuanaare@gmail.com

Астрономические наблюдения по программам обнаружения и мониторинга космического мусора (КМ) в Монголии были начаты с ноября 2012 г. после установления в обсерватории Хурэлтогодот телескопов ORI-40 (40 см, для наблюдения слабых фрагментов КМ, поиска астероидов, сближающиеся с Землей (АСЗ), астрометрических и фотометрических наблюдений АСЗ, а также для наблюдения послесвечения гамма-всплесков) и VT-78 (19.2 см, для обзорных наблюдений объектов КМ и расширенных обзоров видимой части геостационарного кольца). Телескопы используются в рамках проекта оптической сети наблюдений за космическими объектами НСОИ АФН (Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений), которую координирует Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. В 2020 г. из-за технических проблем наблюдения были временно приостановлены, в октябре 2022 г. после совместного проведения с российскими сотрудниками ремонтных работ на телескопах их удалось восстановить.

Рассматриваются, в частности, наблюдения КМ в обсерватории Хурэлтогодот. Будут представлены процесс наблюдения и обработки данных, а также результаты наблюдений.

Методы наблюдения и исследования достаточно традиционны. Это автоматизация планирования наблюдений и их обработка с помощью пакета программ APX-автомат.

Наблюдения КМ в обсерватории Хурэлтогодот направлены на обеспечение полноты информации о популяции объектов искусственного происхождения. В 2023 г. были проведены наблюдения в течение 60 ночей и получены около 30 000 измерений. Все измерения были обработаны и переданы в базу данных центра сбора, хранения, обработки и анализа информации по техногенным объектам в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Решению задач, связанных с КМ, нужен большой объем измерительной информации. Регулярное пополнение базы данных является актуальным при построении современной модели образования КМ, изучении его эволюции и верификации существующих моделей, а также при оценке угрозы космической деятельности со стороны КМ.

О РОЛИ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

А.А. Головко

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

Квази-фрактальные структуры распространены в природе. Они могут возникать там, где в процессе эволюции диссипативной динамической системы достигается состояние самоорганизованной критичности. С усилением нелинейных эффектов различные неустойчивости сплошной среды теряют свою индивидуальность, трансформируясь в универсальную коллективную форму [(Зеленый, Милованов, 2004)]. Применение микроканонического метода мультифрактального анализа [Макаренко и Князева, 2009] к изображениям и пространственным распределениям физических параметров солнечных активных областей, таких как магнитное поле, доплеровские скорости, монохроматическая яркость Солнца, привело к возникновению нового подхода к пониманию их структуры и динамики. Например, на стадии формирования активной области ее мультифрактальный спектр расширен, что соответствует набору иерархических компонент, большему чем в развитой активной области [Головко, Салахутдинова, 2012]. В результате российско-монгольского научного сотрудничества был получен и обработан большой объем данных наблюдений солнечной хромосферы. В частности, получены мультифрактальные спектры различных активных областей, волокон и невозмущенной хромосферы [Batmunkh, 2009].

Достижения в этой области, опирающиеся на возросшие возможности получения солнечных изображений с пространственным разрешением 0.15 угл. сек и менее и амплитудным до 16 бит и выше, стимулировали интерес к применению данного метода в геофизике. В земной коре действуют одновременно несколько формообразующих факторов. В работе [Klyuchevskii et al., 2022] изучено пространственное распределение энергии землетрясений в Байкальском регионе и получены его мультифрактальные спектры, показывающие самоподобную иерархическую структуру паттерна сейсмичности Байкальской рифтовой системы.

ЛИТЕРАТУРА

- Зеленый Л.М., Милованов А.В. *Успехи физических наук*. 2004. Т. 174, № 8. С. 809.
Макаренко Н.Г., Князева И.С. Изв. вузов. *Прикл. нелинейная динамика*. 2009. Т. 17, № 5. С. 85.
Головко А.А., Салахутдинова И.И. *Астрон. журнал*. 2015, Т. 92, № 8. С. 650.
Batmunkh D. *Proc. JAU Symposium*. 2009. No. 264. P. 120.
Klyuchevsky A.V., Dem'yanovich V.M., Zuev F.I., Klyuchevskaya A.A., Kakaurova A.A., Golovko A.A. *J. Geodynamics*. 2022. Vol. 149. P. 101894.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТ ММП НА КРУПНОМАСШТАБНУЮ СТРУКТУРУ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ

Гололобов А.Ю., Голиков И.А.

*Институт космических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера, Якутск, Россия,
golart87@gmail.com*

На основе нестационарной модели высокоширотной области F ионосферы в переменных Эйлера с учетом несовпадения географического и геомагнитного полюсов исследовано влияние компонент межпланетного магнитного поля (ММП) на структуру высокоширотной ионосферы для разных величин и ориентаций ММП и скорости солнечного ветра. Для учета ММП используется модель электрического поля Веймера. На основе результатов численных расчетов показано, что компоненты ММП влияют на форму, размер и положение основных структурных образований высокоширотной ионосферы в зависимости от мирового времени. Время выхода на стационарный режим решения после включения конвекции при разных типах конвекции отличается и зависит от параметров ММП.

О СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ УРАНА И РТУТИ В ВОДЕ С СЕЙСМИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

В.И. Гребенщикова¹, В.М. Демьянович², М.И. Кузьмин¹

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

²*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, vmdem@mail.ru*

Выполнен анализ распределения концентраций урана и ртути в воде сопряженных компонентов Байкальской экосистемы: в воде Байкала, притоков и единственного стока — р. Ангары. Установлены значимые различия в максимальном содержании урана в подземной воде Байкала и его притоках. Полученные данные по распределению урана и ртути фиксируют влияние геолого-геохимических особенностей строения Байкальской экосистемы и его окружения и происходящих в регионе климатических и катастрофических событий (землетрясения, сейсмогеодинамические активизации и др.). Проведен анализ изменения концентрации урана и ртути в воде Байкала в соотношении с сейсмическим процессом в районе оз. Байкал. Достижению поставленной цели способствует многолетний ежегодный (и ежемесячный) мониторинг состава воды истока Ангары (1997–2022 гг.), а также проводимые в разные годы анализы воды устьев притоков, скважин, поверхностной и глубинной воды Байкала, с помощью которых выполнен химический анализ на широкий круг элементов, включая уран и ртуть. Важной фундаментальной задачей являлось сравнение и выявление причин установленных различий в содержаниях урана и ртути в

воде между сопряженными компонентами Байкальской экосистемы.

Полученные данные позволяют констатировать, что со всеми сильными землетрясениями ($M \geq 5$), произошедшими в районе Южного и Центрального Байкала, связаны статистически значимые изменения концентраций урана и ртути в воде Байкала. В отдельных случаях это подтверждено и для северной части Байкала, причем изменение уровня концентраций урана и ртути происходят за несколько месяцев до события. Принимая во внимание разломно-блоковую структуру Байкальской рифтовой зоны, это, по нашему мнению, может свидетельствовать о сейсмогеодинамической активизации отдельных блоков литосферы, которая приводит в дальнейшем к реализации сильных землетрясений. В ряде случаев фиксировалось изменение концентрации непосредственно перед землетрясением и сразу после него (несколько дней), но учитывая большие перерывы между наблюдениями, это удавалось установить не всегда.

Работа выполнялась при поддержке РФФИофи_м № 17-29-05022, РФФИ и МОКНСМ № 20-5-44011 и в рамках государственного задания ИГХ СО РАН № 0284-2021-0003.

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ АКТИВНЫЕ ДОЛГОТЫ И КАКОВА СТРУКТУРА КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФАЗЕ МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ?

В.М. Григорьев, Л.В. Ермакова

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

Давно известны закономерности широтной зависимости появления солнечных пятен на поверхности Солнца, которые служат критериями теоретического описания эволюции солнечного цикла. Позднее было показано неслучайное распределение появления активных областей (АО) по гелиографической долготе. Чаще АО возникают в некоторых предпочтительных долготных интервалах, названных активными долготами.

Построены гистограммы распределения АО по кэррингтоновской долготе для пяти наиболее глубоких минимумов солнечной активности. Показано, что более половины АО в период минимума могут находиться в предпочтительных зонах пятнообразования — активных долготах. В минимуме солнечной активности структура крупномасштабного магнитного поля менее всего подвержена активным процессам. Выполнен анализ магнитограмм крупномасштабного магнитного поля во время длительных интервалов беспятенных дней. Обнаружена структура долготных секторов магнитного поля положительной и отрицательной полярностей, пересекающих экватор. Долготный размер структур составляет 35° – 40° . Наиболее выраженные меридиональные структуры поля находятся в области активных долгот. Обсуждается роль гигантских конвективных ячеек, поскольку считается, что структура крупномасштабного магнитного поля должна отражать

подповерхностные движения плазмы.

ДЛИННОПЕРИОДНЫЕ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ КАК КРАТКОСРОЧНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БАЙКАЛЬСКОМ РИФТЕ

А.П. Григорюк¹, Л.П. Брагинская¹, А.А. Добрынина², С.А. Король²

*¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск,
Россия, and@org.sccc.ru*

²Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Выполнен поиск возможных предвестников землетрясений в поле микросейсмических шумов на основе методики, предложенной в [Добрынина и др., 2023]. Для анализа выбрано 64 землетрясения с энергетическим классом от 10 и выше, произошедших на территории юго-западного фланга и центральной части Байкальской рифтовой системы на расстоянии не более 300 км от сейсмической станции Куяда на полигоне комплексного мониторинга опасных геологических процессов Бугульдейка [Саньков и др., 2023, настоящий сборник]. Помимо вариаций локальных тектонических условий, спусковым механизмом возникновения длиннопериодных микросейсм может быть воздействие на напряженное состояние среды лунно-солнечных приливов, изменения атмосферного давления или прихода волн от мощных дальних землетрясений [Кочарян, Кабыченко, 2003]. Для того чтобы исключить влияние этих факторов, мы рассматривали данные о сильных землетрясениях мира, произошедших в те же периоды времени, и показания метеорологической станции, установленной в пункте Бугульдейка.

Анализировались записи микросейсмических шумов в низкочастотном диапазоне, а также их спектрограммы и полярограммы за несколько часов до сейсмических толчков. Полученные данные сопоставлялись со средними спектрами и поляризационными диаграммами фоновых микросейсмических колебаний.

В результате для 35 событий из выбранного массива были найдены предвестники, выражающиеся в повышении спектральных амплитуд и поляризации микросейсмических колебаний за время от 2 до 20 ч до сейсмического события. На спектрограммах можно видеть, что длиннопериодные колебания присутствуют преимущественно на горизонтальных компонентах, а их частота лежит в пределах 0.01–0.02 Гц. Полярограмма показывает, что угол поляризации колебаний в вертикальной плоскости составляет 90° (отсчитывается от вертикали), т. е. длиннопериодные колебания поляризованы в направлении, параллельном земной поверхности. Коэффициенты прямолинейности в вертикальной и горизонтальной плоскостях составляют 0.8–1.0. В данном случае коэффициент прямолинейности определяется как $r=1-\lambda_1/\lambda_2$, где λ_1 и λ_2 — соответственно малая и большая ось

поляризационного эллипса.

Длиннопериодные колебания в микросейсмическом фоне Байкальской рифтовой системы могут служить краткосрочными (от нескольких часов до суток) предвестниками землетрясений. При этом вероятность появления этих предвестников больше для сильных землетрясений. Длиннопериодные колебания могут быть обнаружены по их характерному периоду 50–100 с, длительности 2–10 ч, горизонтальной поляризации и высокому коэффициенту прямолинейности поляризации в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

ЛИТЕРАТУРА

Добрынина А.А., Саньков В.А., Борняков С.А. и др. Аномалии микросейсмических шумов в связи с Кударинским землетрясением 9 декабря 2020 г. с $M_w=5.6$ в Байкальской впадине. *Доклады академии наук. Науки о Земле*. 2023. Т. 509, № 1. С. 74–80.

Саньков А.В., Саньков В.А., Добрынина А.А. Комплексный мониторинг опасных геологических процессов на территории Байкальского рифта. *Настоящий сборник*. 2023.

Кочарян Г.Г., Кабыченко Н.В. Проявление блоковых движений в длиннопериодном сейсмическом фоне. *Геофизические процессы в нижних и верхних оболочках Земли*. М.: ИДГ РАН, 2003. С. 98–107.

СЕЙСМОРАЗРЫВЫ СИЛЬНОГО ГОЛОЦЕНОВОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА СЕВЕРНОМ ФЛАНГЕ ТОЛБОНУРСКОГО РАЗЛОМА В ГОРНОМ АЛТАЕ

Е.В. Деев, О.В. Сафронов, С.С. Бричёва, П.А. Дергач, В.В. Зорина, Г.Ю. Зобнин

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия, deev@ngs.ru

На стыке Чуйской впадины и хребта Сайлюгем в долинах рек Чаган-Бургазы и Саржматы нами выявлена и детально изучена ранее не известная система поверхностных разрывов голоценового палеоземлетрясения. Оно произошло на северном фланге Толбонурского разлома, который протягивается из монгольского Алтая на юго-восток горного Алтая. Входящие в систему разрывов трещины растяжения, валы выжимания и разломные уступы прослежены на расстоянии 22 км. При этом поднятым на разных участках может быть как юго-западное, так и северо-восточное крыло разлома. Полевые измерения параметров разрывов и анализ ортофотопланов и цифровых моделей рельефа, полученных при обработке съемки с БПЛА, позволили установить значения горизонтальной и вертикальной составляющих сейсмогенной подвижки: 7 и 3.3 м соответственно. Характер смещений эрозионных бортов временных и постоянных водотоков и северо-восточная ориентировка трещин растяжения указывают на правостороннее сдвиговое перемещение. Полученные величины смещений позволяют оценить M_w землетрясения, равную 7.3, т. е. палеоземлетрясение по своим параметрам

было сопоставимо с Чуйским землетрясением 27.09.2003 г. Установить возраст землетрясения поможет радиоуглеродное датирование образцов, отобранных в стенках трех траншей, которыми вскрыты сейсмогенные разрывы.

Для изучения внутренней структуры поверхностных разрывов выполнены георадарные (георадар ОКО-3, антенны 250 и 100 МГц) и сейморазведочные (сейсморегистрирующая система «SCOUT», сейсμοприемник GS-20DX) профили, пересекающие различные участки зоны поверхностных разрывов, в том числе возле траншей. Глубинность георадарных исследований составила от 2 до 9 м. Сейсмогенные разрывы на радарограммах выделяются по псевдовертикальным смещениям отражающих границ, характерным волновым картинам заполнения структур растяжения, аномально низким значениям амплитуд отражений в фронтальных частях разломных уступов. Сейморазведочные исследования МПВ позволили получить информацию о строении геологической среды на глубинах до 40 м. Метод оказался наиболее информативным для изучения участков разлома с накопленной амплитудой вертикальных сейсмогенных смещений в первые десятки метров.

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РНФ 21-17-00058.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ НЕКОТОРЫХ ГОРНЫХ ПОРОД БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ РАДИОИМПЕДАНСНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

М.Г. Дембелов, Ю.Б. Башкуев, Д.Г. Буянова, Л.Х. Ангархаева

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

Методом радиоимпедансного зондирования в СДВ/ДВ-диапазонах радиоволн определены удельное электрическое сопротивление и геоэлектрические разрезы типичных слоисто-неоднородных пород Байкальского региона. Цель радиоимпедансных зондирований заключается в определении частотной зависимости поверхностного импеданса δ слоистых горных пород региона на частотах СДВ/ДВ-диапазонов. Метод радиоимпедансного зондирования применен для измерения электрических свойств различных грунтов данной территории в рамках слоистой модели среды с плохо и хорошо проводящим основанием. Измерения поверхностного импеданса выполнены более чем в 100 пунктах наблюдения. Для зондирований использованы вертикально-поляризованные поля радиостанций с несущими частотами 22.2, 50, 198, 234, 279 кГц. Для решения обратной задачи электромагнитного зондирования слоистой полупроводящей среды использован метод регуляризации на основе гипотетического разреза. В докладе рассмотрены результаты электромагнитной диагностики (свойства, строение, структура) неоднородных сред Байкальского региона радиоволновыми методами. Показана эффективность метода для

радиоволновой диагностики осадочных и кристаллических пород земной коры. Результаты исследования электрических свойств горных пород в СДВ/ДВ-диапазонах радиоволн в целом привели к созданию банка данных электрических свойств горных пород земной коры, учитывающих неоднородно-слоистую структуру земной толщи. Эти данные необходимы при изучении трассы газопровода Сибирь — Монголия — Китай в сейсмоактивной Байкальской рифтовой зоне.

ПОЛНОЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ ТРОПОСФЕРЫ НАД ИРКУТСКОМ И ЯКУТСКОМ ПО ДАННЫМ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ, РАДИОЗОНДИРОВАНИЙ И РЕАНАЛИЗА ERA5

М.Г. Дембелов¹, Ю.Б. Башкуев¹, А.В. Лухнев²

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

²Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Постоянные GPS-измерения проводятся на территории Восточной Сибири начиная с 1994 г. Помимо задач, связанных с высокоточным позиционированием, выполняются исследования по полному влагосодержанию в атмосфере. С одной стороны, тропосферная и ионосферная рефракции являются мешающими факторами для GPS-геодезии. С другой, они же служат параметрами для изучения радиофизических свойств атмосферы. Радиозондирования, выполняемые в пунктах аэрологии поблизости от GPS-станций, позволяют напрямую определять значения суммарного влагосодержания тропосферы, а также средневзвешенные значения температуры в условном вертикальном столбе для целей обработки GPS-данных. Набор данных радиозондирований имеет неоднородности по высоте и периоду запусков радиозондов, что заметно влияет на точность результатов зондирования. Этот факт ставит под сомнение использование данных радиозондирований как эталонных для определения уровня влагосодержания тропосферы. Однако для нахождения статистической средневзвешенной температуры использование радиозондирований практически обосновано и незаменимо. Атмосферный водяной пар является самым распространенным парниковым газом и важнейшей компонентой климатической системы. Постоянная изменчивость распределения облаков обуславливает быстрое изменение содержания водяного пара. В пунктах наблюдения IRKM (Иркутск) и YAKT (Якутск) рассмотрены уровни суммарного влагосодержания I_{wv} в пределах нижней части атмосферы по данным глобальной системы спутниковой навигации GPS, радиозондирований и реанализа ERA5. Набор данных ERA5 — это данные реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) пятого поколения для изучения глобального климата и погоды за последние десятилетия. Показано сравнение изменений уровней влагосодержания тропосферы, полученных разными методами. Представлены модельные

расчеты I_{wv} по данным приземных метеорологических наблюдений. Выполнено сравнение модельных расчетов с данными измерений и реанализа ERA5.

ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ СИГНАЛОВ ПО ДАННЫМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ БАЙКАЛО-МОНГОЛЬСКОГО РЕГИОНА

В.И. Джурик¹, Е.В. Брыжак¹, Ц. Батсайхан², С.П. Серебренников¹, А.А. Какоурова¹

¹*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, dzhurik@crust.irk.ru*

²*Институт астрономии и геофизики МАН, Улаанбаатар, Монголия, batsaikhan@iag.ac.mn*

Целью исследований является оценка влияния глубинных и приповерхностных неоднородностей на исходные сейсмические сигналы в пределах бассейна р. Селенги и юго-западной части Байкальской сейсмической зоны. Отмеченные территории характеризуются высоким сейсмическим потенциалом, обусловленным присутствием на относительно небольшом расстоянии сейсмоактивных зон и наличием эпицентров землетрясений до 15-го энергетического класса. В связи со сказанным результаты исследований направлены на развитие методов изучения и прогноза сейсмических воздействий сильных землетрясений Байкало-Монгольского региона. Сама оценка ожидаемых воздействий на здания и сооружения требует задания исходных сигналов, набора сейсмогеологических данных, наличия обобщенных сейсмических моделей и проведения необходимых теоретических расчетов. К настоящему времени предложено несколько подходов к заданию и расчету исходных сигналов, когда он может быть получен способом подбора или аналоговым, а также с помощью теоретических расчетов (расчетные или синтетические акселерограммы). Однако единых подходов не выработано, в особенности, когда площадка испытывает сильные воздействия из нескольких эпицентральных зон.

Нами сформирован единый подход, основанный на данных спектрального анализа относительно сильных землетрясений за последние годы (с 2020 г.) из наиболее опасных зон ВОЗ. Такой подход способствует снижению неопределенностей, связанных с решением поставленных задач. Далее при использовании имеющихся сейсмогеологических и геофизических сведений и полученных нами данных по изучению инженерно-сейсмологических условий строительства ряда промышленных и гражданских объектов построены наиболее вероятные сейсмические модели для различной мощности рыхлых отложений, различающихся по их составу и состоянию с учетом глубины залегания коренных пород. В итоге в результате реализации теоретических расчетов при использовании исходного сигнала и построенных моделей дан прогноз сейсмических воздействий для грунтов преобладающих разновидностей с последующей возможностью

применения моделей при районировании сейсмической опасности Байкало-Монгольского региона.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта №20-55-44011.

МОНИТОРИНГ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ В БАЙКАЛЬСКОМ РИФТЕ

А.А. Добрынина, В.А. Саньков, А.В. Саньков, А.А. Король, А.А. Рыбченко

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

В работе исследуется возможность использования аномалий микросейсмических шумов в качестве предвестников опасных геологических процессов на территории Байкальской рифтовой системы, таких как землетрясения и селевые потоки. В качестве основного материала для анализа используются записи микросейсмических шумов, полученные сейсмическими станциями Института земной коры СО РАН и Байкальские и Бурятского филиалов Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН». Как объекты изучения были выбраны сильное Кударинское землетрясение 9 декабря 2020 г. с магнитудой $M_w 5.6$ и сейсмические записи, полученные короткопериодной сейсмической станцией «Аршан» (код ARS, сеть ВУКЛ) во время прохождения разрушительного водокаменного селя на р. Кынгарга (Тункинская впадина). В качестве аномалий микросейсмического шума рассматриваются изменения амплитудно-частотного состава и поляризации фоновых микросейсмических шумов перед опасными процессами. Такие изменения наблюдались за несколько суток до Кударинского землетрясения (увеличение амплитуд колебаний в 20 раз в частотном диапазоне 0.01–1 Гц и резкая смена поляризации колебаний с ориентацией на эпицентр), а также в течение прохождения селевых потоков по р. Кынгарга (сеймостанция зафиксировала начало движения потока за 30 мин до прихода селя в пос. Аршан, наблюдались увеличение амплитуд колебаний в частотных диапазонах 20–50 и 0.35–0.45 Гц, поляризационный анализ показал преобладание северо-восточной или север-северо-восточной ориентации колебаний, соответствующей пространственному положению селевых потоков).

На основе полученных результатов предлагается принципиальный алгоритм возможного практического использования наблюдаемых эффектов в качестве одного из способов определения приближения сильного землетрясения и селевого потока.

МАГНИТОУПРУГАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕЛЕНГИНСКОЙ ДЕПРЕССИИ

П.Г. Дядьков, М.П. Козлова, Л.В. Цибизов

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия, kozlovamp@ipgg.sbras.ru*

Разработана магнитоупругая 3D-модель верхней части земной коры Селенгинской депрессии (Байкальская рифтовая система). Магнитоупругая модель базируется на геомеханической модели этого региона и в первом приближении учитывает разломно-блоковую структуру, обусловленную современной сейсмической активностью [Лунина, 2016; Дядьков и др., 2021], и неоднородность пространственного распределения магнитных и магнитоупругих свойств в земной коре.

Для верификации модели использовались результаты тектономагнитного мониторинга и данные GPS-наблюдений [Саньков и др., 2014]. Разработанная модель позволяет повысить достоверность интерпретации тектономагнитных аномалий – определение компонент тензора изменений напряженного состояния в земной коре в районе Селенгинской депрессии.

Исследование выполнено в рамках проекта FWZZ-2022-0019 в соответствии с планами научно-исследовательских работ ИНГТ СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Лунина О.В. Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры Юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии. *Геодинамика и тектонофизика*. 2016. Т. 7, № 3. С. 407–434. DOI: 10.5800/GT-2016-7-3-0215.

Дядьков П.Г., Козлова М.П., Михеева А.В., Романенко Ю.М., Гилева Н.А. Сейсмическая активность центральной впадины озера Байкал как отражение разломно-блоковой структуры земной коры. *Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ: Тезисы докладов Всероссийского совещания*. Иркутск, 26–30 апреля 2021 г. С. 188–188.

Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Добрынина А.А., Ашурков С.В., Бызов Л.М., Дембелов М.Г., Кале Э., Девершер Ж. Современные горизонтальные движения и сейсмичность южной части Байкальской впадины (Байкальская рифтовая система). *Физика Земли*. 2014. № 6. С. 70–79.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ ПИВ В СРЕДНИХ ШИРОТАХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ SWARM

И.К. Едемский, А.В. Ойнац

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

Спутниковая миссия SWARM включает три назкоорбитальных спутника, два из

которых (Alpha и Charly) движутся по близким орбитам (разность восходящих узлов составляет порядка 1° – 1.4°). Параметры орбит и скорость движения этих спутников позволяют считать пересекаемую область ионосферы неизменной, а возмущения вмороженными относительно движения. В работе мы выполняем анализ рядов электронной концентрации на высоте движения спутников (~ 430 км) в средних широтах Северного полушария (40° N – 60° N) за 2014–2023 гг. Максимум корреляционной функции позволяет определить ориентацию фазового фронта перемещающихся волновых возмущений (ПИВ), пересекаемых обоими спутниками. В работе представлена статистика наблюдений для двух долготных регионов России с целью сопоставления с параметрами среднемасштабных ПИВ, полученных по данным радаров SuperDARN ЕКВ (55° – 95°) и MGW (115° – 155°), расположенных в этих областях.

ОБНАРУЖЕНИЕ АСТЕРОИДОВ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЕЙ, МАЛЫМИ ОБЗОРНЫМИ ТЕЛЕСКОПАМИ

Л.В. Еленин¹, И.Е. Молотов¹, Р. Буянхишиг², Н. Тунгалаг²

¹Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, Москва, Россия

²Институт астрономии и геофизики, МАН, Улаанбаатар, Монголия, byanaare@gmail.com

Поиск и обнаружение астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), является одним из основных направлений решения глобальной проблемы планетарной защиты. Первый АСЗ — астероид (433) Эрос — был обнаружен более века назад, но лишь спустя сто лет человечество пришло к пониманию серьезности угрозы. Первые выделенные обзорные программы по поиску АСЗ были запущены в середине 1980-х гг., как только новый вид фотодетекторов — ПЗС-камеры — стал приходить на смену аналоговым фотопластинкам. Цифровые данные многократно упростили и ускорили работу и, что особенно важно, дали возможность всестороннего применения ЭВМ. В последующие годы росли размеры апертур поисковых оптических телескопов и цифровых фотоприемников, а, следовательно, происходило и увеличение площади просматриваемой небесной сферы.

В 2010-х гг. количественный тренд на увеличение параметров стал плавно смещаться к качественному — получению максимума полезной информации по исходным данным. Для этого была предложена новая методика работы не с единичными кадрами (классический пример использования триплета разнесенных по времени кадров для поиска и идентификации движущихся объектов), а анализ и обработка десятков и даже сотен коротких последовательных экспозиций. Такой подход имеет ряд преимуществ над классическим методом. Сложение полученных кадров по случайным векторам движения потенциальных АСЗ позволяет увеличить рабочее проникание обзорного инструмента, что дает возможность эффективно использовать телескопы малых и средних апертур (от 40 см).

Помимо этого, данная техника позволяет более эффективно обнаруживать быстрые АСЗ с угловыми скоростями движения, составляющими десятки угловых секунд за минуту. К недостаткам относятся высочайшие вычислительные затраты. Изначально подобная техника апробировалась с использованием многоядерных центральных процессоров (до 32 ядер), мощности которых явно не хватало. Все изменилось, когда расчеты смогли переложить на вычислительные ядра графических карт (GPU), число которых в современном устройстве может превышать 10–15 тыс.

В статье мы рассмотрим реальный опыт применения данной прогрессивной технологии на базе 40-см поискового телескопа, установленного в обсерватории Хурелтогoot (Монголия) и гибридного вычислительного комплекса (Москва, Россия). Тестовые наблюдения уже дали свои первые результаты – был открыт АСЗ 2022 VG2. Начатая работа продолжается.

НАВЕДЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ В РАЙОНАХ СИЛЬНОГО ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗЕМНУЮ КОРУ

А.А. Еманов^{1,2}, А.Ф. Еманов¹, А.В. Фатеев^{1,2}, Е.В. Шевкунова¹, Р.А. Ершов¹

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, Новосибирск, Россия

²ИНГГ СО РАН, Новосибирск, Россия

Эксперименты по изучению наведенной сейсмичности при добыче полезных ископаемых проводились временными сейсмологическими станциями совместно с региональной сетью. Промышленные взрывы имеют $ML = 1.3 \div 4$. Система мониторинга и контроля за взрыванием обеспечила уменьшение числа взрывов с $ML > 3$. Лучшие результаты были отмечены в Кузбассе, где в 2023 г. был только один взрыв с $ML = 3.17 > 3$. Худшее положение отмечалось в Хакасии, где взрывы с $ML \sim 4$ являются частым явлением. Созданная сеть стационарных станций регистрирует промышленные взрывы в регионе без пропусков и позволяет однозначно увязывать по координатам взрывы с горными предприятиями.

Наведенная сейсмичность проявляется особенно сильно в районах угольных разрезов, угольных и железорудных шахт, местах добычи нефти. Стационарная сеть регистрирует землетрясения с $ML = 2$ и для открытых выработок по координатам они группируются около разрезов. На подземных выработках добыча угля ведется механическим способом. В ряде случаев региональная сеть уверенно фиксирует скопления землетрясений около подземных выработок.

Проведение экспериментов с временными сетями станций (до трех десятков станций на площади 10×10 км) позволяет получить информацию о землетрясениях с $ML \geq 0$ и структура наведенной сейсмичности в этом случае отражает ее закономерности развития и

позволяет уверенно делать выводы о природе процесса. Так, детальное изучение сейсмичности около шахты Полысаевская показало, что сейсмический процесс формируется под выработкой на глубинах от забоя до 1.5 км. Облако событий смещается в пространстве вместе с забоем. Наиболее сильные землетрясения около подземных выработок с $ML = 2\div 3$. Наиболее сильные землетрясения около разрезов имели $ML = 6.1$ (Бачатский разрез) и $ML = 5.6$ (Талдинский разрез). В районе Бачатского землетрясения 2013 г. по настоящее время проводятся детальные наблюдения. После основного события в районе разреза наблюдается активизация, произошло более 5 тыс. землетрясений. Построена объемная структура активизированной области. Длина области 10 км соответствует длине разреза и магнитуде главного события, ширина активизации — это ширина разреза с локальными выходами под отвалами, глубины событий — от первых сотен метров до 6 км с максимумом событий на глубине 4 км.

ХУБСУГУЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2021 Г. В СТРУКТУРЕ СЕЙСМИЧНОСТИ СОЧЛЕНЕНИЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ КОЛЛИЗИОННОЙ ОБЛАСТИ И БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

**А.Ф. Еманов¹, А.А. Еманов^{1,2}, В.В. Чечельницкий³, Е.В. Шевкунова¹, А.В. Фатеев¹,
Е.А. Кобелева³, Я.Б. Радзиминович⁴, М.В. Фролов¹**

¹*АСФ ФИЦ ЕГС РАН, Новосибирск, Россия*

²*ИНГГ СО РАН, Новосибирск, Россия*

³*БФ ФИЦ ЕГС РАН, Иркутск, Россия*

⁴*ИЗК СО РАН, Иркутск, Россия*

Выполнены исследования афтершоков Хубсугульского землетрясения 12.01.2021г., $M_w = 6.7$, $ML = 6.9$ и структуры сейсмичности этого периода для зоны сочленения Алтае-Саянской горной области и Байкальской рифтовой зоны. В очаговой области сейсмически активизированы два разлома, расходящиеся от южного окончания афтершоковой области под острым углом (в северо-восточном и северо-западном направлениях), и поперечные разломы между ними. Главное событие относится к северо-восточному разлому, а другие крупные афтершоки произошли на стыке северо-западного разлома с оперяющими его с восточной стороны поперечными разломами. Серия крупных афтершоков последовала сразу за главным событием, еще два крупных афтершока произошли 31.03.2021 г. с $ML = 6.21$ и 03.05.2021 г. с $ML = 6.42$. Пространственные изменения активности афтершоковой области привели к преимущественной сейсмической активности ее южного окончания.

Район сочленения коллизионных структур Алтае-Саянской складчатой зоны и рифтовых структур системы Байкальских впадин в сейсмичности выделяется как блоковая структура с повышенной сейсмичностью около границ блоков. Прежде всего это Тувино-

Монгольский блок и восточная часть Саяно-Тувинского блока. После Хубсугульского землетрясения 2021 г. повышенной сейсмической активностью обладает блоковая структура с активизацией эпицентральных зон Бусингольского землетрясения 1991 г., Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. и других структур, сейсмически активных до 2021 г. Доказано, что Хубсугульское землетрясение 2014 г. произошло под одноименной впадиной, связано с иными разломами, чем землетрясение 2021 г. и не является прямым предшественником активизации 2021–2022 гг. После Хубсугульского землетрясения 2021 г. сформировалась локальная сейсмически активизированная зона в Дархатской впадине в районе стыка хребта Улаан-Тайга и Хордолын-Сардиг-Нуру. Обнаруженная ранее и изученная пульсирующая около двух десятков лет активизация эпицентральной зоны Бусингольского землетрясения 1991 г. изменила режим сейсмической активности.

ЦКП «ГЕОДИНАМИКА И ГЕОХРОНОЛОГИЯ» ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН

А.В. Иванов

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

ЦКП «Геодинамика и геохронология» создан в 2015 г. путем реорганизации аналитического центра Института земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН) и включает три группы: (1) изотопные методы исследований, (2) рентгеновские методы анализа, (3) спектральный и химический анализ. Одной из основных целей деятельности ЦКП является обеспечение сотрудников ИЗК СО РАН, академических институтов, вузов, других организаций аналитическими данными, необходимыми для геохронологических и геодинамических реконструкций. Детальная информация о ЦКП доступна на сайте <http://crust.irk.ru/industry/analytics.html> и в специализированных публикациях [Иванов и др., 2022; Шарыгин и др., 2022].

ЛИТЕРАТУРА

Иванов А.В., Демонтерова Е.И., Ревенко А.Г., Шарыгин И.С., Козырева Е.А., Алексеев С.В. История и современное состояние аналитических исследований в Институте земной коры СО РАН: Центр коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» *Геодинамика и тектонофизика*. 2022. Т. 13, № 2. 0582. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2-0582.

Шарыгин И.С., Иванов А.В., Черкашина Т.Ю., Пашкова Г.В., Пеллинен В.А., Светлаков А.А. Современное научное оборудование Института земной коры СО РАН для геологических исследований. Международная научная конференция «Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества»: Труды. Иркутск, 2022. С. 157–163.

ПРОЕКТ SKYLINE: КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТЕОРОВ МЕТОДОМ БАЗИСНЫХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЙ

К.И. Иванов, Е.С. Комарова

*Научно-исследовательский институт прикладной физики Иркутского государственного
университета, Иркутск, Россия, ivorupalace@gmail.com*

Исследование метеорных явлений, несколько утратившее популярность на фоне возросшего интереса к более фундаментальным и обширным областям астрономии за последние три десятка лет, переживает сегодня второе рождение. Высокочувствительные оптические детекторы на базе компактных скоростных ПЗС- и КМОП-сенсоров, оснащенные широкополными асферическими объективами сверхвысокой светосилы и находящиеся под управлением мощных ЭВМ, впервые в истории позволяют не только уверенно детектировать метеоры на обширных участках небесной сферы в широком диапазоне длин волн в режиме реального времени, но также отслеживать динамику сопутствующих процессов с временным разрешением порядка 0.01 с и выше.

Наиболее информативным считается метод базисных видеонаблюдений, заключающийся в синхронной регистрации метеоров двумя или более детекторами, расположенными на удалении от нескольких десятков до нескольких сотен километров друг от друга. Такая схема позволяет с высокой точностью восстанавливать пространственную конфигурацию метеорного трека, определять множество физических параметров метеора и родительской частицы, включая гео- и гелиоцентрическую скорость, энерговыделение, высоты загорания и погасания, ускорение, координаты произвольной точки трека, орбитальные параметры метеороида, его массу и т. д. Оснащение наблюдательного комплекса спектрографом значительно расширяет круг решаемых задач, давая возможность анализировать базовый химический состав метеорного вещества и верхней атмосферы.

Вышеописанные принципы легли в основу проекта «SkyLine», разработанного и реализуемого авторами на территории Тункинской долины. Суммарное поле зрения детекторов позволяет уверенно обнаруживать метеоры, сгорающие над территорией общей площадью не менее 400 000 км². Объем детектируемого слоя атмосферы в диапазоне высот 80–120 км составляет около 15 млн. км³. Актуальность исследований обусловлена широким спектром применения полученных результатов.

Работа выполнена на УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», поддержана Минобрнауки России (соглашение ЕВ-075-15-2021-675, гос. задание FZZE-2020-0024, FZZE- 202-0004).

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СУМЕРЕЧНОГО ЭФФЕКТА НА ТРАССАХ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

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

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

²Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Паратунка, Камчатский край, podd-igor@yandex.ru

Отклики магнитных бурь в ионосфере Земли до настоящего времени являются важным объектом изучения в солнечно-земной физике. Одним из интересных и не до конца исследованных можно назвать сумеречный эффект. Он проявляется в значительном увеличении электронной концентрации в F-области ионосферы в средних широтах в вечерние часы после внезапного начала магнитной бури. К возможным причинам этого явления относят перемещающиеся атмосферные возмущения, а также изменения нейтрального состава [Buonsanto, 1995].

В работе сумеречный эффект рассматривается на примере магнитной бури 12–15 апреля 2016 г. по данным наклонного зондирования над северо-восточным регионом России. Измерения проводились на пяти трассах: Магадан — Торы, Норильск — Торы, Хабаровск — Торы, Салехард — Торы, Диксон — Торы. Координаты передающих пунктов: 60° N, 150.7° E (Магадан), 69.2° N, 88° E (Норильск), 48.5° N, 135.1° E (Хабаровск), 66.5° N, 66.63° E (Салехард), 73.5° N, 80.6° E (Диксон), 51.8° N, 103° E (приемный пункт в пос. Торы). Сумеречный эффект был зарегистрирован 14 апреля 2016 г. на четырех трассах: Магадан — Торы, Норильск — Торы, Хабаровск — Торы, Салехард — Торы. Он проявлялся в существенном увеличении максимальных наблюдаемых частот по сравнению с медианными значениями в ~12 UT. На трассе Диксон — Торы в это время наблюдалось полное поглощение радиосигналов. Таким образом, наклонное ЛЧМ-зондирование является хорошим инструментом при изучении геофизических эффектов во время магнитных бурь, в том числе сумеречного эффекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (субсидия N075-ГЗ/Ц3569/278). Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» [<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>].

ЛИТЕРАТУРА

Buonsanto M.J. A case study of the ionospheric storm dusk effect. *J. Geophys. Res.* 1995. Vol. 100, no. A12. P. 23,857–23,869.

URL: <http://ckp-rf.ru/ckp/3056>.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАННОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА И МОНГОЛИИ

А.А. Какоурова, В.М. Демьянович, В.И. Джурик, Е.В. Брыжак, А.А. Ключевская

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, anna2015@crust.irk.ru

Для анализа геодинамики Монголо-Байкальского региона (МБР) исследуется согласованность параметров пространственно-временного и энергетического распределения землетрясений Байкальского региона и Монголии. Для этого по данным о землетрясениях энергетического класса $K_p \geq 9$, зарегистрированных на территории Байкальского региона и Монголии в 1968–2015 гг., были рассчитаны годовые скорости потока землетрясений N , суммарная сейсмическая энергия $\lg E_{sum}$ землетрясений в год и годовые наклоны γ графиков повторяемости землетрясений Байкальского региона и трех районов, а также Монголии и четырех входящих в нее областей [Джурик и др., 2009]. Для трех-, пяти- и десятилетних выборок годовых параметров этих территорий с применением корреляционного анализа проведено исследование когерентности наклона графика повторяемости землетрясений, суммарной сейсмической энергии $\lg E_{sum}$, чисел представительных землетрясений N с энергетическим классом $K_p \geq 9$ для каждого из регионов.

На основании полученных новых результатов выделены эпизоды геодинамических синхронизаций районов и участков Байкальского региона и Монголии, выяснены уровень согласованности и взаимообусловленности геодинамики регионов. Наблюдаемые синхронизации исследуемых параметров землетрясений свидетельствуют о том, что активизации динамики сейсмичности происходят примерно в одно время в различных областях МБР преимущественно под влиянием перестроек напряжений в литосфере, формируя в пространственно-временном распределении сейсмичности кратковременный когерентный сейсмический процесс, указывающий на сейсмогенную связь Байкальского региона и Монголии.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № 20-55-44011.

ЛИТЕРАТУРА

Джурик В. И., Ключевский А. В., Серебряников С. П., Демьянович В. М., Батсайхан Ц., Баяраа Г. *Сейсмичность и Районирование Сейсмической Опасности Территории Монголии*. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. 420 с.

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА НА СРЕДНЕВЫСОТНЫХ ОРБИТАХ

Ю.С. Караваев, И.В. Коробцев, М.Н. Мишина, М.В., Еселевич, В.Е. Горяшин

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

Различные глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), такие как ГЛОНАСС, GPS, Бейдоу, Галилео, используют круговые средневисотные околоземные орбиты с периодом около полусуток в диапазоне наклонений от 50° до 70° . Орбиты функционирования ГНСС являются одной из важных эксплуатируемых областей в околоземном космическом пространстве. Информация о присутствующем в этой области космическом мусоре (КМ) и его характеристиках крайне важна для оценок создаваемых рисков и мер по их предотвращению. В работе приводятся результаты фотометрических наблюдений объектов КМ в окрестностях орбит ГНСС, полученные на 1.6-метровом телескопе АЗТ-33ИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ в 2018–2023 гг. Показано распределение присутствующих в этой области объектов КМ относительно объектов ГНСС. Получены временные и фазовые зависимости видимого блеска всех измеренных объектов КМ. Определены средние кривые блеска, периоды вращения и их динамика. Показаны результаты моделирования кривой блеска, характерной для нескольких фрагментов КМ из области орбит ГНСС. Предложен пример возможной формы космического объекта, соответствующий наблюдаемой кривой блеска.

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.В. Киселев^{1,2}, Л.П. Бержинская^{1,3}

¹*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, kisdimval@yandex.ru, Berj.LP@yandex.ru*

²*Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия*

³*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия*

Анализ результатов обследований последствий ощутимых и умеренных землетрясений показал, что фактическая сейсмостойкость застройки в городах и населенных пунктах Иркутской области может значительно отличаться от проектных значений. Наиболее достоверная количественная оценка фактической сейсмостойкости определяется с помощью экспериментальных методов при высоком уровне динамической нагрузки конструкций зданий. Подобные исследования позволяют не только раскрыть механизм перехода сооружений в предельное состояние, что невозможно достоверно получить в рамках расчетно-аналитических процедур, но и оценить влияние технологии возведения и качество постройки на итоговую надежность зданий.

В последние десятилетия большое предпочтение отдается комплексному методу исследования сейсмостойкости, сочетающему определение динамических характеристик натуральных объектов при микродинамическом уровне воздействий с методами математического моделирования, когда поведение модели здания исследуется при внешнем воздействии, заданном инструментальными или синтезированными акселерограммами прошлых землетрясений, масштабированных соответствующим образом. Другим информативным способом оценки сейсмической надежности существующей застройки является сейсмическая паспортизация зданий и сооружений. Даже при двухэтапном ее проведении достоверность результатов оказывается высокой. На первом этапе паспортизации используется визуально-инструментальный метод инженерно-технического обследования состояния отдельных конструктивных элементов объекта, согласно требованиям ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». В результате получим итоговую оценку работоспособности и надежности зданий в основном в описательной форме. Для получения количественных параметров переходят ко второму этапу — прочностным испытаниям образцов, полученных методом отбора проб и инструментальным замерам динамических характеристик здания, прежде всего, периода собственных колебаний и декремента затухания.

Данные о фактическом уровне сейсмостойкости зданий позволят выработать стратегию по ликвидации опасного жилищного фонда на территории Иркутской области, что в итоге повысит региональную сейсмобезопасность населения.

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЯХ ЗЕМЛИ

П.Г. Ковадло¹, А.Ю., Шиховцев¹ С.А. Язев^{1,2}

¹*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, kovadlo2006@rambler.ru*

²*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

Рассмотрены причины различий между значениями средней температуры воздуха T в северной полярной области (СПО) и южной полярной области (ЮПО): среднегодовая T на 14° ниже в ЮПО, чем в СПО. В частности, T зависит от концентрации парниковых газов, в основном водяного пара и углекислого газа CO_2 . Если CO_2 достаточно равномерно распределен по всей толще атмосферы, пар в основном содержится в тонком слое тропосферы до высоты 10 км.

Выполнен анализ роли этих газов в СПО и ЮПО, где ежегодно в течение четырех месяцев нет прямой солнечной радиации. Если концентрация CO_2 меняется слабо, влагоемкость атмосферы заметно растет с ростом T , что дополнительно увеличивает T . По данным реанализа в холодные сезоны T воздуха в СПО на 14° выше, чем в ЮПО, поскольку

среднее содержание влаги в воздухе СПО на 60 % выше, чем в ЮПО. На высоте 9 км T уменьшается на $\sim 4^\circ$, на высоте 30 км — на $\sim 20^\circ$, при этом влагосодержание уменьшается в три раза. В теплые сезоны T в СПО на 16° выше, чем в ЮПО; на высоте 9 км T уменьшается на 5° , хотя разность влагосодержания уменьшается в четыре раза. Зато на высоте 30 км воздух в ЮПО теплее на 4° . В стратосфере мало пара, и нагрев на этих высотах объясняется поглощением солнечной радиации озоном. В зимний период на этой высоте в отсутствие солнечной радиации воздух выхолаживается до -81° в ЮПО и до -61° в СПО, эти различия с точки зрения авторов объясняются значительной разницей в удельном влагосодержании (УВ).

УВ растет при повышении T атмосферы. Наибольший эффект проявляется в тропосфере, с высотой УВ снижается из-за уменьшения плотности воздуха и низкой T . Так в атмосфере формируется положительная обратная связь: с ростом концентрации пара воздух поглощает больше энергии излучения и его T возрастает, в результате растет и влагоемкость. Анализ архивных данных наблюдений показывает, что УВ в ЮПО ниже в 1.6 раза, чем в СПО. С высотой различия уменьшаются. T зависит от величины противозлучения земной поверхности, а оно, в свою очередь, — от свойств поверхности (вода, лед, суша). Расчеты показали, что с 1948 по 2022 г. рост противозлучения составил 5 Вт/м^2 в ЮПО и 30 Вт/м^2 в СПО, что, по мнению авторов, обеспечило различия в росте УВ (в СПО на ~ 0.3 г воды на 1 кг воздуха, в ЮПО — на ~ 0.1 г/кг) и, в конечном итоге, различия в росте T .

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.В. Ковалевский, Д.А. Караваяев, А.П. Григорюк

*Новосибирск, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
kovalevsky@sccc.ru, kda@opg.sccc.ru, and@opg.sccc.ru*

Геофизические исследования с контролируруемыми вибрационными источниками для изучения строения земной коры и вибросейсмического мониторинга сейсмоопасных и вулканических зон проводятся в России в Байкальском регионе и в Японии в зонах субдукции и вулканической деятельности [Active Geophysical Monitoring, 2020; Kovalevsky et al., 2019].

Рассмотрены результаты математического моделирования волновых полей управляемых источников для исследования чувствительности метода вибросейсмического мониторинга, т. е. определения связи изменений параметров вибросейсмических волн, регистрируемых на поверхности в процессе вибросейсмического просвечивания с изменениями сейсмической скорости во внутренней области среды, связанными с концентрацией напряжений при геодинамических процессах.

Для вибросейсмического мониторинга с использованием гармонических сигналов

рассмотрена прямая задача распространения волн от поверхностного виброисточника в модели системы земная кора — мантия в виде упругого слоя на упругом полупространстве со сферической областью изменения скоростных параметров в земной коре. В борновском приближении получено аналитическое решение для исходного и возмущенного волновых полей и соотношение для связи изменений амплитуд и фаз сигналов, регистрируемых на поверхности, с вариациями сейсмических скоростей во внутренней области.

Для сложнопостроенных моделей земной коры с внутренней областью изменения скоростей и использованием свип-сигналов выполнено численное моделирование полных волновых полей. 2D-моделирование сейсмического поля проведено на основе численной схемы повышенной точности по пространству в комбинации с неотражающими границами и программной реализацией на суперЭВМ ССКЦ СО РАН. Получены результаты в виде сеточных моделей и теоретических сейсмограмм, на которых выделены изменения времен вступления и амплитуд отдельных волн и определена их связь с вариациями сейсмических скоростей во внутренней области среды. Приведены данные экспериментальных работ по виброрейсмическому мониторингу в Байкальском регионе.

Работа выполнена при поддержке проекта НИР ИВМиМГ СО РАН 0251-2022-0004.

ЛИТЕРАТУРА

- Active Geophysical Monitoring, 2nd Edition, Elsevier Publ., 2020.
Kovalevsky V.V., Fatyanov A.G., Karavaev D.A., et al. Research and verification of the Earth's crust velocity models by mathematical simulation and active seismology methods. *Geodynamics and Tectonophysics*. 2019. V. 10, no. 3. P. 569–583.

ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ТРУБОПРОВОДЫ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

Д.В. Костарев¹, В.А. Пилипенко^{2,3}, О.В. Козырева^{2,3}

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

²Геофизический центр РАН, Москва, Россия

³Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Одним из наиболее значимых факторов космической погоды являются геоиндуцированные токи в технологических проводящих заземленных системах, вызываемые резкими изменениями геомагнитного поля dB/dt . Это особенно актуально для высокоширотных регионов, поскольку геомагнитные изменения выражены там наиболее сильно. Такие изменения создают колебания потенциала почва — труба, которые могут выводить напряжение трубопроводов из безопасного диапазона защиты от электрокоррозии (обычно катодная защита подпитывает отрицательный потенциал ~ 2 В). При нарушении катодной защиты в трубопроводах усиливается коррозия в точках

заземления или повреждения изоляции, выходят из строя электронные системы контроля. Поэтому при организации систем катодной защиты трубопроводов необходимо иметь возможность рассчитывать вариации потенциала труба — земля при геомагнитных возмущениях. Для этого мы разработали программный код для расчета потенциала трубопровода при заданном возмущении электротеллурического поля в поверхностных слоях Земли.

МАЛОРАЗМЕРНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ГЕЛИО- И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ КУБСАТОВ

С.В. Кузин

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

Развитие наноспутников (кубсатов) дало толчок увеличению количества научных и прикладных исследований, проводимых с помощью размещенной на этих спутниках аппаратуры. В первую очередь, это исследования в радиодиапазоне, а также прикладные исследования в области передачи и приема информации.

Такой сравнительно узкий набор аппаратуры определяется ограничениями со стороны кубсатов на размещаемую аппаратуру: малый вес (единицы килограмм), габариты (1–3 дм³), энергопотребление (несколько ватт) и объем передаваемой на Землю информации. Кроме того, у кубсатов сравнительно невысокие возможности по ориентации на выбранный объект и стабилизации. Эти факторы ограничивают установку различных изображающих инструментов на кубсаты. С другой стороны, сейчас имеется много запросов на актуальные космические данные по гелио- и геофизике, необходимые как для фундаментальных физических, так и для прикладных задач, в первую очередь, связанных с космической погодой. Такая ситуация сложилась из-за крайне малого количества космических обсерваторий, проводящих исследования в области физики Солнца и солнечно-земных связей. По этой причине есть запрос на создание нового типа обсерваторий на основе роя наноспутников, в котором на каждом из кубсатов размещаются 1–2 прибора.

В рамках этой концепции в лаборатории солнечной физики и гелиофизического приборостроения ИСЗФ СО РАН и ИКИ РАН был разработан ряд приборов специально для кубсатов: солнечные телескопы вакуумного ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов, солнечный рентгеновский спектрофотометр, авровизор, трехкоординатный магнитометр и широкодиапазонный радиометр. Часть этих приборов была изготовлена в рамках программы «УниверСат» Роскосмоса и выведена на орбиту 27 июня 2023 г.

В докладе представлены назначение и основные характеристики разработанных приборов, полученные к настоящему времени результаты, а также перспективы дальнейших работ в этом направлении. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-72-30002, <https://rscf.ru/project/23-72-30002/>.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОЧАГОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ КРУПНЫХ РАЗЛОМНЫХ НАРУШЕНИЙ И ИХ ОСОБЕННОСТИ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

А.С. Куляндина

*Якутский филиал Федерального-исследовательского центра
«Единая геофизическая служба» РАН, Якутск, Россия; albineku28@gmail.com;
Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия*

В статье проводится анализ сильных землетрясений Якутии (Артыкское (Оймяконское) и Илин-Тасское (Абыйское)) за последние 50 лет, произошедших в системе хребта Черского. Значительный интерес к изучению землетрясений в области разломных зон связан с развитием напряженно-деформированного состояния земной коры, оказывающих влияние на формирование параметров геофизических полей [Трофименко, 2011]. Для уточнения морфо-кинематических параметров разломов и их взаимосвязей с сейсмичностью были привлечены сведения о геофизических полях.

На территории Республики Саха (Якутия) вблизи с границей Магаданской области 18 мая 1971 г. произошел один из сильнейших сейсмических толчков на северо-востоке России за исторический (более одного века) и инструментальный (свыше 70 лет) периоды наблюдений – Артыкское (Оймяконское) землетрясение на глубине 16 км. Его магнитуда достигала 7.1 [Старовойт и др., 2014]. Характер гравитационного поля на данном участке указывает на наличие здесь сети разломов, которые отображается полосами повышенных горизонтальных градиентов. Зона представлена частью крупной аномалии с отрицательным гравитационным полем интенсивностью 78 мГал.

Илин-Тасское (Абыйское) землетрясение произошло 14 февраля 2013 г. с магнитудой $M_w 6.7$ на глубине 14 км. Интенсивность события в эпицентре достигла 9 баллов по шкале MSK-64. После главного удара в течение года последовала серия повторных ударов [Шибаяев и др., 2013]. На территории эпицентральной зоны изоаномалии силы поля тяжести имеют вытянутые формы в северо-западном направлении и распределяются неравномерно. Резкое изменение магнитного поля от отрицательного к положительному свидетельствует о блоковом строении местности. Межблочная зона соответствует положению Илин-Тасского разлома.

Сведения, полученные при изучении Артыкского и Илин-Тасского землетрясений, позволяют выявить детальные характеристики местной сейсмичности и уточнить региональный уровень сейсмической опасности в арктических районах Якутии.

ЛИТЕРАТУРА

Трофименко С.В. Структура и динамика геофизических полей и сейсмических процессов в блоковой модели земной коры. *Автореферат дисс.* 2011. Томск, 47 с.

Старовойт О.Е., Михайлова Р.С., Гарькуша А.П., Рогожин Е.А. и др. *Землетрясения Северной*

Евразии, 2008 год. Обнинск: ГС РАН, 2014. 520 с.

Шибавев С.В., Козьмин Б.М., Имаева Л.П., Имаев В.С. и др. Илин-Тасское (Абыйское) землетрясение 14 февраля 2013 г. с $M_w=6.7$ (северо-восток Якутии). *Российский сейсмологический журнал.* 2020. Т. 2, № 1. С. 92–102. DOI: 10.35540/2686-7907.2020.1.09.

О ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ МОДУЛЯЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КОСМИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ (НА ПРИМЕРЕ БРЗ)

Е.А. Левина, В.В. Ружич

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

Как известно, наша планета является открытой системой и, следовательно, протекающие на ней процессы не могут быть объяснены без учета влияния внешних космических факторов. Методами космической геодезии обнаружен вековой северный дрейф ядра Земли относительно мантии и широкий спектр его колебаний под гравитационным влиянием всех окружающих тел Солнечной системы. Циклические смещения ядра с его колоссальной избыточной массой (~17 масс Луны) оказывают циклические гравитационные воздействия на все оболочки Земли, включая литосферу. В данной работе с помощью метода наложения эпох на примере Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) и ее отдельных сегментов рассматриваются распределения суммарной выделившейся сейсмической энергии по фазам 11-летнего, 22-летнего и 100-летнего солнечных циклов, представленных числами Вольфа. Три сегмента БРЗ — юго-запад (ЮЗ), центр и северо-восток (СВ) — имеют разные геодинамические режимы и поэтому рассматривались отдельно. Распределение сейсмической активности по фазам 11-летнего солнечного цикла для всей БРЗ, СВ- и ЮЗ-сегментов совпадают: главный максимум приходится на седьмой год (нисходящая ветвь), тогда как в центре БРЗ — на пятый год (восходящая ветвь). Для СВ-сегмента и для БРЗ в целом 22-летний цикл не выявляется, но проявляется для центра и ЮЗ, причем в обоих случаях главный максимум расположен в четном 11-летнем цикле. В модуляциях максимумов 11-летних циклов проявляется 100-летний цикл солнечной активности. Изменение максимумов 11-летних циклов за последние 100 лет подобно изменению суммарной сейсмической энергии в соответствующих циклах для СВ- и ЮЗ-сегментов и всей БРЗ, причем более активной для них является первая половина 100-летнего цикла. Для центра БРЗ большая активность выявлена в его второй части. Предполагается, что корреляция солнечной активности с сейсмической активностью Земли объясняется общей причиной, влияющей на оба этих процесса, а именно – возмущающим гравитационным воздействием вращения Солнца вокруг барицентра солнечной системы. Различия в распределении сейсмической активности по фазам солнечных циклов для разных сегментов БРЗ можно объяснить взаимодействием космогенных факторов с эндогенными двух типов. Это мантийное течение в юго-восточном направлении, режим

растяжения земной коры в центральном сегменте БРЗ и дрейф земного ядра к северо-востоку с планетарным сжатием литосферной оболочки Земли той же направленности на флангах БРЗ.

МОДЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ ГАЗОВЫХ И АЭРОЗОЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПРИМЕСЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЗРАЧНОСТИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

А.А. Леженин, В.Ф. Рапута

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
Новосибирск, Россия, lezhenin@ommfao.sccc.ru*

Загрязнение атмосферы выбросами различных примесей может существенно затруднять проведение оптических наблюдений. Модели гидротермодинамики атмосферы, в принципе, дают возможность провести численное моделирование гидрометеорологических характеристик и полей концентраций примесей. Для этого необходимо привлечение значительных объемов входной информации как об источниках эмиссии примесей, так и о текущих метеорологических условиях и параметрах атмосферы, что возможно далеко не всегда. В таком случае прямое моделирование не позволяет устанавливать однозначную связь с реальными процессами загрязнения территорий.

Применительно к процессам регионального загрязнения территорий удаленными источниками допустимы существенные упрощения расчетных моделей. В этих условиях зависимость от расстояния концентрации примеси будет определяться сравнительно небольшим числом параметров, из которых наиболее значимыми являются интенсивность источника, высота слоя перемешивания, средняя скорость ветра в нем, поперечная дисперсия и коэффициенты химической трансформации примесей. Использование асимптотических методов и теории подобия позволяет получать эффективные соотношения для оценки полей концентраций примесей. Привлечение же данных наблюдений в определенных точках дает возможность проводить численное восстановление полей концентраций примесей в пограничных слоях атмосферы.

Обсуждается демонстрация предложенного подхода применительно к станции EANET, расположенной в пос. Листвянка Иркутской области (Южный Байкал). С использованием асимптотик решений уравнения турбулентной диффузии предложены модели оценивания полей концентраций диоксидов серы, азота, субмикронных фракций аэрозольных частиц по данным непрерывных измерений на станции. Исследуются выносы этих примесей от наиболее значимых источников, которыми являются крупные ТЭЦ, расположенные в Иркутске, Ангарске, Шелехове. Основное внимание уделяется анализу эпизодов прохождения дымовых шлейфов ТЭЦ через пункт наблюдений. В качестве

дополнительных сведений используются данные измерений метеорологических и аэрологических станций. Для территории Южного Байкала представлены результаты численного восстановления в пограничном слое атмосферы полей концентраций и оценивания эмиссии загрязняющих примесей от удаленных источников.

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

О.В. Лунина, А.А. Гладков

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

Примеры несейсмического разрывообразования инфраструктуры в городах и поселках свидетельствуют об актуальности проблемы выявления причин деформаций и их развития во времени. Среди причин рассматривают откачку воды для водоснабжения, что может вызывать оседание грунта и даже активизацию разрывных нарушений. Процессы особенно проявляются в дельтах рек, оседание которых зависит от многих факторов. В связи с этим необходим поиск эффективных методов мониторинга деформаций земной поверхности.

Для изучения скорости процесса оседания успешно используют технологии InSAR и LiDAR. В свою очередь, аэрофотосъемка дает визуальное представление о строении рельефа, а последующая обработка данных фотограмметрическим методом позволяет получать цифровые модели местности (ЦММ), которые, так же как данные LiDAR, в отсутствие густой растительности можно использовать для сравнения разновременных ЦММ.

Цель нашего исследования заключалась в выявлении топографических изменений приозерной части дельты р. Риты в зоне ранее выявленных сейсмогравитационных разрывов на северо-западном побережье оз. Байкал. Для этого использовался расчет разницы разновременных ЦММ с одинаковым пространственным разрешением на двух локальных участках. В результате установлено, что оседание приозерной части дельты за 11 месяцев и 19 дней с 2020 по 2021 г. произошло в среднем на 5–10 см. Эти значения ассоциируются с естественным уплотнением осадков. В местах их накопления происходит агградация на аналогичные величины. В выходах разрывных нарушений в отсутствие наносов просадки достигли 33–37 см. Вертикальные изменения до 40 см произошли в пределах пляжа и связаны с волноприбойной деятельностью. Наибольшее накопление аллювия произошло на южном участке дельты р. Риты в понижении, выраженном в рельефе местности и совпадающим с зоной разрывов, а также в аккумулятивном потоке, перекрывающем зону поверхностных нарушений. За исключением этой части, несмотря на интенсивные наносы, разрывы хорошо проявлены на ЦММ, а значит, продолжают развиваться. Сравнение разновременных ЦММ путем расчета разницы высотных отметок для каждого узла модели является перспективным и недорогим методом для целей

мониторинга деформаций земной поверхности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00064, <https://rscf.ru/project/22-27-00064/>.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА ПО ДАННЫМ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ

**А.В. Лухнев, О.Ф. Лухнева, В.А. Саньков, А.И. Мирошниченко,
Л.М. Бызов, А.В. Саньков**

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

Направление и скорость тектонических движений и деформаций являются характеристиками напряженного состояния Байкальского рифта. На основе анализа GPS-измерений, начатых в 1994 г., представлены расчеты направлений и скорости тектонических деформаций для сети пунктов, охватывающей Байкальскую рифтовую зону (БРЗ) и территорию Монголии. Наиболее плотная сеть станций покрывает центральную часть БРЗ, для которой нами установлены горизонтальные скорости смещений юго-восточного направления, составляющие около 1 мм/год относительно Сибирского блока.

На основе характеристик перемещения GPS-пунктов были рассчитаны скорости и направления относительных деформаций оси удлинения – более $20 \cdot 10^{-9}$ /год и оси укорочения – менее $5 \cdot 10^{-9}$ /год при доминирующей левосторонней скорости вращения $15^\circ \cdot 10^{-9}$ /год. Наиболее высокие значения скоростей удлинения приурочены к осевой части Байкальского рифта и направлены на СЗ-ЮВ.

Максимумы скорости увеличения площади поверхности (дилатации) приурочены к южной оконечности Баргузинской впадины и превышают более 20/год, а в районе Баргузинского залива – не более 5/год. К областям с отрицательными значениями скорости дилатации относятся районы северной части п-ва Святой Нос, группа Ушканьих островов и северные территории Академического хребта.

Установлено, что граница между высокими и низкими значениями скорости дилатации пространственно совпадает с эпицентрами наиболее крупных сейсмических событий последних десятилетий. Такая же закономерность выявлена и по отношению к магнитуде относительных деформаций (второй инвариант деформаций). Дальнейшие работы по уплотнению сети пунктов с постоянным режимом записи позволят выявить потенциально сейсмоопасные районы и определить места будущих землетрясений. Подобный результат был ранее описан для юго-западной части БРЗ [Лухнев и др., 2021].

ЛИТЕРАТУРА

Лухнев А. В., Саньков В. А., Мирошниченко А. И., Саньков А.В., Бызов Л.М. Тектонические деформации и последующие сейсмические события юго-западного фланга Байкальской рифтовой

системы по данным GPS-измерений. Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 500, № 1. С. 58–63. DOI: 10.31857/S2686739721090139.

АНАЛИЗ КЛАСТЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-АЛДАНСКОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО БЛОКА (ГРАНИЦА БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА И ОЛЁКМО-СТАНОВОЙ ЗОНЫ)

А.А. Макаров¹, А.С. Куляндина²

¹Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия,
Makarov.2A@yandex.ru

²Якутский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Якутск, Россия, albineku28@gmail.com

Центрально-Алданский блок (ЦА) расположен в средней части Алдано-Станового щита на юге Якутии в междуречье Олёкмы (на западе) и Тимптона (на востоке) [Стогний, Стогний, 2005]. ЦА находится в пределах Байкало-Станового сейсмического пояса на границе Евразийской и Амурской литосферных плит. Здесь постоянно фиксируются сейсмические события, в том числе и сильные землетрясения. Один из важных нерешенных вопросов — где в пределах Байкало-Станового сейсмического пояса проходит граница проявлений сейсмичности, связанной с Байкальским рифтогенезом на западе, и сейсмичности Олекмо-Становой зоны на востоке, природа которой спорна ([Суворов, Корнилова, 1985] и ссылки там). Приводятся результаты анализа геолого-геофизических данных, позволившего выделить в ЦА аномальную зону, пространственно совпадающую с западным крылом Чульманской впадины. Мы предполагаем крайнюю западную границу влияния растяжения, связанного с Байкальским рифтогенезом. Установлено кластерное распределение сейсмичности в ЦА на базе пакета ArcGIS при помощи инструмента Density-Based Clustering (Spatial Statistics) — Self-Adjusting (HDBSCAN) [<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/densitybasedclustering.htm>]. Выделены три сейсмических кластера, в центральных частях которых локализованы крупные землетрясения: 8-балльное Южно-Якутское 1989 г., $M=6.6$; 6–7-балльное Нерюнгринское 1964 г., $M=4.5$; 6-балльное Алданское 2008 г., $M=4.5$; 6-балльное Эвотинское 1985 г., $M=4.5$. Для каждого из них были определены их основные параметры (главные сейсмогенерирующие тектонические нарушения, графики повторяемости, площадь кластера, годовые значения числа землетрясений N и суммарной сейсмической энергии ΣE).

ЛИТЕРАТУРА

Стогний Г.А., Стогний В.В. Геофизические поля восточной части Северо-Азиатского кратона. Якутск: Сахаполиграфиздат, 2005. 176 с.

Суворов В.Д., Корнилова З.А. Глубинное строение Алданского щита по данным сейсмологии близких землетрясений. *Геология и геофизика*. 1985. № 2. С. 86–96.

URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/densitybasedclustering.htm>

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОНГОЛО-БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

А.И. Мирошниченко, **К.Г. Леви**, В.А. Саньков, А.В. Лухнев

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

Целью настоящего исследования являлось проведение районирования неотектонических структур части Монголо-Сибирского региона с использованием многомерного статистического анализа числовых массивов, описывающих геолого-геофизические и геолого-геоморфологические процессы.

Использование иерархического метода кластерного анализа позволило разделить все параметры на три основные группы. Первая объединяет сейсмический момент и плотность активных разломов, а также скорость современных горизонтальных деформаций и глубинный тепловой поток. Вторая группа включает толщины земной коры и экзогенно-активного слоя, скорости современных горизонтальных движений и амплитуды вертикальных неотектонических движений. Третья группа представлена величинами гравитационных аномалий и толщины литосферы.

При пространственном группировании параметров с применением кластерного анализа (метод k -средних) выделено семь кластеров, пространственное положение и состав которых определяют историей развития, геологическим строением территории, геодинамическими особенностями ее развития и скоростями современных деформаций.

Часть выделенных кластеров характеризует крупные жесткие блоки литосферы, другие описывают крупные системы активных разломов, проявленных на данной территории.

Выделено четыре основных фактора, проявленных в областях, отличающихся особенностями строения и источниками формирования неотектонических структур:

1. Повышенные значения горизонтальных деформаций сжатия и растяжения.
2. Динамическое влияние мантийных аномалий, выразившееся в формировании массивных поднятий и сводообразовании.
3. Активизация утоненной литосферы в пределах границ литосферных плит и крупных блоков.
4. Активная сдвиговая деформация земной коры.

Схожесть характеристик, установленных разными методами статистического анализа, совпадение территорий различных кластеров с областями проявления факторов, совпадение территорий распространения разных факторов позволяют сделать вывод, что все выявленные особенности распределения и концентрации геолого-геофизических параметров являются отражением единого процесса деформации в пределах границы между Евразийской и Амурской литосферными плитами.

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ И ФЛЮИДОДИНАМИКИ В ЗОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И БАЙКАЛО-ПАТОМСКОГО НАДВИГОВОГО ПОЯСА

Н.В. Мисюркеева^{1,2}, А.Г. Вахромеев^{2,3}, И.В. Буддо^{1,2,3}, А.С. Смирнов⁴, Ю.А. Агафонов²

¹*Институт земной коры СО РАН, Россия, Иркутск, mnv@crust.irk.ru*

²*ООО СИГМА-ГЕО*

³*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

⁴*Тюменский индустриальный университет*

По результатам геологоразведочных работ последних лет установлено, что территория Ковыктинского газоконденсатного месторождения (КГКМ) расположена на границе стыка двух надвиговых секторов Байкало-Патомского надвигового пояса — Предбайкальского и Актикано-Непского. Комплексными геофизическими исследованиями (3D-сейсморазведка, индуктивная 3D-электроразведка) детализировано структурно-тектоническое строение осадочного чехла КГКМ в зоне сочленения надвиговых зон, а также выявлены и закартированы вторичные зоны разуплотнения, являвшиеся вероятными путями латеральной миграции углеводородов со стороны Байкало-Патомского палеоочага генерации.

По материалам сейсмо- и электроразведки в пределах галогенно-карбонатной толщи трассируются предполагаемые листрические тектонические нарушения, формирующие чешуйчатую зону — серию одинаково ориентированных надвигов, которые соединяются пологим подошвенным надвигом. Зоны улучшенного коллектора, отражающиеся низкими значениями сопротивления в разрезе, вместе с зонами межпластовых срывов и приразломными зонами дробления могут являться самостоятельными флюидоносными либо флюидопроводящими структурами.

По данным электроразведки с запада на восток отмечается общее восстание кровли проводящего горизонта от терригенного венда в Усольскую свиту и далее в отложения Бельской и Булайской, Ангарской свит, что может указывать на транзит флюидов (флюидомиграцию) из погруженной области регионального прогиба к платформенной области чехла с юго-востока на северо-запад вверх по разрезу под соленосной формацией по детачменту и зонам межпластовых срывов.

В поле действия тангенциальных напряжений сформировались субгоризонтальные зоны разуплотнения и дробления реологически жестких пород (доломиты, известняки), которые залечены пластичными пластами солей, формируя при этом как протяженные, в десятки километров, так и замкнутые флюидонасыщенные объемы природных резервуаров трещинного типа. Подобные объекты отчетливо отражаются в данных комплексных геофизических исследований 3D-сейсморазведки и индуктивной 3D-электроразведки.

РЕЗОНАНСНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ МАГНИТОСФЕРНЫХ АЛЬФВЕНОВСКИХ ВОЛН ЭНЕРГИЧНЫМИ ПРОТОНАМИ И ЭЛЕКТРОНАМИ

О.С. Михайлова, Д.Ю. Климушкин, П.Н. Магер, О.В. Магер,
А.В. Рубцов, Е.Е. Смотров

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

Альфвеновские волны играют важную роль в динамике магнитосферы. Наблюдаемые в магнитосфере в диапазоне Pc4-5, они могут переносить энергию на большие расстояния, активно взаимодействуя с высокоэнергичными заряженными частицами посредством дрейфового или баунс-дрейфового резонансов. Азимутально-мелкомасштабные альфвеновские волны ($m \gg 1$) генерируются источниками внутри магнитосферы, в том числе в результате инверсной (bump-on-tail) или градиентной неустойчивостей. Для изучения механизмов генерации альфвеновских волн и их взаимодействий с частицами удобно использовать спутниковые наблюдения *in situ*. Рассмотрены три случая генерации волны, наблюдаемые зондами Ван Аллена и спутниками THEMIS: (1) дрейфовый резонанс с протонами, инверсная bump-on-tail-неустойчивость, (2) баунс-дрейфовый резонанс с протонами, градиентная неустойчивость, (3) дрейфовый резонанс с электронами, градиентная неустойчивость. Во всех случаях волны имеют большую поперечную компоненту магнитного поля и большие азимутальные волновые числа m . Все три случая имеют некоторые интересные особенности. В первом наблюдался альфвеновский резонанс на плазмопаузе, существование которого предсказывалось теорией, но не наблюдалось ранее. Во втором до начала взрывной фазы суббури наблюдалась альфвеновская волна с чрезвычайно большой продолжительностью (15 ч). Третий случай представляет собой очень редкое наблюдение волны, генерируемой облаком электронов, инжектированным в ходе развития суббури.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Российского научного фонда (проект № 22-77-10032 и проект № 21-72-10139).

ОБ ОПАСНЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛАХ И ИХ ОЦЕНКЕ

Б. Нямсүрэн

Институт астрономии и геофизики МАН, Улан-Батор, Монголия, nyamsuren@iag.ac.mn

Рассмотрим следующую задачу небесной механики. Точка с нулевой массой движется под действием гравитационного ускорения P_0 к центральному телу конечной массы и возмущающего ускорения P . Последний вектор постоянен в сопутствующей системе отсчета с осями, направленными по радиусу, — поперечной и вектором углового момента. Ранее эта задача была преобразована методом усреднения. Более точно найдена замена

переменных, исключая короткопериодические гармоники. Таким образом, в явном виде были получены разности между соприкасающимися и средними элементами, а также уравнения движения в средних элементах. Возникает задача оценки величины короткопериодических гармоник. Нетрудно оценить их по каждому элементу. Но делать это нужно в координатном пространстве, а не в пространстве элементов. Между тем, стандартная оценка приращения координат через приращение элементов весьма приближительна. В настоящей работе удалось получить точную оценку, используя евклидову (среднеквадратичную) норму дисперсии. Для этого сначала было получено относительно простое выражение для квадрата дисперсии радиус-вектора через дисперсии элементов. Он применялся для оценки нормы $|dr|$ (разности векторов положения на оскулирующей и средней орбите) в поставленной выше задаче. Оказывается, что $|dr|^2$ является взвешенной суммой квадратов компонент P , а соответствующие коэффициенты зависят только от большой полуоси и эксцентриситета средней орбиты. Результат применяется к реальной задаче о движении астероидов.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЬНОЙ СВОДНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПРИБАЙКАЛЬЯ И ЗАБАЙКАЛЬЯ

А.А. Папкина, О.А. Грачева, С.В. Ныркова

БФ ФИЦ ЕГС РАН, Иркутск, Россия, alalp@inbox.ru

Обширная территория Прибайкалья и Забайкалья является одним из наиболее сейсмоактивных регионов России. За последнее десятилетие здесь регистрируется ~7–10 тыс. слабых и сильных землетрясений в год. Наблюдение за развитием сейсмического процесса осуществляется сетью сейсмостанций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

Байкальский филиал располагает сведениями о сильных землетрясениях исторического прошлого и информацией о более чем 260 тыс. землетрясений, зарегистрированных в результате инструментальных наблюдений, которые проводятся в Прибайкалье с 1901 г.

В работе представлены подробная методика детальной сводной обработки землетрясений Прибайкалья и Забайкалья, используемая в Байкальском филиале, а также существующие на сегодняшний день возможности и проблемные задачи, решение которых направлено на получение качественного сейсмологического материала.

Детальная сводная обработка землетрясений состоит из выполнения подготовительных процессов: (1) сбор непрерывных данных сейсмических станций региона и прилегающих территорий, (2) производство контроля качества материалов наблюдений, (3) пополнение архива в структурированном формате непрерывными сейсмическими записями, а также из выполнения основных функций: (4) распознавание

региональных землетрясений и взрывов, (5) создание подборок волновых форм выделенных сейсмических событий, (6) обработка сейсмических событий, (7) сохранение результатов обработки в базе данных сейсмологических наблюдений территории Прибайкалья и Забайкалья.

На всех этапах процесса обработки в полном объеме используется современное программное обеспечение, в том числе разработанное специалистами Байкальского филиала. В настоящее время требуются особые усилия для ликвидации отставания в обработке, связанного с двумя многочисленными последовательностями: Муяканской 2015 г. (около 30 тыс. событий с $K_r \geq 3$ за год) и Хубсугульской 2021 г. (~10 тыс. за первые четыре месяца).

Сделан вывод, что в настоящее время с учетом размеров региона количества сейсмических станций, качества связи и числа регистрируемых землетрясений их обработка осуществляется оптимальным образом. Реформирование системы обработки целесообразно при условии значительного увеличения пунктов наблюдения в регионе.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-irf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЭФФЕКТЫ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ХУНГА-ТОНГА В ЛИТОСФЕРЕ И АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

**Н.П. Перевалова¹, А.А. Добрынина^{2,3}, Н.В. Шестаков^{4,5}, М.А. Болсуновский⁶,
В.А. Саньков^{2,7}, Н.А. Золотухина¹**

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

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

³*Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия.*

⁴*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия, shestakov.nv@dvfu.ru*

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

⁶*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия, mihailabols@gmail.com*

⁷*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, Sankov@crust.irk.ru*

Проведен анализ литосферных, атмосферных и ионосферных возмущений, вызванных извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г. Для анализа использовались данные сейсмических и метеорологических станций, а также сетей наземных приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Особое внимание

уделено исследованию возмущений на больших расстояниях от вулкана (Байкальский регион, Приморский край), а также обсуждению проблем, связанных с извержением (время начала извержения, опережение ионосферными возмущениями волн в тропосфере, кругосветные ионосферные возмущения и наложенные эффекты геомагнитной бури). В районе озера Байкал на сейсмостанции Талая зарегистрированы вызванные извержением четырех мод поверхностных сейсмических волн (фундаментальная и три более высоких); на байкальских метеостанциях наблюдались колебания атмосферного давления длительностью до 29 мин, средняя скорость звуковой волны составила 342 м/с. С помощью ГНСС-данных над территорией Приморского края и смежных районов выявлены перемещающиеся ионосферные возмущения, обусловленные извержением вулкана; средняя скорость ионосферных возмущений составила ~340 м/с. Сравнение данных ГНСС и барографов показало, что на больших расстояниях от вулкана волны в ионосфере регистрируются на 40–50 мин раньше, чем в тропосфере. Установлено, что извержение проходило на фоне умеренной, но сложной геомагнитной бури, воздействие которой может маскировать эффекты извержения на больших расстояниях от вулкана.

РАЗРАБОТКА ЭМПИРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТА ДЛЯ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

С.А. Перетокин¹, В.А. Миронов², В.В. Чечельницкий³

¹*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия, saperetokin@yandex.ru*

²*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Красноярск, Россия, vasya-kun@mail.ru*

³*Байкальский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», Иркутск, Россия, chechel@crust.irk.ru*

Оценка сейсмической опасности на основе вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) — неотъемлемая часть комплекса инженерно-геологических изысканий для строительства в сейсмически активных регионах. Использование при выполнении ВАСО региональных уравнений прогнозирования движения грунта (УПДГ) существенно повышает достоверность получаемых оценок сейсмической опасности. Однако на настоящее время УПДГ, отвечающих современным требованиям, для регионов России не разработано.

Построение региональных УПДГ на основе эмпирических данных — задача нетривиальная, требующая большого количества исходных данных. В настоящей работе представлены результаты второго этапа исследований по разработке региональной модели затухания Байкальской рифтовой зоны с использованием численных характеристик движения грунта.

Исходными данными являются записи землетрясений, зарегистрированных сетью

сейсмических станций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН. На данном этапе исследований использованы 612 записей землетрясений энергетических классов 8–16. Составлена база данных, включающая в себя значения пиковых ускорений PGA , пиковых скоростей PGV , амплитуд спектра реакции SA для 5 % затухания. По имеющимся данным получена система предварительных УПДГ для Байкальского региона, при построении которой взята за основу методика в модели затухания Booge2014 [Booge et al., 2014, Перетокин и др., 2023]. На следующих этапах планируется увеличение статистики исходных данных для корректировки коэффициентов полученной модели.

Работа выполнена по теме госзадания № 0144-2019-0010 с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

ЛИТЕРАТУРА

Boore D.M., Stewart J.P., Seyhan E., Atkinson G.A. NGA-West2 equations for predicting PGA , PGV , and 5 % damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*. 2014. Vol. 30, iss. 3. P. 1057–1085. DOI: 10.1193/070113EQS184M

Перетокин С.А., Миронов В.А., Чечельницкий В.В., Завьялов А.Д., Медведева Н.С., Акатова К.Н. К вопросу разработки региональных уравнений прогнозирования движения грунта (на примере Байкальского региона). *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2023. Т. 50, № 1. С. 50–70.

ПАРАМЕТРЫ ИСТОЧНИКА, СРЕДЫ И ЛОКАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИЕМНИКА ПО КОДА-ВОЛНАМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА

П.А. Преденн, Ц.А. Тубанов, А.А. Добрынина

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

Оценка сейсмического момента и спектра смещения в очаге по кода-волнам Байкальских землетрясений выполнялась согласно методу, основанному на теории переноса излучения [Sens-Schönfelder, 2006], позволяющему отделить параметры среды и локальных эффектов приемника, тесно связанных между собой, от влияния очага землетрясения. Теория переноса излучения моделирует полные огибающие сейсмограммы начиная со вступления поперечной волны до многократно рассеянной поздней коды. При этом оценку спада амплитуд огибающей можно использовать для оценки физических свойств среды, таких как неупругое поглощение и затухание при рассеянии на неоднородностях среды. Помимо частотно-зависимых величин коэффициентов рассеяния и поглощения, метод позволяет оценить локальные эффекты приемника и спектральную энергию в очаге.

Анализ выполнялся для каталога землетрясений с магнитудой от 3.5 на

эпицентральных расстояниях до 250 км за 2020–2022 гг. Расчет выполнялся для центральных частот от 0.25 до 16 Гц в октавных диапазонах с перекрытием 50 %, длительность участка коды составляла 120 с или до достижения соотношения сигнал/шум, равного 10, но не менее 60 с для стабильности получаемых оценок. Использовалась средняя скорость S-волны, равная 3.55 км/с, плотность пород в районе очага составляла 2750 кг/м³ [Солоненко, 1977].

Для различных трасс источник-приемник были получены стабильные оценки поглощающих свойств литосферы, при этом для близких эпицентральных расстояний (до 50 км) было получено более слабое поглощение и высокое рассеяние, связанное с большим влиянием упругих эффектов затухания сейсмических волн. Рассчитанные значения параметров среды использовались для нахождения величины выделившейся энергии в очаге, сейсмического момента и моментной магнитуды. Таким образом, при наборе записей землетрясений с разных азимутов возможно робастное нахождение величины M_w методом инверсии огибающей коды для локальных землетрясений с магнитудами от 3–3.5 для существующей геометрии сети сейсмических станций.

ЛИТЕРАТУРА

Sens-Schönfelder C., Wegler U. Radiative transfer theory for estimation of the seismic moment. *Geophys. J. Intern.* 2006. Vol. 167, no. 3, pp. 1363–1372.

Солоненко А.В. *Сейсмическое Районирование Восточной Сибири и Его Геолого-Геофизические Основы*. Наука: СО, 1977. 303 с.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО БАЙКАЛА (РАЙОН ДЕЛЬТЫ СЕЛЕНГИ) КАК ОТРАЖЕНИЕ РАЗЛОМНО-БЛОКОВОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Н.А. Радзиминович^{1,3}, Ц.А. Тубанов^{2,3}, О.П. Смекалин¹, Д.Б.-П. Санжиева^{2,3}

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

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

³Бурятский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Улан-Удэ, Россия

В работе анализируется сейсмичность Центрального Байкала – Усть-Селенгинской кайнозойской впадины и примыкающего к ней района Южно-Байкальской впадины. Выбор региона исследования обусловлен высоким уровнем сейсмической активности и функционированием здесь локальной сети станций Бурятского филиала ФИЦ ЕГС РАН, что позволяет включить в анализ слабые землетрясения (с представительного класса $KP \geq 6.0$). Цель исследования заключается в определении разломов, контролирующих сейсмичность, оценки их геометрических и кинематических параметров по сейсмологическим данным (эпицентральное распределение, разрезы по глубине, фокальные механизмы). Несмотря на очевидную приуроченность эпицентральных зон к закартированным разломам

(выделяемым, в том числе как раз по простирацию этих зон), остается ряд вопросов, принципиальных для понимания сейсмотектоники и оценки сейсмоопасности данного района. Одним из таких вопросов является установление разлома, по которому в результате подвижки произошло Цаганское землетрясение 1862 г. с $M7.5$ с последующим образованием залива Провал. Разными авторами очаговая зона землетрясения связывается либо с разломом, протягивающимся в акватории озера вдоль его восточного борта, либо с Дельтовым разломом, секущим дельту в северо-восточном (СВ) направлении. При этом в настоящее время восточный сегмент Дельтового разлома малоактивен и практически не выражен в эпицентральной поле. В то же время выделяется полоса эпицентров вдоль западного сегмента разлома, протягивающая в СВ-направлении от Посольского сора до основного русла р. Селенги, контролируемого поперечным Фофановским разломом. Эта полоса диагонально сечет Творогово-Истокское внутривпадинное поднятие. Имеющиеся определения глубин очагов землетрясений этой полосы показывают падение плоскости, содержащей гипоцентры, на юго-востоке (ЮВ) под борт впадины, что совпадает с тектоническим перекосом поднятия. Активность разломов в пределах акватории подтверждается как слабыми толчками, так и Среднебайкальским землетрясением 1959 г. с $M_{LH}6.8$, а также Кударинским событием 2020 г. с $M_w5.5$, произошедшими под действием растяжения земной коры в направлении СЗ — ЮВ.

КОСЕЙСМИЧЕСКАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ГИДРОГЕОДИНАМИКА: МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ В КУЛТУКСКОМ РЕЗЕРВУАРЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПАРАГЕНЕЗИСЕ С ПОДГОТОВКОЙ И РЕАЛИЗАЦИЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ

**С.В. Рассказов^{1,2}, Е.П. Чебыкин^{1,3}, А.М. Ильясова¹, С.В. Снопков²,
И.С. Чувашова^{1,2}, С.А. Борняков¹**

¹*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, rassk@crust.irk.ru*

²*Иркутский государственный университет, Иркутск*

³*Лимнологический институт СО РАН, Иркутск*

При отслеживании признаков приближающихся землетрясений обычно находят разнообразные предвестники, которым в ретроспективе присваивается прогностическая роль. Однако последующее использование предвестников, выделенных таким образом, ведет к объявлениям ошибочных сигналов сейсмической угрозы. Предвестники оказываются ложными, а землетрясения случаются без предвестников. Очевидно, что сила, время и место землетрясений могут быть определены при регистрации развития доступного для изучения явления в земной коре, протекающего синхронно и в целом аналогично процессу подготовки и реализации землетрясения. В случае обнаружения такого явления,

констатация совпадений/несовпадений землетрясений и их предвестников, может быть заменена однозначной оценкой угрозы землетрясений на основе строгого анализа развития парагенетических (сейсмического и сопутствующего ему) процессов.

В рядах гидрогеохимических данных, полученных в 2012–2023 гг. на станциях Култукского резервуара подземных вод, в рамках полного сейсмогеодинамического цикла центральной части Байкальской рифтовой системы прослеживаются вариации термофильных элементов Na и Li и отношения Na/Li в связи с изменениями отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и активности ^{234}U , отражающих открытие и закрытие микротрещин для циркулирующих подземных вод; $T(\text{Na}/\text{Li})$ меняются в интервале от 8°C до 122°C.

Построения взаимосвязанных гидрогеохимических мониторинговых данных и сейсмичности в терминах температуры и растяжения/сжатия коры формулируются как направление косейсмической химической гидрогеодинамики.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ УНЧ-ВОЛН В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ: НЕОЖИДАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

А.В. Рубцов, Д.А. Шубин, А.И. Якимчук, Д.Ю. Климушкин

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

Еще первые теоретические исследования магнитогеодинамических волн в магнитосфере Земли выделяли две отдельные моды, связанные с разной поляризацией волны: полоидальную и тороидальную. Первая описывает колебания магнитного поля в радиальном направлении, вторая — в азимутальном. В реальных наблюдениях эти волны имеют частоты порядка единиц и десятков миллигерц, что соответствует диапазону ультранизких частот (УНЧ), где были обнаружены компрессионные колебания магнитного поля или, другими словами, вариации вдоль силовой линии. К настоящему моменту, устоялось представление о том, что тороидальные волны являются азимутально-крупномасштабными и возбуждаются внешними источниками из солнечного ветра, тогда как полоидальные — это азимутально-мелкомасштабные волны, генерируемые внутримангнитосферными плазменными неустойчивостями. Однако в нашей работе, по данным космических аппаратов Arase, THEMIS-A и Van Allen Probe A мы показали, что распределение поляризации волн является нормальным и образует единый кластер, а не несколько отдельных, которые можно было бы связать с определенными механизмами генерации. Мы разделили наблюдения поперечных волн (тороидальных и полоидальных) и компрессионных и в обоих случаях изучили распределение соотношения средних амплитуд азимутальной и радиальной компонент вариаций магнитного поля. В результате оказалось, что максимум распределения приходится на случай равенства этих амплитуд, однако

небольшие отклонения происходят, если разделить наблюдаемые волны по азимутальным секторам, в которых они наблюдались. Выяснилось, что на дневной стороне зафиксировано больше полоидальных волн, а на ночной — тороидальных. Эти результаты несколько противоречат представлениям о механизмах генерации УНЧ-волн. Мы предполагаем, что такие распределения получаются из-за большой роли процесса изменения поляризации волны во времени и в пространстве, а набор большой статистики (за 1.5–4 года для разных спутников) приводит к усреднению результата и итоговому нормальному распределению.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИЗУЧЕНИЯ ГЛУБИННЫХ ЗЕРКАЛ СКОЛЬЖЕНИЯ И ПСЕВДОТАХИЛИТОВ В ЭКСГУМИРОВАННЫХ РАЗЛОМАХ ПРИБАЙКАЛЬЯ И МОНГОЛИИ

В.В. Ружич, В.Б. Савельева

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

Предложен подход к геологическому изучению устройства глубинных очагов палеоземлетрясений, элементы которых после длительной эксгумации стали доступными для визуального обследования на земной поверхности. Основными индикаторами поисков подобных геоструктурных систем избраны зеркала скольжения и псевдотахилиты, сохранившиеся в глубинных сейсмоактивных сегментах разломов в виде палеосейсмодислокаций после эпизодов высокоскоростного скольжения берегов разломов со скоростями порядка 1–10 м/с. При подобном режиме смещений в условиях повышенных давлений P и температур T , а также участия флюидов в разломах фиксируются истирание минералов горных пород и их фрикционный разогрев до уровня возникновения пленок остеклования и плавления. На сейсмофокальных глубинах континентальной земной коры в сегментированных участках зон активных разломов подобные явления сохранились в зеркалах скольжения и в жилах псевдотахилитов. При их детальном петрофизическом изучении есть возможность реконструировать PT -условия, существовавшие в местах очагов палеоземлетрясений. С применением подобного подхода к выявлению косейсмических разрывов (глубинных палеосейсмодислокаций) по эксгумированным зеркалам скольжения и псевдотахилитам в сегментах краевого шва Сибирской платформы были установлены, в частности, следующие PT -условия их преимущественного проявления: глубины возникновения 8–10 км, $T=350\text{--}450\text{ }^\circ\text{C}$, $P=1.5\text{--}3.0$ кбар, распространение разнообразных по составу флюидов, снижение сдвигового сопротивления и коэффициентов трения. Проведенное детальное многоуровневое изучение зеркал скольжения, включая наноуровень, в рамках научного активного сотрудничества авторов со специалистами различных научных подразделений РАН и СО РАН способствовало получению новой важной информации. В частности, было выяснено, что рассматриваемый подход позволяет

восстанавливать параметры и механизмы истирания различных минералов горных пород при фрикционном разогреве в косейсмических разрывных нарушениях на фоне повышенных значений *PT*-условий. Отмечается значимая роль различных видов гидратации в геологической среде, способствующая запуску механизмов быстрого скольжения на участках жесткого контактного взаимодействия неровностей в плоскостях разломов. Рассмотренный методический подход позволяет получать новую информацию об эндогенных условиях и геологических механизмах возникновения косейсмических разрывов как источников генерации разрушительных деформаций и сейсмических колебаний. Такие сведения важны для построения новых моделей очагов землетрясений и для совершенствования среднесрочного и долгосрочного прогнозов землетрясений. Использование полученной новой информации о сейсмогеологических процессах деструкции горных пород в глубинных сегментах разломов будет способствовать получению более выверенных оценок сейсмической опасности и оценок инженерного сейсмического риска в сфере градостроительства.

ЖИЛАЯ СРЕДА КАК КОМПОНЕНТ ГЕОСИСТЕМЫ

О.И. Саландаева^{1,2}

¹*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, salandaeva@rambler.ru*

²*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия*

Исследование проблем взаимодействия компонентов геосистемы в контексте формирования жилой среды позволяет объемно структурировать задачи гармонизации составляющих и взаимосвязанных компонентов геосистемы – компонентов природных территориальных систем, социально-экономических и природно-общественных пространственных систем. Компоненты материально организованной пространственной среды для жизнедеятельности людей в соответствии с их социальной направленностью и экономическими особенностями, в частности, жилых зданий представлены в данной работе в форме многоступенчатой структуры их становления от общего к частному в процессе развития во времени. Природные территориальные компоненты геосистемы являются основой развития города и в значительной мере влияние на это развитие оказывает геологическая среда как многокомпонентная дискретная динамическая природная система. Сейсмическую уязвимость жилой застройки усугубляют увеличение числа городского населения, усложнение инфраструктуры, несоответствие зданий требованиям сейсмостойкого строительства, физический, сейсмический и моральный износ строительного фонда, отсутствие должного надзора при строительстве жилых зданий и другие факторы. Сейсмогеологические условия территорий являются изменяемыми, в том числе в результате человеческой деятельности и влияния на природно-климатический

комплекс. Территории при антропогенном воздействии и преобразующих природных факторах могут быть подвержены деструкции геологической среды и повышению сейсмичности территорий. Рассмотрены результаты воздействия деятельности человека на природный комплекс на разных исторических этапах, этапах повышения интенсивности хозяйственного, промышленного и энергетического развития Прибайкалья. В работе рассмотрены структурные элементы жилой застройки Прибайкалья (жилые здания массового применения; социальная, транспортная, инженерная инфраструктура) как преобразующиеся компоненты геосистемы в процессе эксплуатации и при воздействии природных факторов.

Установление положительного баланса взаимодействия вышеуказанных компонентов геосистемы является основополагающим фактором формирования архитектурно-пространственной структуры жилой застройки и обеспечение защиты человека от воздействия негативных внешних факторов, в том числе сейсмического воздействия и вторичных явлений сейсмического воздействия.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА В 2020–2022 ГГ.

Д.П.-Д. Санжиева^{1,2}, Ц.А. Тубанов^{1,2}, Н.А. Радзиминович^{2,3}

¹*Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия,*

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

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

В настоящее время территория Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) сохраняет высокую сейсмическую и тектоническую активность. В 2020–2022 гг. на территории БРЗ зарегистрировано 749 землетрясений с $M \geq 3$, почти половина которых является многочисленными афтершоками Хубсугульского землетрясения (11.01.2021 г., $M_w 6.7$). В 2022 г. годовая норма количества землетрясений была превышена в два раза (177 землетрясений, при медианном значении 80 событий/год) со значительным увеличением количества землетрясений в центральной части БРЗ. В исследуемой области за тот же период произошло 31 землетрясение с $M \geq 3$, при медианном значении 6 событий/год. В 2020 и 2022 г. суммарная выделявшаяся энергия превысила среднее на три порядка. Увеличение выделившейся энергии связано с наиболее сильными землетрясениями: Кударинским (09.12.2020 г., $M_w 5.5$), Голоустнинским-1 (08.06.2022 г., $m_b = 5.4$) и Голоустнинским-2 (14.10.2022 г., $m_b = 5.0$). Очаг Кударинского землетрясения приурочен к сейсмоструктуре залива Провал дельты р. Селенги. Эпицентры афтершоков располагались в пределах зоны, вытянутой в субширотном направлении, в направлении гребневидного горста Посольская банка. Дальнейшая активизация центральной части БРЗ произошла через

полтора года, когда уже непосредственно в окрестности поднятия Посольской банки 08.06.2022 г. произошло первое Голоустнинское землетрясение. Через четыре месяца 14.10.2022 г. там же возникло второе землетрясение. Особенностью расположения эпицентров Голоустнинских землетрясений является приуроченность к полосе эпицентров, расположенной вдоль западного борта Южно-Байкальской котловины. Очаги землетрясений находятся вдоль Байкало-Бугульдейского разлома, ограничивающего юго-восточный борт грабена Бугульдейский коридор. До этого подобной силы землетрясение ($M5.5$), наиболее близко локализованное к толчкам 2022 г., произошло 22.05.1981 г. на сочленении Обручевского и Байкало-Бугульдейского разломов. Все три сильных землетрясения 2020–2022 г. произошли в результате сбросовых подвижек под действием растяжения земной коры, действующего в центральной части Байкала.

Работа выполнена в рамках госзаданий №№ 075-01271-23, АААА-А21-121011890033-1 и с использованием данных, полученных на УНУ «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

КИНЕМАТИКА И МОРФОЛОГИЯ ЗОН АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ ПО ДАННЫМ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

А.В. Саньков, А.А. Добрынина, В.А. Саньков

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

На основе применения методов микросейсмического профилирования выполнены работы по уточнению строения и анизотропных характеристик зон крупных сейсмоактивных разломов Прибайкалья в зависимости от их морфолого-генетического типа. В результате проведенных исследований изучены строение (положение главного сместителя, падение разлома) и морфология зон крупных разломов: Приморского и Тункинского сбросов, а также Главного Саянского и Иххорого-Мондинского сдвигов. Показано влияние анизотропии среды на колебания микросейсмических волн в разных частотных диапазонах. Полученные результаты в дальнейшем могут использоваться для обнаружения, изучения и картирования зон погребенных разломов.

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА

А.В. Саньков, В.А. Саньков, А.А. Добрынина

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Байкальская рифтовая система (БРС) является одной из наиболее сейсмически активных территорий России, по классификации МЧС ей присвоена высшая категория опасности. Высокая сейсмическая активность региона подтверждается сведениями о землетрясениях прошлого (палеосейсмодислокации, сильные землетрясения по историческим данным) и современному уровню сейсмической активности. Помимо землетрясений, БРС характеризуется проявлениями разнообразных опасных геологических процессов, таких как сели, паводки, обвалы, оползни, лавины и карстовые проявления. В 2020 г. в Институте земной коры СО РАН начались работы по комплексному мониторингу опасных геологических процессов на основе непрерывных измерений различных геофизических полей.

Сеть полигонов комплексного мониторинга опасных геологических процессов расположена вдоль основных рифтовых структур юго-западного фланга БРС на территории Иркутской области (полигоны Листвянка, Бутульдейка и Приольхонье, пункт Узур) и на территории республики Бурятия (пункты мониторинга Максимиха, Заречье, Сухой ручей). Полигон Южный Байкал занимает область от южного окончания оз. Байкал (Талая) до системы Тункинских впадин (полигон Зун-Мурино). Такое положение измерительных точек позволяет проводить наблюдения за центральной частью БРС. Полигоны комплексного мониторинга оснащены современным высокоточным оборудованием для мониторинга деформаций горных пород, эманаций радона, скоростей движений и деформаций земной коры методом GPS-геодезии, магнитотеллурического поля Земли, метеопараметров, температурного режима грунтов для глубин до 10 м и сейсмического и микросейсмического режимов. В 2022 г. совместно с Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск) была разработана специальная цифровая платформа для визуализации, анализа и первичной обработки данных комплексного мониторинга. Платформа позволяет вывести на единый планшет данные разных видов мониторинга за выбранный период времени, провести первичную обработку сигналов и сохранить их в цифровом и растровом виде для последующего анализа. Для предварительной обработки сигналов предусмотрены следующие режимы: суточная запись (вывод данных за указанные сутки), фильтр скользящего среднего, фильтр Савицкого — Голея, фильтр Баттерворта. На платформе реализована также математическая обработка: энтропийный, мультифрактальный, поляризационный, спектральный анализ, оценка спектра по Уэлчу, построение спектрограмм (спектрально-временной анализ).

За годы функционирования сети полигонов комплексного мониторинга установлено,

что в ближней к очагу зоне (до 150 км) сильные сейсмические события проявляются практически во всех изучаемых в режиме мониторинга полях. Характер и интенсивность этих проявлений зависят от параметров землетрясения (положение, магнитуда, глубина, фокальный механизм) и от локальных геологических условий полигонов мониторинга. В целом, полученные результаты свидетельствуют об эффективности сети полигонов комплексного мониторинга для изучения предвестников сильных землетрясений на территории БРС.

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ ЮГА СИБИРИ

**В.А. Саньков¹, А.В. Лухнев¹, А.И. Мирошниченко¹, С.В. Ашурков¹, М.А. Лебедева¹,
А.В. Саньков¹, Л.М. Бызов¹, Е.Ю. Ефимов²**

¹*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия*

²*ООО «ВолксКруп-АЕ», Санкт-Петербург, Россия*

Сеть пунктов Байкальского геодинамического ГНСС-полигона организована в 1994 г. в рамках российско-французского сотрудничества. Полигон охватывает все основные структуры южной и центральной частей Байкальской рифтовой системы (БРС), поднятия Забайкалья, Восточного Саяна, а на юге смыкается с сетью Монгольского геодинамического полигона. Плотность сети и расположение пунктов полигона позволяет решать задачи по исследованию различных аспектов современной геодинамики БРС.

С использованием данных измерений методом спутниковой геодезии для территории Байкальского полигона рассчитано поле современных горизонтальных движений и деформаций для территории Южного Прибайкалья и Северной Монголии. Установлено зональное пространственное распределение преобладающих типов горизонтальных деформаций коры. Тип деформаций коррелирует с типом напряженного состояния земной коры по сейсмологическим данным.

На основе долговременных измерений на Байкальском геодинамическом GPS-полигоне уточнена скорость дивергенции Сибирского и Забайкальского блоков, которая составляет 3.4 ± 0.7 мм/год с движением блока Забайкалья в юго-восточном направлении. Скорость деформации достигает $2.1 \cdot 10^{-8}$ в год и постепенно уменьшается в обе стороны поперек рифта. Зоны высоких градиентов рельефа и повышенной сейсмической активности располагаются в пределах зоны максимума современных деформаций, а скорость реализации сейсмического момента находится в прямой зависимости от скорости деформации. Оценка дефицита реализации сейсмического момента для землетрясений $M \geq 5.0$ за исторический и инструментальный периоды наблюдений по отношению к скорости накопления

геодезического момента позволяет рассчитать уровень текущей сейсмической опасности для Южнобайкальской впадины.

Рассчитаны современные движения и деформации южной части БРС за период до сейсмической активизации 2020–2021 гг. в этом районе. Показано, что эпицентры Быстринского (21.09.2020 г., $M5.4$), Хубсугульского (12.01.2021 г., $M6.8$), Кударинского (10.12.2020г., $M5.5$) землетрясений, а также последовавшего за ними землетрясения 14.10.2022 г. ($M5.2$) в Южнобайкальской впадине тяготеют к областям перехода между зонами относительного сжатия и растяжения. Установленная закономерность в локализации эпицентров землетрясений с $M > 5$ может быть использована для выявления вероятных зон подготовки очагов сильных землетрясений будущего с целью оптимального размещения сетей наблюдений за их краткосрочными предвестниками.

Впервые, сопоставляя данные наземных полигонометрических и современных измерений, методом спутниковой геодезии удалось оценить относительную скорость горизонтального удлинения земной поверхности на Северомуйском геодинамическом полигоне в пределах Ангаракан-Муяканского блока за 36-летний период, которая составила ед. $\cdot 10^{-7}$ /год в направлении 300° – 350° . Отметим, что измерения на локальных полигонах с характерной длиной базовых линий (ед. км) за трехлетний период показали более интенсивные (на 1–2 порядка) разнонаправленные горизонтальные деформации.

Также на территории Северомуйского полигона впервые удалось измерить величину вертикальных смещений, вызванных проявлением интенсивного роя землетрясений. С применением метода радарной интерферометрии по данным анализа интерферограмм ALOS-2/PALSAR-2 за период 26.09.2014–27.09.2015 в пределах Муяканского хребта был локализован участок размером 8.0×4.0 км, испытавший опускание с амплитудой 68 мм в период роевой активности в верхней части земной коры.

Развитие сети геодезических наблюдений в БРС будет осуществляться на основе увеличения количества постоянных ГНСС-станций, совмещенных с другими методами исследований геофизических полей в рамках пунктов комплексного мониторинга опасных геологических процессов.

МОНИТОРИНГ РАДОНА В ПРИБАЙКАЛЬЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

К.Ж. Семинский, А.А. Бобров, А.К. Семинский

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

Сеть мониторинга радона (Rn) в Прибайкалье организована с целью поиска эманационных предвестников землетрясений в этом тектонически активном регионе, а также оценки радоноопасности территорий активного природопользования. В настоящее

время она включает один пункт систематических измерений содержания Rn в воде и пять пунктов мониторинга концентрации радиоактивного газа в рыхлых отложениях. Отбор проб воды из родника производится один раз в сутки с измерением объемной активности радона Q (Bk/m^3) радиометром PPA-01M-03. Мониторинг параметра Q в подпочвенном воздухе осуществляется датчиками Barasol (ВМС-2), установленными в грунте на глубине 2.5 м. Кроме величины Q , ВМС-2 с периодичностью 1 ч фиксирует дату время, температуру и атмосферное давление.

Обработка данных мониторинга за 16 мес позволила установить, что концентрация радиоактивного газа меняется во времени на один–два порядка и в рыхлых отложениях достигает десятков тысяч Bk/m^3 . Обработка рядов наблюдений при помощи Фурье-анализа позволила установить, что эманации Rn связаны с вариациями атмосферного давления P . Это открывает возможность использования методов машинного обучения для построения прогнозных моделей вариаций Q , базирующихся на изменении P во времени. Такие модели могут стать основой создания нового подхода к оценке радоноопасности природных территорий, а также выявления эманационных предвестников сильных землетрясений, которыми для Прибайкалья являются нарушения синхронности вариаций концентрации Rn и P . Подобные эффекты проявились в рядах мониторинга перед тремя достаточно сильными для Прибайкалья землетрясениями: Быстринским (21.09.2020 г., $K=14.6$), Кударинским (09.12.2020 г., $K=14.0$), Хубсугульским (11.01.2021 г., $K=16.0$), что свидетельствует о вполне определенных перспективах разработки эманационного подхода к среднесрочному прогнозированию в Байкало-Монгольском регионе.

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО САЯНА ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В РАЙОНЕ КРАСНОЯРСКА

О.П. Смекалин¹, О.В. Белоусов¹, В.И. Герман^{1,2}, А.Ю. Ескин¹

¹*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, smekalin@crust.irk.ru*

²*Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья,
Красноярск, Россия, german3v@yandex.ru*

Северо-западная часть Восточного Саяна, расположенная на территории Красноярского края, долгое время рассматривалась как малоактивная. Изменение этих представлений началось после Караганского землетрясения 27 октября 2000 г. с магнитудой $MS=5.6$ и координатами $55.15^\circ N, 94.76^\circ E$. Ранее сильнейшим на этом участке считалось землетрясение 25.04.1938 г. с $MLH=4.9$.

В 2000 г. в рамках работ по уточнению сейсмической опасности для Красноярской агломерации специалистами ИЗК СО РАН была найдена и изучена Малиновская палео-

сейсмодислокация с магнитудой 7.0...8.0 и координатами 55.15° N, 94.76° E. Ее возраст оценивается в десять тысяч лет. Палеосейсмодислокация находится в 140 км юго-восточнее Красноярской агломерации, где проживает около 1.5 млн. жителей, а также располагаются крупные промышленные, энергетические, в том числе экологически опасные объекты.

Указанные данные дали толчок пересмотру представлений о сейсмическом потенциале разломов, входящих в Канскую и Ийско-Канскую системы. Они проходят вдоль юго-западной границы Рыбинской впадины на ее пересечении с Саяно-Партизанской впадиной, Манским прогибом, Красноярским поднятием. С 2001 по 2016 г. для рассматриваемого района, характеризуемого малой сейсмогеологической изученностью, представлено не менее шести моделей очагов возможных очагов землетрясений. В каждой из них выделены сейсмолинеаменты, указано их положение, а также оценена максимальная магнитуда M_{\max} приуроченных к ним землетрясений. Модели имеют большие различия. Удаление от Красноярска линеаментов с $M_{\max} = 6.0$ в них варьирует от 2 до 150 км, с $M_{\max} = 7.0$ — от 30 до 310 км, а с $M_{\max} = 7.5$ — от 40 до 600 км. Соответственно оценки сейсмической опасности для Красноярской агломерации также сильно меняются.

В 2022 г. были продолжены работы по детальному изучению сейсмотектонической обстановки в северо-западной части Восточного Саяна, расположенной на территории Красноярского края, начатые в 2000 г. специалистами ИЗК СО РАН и ГПКК КНИИГиМС. Основной их целью являлось получение новых данных по разломам Канской и Ийско-Канской систем.

В ходе исследований для рассматриваемого участка были собраны и проанализированы цифровые модели рельефа, аэрофотоснимки и космоснимки, каталоги землетрясений, геологические данные, карты активных разломов, карта магнитных аномалий, профили магнитотеллурического зондирования (МТЗ) (аудио-МТЗ и глубинное), проходящие вдоль и поперек линии п. Орье — с. Большой Арбай, а также вдоль линии п. Орешное — с. Кияй — с. Шалинское, профиль, полученный методом обменных волн землетрясений (МОВЗ) вдоль линии п. Орешное — с. Кияй — с. Шалинское, профиль глубинного сейсмического зондирования Рифт-V.

Канская система разломов была изучена в ходе сейсмогеологического обследования по линии п. Орье — с. Большой Арбай — д. Ивановка — с. Астафьевка — с. Кияй. Дополнительно по ней было выполнено четыре комплексных профиля методами вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), георадиолокации и сейсморазведки, подтвердившие прохождение через них разлома. Для 70 км зоны вокруг Красноярска было проведено дешифрирование материалов дистанционного зондирования, проведены детальные сейсмологические наблюдения в течение 3.5 мес сетью из пяти сейсмостанций, проведены выборочные сейсмогеологические обследования, в том числе структуры, похожей на крупный древний оползень, вблизи п. Береть (55.69° N, 93.04° E).

В результате работ уточнены трассы прохождения разломов и их сейсмический потенциал.

МНОГОСПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПОЛОИДАЛЬНОЙ УНЧ-ВОЛНЫ В ОБЛАСТИ КОЛЬЦЕВОГО ТОКА МАГНИТОСФЕРЫ

Е.Е. Смотровая, О.С. Михайлова, П.Н. Магер, Д.Ю. Климушкин

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, katerina.smotrova@mail.iszf.irk.ru

Тремя спутниками (Van Allen Probe A, B и THEMIS-E) одновременно были зарегистрированы две ультранизкочастотные (УНЧ) волны: полоидальная в диапазоне Pc4 и компрессионная в диапазоне Pc5. Событие наблюдалось в полуденном секторе магнитосферы во время восстановительной фазы суббури. Были зарегистрированы также модуляции потоков электронов и протонов. Осцилляции потока протонов происходили на частоте волны Pc4, электронов — на частоте волны Pc5, обусловленные дрейфовым резонансным взаимодействием наблюдаемой УНЧ-волны с энергичными частицами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-77-10032).

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА БРЗ НА УЧАСТКЕ МУЙСКОГО И МУЯКАНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (В СТВОРЕ ОПОРНЫХ ПРОФИЛЕЙ ГСЗ 1-СБ И 8-ДВ)

В.М. Соловьев¹, В.С. Селезнев¹, В.В. Чечельницкий¹, Н.В. Гилева¹,

А.С. Сальников², Н.А. Галева¹

¹ФИЦ ЕГС РАН, Новосибирск, Россия, solov@gs.sbras.ru

²СНИИГГиМС, Новосибирск, Россия

Северо-восток Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) является одной из наиболее сейсмичных территорий России: здесь в 1957 г. произошло крупнейшее для всей территории Прибайкалья и Забайкалья Муйское землетрясение (M7.6, интенсивность сотрясений 10 баллов). В пределах данного региона на участке Муяканского хребта с 2014 г. идет активный сейсмический процесс с множеством афтершоков, причем крупных. Земная кора этого региона находится в условиях растяжения. Средние глубины землетрясений составляют 5–20 км. В пределах региона проходит крупная транспортная магистраль России — трасса БАМ, что делает чрезвычайно важным мониторинг сейсмических процессов на данной территории.

Земная кора и мантия северо-востока БРЗ активно изучалась глубинными сейсмическими исследованиями в 1970–1987 гг. прошлого столетия; в последнее десятилетие здесь выполнены также два ортогональных региональных геофизических профиля: 1-СБ и 8-ДВ и по данным сейсмологии и ГСЗ получено площадное распределение

скоростей Р- и S-волн по поверхности Мохоровичича. В работе уточнено глубинное строение земной коры и верхней мантии участка Муйского и Муяканских землетрясений. Поверхность Мохоровичича расположена на глубинах ~40–43 км под Муйско-Кондинской и Чарской впадинами и до 45–48 км под крупными Южно-Муйским и Северо-Муйским хребтами. Эффективная скорость в земной коре составляет в среднем 6.4–6.5 км/с под горными хребтами и понижена до 6.25–6.30 км/с в Муйско-Кондинской впадине. Граничная скорость продольных волн по поверхности Мохоровичича изменяется от повышенных значений 8.2–8.4 км/с в северо-западной части Муйско-Кондинской впадины (Муйская глыба) до пониженных значений 7.8–7.9 км/с в восточной ее части. В земной коре этой зоны выявлены значительные сейсмические неоднородности с контрастом сейсмических аномалий на участке Муйского землетрясения 1957 г. и вблизи Муяканских землетрясений (с 2014 г.), что может свидетельствовать о повышенном здесь напряженном состоянии, а также о том, что при дальнейшей разрядке здесь возможны новые крупные землетрясения.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

АТМОСФЕРНЫЙ ЭФФЕКТ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ХУНГА-ТОНГА-ХУНГА

Сорокин А.Г., Добрынин В.А

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

В работе обсуждается эффект прихода акустических волн в атмосфере Восточной Сибири при извержении вулкана в Южной части Тихого океана 15 января 2022 г. на о. Хунга-Тонга-Хунга. Приводятся результаты регистрации акустических волн от извержения вулкана в Сибири на расстоянии около 11230 км. Полученный акустический сигнал интерпретируется как совокупность волн Лэмба, внутренних гравитационных волн и инфразвука. Структура сигнала подобна сигналам от мощных источников, известных ранее: термоядерного взрыва на Новой Земле 1961 г. и взрыва Тунгусского метеорита 1908 г.

Акустический сигнал предворяют низкочастотные затухающие колебания, состоящие из трех цугов. Мы предполагаем, что такие колебания связаны с тремя стадиями извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга: 1) разрушение острова Тонга и образование подводной кальдеры; 2) выход горячей магмы из кальдеры на поверхность океана и выброс в атмосферу большого объема перегретого пара; 3) образование слоистой структуры из смеси перегретого пара, пепла и тефры на поверхности океана и образование эруптивной конвективной колонны.

Последовательные фазы извержения могли способствовать возбуждению акустических колебаний в широком диапазоне периодов, включая волны Лэмба,

внутренние гравитационные волны и инфразвук. Сравняется структура акустического сигнала, полученного в Сибири на расстоянии более 11000 км от вулкана, и акустического сигнала, зарегистрированного на Аляске на удалении более 9300 км (краткое сообщение в Твиттере, David Fee). Из представления головной волны акустического сигнала в виде волны Лэмба и на основе решения линеаризованного уравнения Кортевега — Вриза, полученного в работе Pierce and Pousey (1971), дается оценка энергии, выделившейся при извержении вулкана.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СПОКОЙНОЙ ОБЛАСТИ НА СОЛНЦЕ ПО ЛИНИЯМ САII

И.П. Турова, С.А. Григорьева, О.А. Ожогина

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

Проблема нагрева верхней солнечной атмосферы является одним из ключевых вопросов солнечной физики. В этом контексте важным является вопрос о роли МГД-волн в переносе энергии из фотосферы в хромосферу и корону. Остается много нерешенных проблем, связанных с возможностями восполнения волновыми процессами радиативных потерь в хромосфере, переходной области и короне.

Работа посвящена исследованию колебательных процессов в спокойном Солнце вне корональной дыры на разных уровнях солнечной хромосферы от фотосферы до средней и верхней хромосферы. Используются спектроскопические наблюдения линий ионизованного кальция (К, Н и 849.8 нм), полученные на Автоматизированном солнечном телескопе Саянской солнечной обсерватории. По интенсивностям в центрах линий К Са II и 849.8 нм на спектрограммах были выбраны различные хромосферные структуры.

Выбранные структуры относятся как к темным немагнитным участкам, так и к промежуточным, а также к ярким магнитным участкам хромосферной сетки. Был проведен спектральный анализ временных серий для ряда параметров линий, включающего интенсивности линий в характерных участках контуров и смещения этих участков по длине волны. По результатам спектрального анализа был сделан акцент на исследование распределений интегральной спектральной мощности колебаний этих параметров в различных полосах частот как во всей исследуемой области, так и в отдельных хромосферных структурах.

Выполнено сравнение результатов, полученных в данной работе, с результатами нашего исследования колебательных процессов в спокойных областях, находящихся в основании корональной дыры. Показано, что мощность колебаний выше в области спокойного Солнца вне корональной дыры. При этом имеется общая для исследованных областей тенденция уменьшения мощности колебаний с высотой для всех диапазонов частот, кроме низкочастотного, в большинстве хромосферных структур. В структурах с

пониженным магнитным полем наблюдается рост мощности с высотой от фотосферы до высот нижней хромосферы с некоторым уменьшением ее к верхней хромосфере.

Интегральная спектральная мощность колебаний в высокочастотном диапазоне в большинстве структур увеличивается с высотой.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ АФТЕРШОКОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ХУБСУГУЛЬСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 11 ЯНВАРЯ 2021 Г.

М.А. Хритова, Н.А. Гилёва

Байкальский филиал Единой геофизической службы РАН, Иркутск, Россия, hritova@crust.irk.ru

За последние годы в пределах Байкальской рифтовой зоны зарегистрирована мощная афтершоковая последовательность после сильного ($M_w 6.8$) землетрясения 11 января 2021 г. с эпицентром в северной части оз. Хубсугул в Монголии, где за первые полмесяца сетью сейсмостанций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН зарегистрировано более 9 тыс. афтершоков ($K_r = 6.0 \div 15.7$).

С целью автоматизации процесса обработки афтершоков сильных землетрясений в БФ ФИЦ ЕГС РАН разработана программа AftershocksBykl для получения основных параметров афтершоков (время в очаге, координаты эпицентра, энергетический класс, магнитуда) по непрерывным записям постоянных и временных сейсмических станций в ближней зоне, окружающих очаг. Основываясь на конфигурации эпицентрального поля, полученной по оперативной локализации наиболее сильных афтершоков, а также на заданном оператором моменте вступления прямой продольной P_g-волны на ближайшей станции, программа находит (с использованием алгоритма STA/LTA) все вступления прямых волн P_g и S_g (поперечной) на окружающих очаг сейсмостанциях ($\Delta < 200\text{--}250$ км) и рассчитывает основные параметры землетрясения. Программа имеет адаптивный интерфейс, позволяя производить настройку основных параметров под особенности афтершокового процесса.

При обработке Хубсугульской последовательности афтершоков программа AftershocksBykl позволяет обрабатывать землетрясения средних энергий с $K_r = 5.6\text{--}9.5$ (по данным 8 станций). Таких энергий в массе афтершоков более 95 %. При этом представительность обеспечивается для землетрясений с $K_r \geq 6.6$, что вполне приемлемо. За 14 часов 13 января обработано 362 землетрясения с $K_r = 5.7 \div 12.6$. Из них 85% не требуют корректировки после работы программы, при этом средняя ошибка времени в очаге составляет 0.6 с, широты — 0.03°, долготы — 0.05°, энергетического класса — 0.5.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на уникальной научной

установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

**СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ
КУЛТУКСКОМ 27.08.2008 г. M_w 6.3, БЫСТРИНСКОМ 21.09.2020 г. M_w 5.5
И ХУБСУГУЛЬСКОМ 11.01.2021 г. M_w 6.8 ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ**

В.В. Чечельницкий¹, А.А. Добрынина², В.А. Саньков²,

¹*Байкальский филиал Единой геофизической службы РАН, Иркутск, Россия, chechel@crust.irk.ru*
²*Институт земной коры СО РАН, Иркутск,*

Актуальной задачей является достоверная прогнозная оценка сейсмической опасности не только в макросейсмических баллах, но и в численных характеристиках, используемых в расчетах на сейсмостойкость.

Проведено сравнение параметров сейсмических колебаний (пиковых скоростей PGV и ускорений PGA , ширины импульса для ускорений τ , амплитуд и частот спектров реакции PSA , интенсивности сотрясений $IPGA \cdot PGV$ по инструментальным данным по шкале сейсмической интенсивности ШСИ-17 при трех сильных землетрясениях Южного Прибайкалья с разными магнитудами и механизмами очага на расстояниях до 350 км по данным региональных сейсмических станций. Вычислены также значения коэффициента динамичности β_{max} , который является важной величиной и входит в нормативные документы. Построены зависимости PGA , PGV , $IPGA \cdot PGV$ от расстояния и PSA от PGA . Для Култукского и Хубсугульского землетрясений по афтершокам рассчитаны уравнения регрессии PGA , PGV от магнитуды. Зависимости для отдельных станций могут сильно различаться. На одной и той же станции для разных очаговых зон зависимости могут различаться. Кроме влияния на амплитуды колебаний энергии, гипоцентрального расстояния, добротности среды, амплитудно-частотных характеристик в верхней части разреза выявлено усиление колебаний, связанное с направленностью сейсмического излучения из очага землетрясения.

Сравнение значений зарегистрированных параметров колебаний с расчетными значениями параметров по уравнениям нормативных документов показало, что в некоторых случаях наблюдается существенная разница, которую необходимо учитывать в прогнозных оценках параметров колебаний при работах по детальному сейсмическому районированию и уточнению сейсмической опасности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

НОВЕЙШИЙ ВУЛКАНИЗМ ДАРИГАНГИ – ПОКАЗАТЕЛЬ СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ НА ЮГО-ВОСТОКЕ МОНГОЛИИ: ФАКТОРЫ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕГАЗАЦИИ ПЕРВИЧНОЙ И МОДИФИЦИРОВАННОЙ МАНТИИ

И.С. Чувашова^{1,2}, С.В. Рассказов^{1,2}, Т.А. Ясныгина¹, Е.В. Саранина¹

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

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

На позднекайнозойском вулканическом поле Дариганга получены датировки $K-Ar$ в диапазоне последних 14 млн лет. Здесь идентифицируются вулканы с породами, имеющими высокое отношение La/Yb (40–54) и высокое содержание MgO (11–15.8 мас. %). В качестве эталонов вулканов с породами первого типа принимаются постройки Шилийн-Богд (гр. I, фонотериты) и Дун-Нарт-Ула (гр. II, тефриты), в качестве эталонов вулканов с породами второго типа — постройки Асхатэ (гр. IV, умеренно-К базаниты) и Хара-Будун (гр. IV, низко-К-базаниты). Порода-маркеры гр. I характеризуются источниками с OIB-EMORB-подобным протолитом, имеющим протомантийный Rb -изотопный возраст, низко-К-порода-маркеры гр. IV — источником с протолитом, подобным материалу остаточного океанического слэба с Rb -изотопным возрастом около 3.11 млрд лет.

Для вулканических полей Абага и Далинуор сопредельной приграничной территории Северного Китая породы с характеристиками групп I, II и IV в целом не характерны. Исключение составляет проявление на поле Далинуор пород, подобных породам гр. I Дариганги, на самых молодых вулканических постройках Лангвошан и Гезишан (последняя относится к голоцену).

Мы приходим к выводу о существовании особых условий позднекайнозойского магнезиализации под вулканами Дариганги. Высокотемпературное плавление обеспечивается при потенциальной температуре ($T_p = 489$ °C) адиабатического поднятия расплавов из слэбopodobного источника глубокой мантии, не содержащего карбоната, а низкотемпературные выплавки генерируются в сквозь-астеносферных потоках флюидов, производных дегазации карбонатсодержащих протолитов протомантийного и слэбopodobного источников. Высокотемпературный и низкотемпературный факторы генерации магм проявляются на астеносферно-литосферной границе. Роль протомантийного флюидного фактора генерации магм возрастает в квартере и к голоцену проявляется на Далинуоре.

СОВМЕСТНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ПАССИВНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ БУГРОВ ПУЧЕНИЯ

И.А. Шелохов¹, И.В. Буддо², Н.В. Мисюркеева³, А.А. Добрынина¹

¹*Институт земной коры СО РАН, ООО СИГМА-ГЕО, Иркутск, Россия, sia@crust.irk.ru*

²*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия*

³*ГИАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Салехард, Россия*

В рамках гранта РФФИ на полигоне вблизи Салехарда были выполнены комплексные геофизические исследования методами пассивной сейсморазведки и электроразведки (зондирование становлением поля в ближней зоне (метод ЗСБ), подробнее на сайте Neftegaz.RU: <https://neftegaz.ru/science/development/331647-metod-zsb-zondirovanie-stanovleniem-polya-v-blizhney-zone/> по совмещенной сети наблюдений). Данные работы выполнялись с целью изучения глубинного строения бугров пучения и поиска связей между поверхностными криогенными процессами и глубинной флюидомиграцией.

Была проведена интерпретация данных пассивной сейсморазведки. Для уточнения строения верхней части разреза использован метод H/V -отношений. Для определения наличия субвертикального питающего канала под буграми пучения был использован метод микросейсмического зондирования, дополненный методом пространственной автокорреляции для определения скоростей сейсмических волн и плотности среды.

Использование записей далеких землетрясений на трассах, пересекающих исследуемый регион, позволило оценить общее затухание сейсмических волн и вклад в него отдельных компонент, что дает возможность оценить степень флюидизации среды и сделать выводы о природе питающих каналов под буграми пучения.

Для метода ЗСБ была выполнена 1D-инверсия с учетом параметров индукционно-вызванной поляризации. Построены геоэлектрические разрезы до глубины 500 м, а также карты удельного электрического сопротивления основных интервалов разреза.

В дальнейшем планируется комплексирование указанных методов с построением комплексных сейсмо-геоэлектрических разрезов и моделей бугров пучения, что, возможно, позволит связать их наличие с флюидодинамическими процессами.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 22-17-20009, <https://rscf.ru/project/22-17-20009>). Проект № 22-17-20009 «Современные методы геофизических исследований для разработки и научного обоснования подходов к изучению внутреннего строения криолитозоны и поверхностных криогенных форм рельефа Арктики и их возможной связи с флюидодинамическими процессами» реализуется при поддержке правительства Ямало-Ненецкого автономного округа.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ УНЧ-ВОЛН МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Д.А. Шубин, А.И. Якимчук, А.В. Рубцов, Д.Ю. Климушкин

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, sfas921@yandex.ru

Как известно, существует несколько механизмов генерации ультранизкочастотных (УНЧ) волн, которые приводят к возбуждению разных видов геомагнитных пульсаций. До сих пор разделение УНЧ-волн на классы представлялось субъективно каждым исследователем, в то время как в настоящей работе мы выполняем кластеризацию с помощью математических методов с использованием машинного обучения «без учителя». Для выполнения кластеризации мы использовали данные спутников THEMIS-A с января 2017 по февраль 2018 г. и Van Allen Probe A с января 2017 по октябрь 2018 г. Такие интервалы времени были выбраны в связи с тем, что каждый из спутников за указанный период времени произвел полный обзор магнитосферы Земли. Для статистического анализа УНЧ-волн достаточно использовать измерения возмущений магнитного поля по трем компонентам. Применение алгоритма t-SNE (Стохастическое вложение соседей с t-распределением) показало, что для решаемой задачи нужно использовать статистические методы, одним из которых является Gaussian Mixture. Этот метод выявил три кластера, на которые разделяются УНЧ-волны: полоидальные, тороидальные и компрессионные, различающиеся своим пространственным распределением. Это разделение связано с механизмами генерации и локализацией волн в магнитосфере.

КОМПЛЕКСЫ АКТИВНОСТИ НА СОЛНЦЕ КАК ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК ГЕОЭФФЕКТИВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

С.А. Язев^{1,2}, Е.С. Исаева¹, В.М. Томозов²

¹Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, syazev@gmail.com

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

Исследования комплексов активности (КА) на Солнце начаты в ИСЗФ СО РАН под руководством В.Г. Банина начиная с 1980-х гг. и продолжены в Иркутском государственном университете. В Иркутске разработана методика определения и идентификации КА и их структурных элементов, ведется их мониторинг на Солнце на протяжении четырех последовательных циклов солнечной активности. На материалах 21–24-го циклов показано, что КА являются основными источниками (локациями) крупных солнечных вспышек. Более 80 % всех сильных протонных вспышек, гамма-вспышек, сильных вспышек (рентгеновских классов М и X) генерируются в активных областях (АО) в составе КА.

Показано, что вблизи всех КА находятся низкоширотные корональные дыры, которые предположительно являются каналами выхода ускоренных протонов в гелиосферу. Сделан вывод о существовании небольшой популяции короткоживущих КА, отличающихся повышенной вспышечной активностью.

Принадлежность вспышечных АО к КА может рассматриваться как дополнительный фактор для заблаговременного прогноза сильных вспышек. Мониторинг КА, оперативное определение, оценка и учет их свойств, с точки зрения авторов, дает возможность совершенствовать алгоритмы прогноза мощных солнечных событий.

Соответствующая программа исследований проводится авторами на материалах текущего 25-го цикла. Составлен и ведется каталог КА в 25-м цикле. По состоянию на май 2023 г. с начала цикла на Солнце отмечены 40 КА, в том числе 21 в северном и 19 в южном полушариях светила. Отмечен феномен цикличности развития КА на Солнце, когда количество одновременно существующих КА меняется от 1–2 до 9–11 с квазипериодом около 8 солнечных оборотов. В текущем 25-м цикле северно-южная асимметрия развития КА минимальна в отличие от ситуации в двух предыдущих циклах. В ходе развития 25-го цикла (по май 2023 г.) на Солнце произошли 15 вспышек рентгеновского класса X, из них 12 (80 %) наблюдались в КА. Вспышки класса X происходили только на фазе максимумов упомянутых выше квазипериодов развития КА.

Сравнение хода развития КА в 24-м и 25-м циклах показывает, что текущий цикл отличается по ряду параметров от предыдущего, включая параметры КА. В частности, количество и мощность вспышек на одинаковых фазах циклов существенно различаются (текущий цикл мощнее).

РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ФАЗЕ РОСТА 25-ГО ЦИКЛА ШВАБЕ – ВОЛЬФА

С.А. Язев^{1,2}, Е.С. Исаева¹, Б. Хос-Эрдэнэ¹

¹*Иркутский государственный университет, syazev@gmail.com*

²*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия*

В январе 2020 г. начался 25-й цикл солнечной активности (цикл Швабе – Вольфа). Выполнен анализ особенностей текущего 25-го цикла на протяжении первых трех лет развития (2020–2022 гг.), а также в начале 2023 г.

По сравнению с предыдущим 24-м циклом, текущий 25-й цикл превышает предыдущий по количеству групп пятен в 1.5 раза, числу вспышек – в 1.8 раза, суммарному энерговыделению во вспышках – в 1.5 раза. Выявлены различия в распределениях групп пятен в 24-м и 25-м циклах по максимальной достигаемой площади. Показано, что наиболее значимо превышение числа групп пятен с площадями до 30 м.д.п., а также в интервале от

570 до 1000 м.д.п. в 25-м цикле по сравнению с 24-м. В отличие от 24-го цикла, степень северно-южной асимметрии в 25-ом существенно понижена. В начале 2023 г. наблюдался резкий всплеск уровня солнечной активности, включая серию мощных вспышек рентгеновского класса X. От начала цикла до начала апреля 2023 г. отмечено 15 вспышек рентгеновского класса X, что существенно превышает соответствующий показатель для 24-го цикла.

Выполнена предварительная идентификация комплексов активности (КА) на Солнце в течение указанного периода: в северном полушарии выделен 21 КА, в южном – 19. Составлен каталог КА в текущем цикле.

Указанные данные позволяют прогнозировать повышенную высоту 25-го цикла по сравнению с 24-ым (на 20–50 %) в соответствии с правилом Гневшева – Оля, а также возможный одновёршинный характер цикла в отличие от ситуации в двух предыдущих циклах.

ЛУННЫЕ КОЛЬЦА КАК ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА ВАРИАЦИЙ ЗЕМНОГО КЛИМАТА

С.А. Язев^{1,2}

¹*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, syazev@gmail.com*

²*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия*

В числе миллионов импактных кратеров на Луне выделяются несколько десятков структур диаметром от 10 до 100 км и глубиной от 2 до 4 км, чей возраст по оценкам составляет менее 1 млрд лет. Это означает, что в течение указанного периода десятки раз осуществлялась ударная экскавация лунного вещества со средней плотностью 2.5 т/м³ в объемах от десятков до первых тысяч кубических километров массой до первых триллионов тонн. Поскольку средняя скорость столкновения астероидов-импакторов, приходящих из Главного пояса астероидов, оценивается в 18 км/с, а характерная скорость астероидов из зоны планет-гигантов составляет 21–24 км/с, по крайней мере, часть вещества, выброшенного при столкновении, приобретает скорость, превышающую первую (1.7 км/с) и даже вторую (2.4 км/с) космические скорости для Луны. Часть вещества, которому сообщена меньшая скорость, падает обратно на Луну, формируя кольцевой вал кратера и радиальные лучи на лунной поверхности, а часть оказывается на селеноцентрических, геоцентрических и даже гелиоцентрических орбитах в зависимости от параметров импакта, прежде всего от скорости и угла падения тела-импактора. Обнаружение на Земле выброшенных во время импактов лунных метеоритов подтверждает этот тезис.

Формирование около Луны временного облака (тора или колец) обломков, в котором превалирует пылевая фракция, влияет на поток солнечной радиации, приходящей на Землю.

Как минимум в эпоху новолуний, уровень солнечной радиации должен понижаться. Амплитуда изменений солнечной постоянной зависит от оптической плотности вещества в лунных кольцах, загромождающих Солнце. В случае формирования кольца вокруг Земли (подобно кольцам у планет-гигантов) уровень солнечной радиации должен локально варьировать в зависимости от геометрии положения тени кольца на земной поверхности.

Последние масштабные импакты, которые могли сформировать лунные кольца, происходили 61 млн лет назад (кратер Фалес, диаметр 32 км), 84 млн лет назад (Эгедэ А, 13 км), 113 млн лет назад (Местинг А, 13 км) и ранее. Очевидно, главным претендентом на создание лунных колец можно считать импактор, породивший кратер Коперник (800 млн лет назад, 97 км). С точки зрения автора, геологическая, климатическая и биологическая история Земли должна учитывать возможное влияние подобных событий на Луне.

DEPENDENCE OF DRIFT RATE OF RADIO BURSTS ON FREQUENCIES FOR THE PERIOD OF SOLAR ACTIVITY 2019-2020

B. Batbayar, Ch. Munkhjargal and D. Batmunkh

*Institute of Astronomy and Geophysics of the Mongolian Academy of Sciences, Mongolia,
batbayar@iag.ac.mn*

In this paper, we calculated the frequency drift rate (df/dt) of radio bursts observed at the minimum of solar activity of the 25th cycle. The observational spectra of radio bursts from the "CALLISTO network" database were used. The calculated frequency drift rate were described as $df/dt \sim af^b$ and the code nonlinear least-squares fit "Marquardt's method" was used to determine the constants (a, b). It is shown that these parameters can be used to determine the electron density of the solar corona.

THE SEISMICITY OF KHOVSGOL REGION BEFORE AND AFTAR THE 2021 Mw6.7 KHOVSGOL EARTHQUAKE

P.Davaadalai

*Institute of Astronomy and Geophysics of the Mongolian Academy of Sciences, Branch Dalanzadgad,
Mongolia, davaadalai@iag.ac.mn*

The Mw 6.7 earthquake struck the center of Khovsgol Lake, formed in the giant crater of an ancient extinct volcano at an altitude of 1645 meters in the East Sayan branch mountains, in the Northern Mongolian border region of Russia and Mongolia on 11 January 2021. The earthquake occurred in the Khovsgol fault zone, previously studied and providing a unique opportunity to better understand seismicity of Khovsgol region and aftershock processes, as a result of the

mainshock. On January 12, 6-time earthquakes occurred in a place in a distance of 30 km southwest of Khankh village, which is located 200 km northwest of Khovsgol aimag center and citizens felt strong tremor. Specifically, a magnitude 6.5 earthquake was recorded at 05:32 AM, a magnitude at 05:41, 5.3, at 06:02, at 06:10, 5.0, at 07:02, 5.6 and at 08:36, 5.1 by local time.

Seismic activity in this region has occurred in the boundary of Tuva-Mongolia border region Busiin gol, Khuvsugul and Darkhad depressions, which extend parallel. Until January 2021, there was high seismic activity in the Busiin river depression, while medium and low frequency earthquakes were recorded in the Darkhad and Khuvsugul depressions. This earthquake is the largest on the Khuvsugul Fault. By analysis of aftershock data during these 2 years, the frequency of earthquakes exceeded the average annual frequency of earthquakes in this region.

IMPACT OF LOW BOUNDARY CONDITIONS ON THE PREDICTIONS OF SOME SPACEWEATHER PARAMETERS

M.L. Demidov¹, Y. Hanaoka², X.F. Wang³

¹Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

²Solar Science Laboratory, National Astronomical Observatory of Japan, Tokyo, Japan

³Key Laboratory of Solar Activity, National Astronomical Observatories CAS, Beijing, China

Forecasting the space weather conditions at the near-Earth environment is the actual scientific and practical task, and several teams in the world have been deeply involved in this research. Different model approaches often connected with tremendous numerical calculations are used for this purpose. But all these efforts have a sense only if reliable sources of initial data — the synoptic maps of solar magnetic fields — are available. Space weather prediction results made by SWPC at the USA are based mainly on observations provided by GONG. But there are other data sets with full-disk solar magnetic fields measurements (e.g. WSO, SDO/HMI, and SOLIS in the USA; IRMaag at Mitaka in Japan; SMAT in China; STOPs in Russia) as well, and there is a sense to compare the results of solar wind parameters calculations using data from these instruments. Furthermore, when comparing simulated parameters with observable ones (ACE) it is possible to make a conclusion which observations are the best from this point of view. On the example of Carrington Rotation CR 2164 and observations at WSO, IRMag, SMAT, GONG, SDO/HMI, and STOP SSO this is a goal of this study.

Our initial calculations are based on the Wang—Sheeley—Arge model and include a determination of the coronal magnetic field in potential field source surface (PFSS) approximation. The speed of the ambient solar wind near the Sun is calculated using empirical formula which takes into account the flux tube expansion factor and the distance from the coronal hole boundary. Then the bulk speed on the Earth orbit is calculated using the Heliospheric Upwind eXtrapolation (HUX) model. The differences in the speed values from different data sets could reach about 150

km/s. Finally the comparisons of predictions with ACE data are made. A possibility to achieve the better coincidence between calculated and empirical results is briefly discussed.

The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. The study has been partly financially supported (MLD) by the CAS President's International Fellowship Initiative (PIFI) (Project N 2017VMA0009).

DETERMINATION OF CRUSTAL THICKNESS BENEATH TOSONTSENDEL REGIONAL SEISMIC STATION IN MONGOLIA

T. Dolgorjav, Ch. Bayarsaikhan, Ts. Baasanbat

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

In this study, receiver function analysis of the crustal thickness underneath TSCB seismic station is to be conducted. Receiver function modeling is a seismic method utilizing teleseismic waves. We used the H-k stacking approach (Zhu, Kanamori, 2000) to estimate the crustal thickness and the V_p/V_s ratio. In the study, there are more than 150 seismic events for TSCB station over the one year. The selected data from TSCB station is used to calculate P receiver functions. After that, we use 1.0 and 2.5 values for Gaussian pulse width to suppress high frequency contents in calculated receiver function. Before calculation of receiver functions pre-selected events were sorted by signal-to-noise ratio. TSCB is situated in the west Mongolia. The result of this study is the crustal thickness under station estimated as 53 km with V_p/V_s ratio of 1.74.

SEISMIC ACTIVITY IN TONHIL AND SURROUNDING AREA

B. Dulmaa, D. Buyandelger, B. Batbold, Z. Batjargal and A. Munkhsaikhan

*Institute of Astronomy and Geophysics of the Mongolian Academy of Sciences, Mongolia,
dulmaa@iag.ac.mn*

The earthquake with a magnitude of M6.1 occurred on March 20, 2020, in the Tonhil sum's area of Gobi-Altai Province. This is the strongest earthquake that has been recorded over the 45 years of seismological observations in that area after the Tahiin-Shar earthquake which occurred on 4th July 1974, with a magnitude of M7. This earthquake located at the intersection of the Mongol-Altai and Gobi-Altai fault system and about 110 km north of the epicenter of the Tahiin- Shar's earthquake.

According to this study, it was observed that Tahiin-Shar and Tonhil's earthquake regions are demarcated at 45.5N degree of latitude and it was observed that these earthquake centers are related to each other. Also, it has observed that there could be other foci located around 18 kilometers south from the Tonhil's foci.

**ASYMMETRY IN THE DISTRIBUTION OF ELECTRIC CURRENTS
OF THE MAGNETOSPHERE—IONOSPHERE SYSTEM
IN THE AUTUMN EQUINOX PRE-STORM PERIOD**

**Yu.A. Karavaev, V.V. Mishin, V.E. Kapustin, S.B. Lunyushkin, Yu.V. Pensikh,
R.A. Marchuk**

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia, ykar@iszf.irk.ru

A long pre-storm interval on 24 Sept 1998 with a stable positive azimuthal IMF component during the autumn equinox season is studied. The interval includes few substorms and a period of stationary magnetospheric convection. Based on the data of the global network of ground-based magnetometers, the ISTP magnetogram inversion technique was used to obtain time series of maps of the distribution of equivalent and field-aligned currents in the high-latitude ionosphere of the two hemispheres. The features of the manifestation of the influence of the azimuthal IMF component in the dynamics of the distribution of field-aligned and ionospheric currents depending on the vertical IMF component, the SW dynamic pressure, the diurnal variation in the tilt angle of the geomagnetic dipole axis, the ionosphere' illumination and conductivity under different types of geomagnetic disturbances are studied. We also study dynamics of PiB-type pulsations, which are excited during sharp amplifications of auroral electric jets and field-aligned currents. It is shown that, upon transition from stationary magnetospheric convection to substorms, the spectrum of PiB pulsations expands to the short-wavelength range.

**BURSTS OF PIB GEOMAGNETIC PULSATIONS AND AIRGLOW AT MIDDLE
LATITUDES DURING PERIODIC SUBSTORM ACTIVATIONS
DURING STRONG MAGNETOSPHERIC STORMS**

Yu.Yu. Klibanova², V.V. Mishin¹, R.A. Marchuk¹, A.V. Mikhalev¹, Y.V. Pensikh¹

¹Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

²A.A. Ezhevsky Irkutsk State Agricultural University, Irkutsk, Russia, malozemova81@mail.ru

We research the manifestations of substorm sawtooth events (STE) from the magnetic and optical data of the ISTP SB RAS observatories during two strong magnetospheric storms in 2000 ($D_{st} \sim -150$ nT). During the storms, the southern interplanetary magnetic field (IMF) of a sufficiently large value ($-13 \text{ nT} < B_z < -6 \text{ nT}$) and a series of sharp increases in geomagnetic activity with a quasi-period of 1–3 hr were observed for long periods. Both events are attributed to the type of quasi-periodic sawtooth substorm events. During the storms at mid-latitude stations, bursts of broadband geomagnetic pulsations of the PiB type were observed, as well as enhancements in the optical night airglow in the green and red lines of atomic oxygen [OI] 557.7 and 630.0 nm, typical for subauroral latitudes. In this case, the southern boundary of the zone of field-aligned currents

(FAC) R2 and the auroral oval were shifted to the equator, but remained north of the latitude of the observation stations at a distance of 5–10 deg. Enhancements in airglow, FACs, electric jets, auroras, and PiBs are associated with precipitation of energetic electrons ($E=1-10$ keV). The recurrence period of sawtooth substorms lies in the range of 2–4 hr and can change with an increase in the southern IMF component, velocity and the solar wind (SW) dynamic pressure. The recurrence of sawtooth substorms is associated not with moderate variations in SW parameters, but with intramagnetospheric periodic processes of reconnection and dipolarization in the near tail, when the magnetosphere is in a metastable state and can switch between extremely stable (loading) and unstable (unloading) phases. The recurrence period of sawtooth substorms lies in the range of 2–4 hr. It is associated not with moderate variations in SW parameters, but with intramagnetospheric periodic reconnection processes, which can be modulated by the global instability of the flow around the magnetotail. Faster fluctuations in the *AE*-index were also recorded with $T \leq 15$ min. These *AE* fluctuations manifested themselves in atmospheric radiation fluctuations and were also observed in the absence of dynamic pressure fluctuations, but were accompanied by a series of PiBs. Such burst repetition period corresponds to the period of the global Alfvén resonator of the nighttime magnetosphere and, therefore, can be created by modulation of the ionospheric Alfvén resonator by oscillations in the global resonator.

SOME PARADOXES IN THE EVOLUTION OF 20 DECEMBER 2015 MAGNETOSPHERIC STORM

R.A. Marchuk¹, V.V. Mishin¹, Y.Y. Klibanova², A.V. Mikhalev¹, Y.V. Pensikh¹

¹*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia, marchuk@mail.iszf.irk.ru*

²*A.A. Ezhevsky Irkutsk State Agricultural University, Irkutsk, Russia*

We analyze the behavior of field-aligned currents (FACs), broadband geomagnetic pulsations, and enhancements of the night airglow during the main phase of an intense magnetospheric storm on 20.12.2015 from observations on mid-latitude geomagnetic and optical observatories of the ISTP SB RAS Irkutsk (Patrons), Istok, Uzur and Tory, the global network of ground-based magnetometers, and solar wind (SW) plasma and interplanetary magnetic field (IMF) parameters.

During the storm we observe a series of substorm activations associated with dynamic pressure pulses and two unique phenomena: a superstorm (*SME* index > 2900 nT) and a geomagnetic activation localized at mid-latitudes, expressed as an increase in night airglow, generation of broadband pulsations and an increase in the northern component of the geomagnetic field at mid-latitudes, in the absence of a significant increase in auroral indices.

Analysis of FAC maps constructed by the ISTP magnetogram inversion technique from SuperMAG data showed that the specific features of geomagnetic field variations during a superstorm are simply explained by a transpolar current formed by the spreading of the westward

electrojet into the dusk sector poleward from the eastward electrojet, contrary to the non-obvious idea of additional current wedge formation suggested by Lubchich et al. [2021].

REFERENCES

Lubchich A.A., Djespirak I.V., Klejmenova N.G., Verner R. Superstorm on 20 December 2015: magnetic effects at different latitudes. *Physics of Auroral Phenomena*. 2021. Vol. 44, no. 1. P. 36–41. DOI: 10.51981/2588-0039.2021.44.008. (In Russian).

INTERHEMISPHERIC ASYMMETRY IN THE DISTRIBUTION OF ELECTRIC CURRENTS OF THE MAGNETOSPHERE—IONOSPHERE SYSTEM IN THE SPRING EQUINOX PRE-STORM PERIOD

V.V. Mishin, M.A. Kurikalova, R.A. Marchuk, Yu.V. Pensikh

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia, vladm@iszf.irk.ru

We study the asymmetry of field-aligned current (FAC) intensity dynamics during the stationary magnetospheric convection (SMC) event observed during a long interval before the intense magnetospheric storm on 6 April 2000. During this interval, stable negative non-radial components of the interplanetary magnetic field ($B_z < 0$, $B_y < 0$) were observed. We also study the dynamics of the intensity and spectrum of the PiB-type pulsations. It is shown that in the course of SMC, there is an interhemispheric asymmetry, i. e., a change in the sign of dawn-dusk asymmetry in the FAC distribution at the transition to the southern hemisphere, which corresponds to the manifestation of the $B_y < 0$ effect. However, during substorms at the beginning and end of the event under study, the FAC intensity, as well as that of the westward electrojet intensity, prevails on the morning side in the high-latitude ionosphere of both hemispheres. The influence of diurnal variations in the tilt angle of the geomagnetic dipole and the illumination of the polar ionosphere on the dynamics of the FACs and auroral electrojets are discussed.

SEISMIC RESPONSE SPECTRA FOR BUILDING CODE

Ch. Odonbaatar, A. Munkhsaikhan, M. Dembereldulam

Institute of Astronomy and Geophysics MAS, Mongolia, odon@mas.ac.mn

We developed response spectrum and synthetic seismogram that can be used for building code considering seismic activity, active faults and site conditions. In order to build unique response spectrum we calculated response spectrum for 53 points in Ulaanbaatar basin for five different Vs30 conditions using deterministic and probabilistic seismic hazard approaches. We used five different ground motion prediction equations that developed by NGA-West2 research

projects. Then, for whole city area we estimated envelope of the all-calculated response spectrum corresponding Vs30. Consequently, we introduced five different response spectra that represents different ground conditions. For the synthetic seismogram, we selected similar scenario ground motion from PEER-NGA database and then applied spectral matching technique.

REFERENCE

Montejo L.A. Response spectral matching of horizontal ground motion components to an orientation-independent spectrum (RotDnn). *Earthquake Spectra* 2021. V. 37, 2. P. 1127–1144.

STUDY OF SEISMIC REGIME IN UMNUGOBI PROVINCE

Ch. Oyunbileg and Ts. Batsaikhan

*Institute of Astronomy and Geophysics of the Mongolian Academy of Sciences, Mongolia,
oyunbileg@iag.ac.mn*

We determined seismicity and seismic regime between 2010 and 2020 using Richter Gutenberg's law in the Umnogobi province. Seismic regime b value is determined as a 0.917 which means that strong earthquake occurrence is low since its near value of 1 But a value is higher, 5.094 and determined as high seismicity which could be effect of historical earthquakes such as Buurin hyar and Unegtei or recent years' earthquakes near Bulagtai Buuriin khyar Gurvan saikhan faults.

EVOLUTION OF THE SHORE ZONE OF LAKE BAIKAL UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

V.A. Pellinen

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia, vadim.a.pellinen@ya.ru

Evolution of Lake Baikal shore zone is conditioned by geological history of the reservoir formation, amplitude of modern seismotectonic movements within the region, inherited geological and structural features of the shore, as well as anthropogenic impact initiated in recent decades. Currently, the shore slopes develop by the inherited geological and geomorphological conditions, the slope profiles are formed as a result of the wind-wave action and the amplitude of the annual water level fluctuations [Kozyreva, 2020]. The level rise as a result of creation of the Irkutsk Reservoir and technical regulation of the maximum and minimum water level lead both to activation of the shore processes and to periods of relative stabilization. The shore slope profiles constructed after monitoring data within the key areas show slight deviations and rearrangements of the underwater part during high or low level periods. Over the long geological history of the

lake development an optimal equilibrium profile of the coastal slopes has been developed after different water level marks. It was established that modern general shore zone resistance to anthropogenic impact is quite high through regulation of the reservoir water level. One factor of technical regulation of the lake water level is not likely to favour significant shore deformations. Direct anthropogenic impact on the drained zone of the shore slope (territory development), local transformations of the geological environment on the shore areas (construction of economic facilities and infrastructure), transformation of cryogenic conditions (climate changes), together with the amplitude of annual water level regulation in the lake contribute to negative geological processes such as landslides and shore erosion.

REFERENCE

Kozyreva E.A., Kadetova A.V., Rybchenko A.A., Pellinen V.A., Svetlakov A.A., Tarasova Yu.S. Tipization and Current State of Lake Baikal Shores. *Water Resources*. 2020. V. 47, 4. P. 651–662.

DETAILED STUDY OF EARTHQUAKE HAZARD ASSESSMENT OF HOTEL CONSTRUCTION SITE TO BE CONSTRUCTED IN DEVSGER, ERDENEBURGAN SUM AREA, ARHANGAI PROVINCE

D. Unensaikhan, Ts. Batsaikhan

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

Since 2015, a lot of residential and public buildings have been built in Arkhangai province, the settlement area has expanded, and the population density has increased.

In this research work, a seismic model of the research area was created by choosing the reference speed of seismic waves observed in the rocky soil around Arkhangai province. When calculating the amount of seismic action based on the assumption that the deformation of the soil is unstable, the amount of residual deformation is calculated in accordance with the amount of maximum acceleration calculated from the scale.

Erdenebulgan Sum of Arkhangai Province is estimated to be in the VIII-point seismic zone when calculating the recurrence period of 500 years, and the total area is estimated to be in the VIII-IX point seismic zone when calculating the recurrence period of 2500 years. In 50 years, the probability of a stronger than estimated earthquake does not exceed 10%.

STUDY OF SEISMIC REGIME FAULT ALONG THE БААТАРХАЙРХАН

S. Zagdsuren, P. Batbayar

Institute of Astronomy and Geophysics MAS, Khovd, Mongolia, zagdsuren@iag.ac.mn

Baatarhairhan mountain is a mountain range that is more than 100 km away from the center of Hovd Province and extends from Bayantumbe Mountain of Manhan Sum to Sutai Mountain in front of Zereg Sum of Hovd Province. The entire northern foothills of this mountain range is a region with many traces of faults, consisting of hillocks, where earthquakes have been observed recently. According to the database of strong earthquakes, more than 10 earthquakes with a magnitude greater than 3.5 have occurred in the vicinity of the faults along the Baatharkhairkhan ridge from 1964 to 2022. Among them, strong earthquakes with the magnitude of 5.6 (1949/11/01), 4.6 (1999/03/27), and 4.2 (2010/03/29) have occurred. More than 770 earthquakes occurred in 1964–2022 in the region along the rifts on both sides of this mountain (Zereg and Tsetseg), $Ml \leq 1.0$ — 293 events, $Ml > 1.0$ — 477, $Ml \geq 2.0$ — 100, $Ml \geq 3.0$ — a motion was recorded 21 times, and $Ml \geq 4.0$ — a motion was recorded 6 times. By completing information in the 1999–2022 database, it is assumed that earthquakes with a magnitude of 1.0 or more can be completely recorded. The stress release process is at a relatively average level, which indicates that there is a 30 % chance of a strong earthquake. Also, the frequency of earthquakes has decreased, but the degree of activity is 3.39, which indicates that the number of weak earthquakes has increased in recent years. Because the effect and action of earthquakes occurring in the region of the above fault system is within the radius of 200 km from the center of Hovd province, when an earthquake with a magnitude of more than 5 occurs in these fault systems, the center of Khovd province and the surrounding areas such as Bulgan, Uench, Altai, Duut. It is very important to estimate the potential risk of earthquakes in densely populated areas such as Munkhkhairkhan, Manhan, Zereg, khovd, Erdeneburen, Buyant, and Myangad. Although the probability of a major earthquake is low, the annual increase in seismic activity is a concern.

DATA PROCESSING OF CORE MAGNETIC FIELD PEAKS AND RESULTS OF DETERMINING BASELINE VALUES OF MAGNETIC FIELD ELEMENTS

S. Zagdsuren, P. Chimedtseren

Institute of Astronomy and Geophysics MAS, Khovd, Mongolia, zagdsuren@iag.ac.mn

The Earth consists of a liquid metallic core, a solid mantle and crust, a non-conducting atmosphere, and a plasma region surrounding it called the magnetosphere. In 2002, it has been more than 20 years since the first magnetic variation station was installed in Khovd Province and data collection began as a part of “Magnetic Field Research in Western Mongolia” project. During this period, the MAGDAS-9 short-period evolution measuring station was founded (2011), the

Proton magnetometer or POS-1 station was put into operation (2012), and the regular absolute measurements of the magnetic field had a significant impact on the formation of magnetic peak in Hov. Based on the data collection and measurement results of these stations, MATLAB and EXCEL programs were used to calculate the main line values of magnetic field elements. In this way, it becomes possible to calculate an absolute value of all the magnetic field components, taking into account the data processing at variation station. In this way, it will become an important fact of basic research to be used in geomagnetism: Hovd magnetic peak variation station (2008–2022), MAGDAS-9 measuring short period (2011–2022), absolute measurement (2003–2022), instrument sensitivity measurement and data processing (2008–2022). The data was prepared according to the same model, and the results of 2021 data processing were included in this study. The baseline values of the magnetic field elements of the Hovd magnetic peak were determined by two methods. Based on the average of the above two results, the baseline value of the horizontal generator H of the magnetic field is 22028 nT, the baseline value of the tilt angle D of the magnetic field is 3.5350, and the baseline value of the vertical generator Z is 56240 nT.

**СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ГЕОДИНАМИКА
БАЙКАЛО-МОНГОЛЬСКОГО РЕГИОНА**

Тезисы докладов

XIV Российско-Монгольской международной конференции

Отв. редакторы *В.А. Саньков, А.А. Добрынина*

Редактор *М.В. Никонова*

Подписано в печать 28.08.2023 г. Формат 60×90 1/16. Гарнитура *Times New Roman*.

Усл. печ. л. 5,6. Тираж 150. Заказ № 195.

**Отпечатано в Сибирском отделении РАН
630090, г. Новосибирск, Морской просп., 2
Тел. (383) 330-84-66, e-mail: e.lyannaya@sb-ras.ru**