

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ ЛИТОСФЕРА-АТМОСФЕРА В РАЙОНЕ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Д.Н. Локтев, С.П. Соловьев

Представлены материалы, полученные в результате комплексной геофизической экспедиции в район Тункинской впадины (Юго-западное крыло Байкальской рифтовой зоны) в 2009 году. Проведен анализ различных геофизических полей: электрическое поле в грунте и атмосфере, эманации радона, сейсмические колебания. Представлены основные характеристики и особенности регистрируемых полей.

Введение

Исследование геофизических полей на границе раздела литосфера-атмосфера в зонах тектонических нарушений представляет интерес с точки зрения изучения взаимодействия между ними [Адушкин, Спивак, 2008]. Летом 2009 года Институтом динамики геосфер была проведена комплексная геофизическая экспедиция в район Тункинской рифтовой впадины. Предварительный анализ морфоструктур и неотектоники района наблюдений показал, что данный район отличается современной региональной тектонической активностью [Иванченко, Локтев, Соловьев 2009].

Стационарные и профильные наблюдения за геофизическими полями проводились в центральной части Тункинской впадины. Наблюдения велись за следующими величинами: напряженность электрического поля в приземной атмосфере, объемная активность подпочвенного радона, градиент потенциала электрического поля в грунте и амплитуда сейсмических колебаний [Иванченко, Локтев, Соловьев 2009]. Основной задачей стационарных наблюдений являлось изучение фоновых характеристик полей, а профильных наблюдений – определение пространственных неоднородностей геофизических полей в районе Тункинской впадины вдоль и поперек ее простирания.

В настоящей статье на основе анализа экспериментального материала делаются выводы об особенностях геофизических полей в рассматриваемом районе.

Сейсмические наблюдения

Высокий уровень сейсмической активности Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) подтверждается данными о палеоземлетрясениях, полученными геологическими методами, макросейсмическими сведениями о сильных землетрясениях исторического прошлого и информацией более чем о 100 тыс. современных землетрясений широкого энергетического диапазона.

Главной особенностью распределения эпицентров землетрясений БРЗ является их концентрация в более или менее широкие полосы преимущественно северо-восточного направления и отчетливо выраженная поперечная простиранию рифтовой зоны прерывистость эпицентрального поля, выраженная в чередовании крупных областей повышенной и пониженной плотности эпицентров. Общая ориентировка этих областей соответствует простиранию основных рифтовых структур.

Анализ карт плотности эпицентров показывает стабильность неоднородностей в сейсмическом поле, что позволило ряду исследователей обосновать блоковую делимость земной коры БРЗ. Выделяются районы с устоявшимся (центральные сегменты) и неустойчивым сейсмическим режимом (юго-западный фланг зоны). Области с максимальной выделившейся энергией – фланги рифта [Мельникова, Гилева и др., 2009].

Район исследования – Тункинская группа рифтовых впадин, входящая в систему БРЗ, – протягивается на 200 км в субширотном направлении от юго-западного окончания Байкала.

Тункинская впадина характеризуется малым количеством слабых событий и двумя сильными событиями, произошедшими на краях впадины: землетрясения $M = 5,2$ (29.06.1995 г.) и $M = 6,2$ (27.08.2008 г.).

Всего за период наблюдения (4–23 августа 2009 г.) по данным Байкальского Филиала Геофизической Службы СО РАН в районе БРЗ произошло 6 событий энергией от $K = 9,7$ до $K = 10,1$ и на расстоянии до места регистрации от 300 до 700 км.

Место установки сейсмических наблюдений характеризуется невысоким уровнем сейсмического фона с выделяющимся суточным ходом: амплитуды сейсмических колебаний в дневное время достигают 0,2 мкм/с и уменьшаются в ночное время до 0,03 мкм/с. Увеличение уровня фона в дневные часы в широкой полосе частот связано с близостью к пункту наблюдения жилых построек и относительной близостью автодороги.

На рис. 1 представлен график спектральной плотности мощности для вертикальной сейсмической компоненты на территории обсерватории «Торы» в период 16–23 августа 2009 г. рассчитанной по часовым интервалам. Наблюдаемые значительные амплитудные выбросы в дневное время 20, 22 и 23 августа, связаны с проведением сельхоз работ в непосредственной близости от пункта наблюдений. Данные всплески характеризуются большой амплитудой высокочастотных колебаний (15–30 Гц) и длительностью несколько часов.

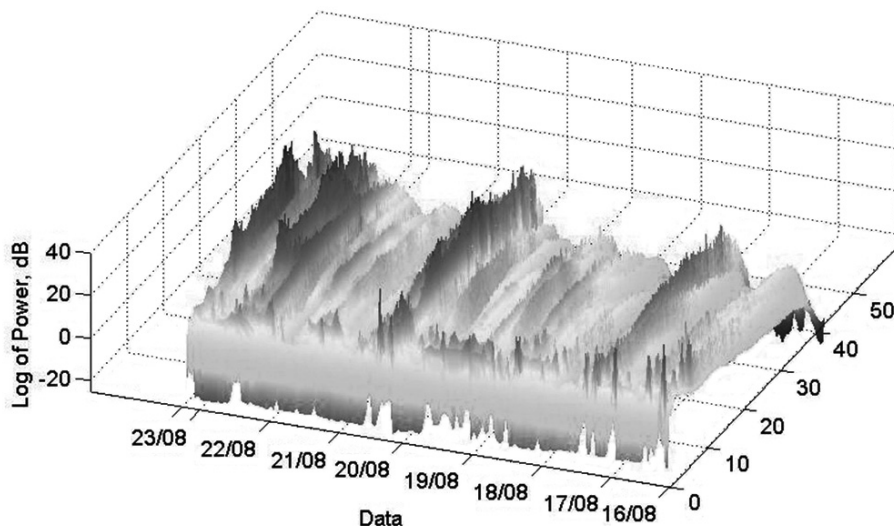


Рис. 1. Спектральная плотность мощности для вертикальной сейсмической компоненты на территории обсерватории «Торы» в период 16–23 августа 2009 г.

Наблюдения за вариациями атмосферного электрического поля

Визуальный просмотр массива данных, полученных за весь период наблюдений, показал, что электрическое поле содержит периоды сильных возмущений, а суточный ход, характерный для условий «хорошей погоды», практически не выделяется. Наиболее мощные возмущения атмосферного электрического поля приходятся на область низких частот, приблизительно 10^{-4} Гц и ниже. На рис. 2 представлены среднеквадратичные отклонения от средних значений напряженности электрического поля, $E_z(t)$, в зависимости от времени. Обращают на себя внимание три периода наблюдений 6, 12 и 20 августа, когда регистрировались аномально высокие возмущения электрического поля.

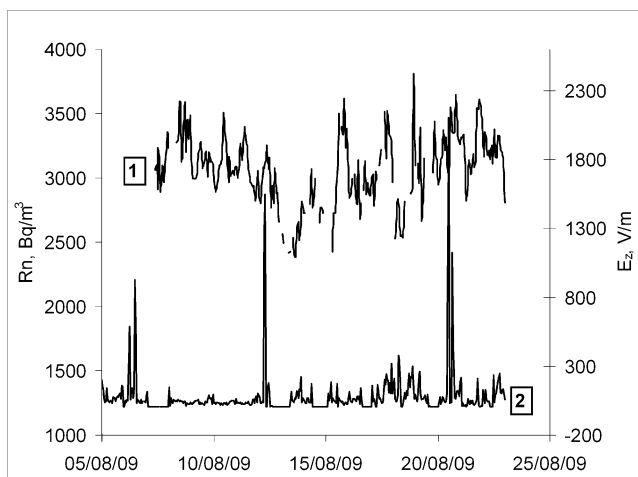


Рис. 2. Вариации электрического поля в приземном слое и эманации радона на станции «Торы». 1 – объемная активность радона; 2 – напряженность электрического поля (среднеквадратичные значения)

Регистрируемые во время наблюдений сигналы электрического поля представляют собой суперпозицию естественных и техногенных полей, характерных для данного пункта наблюдений. Техногенные поля обычно называют помехами и выбирают пункт наблюдений таким образом, чтобы техногенные составляющие поля были минимальны. Техногенные помехи на территории геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН «Торы», в основном, связаны с линиями электропередачи (50 Гц и кратные частоты). Этот тип сигналов можно было выделить на чувствительном диапазоне измерителя вариаций электрического поля (ИВЭП), а на записях электростатического флюксметра (ИНЭП) амплитуда сигналов данного типа была пренебрежимо мала.

Одной из важных естественных компонент электрического поля в приземном слое атмосферы является «метеорологическая» компонента. Процессы, связанные с турбулентностью приземного слоя, облачностью, осадками, грозовыми разрядами, пылевыми бурями являются источниками нерегулярных вариаций электрического поля атмосферы. Одновременные наблюдения за облачностью, скоростью ветра и другими параметрами приземного слоя атмосферы помогают в интерпретации измерений E_z . Каждый из этих факторов создает характерные возмущения.

Влияние туманов на напряженность электрического поля заключается в изменении проводимости в тумане по сравнению с проводимостью чистого воздуха. В тумане проводимость уменьшается в результате присоединения легких ионов к частицам тумана, что уменьшает подвижность ионов. В среднем величина проводимости в тумане составляет около трети ее значения в хорошую погоду, что приводит к увеличению E_z в тумане по сравнению с E_z в чистом воздухе; в тумане увеличивается и амплитуда пульсаций $E_z(t)$ в диапазоне частот $10^{-2} - 1$ Гц. Осадки в виде дождя, града и снега, которые часто сопровождают прохождение атмосферного фронта, оказывают особенно сильное влияние на изменения напряженности локального электрического поля. Спокойные дожди обычно сопровождаются значительным общим понижением амплитуды электрического поля.

Метеорологические процессы вносят минимальный вклад в естественное электрическое поле при соблюдении условий «хорошей погоды», под которыми понимают следующие условия: отсутствие всякого рода осадков, инея, тумана, нижней облачности, скорость ветра не должна превышать 5 м/с. В этих условиях изменения атмосферного электрического поля могут отражать как глобальные (т.е. планетарного масштаба), так и региональные (с масштабом порядка 100 км) возмущения электрических параметров атмосферы. Локальные возмущения электрического поля, связанные с турбулентным переносом заряженных аэрозольных частиц и ионов, также будут иметь место.

Метеорологические наблюдения показали, что 6 и 12 августа стационарный пункт наблюдений находился в зоне прохождения атмосферного фронта регионального масштаба, при этом 12 августа фронт был более мощным и сопровождался порывистым ветром до 20 м/с и грозой. В последующие дни наблюдались лишь локальные метеорологические явления – небольшие дожди, ночные туманы и др.

Как следует из рис. 2 можно выделить три периода времени 6, 12 и 20 августа с аномально высокими возмущениями электрического поля. Характер изменений $E_z(t)$ является более или менее типичным для приближающегося атмосферного фронта: наблюдается относительно быстрый рост напряженности электрического поля до нескольких тысяч В/м с последующими резкими скачками поля из-за шквалистого ветра и капель дождя, попадающих на измерительные пластины датчика поля. Аномальные возмущения электрического поля, наблюдавшиеся 6 августа, также соответствуют возмущениям при прохождении атмосферного фронта, но они были менее мощными, чем 12 августа.

На рис. 3 приведены изменения напряженности электрического поля в течение суток 19 августа и 20 августа. Погодные условия в дневное время 19 августа нельзя отнести к условиям «хорошей погоды», несмотря на то, что туман рассеялся к 10–11 часам местного времени (LT), было малооблачно, светило солнце, но ветер превышал 5 м/с примерно с 13 до 24 часов LT и достигал 9–10 м/с. Из рис. 3 видно, что 19 августа амплитуда пульсаций $E_z(t)$ в диапазоне частот 10^{-1} –10 Гц была довольно высока и составляла 40–80 В/м, что, возможно, связано именно с усилением ветра. Однако возникновение более низкочастотного возмущения электрического поля с амплитудой более 900 В/м, которое наблюдалось в период времени с 12 до 16 часов LT, связывать только с изменявшимися метеоусловиями будет необоснованно.

20 августа по метеорологическим данным и записям в дневнике наблюдений с 10 часов до 24 часов LT выполнялись условия «хорошей погоды»: скорость ветра 0–4,5 м/с, полное отсутствие облаков, влажность днем ~50%, обычный суточный ход температуры и давления. Максимальная величина напряженности электрического поля, наблюдавшаяся 20 августа, по-видимому, превысила верхний предел

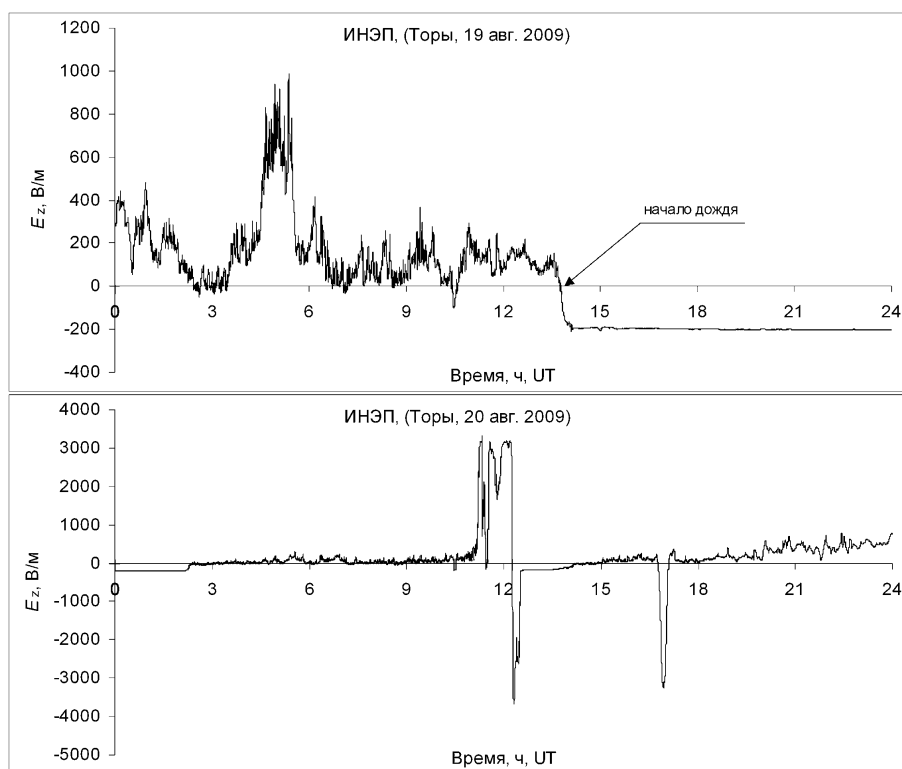


Рис. 3. Напряженность электрического поля приземной атмосферы в течение суток 19 и 20 августа на территории станции «Торы»

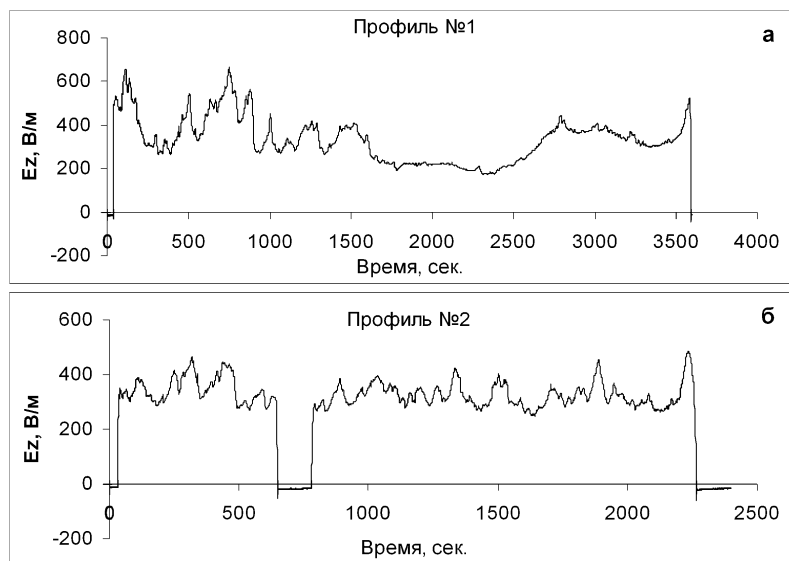


Рис. 4. Примеры записи вариаций электрического поля, полученные на профилях №1, 2

регистрируемых значений 3150 В/м. Характер изменений $E_z(t)$ 20 августа (рис. 3) трудно объяснить метеорологическими явлениями в окрестности пункта наблюдений. Возможно, это связано с крупномасштабными (порядка сотни км) возмущениями электрических параметров атмосферы. Следует заметить, в период времени 23–24 ч LT (14–15 ч UT) наблюдались световые вспышки над горами, окружающими Тункинскую долину, при совершенно ясном небе. Однако, для выявления каких-либо закономерностей необходима повторяемость явлений и накопление статистики. Тем не менее, низкочастотные возмущения электрического поля с периодами в несколько часов и амплитудами превышающими тысячи В/м, наводят на мысль о поиске источников таких возмущений, не связанных с метеорологическими процессами в приземном слое атмосферы.

Для оценки фоновых характеристик в различных точках Тункинской долины и пространственных неоднородностей электрического поля были проведены измерения на двух профилях. Там где позволял рельеф местности, выбирались максимально ровные открытые площадки, свободные от деревьев и кустарника. Профильные наблюдения за вариациями атмосферного электрического поля проводились на профиле 1 – вдоль долины, преимущественно в направлении З-В, профиле 2 – поперек долины, преимущественно в направлении С-Ю. Измерения проводились только в условиях «хорошей погоды» в дневное время. На рис. 4 представлены записи вариаций электрического поля, полученные на одной из точек на профиле № 1 (рис. 4а) и на профиле № 2 (рис. 4б). На этих записях обращают на себя внимание высокие абсолютные значения напряженности электрического поля и высокоамплитудные пульсации поля относительно среднего значения. В точке на профиле № 1 максимальное значение E_z составило ≈ 650 В/м, а минимальное ≈ 175 В/м на часовом интервале времени. Основные периоды пульсаций $E_z(t)$ приходятся на диапазон частот 10^{-3} – 10^{-2} Гц, а амплитуды, как правило, превышают 100 В/м.

На рис. 5 приведены изменения средних значений напряженности электрического поля в зависимости от расстояния по профилю. Как на профиле № 1, так и на профиле № 2 явно выражена неоднородность электрического поля.

Наблюдения за эманациями радона

Еще одним фактором, оказывающим существенное влияние на распределение электрического поля в приземном слое атмосферы, является наличие поверхностных источников радиоактивных веществ. Электропроводность атмосферы определяется наличием в воздухе подвижных заряженных частиц, образующихся под действием космического излучения, и радиоактивных веществ, содержащихся в почве и воздухе. Для нормальных условий можно считать, что полная интенсивность ионообразования на высоте нескольких метров над землей составляет примерно 10 пар ионов/(см³·с) или 10^7 м⁻³·с⁻¹. Действием космических лучей непрерывно создается около двух пар ионов в 1 см³ воздуха в 1 секунду на уровне моря, а 8 пар ионов/(см³·с) создается за счет радиоактивности почвы и воздуха. Радиоактивность почвы создает примерно 3,5 пар ионов/(см³·с), а на долю радиоактивности воздуха приходится 4,5 пар ионов/(см³·с). Ионизация воздуха в приземном слое атмосферы обусловлена, в основном, присутствием в нем газообразного радона и торона, а также продуктов их распада. Если радиоактивность почвы величина постоянная, то концентрация радона и торона зависит от геологического строения массива горных пород и свойств приповерхностных участков этих пород.

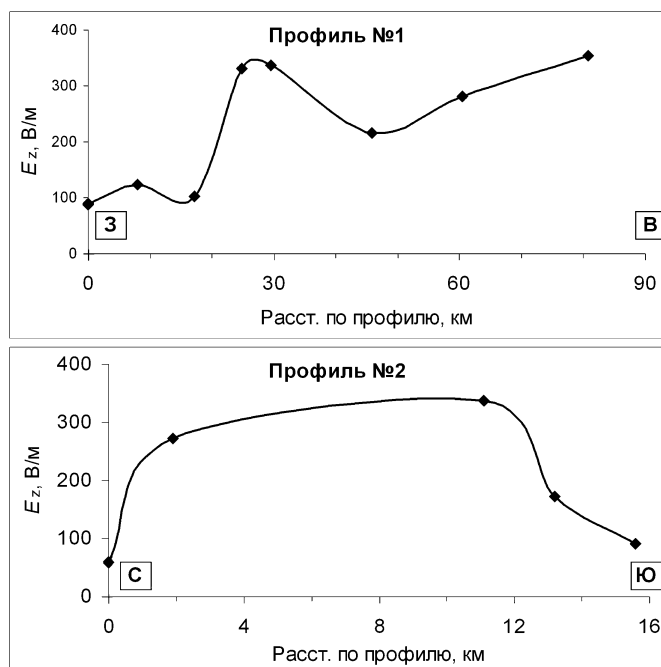


Рис. 5. Средние значения напряженности электрического поля приземной атмосферы в зависимости от расстояния по профилям №№ 1, 2

Влияние временных и пространственных изменений концентрации радиоактивных газов, выходящих в атмосферу из почвы, на параметры атмосферного электрического поля было обнаружено в результате исследований в районе Чуйского землетрясения (2003 г.) в центральной части Горного Алтая. Обращает на себя внимание наличие продолжительных интервалов времени, когда напряженность электрического поля атмосферы отрицательна. Наличие отрицательного электрического поля в условиях «хорошей погоды» свидетельствует об изменившихся электрических характеристиках приземной атмосферы. Следует отметить, что измерения на двух профилях вблизи сейсмостанции «Акташ» отчетливо показали наличие пространственных неоднородностей электрического поля атмосферы, концентрации радона и высокую корреляцию в характере изменения этих величин [Локтев, Соловьев, 2005].

Для исследования вариаций объемной активности радона в подпочвенной атмосфере был использован радиометр РРА-01М-03 с забором проб воздуха из подпочвенной атмосферы с помощью шупа, имеющий открывающиеся отверстия на глубине 0,8 м от поверхности. На рис. 2 приведены вариации концентрации радона в период с 5 августа по 23 августа 2009 года и среднеквадратичные отклонения $E_z(t)$. Изменения концентрации радона лежат в пределах от 2400 Бк/м³ до 3800 Бк/м³. Можно отметить слабо выраженный суточный ход в эманациях радона, однако абсолютные значения концентрации радона не велики и в 2–3 раза меньше значений, зарегистрированных в районе Чуйского землетрясения на Алтае. При сравнении суточных вариаций эманации радона и $E_z(t)$ корреляция не обнаружена. По-видимому, в данных условиях вариации концентрации радона оказывают слабое влияние че-

рез ионизацию приземного слоя атмосферы на формирование наблюдаемых возмущений электрического поля.

Заключение

Полученный обширный экспериментальный материал, включающий в себя наблюдения за сейсмическими колебаниями, электрическим полем в грунте и приземном слое атмосферы, наблюдения за эманациями радона позволяет сделать несколько заключений о сложном характере геофизических полей в районе Тункинской рифтовой впадины.

Основной вклад в вариации фоновых сейсмических колебаний вносят в основном техногенные факторы: близость автомагистрали и жизнедеятельность человека, что выражается в контрастности суточного хода.

Произошедшие сейсмические события в районе БРЗ за время наблюдений не внесли заметные изменения в поведение наблюдаемых геофизических полей.

Низкие значения эманации радона объясняются низкой радоновой активностью Тункинского разлома, по сравнению с другими разломами БРЗ [Коваль, Удодов и др., 2006], а так же сложными геологическими условиями района наблюдений, в частности наличием линз вечной мерзлоты.

В отличие от результатов наблюдений [Локтев, Соловьев, 2005] в районе Чуйского землетрясения 2003 года (где происходили активные афтершоковые процессы) в Тункинской впадине не наблюдалось большого количества импульсных колебаний сейсмического и электрического поля в грунте. Данный факт, возможно, объясняется наличием мощного осадочного чехла в Тункинской впадине, а также тем, что место наблюдения было расположено достаточно далеко от зон, где происходят активные геодинамические процессы. По оценкам [Соловьев, Спивак, 2008] сигналы от таких зон распространяются на расстояния порядка 2000 м.

Вариации электрического поля в приземной атмосфере обусловлены в основном сложной орографией района и, как следствие, быстроменяющимися местными метеоусловиями, грозовой активностью в прилегающих горных массивах, которые зачастую вносят определяющий фактор в вариации электрических полей.

Работа выполнена по Программе ОНЗ РАН № 7 «Внутреннее строение и геофизические поля Земли. Динамика взаимодействующих геосфер».

Литература

Адушкин В.В., Спивак А.А. Геофизические процессы и межгеосферные взаимодействия в приповерхностной зоне Земли // Геофизика межгеосферных взаимодействий / Под ред. академика В.В. Адушкина. – М.: ГЕОС, 2008. С. 9–19.

Иванченко Г.Н., Локтев Д.Н., Соловьев С.П. Комплексные исследования активности тектонических нарушений в зоне Тункинской рифтовой впадины // Проблемы взаимодействующих геосфер. – М.: ГЕОС, 2009, с. 116–123.

Коваль П.В., Удодов Ю.Н., Саньков В.А., Ясеновский А.А., Андрулайтис Л.Д. Геохимическая активность разломов Байкальской рифтовой зоны (ртуть, радон и торон) // Докл. РАН, 2006, т. 409, № 3, с. 389–393.

Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 423 с.

Локтев Д.Н., Соловьев С.П. Вариации электромагнитного поля в районе Чуйского землетрясения // Динамические процессы в системе внутренних и внешних взаимодействующих геосфер. – М.: ГЕОС, 2005. С. 186–197.

Мельникова В.И., Гилева Н.А., Масальский О.К., Радзиминович Я.Б., Радзиминович Н.А. Об условиях генерации сильных землетрясений в Южном Байкале // Докл. РАН, 2009, т.429, №3, с. 393–397.

Соловьев С.П., Спивак А.А. Генерация электромагнитных импульсов при релаксационных процессах в земной коре // Геофизика межгеосферных взаимодействий / Под ред. академика В.В. Адушкина. – М.: ГЕОС, 2008. С. 289–301.

Спивак А.А. Структура тектонических нарушений как зон повышенной интенсивности межгеосферных взаимодействий // Геофизика межгеосферных взаимодействий / Под ред. академика В.В. Адушкина – М.: ГЕОС, 2008. С. 9–19.