

## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ ТУНКИНСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ**

***В.В. Адушкин, А.А. Спивак, Д.Н. Локтев,  
С.П. Соловьев, В.А. Харламов***

Институт динамики геосфер РАН, г. Москва  
spivak@idg.chph.ras.ru

На основе анализа результатов экспедиционных работ 2009–2010 гг. установлены основные особенности геофизических полей Тункинского рифта (Байкальская рифтовая зона). Рассматриваются вариации напряженности электрического поля в приземной атмосфере и в грунте, объемной активности подпочвенного радона и дискретные (импульсные) составляющие микросейсмических колебаний. Показано, что пространственные вариации вертикальной компоненты напряженности электрического поля  $E_z$  в приземном слое атмосферы определяются морфологией исследуемого участка земной коры.

Получено, что временные вариации объемной активности подпочвенного радона  $R$  характеризуются хорошо выраженными периодичностями с периодами  $\sim 12$ ,  $\sim 24$  ч и  $\sim 14$  сут. и соответствуют изменениям вертикальной компоненты приливной силы  $F$  при высоких значениях коэффициента корреляции между величинами

*R* и *F*. В результате анализа данных синхронной регистрации микросейсмических колебаний и электрического поля в грунте в районе Тункинского разлома показано, что в качестве основного механического параметра источника электрических сигналов, который определяет амплитуду электрических импульсов в грунте, следует рассматривать ускорение активной грани структурного блока среды при его релаксации в стесненных условиях.

## Введение

В приповерхностной зоне Земли осуществляется активный контакт литосферы и атмосферы, наблюдаются интенсивные массо- и энергообменные процессы; происходит взаимодействие между геофизическими полями. Это привлекает внимание исследователей, которое связано в первую очередь с определением количественных характеристик взаимодействия и преобразования геофизических полей. [Адушкин, Спивак, 2008].

Особый интерес вызывают тектонические нарушения и зоны их влияния. Повышенная нарушенность среды, большая свобода для деформирования структурных блоков и более интенсивная флюидодинамика по сравнению с прилегающими участками земной коры – все это создает условия для интенсивных релаксационных процессов и процессов, связанных с преобразованием энергии движения горных пород в энергию геофизических полей, например, в энергию электромагнитного поля.

Исследование геофизических полей<sup>1</sup> представляет значительный интерес при разработке новых подходов к описанию геодинамических процессов, протекающих в приповерхностной зоне Земли. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что геофизические поля на локальных участках земной коры, помимо факторов глобального масштаба, в значительной мере определяются структурой среды, ее откликом на внешние воздействия естественного и техногенного происхождения, а также свойствами горных пород и т. д. [Адушкин и др., 2006; Спивак, 2010; и др.]. В этом смысле геофизические поля представляют собой важный источник информации не только о состоянии среды в данный момент времени, но также, что особенно важно, об изменчивости этого состояния со временем.

В настоящей работе приводятся результаты комплексных инструментальных наблюдений за геофизическими полями, выполненных в периоды проведения экспедиционных работ 2009–2010 гг. в районе Тункинской системы рифтовых впадин Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) [Лунина и др., 2007].

### Краткая характеристика района исследований

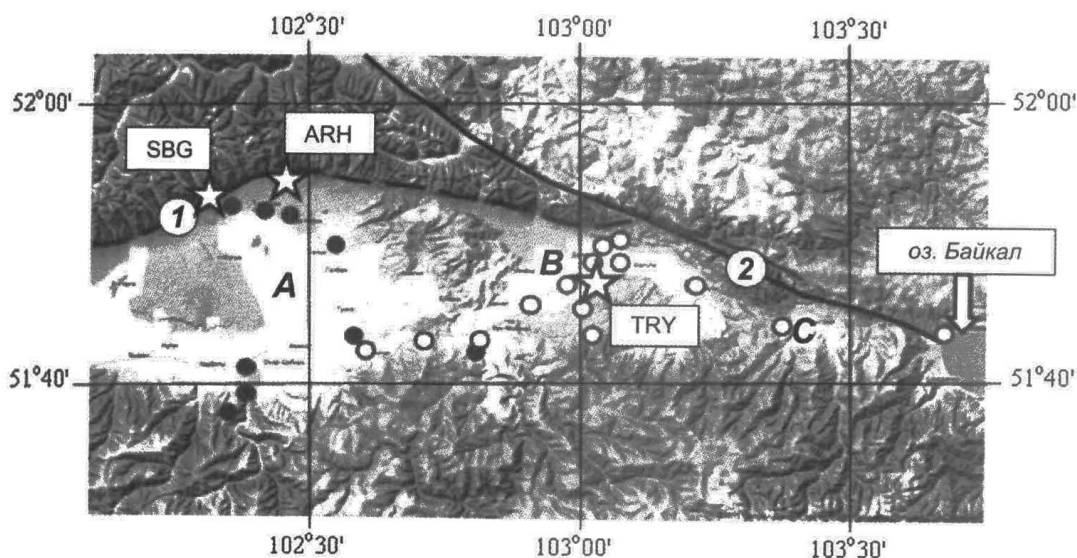
Морфологическая особенность Тункинского рифта заключается в обрамлении рифтовых впадин, заполненных осадочным материалом (до глубин вплоть до 2500 м), складчатыми структурами высотой до 2700 м.

---

<sup>1</sup> В перечень геофизических полей помимо физических (электрическое, магнитное, гравитационное и т. д.) в соответствии с принципом математического формализма входят поля, сформированные геофизическими процессами (микросейсмическое поле, поле радоновых эманаций, поле напряжений и т. д.).

Разрывные структуры исследуемого района представлены Главным Саянским разломом – основной и самой крупной структурой, которая служит границей между кристаллическим выступом фундамента Сибирской платформы и байкалидами (рис. 1). Основная разломная зона протяженностью около 1000 км и шириной от нескольких сотен метров до 7–8 км представлена серией субпараллельных разломов более высокого порядка. Вертикальные и горизонтальные смещения вдоль разлома фиксировались неоднократно и достигали 8–10 км. Главный Саянский разлом неоднократно активизировался, в том числе в неогене и четвертичном периоде.

Другой мощной структурой является Тункинский разлом (рис. 1), который распространяется вдоль южного подножья Тункинских гольцов, ограничивает с севера большую часть впадин и является определяющим элементом структуры рифтовой долины. Морфологически разлом представлен системой разрывов с различными по величине амплитудами и степенью геоморфологической выраженности, северо-восточного и субширотного простираний. Общая протяженность зоны Тункинского сбросо-сдвига – 160–180 км.



**Рис. 1.** Схема района инструментальных наблюдений.

Звездочки – пункты постоянной регистрации: Субарга (SBG), Аршан (ARH), Торы (TRY), кружки – пункты оперативной регистрации 2009 г. (залитые кружки измерения 2010 г.); основные глубинные разломы: 1 – Тункинский, 2 – Главный Саянский; Тункинская ветвь рифтовых впадин: А – Тункинская, В – Торская, С – Быстринская

Впадины юго-западной части Байкальской рифтовой зоны неодинаковы по размерам и мощности осадков. В Мондинской и Торской впадинах мощность отложений не превышает 500 м, в то время как в Тункинской впадине вулканогенно-осадочные отложения достигают 2500 м. Тункинская впадина занимает центральное положение и имеет ширину около 30 км.

Поверхность Торской впадины, довольно плоская в средней части, с абсолютными отметками 650–700 м, переходит с крутым переломом в склоны Тункинских гольцов и Зыркузунского хребта. Зыркузунской перемычкой она отделена от небольшой Быстринской впадины. Впадины выполнены олигоцен-четвертичными отложениями, в верхней части переслаивающимися с покровами неоген-четвертичных базальтов.

## Организация инструментальных наблюдений

Инструментальные наблюдения в районе Тункинской системы рифтовых впадин заключались в проведении сейсмической регистрации, измерении объемной активности радона в подпочвенной атмосфере, регистрации вертикальной компоненты напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы и двух горизонтальных компонент электрического поля в грунте.

Схема района с указанием пунктов постоянной и оперативной регистрации геофизических полей приведена на рис. 1. Создание постоянных пунктов регистрации было необходимо для получения непрерывного во времени массива реперных данных, а также для определения периодов времени со сходными внешними возмущениями (величина и фаза приливной силы, величина атмосферного давления). Последнее требовалось для определения времени режимных наблюдений в оперативных пунктах регистрации<sup>1</sup>.

Измерения в оперативных пунктах, расположенных вдоль нескольких профилей, позволило установить пространственные характеристики геофизических полей на исследуемом участке.

Измерения вертикальной компоненты электрического поля в приземном слое атмосферы проводились с помощью электростатических флюксометров и измерителей вариаций электрического поля емкостного типа<sup>2</sup>. Определялись фоновые характеристики и вариации электрического поля в условиях хорошей погоды, а также корреляционные связи между напряженностью электрического поля в атмосфере и объемной активностью радона.

Электростатические флюксометры ИНЭП обеспечивали регистрацию в диапазоне частот 0–20 Гц при напряженности электрического поля в диапазоне амплитуд от 1 до 2000 В/м. Электрометры ИВЭП (пассивные электрические антенны с чувствительными электронными усилителями), обеспечивающие измерения в частотном диапазоне от 1 Гц до 10 кГц. Датчики имели три выхода, коэффициенты передачи которых соотносились как 1:10:100. Совместное использование выходов обеспечивало измерение вариаций напряженности вертикальной составляющей электрического поля в широком диапазоне амплитуд (от 0,001 до 400 В/м).

Сейсмическая регистрация (в частности, регистрация фоновых и импульсных микроколебаний среды) выполнялась с использованием СМЗ-КВ-Э, работающих в режиме велосиметра. Измерения проводились в диапазоне частот 0,5–40 Гц (частота оцифровки составляла 100 Гц). Высокий коэффициент усиления сигнала (более  $8 \cdot 10^5$ ) позволил поднять порог чувствительности сейсмоприемника до 2 нм/с. С целью локации источников местных микросейсмических сигналов регистрация выполнялась одновременно в нескольких пунктах.

Измерения объемной активности радона  $^{222}\text{Rn}$  в подпочвенной атмосфере выполнялись с помощью радиометра РРА-01М-03. Широкий диапазон измерений ( $20\text{--}2 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>3</sup>), высокая чувствительность (не менее  $1,4 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с·Бк) и низкая

<sup>1</sup> Количество измерительных комплексов не позволяло выполнять регистрацию геофизических полей во всех оперативных пунктах одновременно.

<sup>2</sup> Регистрация выполнялась на открытых площадках, свободных от деревьев и кустарников в условиях «хорошей погоды» (отсутствие осадков, инея, тумана, нижней облачности, отсутствие атмосферных фронтов и т. д.).

погрешность регистрации (не хуже 12%) позволяли достоверно оценивать средний уровень активности, временные и амплитудные вариации подпочвенного радона.

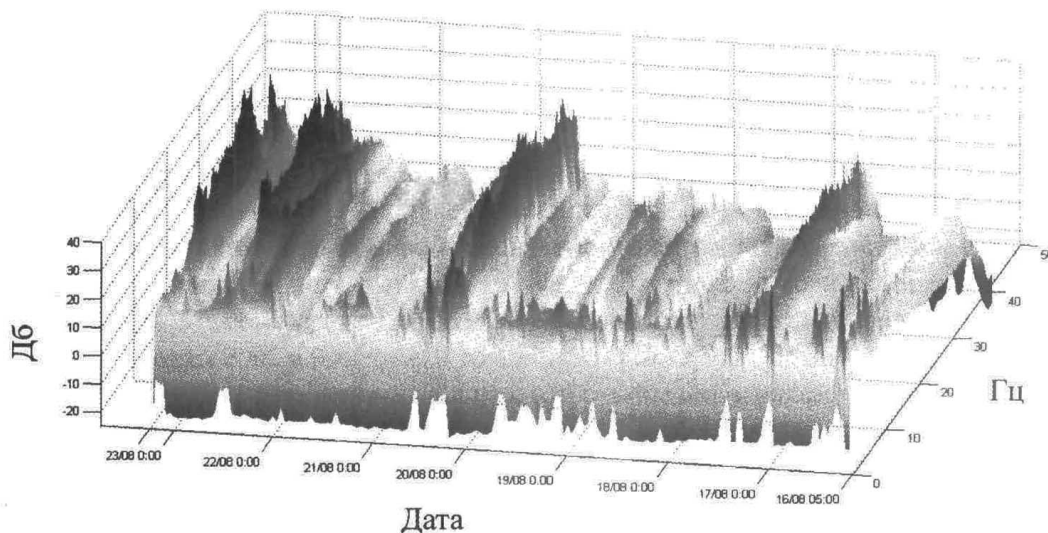
Наблюдения за горизонтальными составляющими электрического поля в грунте (компоненты СЮ и ЗВ) выполнялись с помощью измерителя электрического поля в грунте (ИЭП), основным чувствительным элементом которого служили три свинцовых электрода, установленных на глубине порядка 1 м и на 30–60 м друг от друга. Измерения выполнялись в частотном диапазоне 0,1–40 Гц, в связи с чем, специальные меры при установке электродов, необходимые в случае квазистатических измерений, не применялись.

В качестве измерителей использовались современные 16 и 24-разрядные цифровые системы регистрации (АЦП E440, Zet220, RefTek 130) с автономными источниками питания и возможностью синхронизации времени сигналов с помощью GPS.

### Микросейсмические колебания

Исследуемый район 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. 2 представлен график спектральной плотности мощности для вертикальной сейсмической компоненты в пункте TRY 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 в несколько часов.



**Рис. 2.** Спектральная плотность мощности для вертикальной сейсмической компоненты в стационарном пункте регистрации TRY в период 16–23 августа 2009 г.

## Особенности электрического поля приземной атмосферы

Электрические параметры нижнего слоя атмосферы определяются совокупностью многих факторов, как глобального, так и местного характера (турбулентный обмен в приземном слое, топография местности, образование и развитие облаков, содержание в почве и воздухе радиоактивных веществ, содержание в воздухе аэрозольных примесей и т. д.). Известно, что атмосферноэлектрические характеристики вблизи поверхности земли тесно связаны с метеорологическими явлениями, которые в свою очередь определяются процессами взаимодействия между атмосферой и верхним слоем земной коры. Одной из проблем, обуславливающей противоречивость результатов экспериментальных исследований в приземном слое является наложение возмущений локального происхождения на глобальные вариации электрического поля. Как правило, выделение изменений электрического поля, обусловленных местными причинами, производится путем сравнения суточного хода в условиях хорошей погоды с суточными изменениями поля над океанами, где местные возмущения считаются минимальными. Так, в работе [Макух и др., 2009] было показано, что при безоблачной погоде суточный ход электрического поля над акваторией о. Байкал похож на глобальную вариацию, то есть с максимумом в вечерние и минимумом в утренние часы по гринвичскому времени. Проявление унитарной вариации над о. Байкал авторы объясняют малым вкладом локальной компоненты поля из-за незначительного суточного хода метеорологических величин и условий конвективного обмена в приземном слое атмосферы. С другой стороны, результаты измерений напряженности электрического поля, проведенные в условиях хорошей погоды вблизи от береговой линии о. Байкал, показали иной характер изменений поля в течение суток [Кречетов и др., 2007] – максимум наблюдается в дневные часы по местному времени, минимум – в ночные. Среднесуточное значение напряженности электрического поля составляло приблизительно 400 В/м. В периоды «нарушенной» погоды (сильный ветер, облачность, осадки) наблюдалось изменение знака электрического поля, а вариации напряженности поля с характерным периодом 3–5 часов достигали 1000 В/м.

Результаты наблюдений за электрическим полем в приземной атмосфере представлены на рис. 3. Метеообстановка во время наблюдений характеризовалась днём с «хорошей» погодой, чередующимися с дождями. Причем из-за особенностей расположения пунктов наблюдений (TORU – находится в широкой долине р. Иркут, а SUBARGA – в предгорье Тункинских гольцов; расстояние между пунктами 50 км) погодные условия (осадки, влажность, локальная облачность) могли отличаться и могли изменяться с некоторым запаздыванием относительно друг друга.

Как видно, за весь период наблюдений за вариациями электрического поля в приземном слое, отмечается несколько характерных максимумов (12, 19 и 20 июля) с амплитудой от 700 до 2000 В/м. В отличие от измерений в 2009 году [Локтев, Соловьев, 2010], эти максимумы можно отнести к возмущениям, вызванным приближающимися атмосферными фронтами (атмосферными возмущениями).

Характерный пример таких возмущений представлен на рис. 4, из которого видно, что в течение 12 июля 2010 года наблюдается аномальный рост напряженности электрического поля до 2000 В/м: с 06 до 08, с 12 до 13 и с 18 до 20 часов (GTM). Связь роста напряженности электрического поля с атмосферными процессами подтверждается зарегистрированными нашей метеостанцией возмущениями

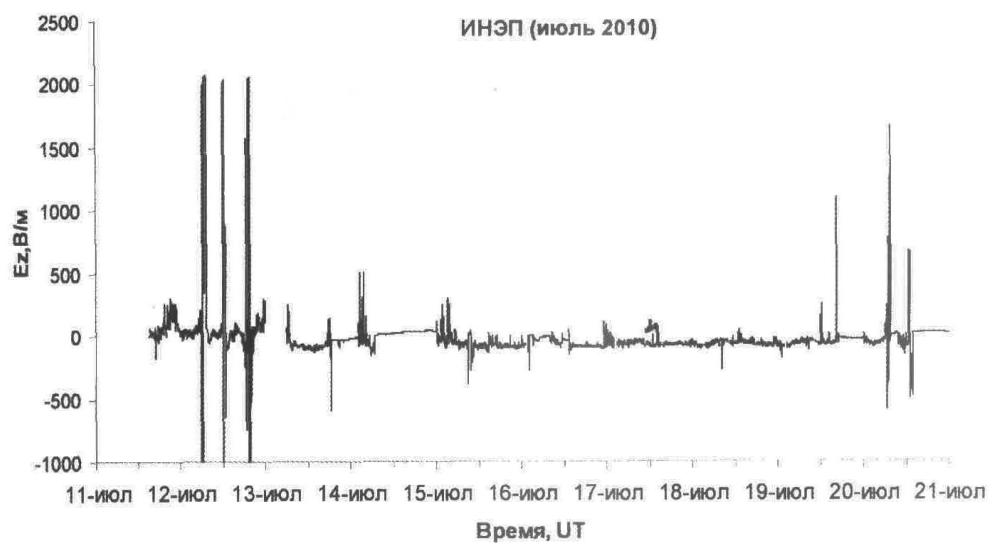


Рис. 3. Вариации электрического поля в приземной атмосфере за период 11–22 июля 2010 г. (пункт TRY).

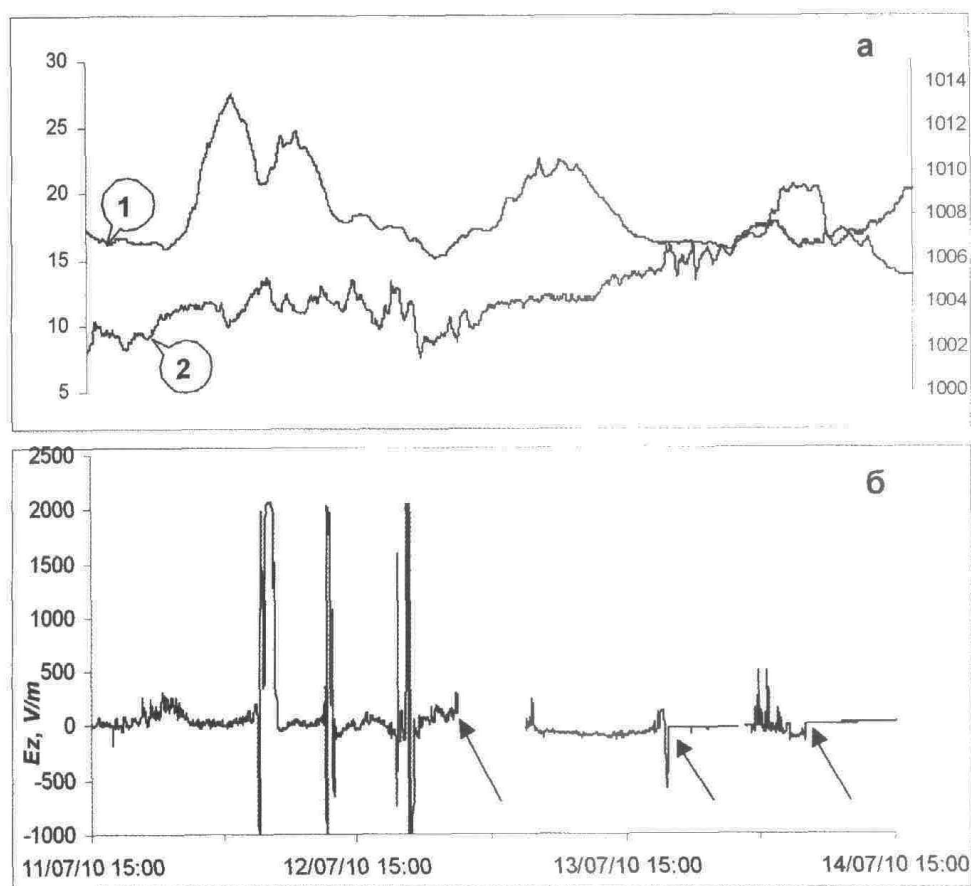
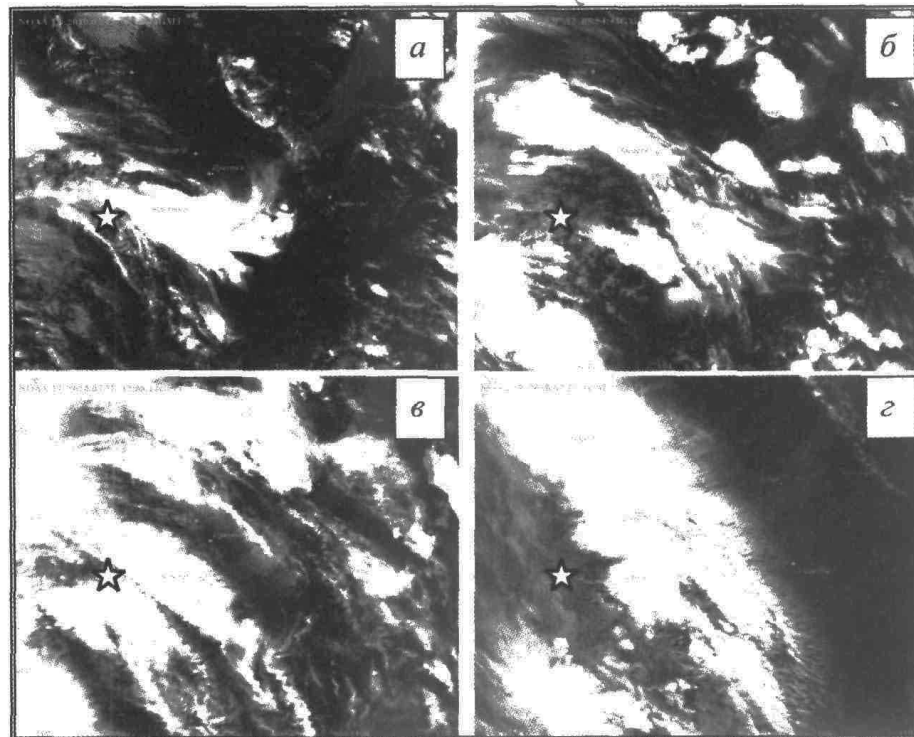


Рис. 4. Возмущения электрического поля 12 июля 2010 г. (б) и метеоданные (а): изменения температуры – 1 и атмосферного давления – 2. Стрелками показано начало дождя (момент отключения регистрации).

атмосферного давления (с 6 до 20 часов), а также спутниковыми снимками облачного покрова в инфракрасном диапазоне (10,5–11,5 мкм) над Прибайкальем и Восточным Саяном (рис. 5). Видно, что в часы возмущения электрического поля район наблюдений «накрыт» густой облачностью (рис. 5, а,в), а в период спокойного уровня поля в атмосфере отмечаются «просветы» (рис. 5, б,г).



**Рис. 5.** Снимки облачного покрова в инфракрасном диапазоне (10,5–11,5 мкм) над Прибайкальем и Восточным Саяном 12 июля 2010 г.  
 Время снимка (GTM): а – 06:04:46; б – 08:54:43; в – 12:08:13; г – 20:02:15  
 (звездочка – район наблюдений)

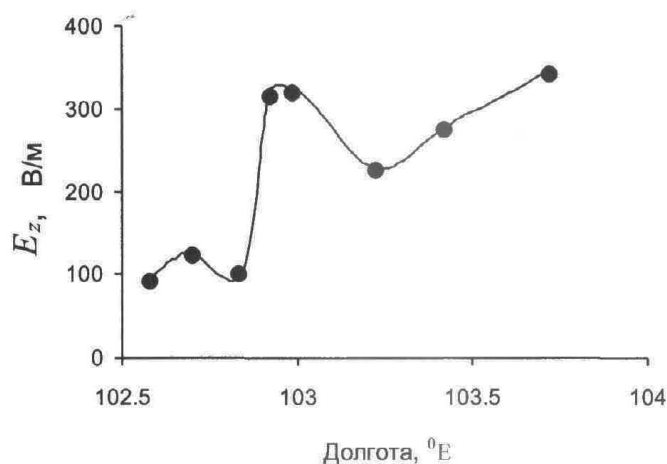
Для оценки фоновых характеристик в различных точках Тункинской долины пространственных неоднородностей электрического поля были проведены измерения на двух профилях. Там где позволял рельеф местности, выбирались максимально ровные открытые площадки, свободные от деревьев и кустарника. Наблюдения за вариациями атмосферного электрического поля осуществлялись на профиле 1 вдоль долины, преимущественно в направлении З-В, профиле 2 – поперек долины преимущественно в направлении С-Ю. Измерения проводились только в условии «хорошей погоды» и в дневное время.

В качестве иллюстрации на рис. 6 приведены результаты регистрации вертикальной компоненты электрического поля в приземном слое атмосферы  $E_z$  (на высоте около 1 м), полученные в оперативных пунктах, расположенных вдоль широтного профиля (измерения 2009 г.).

Характерные особенности изменения величины  $E_z$  вдоль профиля связаны увеличением напряженности поля с высотой, что связано с повышением влажности атмосферы по мере приближения к оз. Байкал, и повышенными значениями

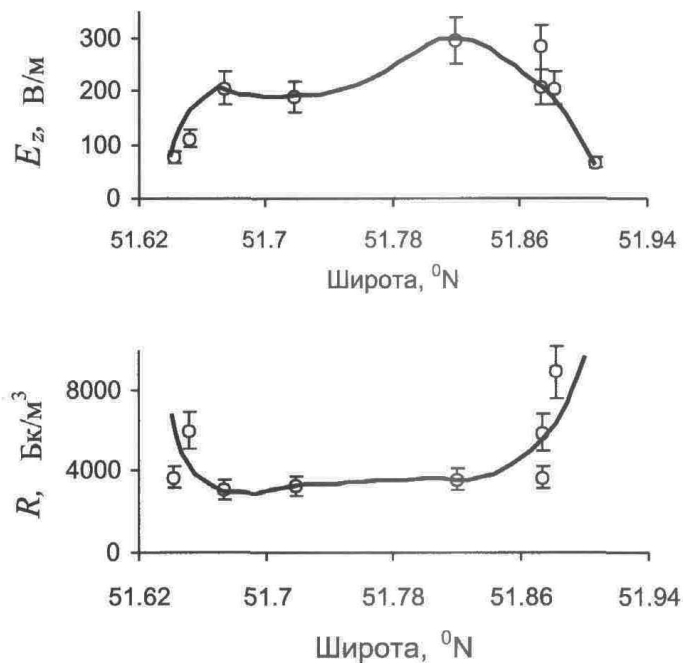


ми напряженности поля в районе перемычки, разделяющей Торскую и Быстринскую впадины (рис. 1).



**Рис. 6.** Вертикальная компонента электрического поля в атмосфере вдоль субширотного профиля (измерения 2009 г.)

Большой интерес представляет рассмотрение изменение электрического поля в атмосфере вдоль субмеридианного профиля, проходящего через Тункинскую впадину и захватывающего на южной и северной ее окраинах участки выхода скальных горных пород на поверхность (рис. 7).



**Рис. 7.** Средние за время регистрации вертикальная компонента электрического поля в приземном слое атмосферы  $E_z$  и объемная активность подпочвенного радона  $R$  в пунктах наблюдений, расположенных вдоль субмеридианного профиля (измерения 2010 г.).

Особенность субширотного распределения  $E_z$  связана с нестабильными метеорологическими условиями<sup>1</sup> на горных участках профиля, что нашло отражение в увеличении дисперсии  $E_z$  в пунктах, расположенных на южной и в большей степени на северной окраине Тункинской впадины (рис. 8).

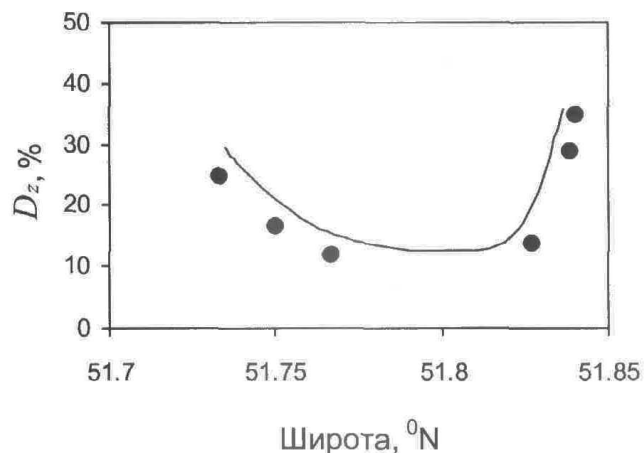


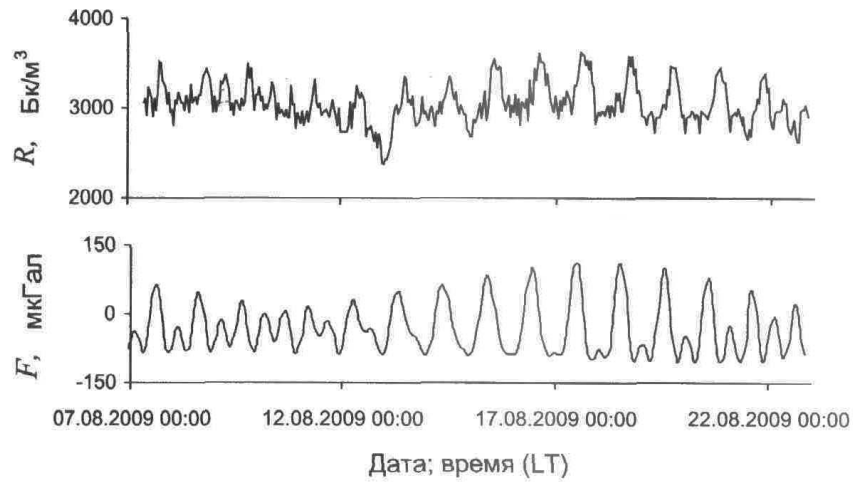
Рис. 8. Дисперсия  $D_z$  электрического поля в приземном слое атмосферы за время регистрации.

### Объемная активность подпочвенного радона

Результаты регистрации объемной активности подпочвенного радона  $R$  в стационарных пунктах наблюдений свидетельствует о значительной изменчивости интенсивности радоновых эманаций со временем. В качестве примера на рис. 9 представлены временные вариации  $R$  для пункта TRY. Данные демонстрируют хорошо выраженную суточную периодичность вариаций  $R$ . Более детальный анализ показывает наличие других периодичностей в вариациях объемной активности подпочвенного радона, периоды которых совпадают с известными периодами основных приливных волн. Во взаимном спектре вариаций  $R$  и  $F$  (рис. 10) отчетливо выделяются пики с периодами  $\sim 12$ ,  $\sim 12,4$  и  $\sim 260$  час, которые соответствуют приливным волнам  $S_2$ ,  $M_2$  и  $M_f$ .

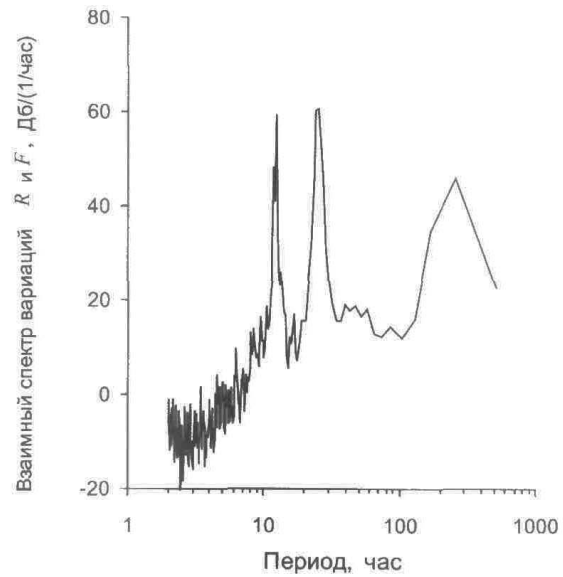
Неоднократно отмечавшееся ранее совпадение периодичностей, а также значимая корреляция между интенсивностью радоновых эманаций и вариациями приливной силы [Спивак, Кожухов, 2004; Адушкин и др., 2006] могут рассматриваться как свидетельство того, что приливная деформация является одним из основных факторов, определяющих режим миграции радона из недр. В нашем случае коэффициент корреляции между вариациями  $R$  и  $F$  достигает 0,7 при некотором запаздывании отклика поля эманаций на приливную силу (рис. 11). Запаздывание реакции радоновых эманаций относительно действия приливной силы составляет примерно 4,5 час и с учетом амплитуды вариаций, которая достигает в среднем 15%, соответствует коэффициенту проницаемости каналом миграции около  $2 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$  [Спивак, Шувалов, 2008].

<sup>1</sup> Резкие, хотя и небольшие по величине перепады температуры воздуха, «наплыв» и деградация облачности

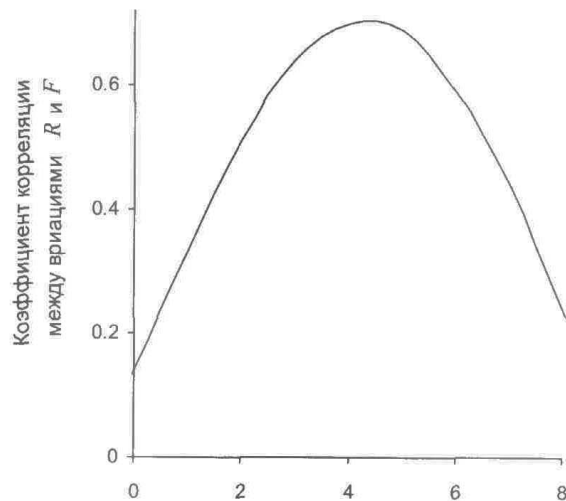


**Рис. 9.** Временные вариации объемной активности подпочвенного радона в пункте TRY.  
 $F$  – вертикальная компонента силы лунно-солнечного прилива.

**Рис. 10.** Взаимный спектр вариаций объемной активности подпочвенного радона и вертикальной составляющей приливной силы (пункт TRY).



**Рис. 11.** Величина коэффициента корреляции между вариациями объемной активности подпочвенного радона  $R$  и вертикальной составляющей приливной силы  $F$  при разных временах сдвига.



Представляет интерес пространственное распределение интенсивности радонных эманаций в широтном направлении, поскольку именно в этом направлении свойства верхних слёев среды существенно изменяются<sup>1</sup>. На рис. 7 приведены изменения средних за время регистрации значений объемной активности подпочвенного радона вдоль субширотного профиля. Данные рис. 7 демонстрируют характерное увеличение интенсивности эманаций по мере приближения к северной и южной окраинам Тункинской впадины. Можно ожидать, что это связано с двумя факторами: 1) по мере приближения скального основания к поверхности глубина заложения источника радона естественным образом уменьшается; 2) геометрическое расхождение потока газа в верхнем слое осадочных пород уменьшается с уменьшением их мощности (в скальном массиве каналы миграции газов представлены крупными трещинами и разломами, раскрытие которых не сильно изменяется с глубиной, поэтому концентрация радона в поверхностном слое скального основания максимальна).

Известно, что напряженность электрического поля в непосредственной близости от земной поверхности в значительной степени определяется интенсивностью радонных эманаций [Грунская, 2002; Кашлева, 2008; Кузнецов, Симкин, 1990; Шулейкин, 2006]. Данные, приведенные на рис. 7, подтверждают значимую корреляцию между объемной активностью подпочвенного радона  $R$ , характеризующего интенсивность его эманаций, и значениями электрического поля в приземном слое атмосферы (коэффициент ранговой корреляции Спирмена составляет в этом случае 0,9 на уровне значимости более 0,95).

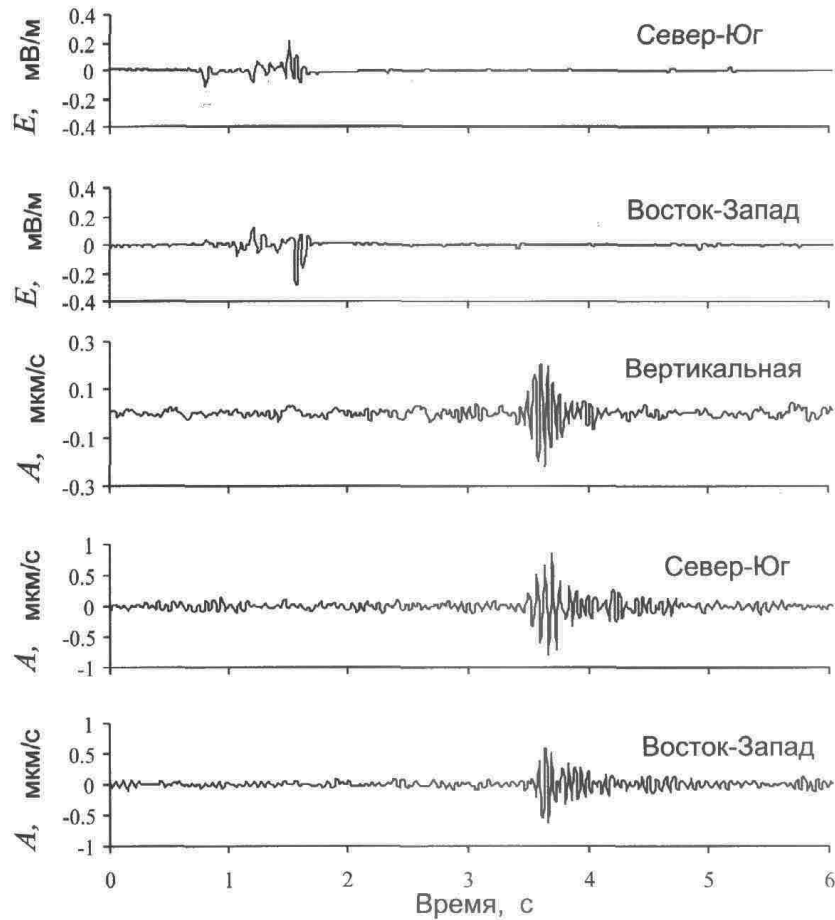
### Напряженность электрического поля в грунте

Характерной особенностью геопотенциала в зонах влияния активных тектонических структур является наличие значительного количества импульсных сигналов, причем в большинстве случаев (более 70%) микросейсмические и электрические сигналы сопутствуют друг другу (рис. 12) [Спивак, Харламов, 2008]. Хорошее совпадение азимутов распространения микросейсмических и электрических сигналов, а также тот факт, что расстояния до источника, определяемые по сейсмике и по времени задержки сейсмического сигнала относительно электрического, близки между собой, свидетельствует о единстве источника сигналов того и другого типов. При этом одним из наиболее вероятных механизмов генерации сигналов является стесненный поворот активных блоков земной коры при релаксации<sup>1</sup> [Соловьев, Спивак, 2009; Лосева и др., 2010].

Расположение одного из пунктов постоянной регистрации (SBR) непосредственно в зоне Тункинского разлома, где сосредоточены основные источники микросейсмических и электрических импульсов релаксационного типа, позволяет определить некоторые свойства источника. Для этого был выполнен анализ электрических

<sup>1</sup> Как уже отмечалось выше срединные участки Тункинской впадины характеризуются наличием достаточно мощного осадочного чехла, в то время как северная и южная окраины впадины представлены выходом скальных пород.

<sup>2</sup> Установление конкретных механизмов разделения электрических зарядов или нарушения токовых систем представляет собой отдельную задачу. Здесь рассматривается обобщенный механический процесс, вызывающий электромагнитные эффекты.



**Рис. 12.** Пример совместной регистрации микросейсмических и электрических импульсов в одном из оперативных пунктов.

и микросейсмических импульсов, регистрируемых одновременно (пример приведен на рис. 13).

В этом случае можно предполагать, что источник импульсов располагается в непосредственной близости от пункта регистрации и, таким образом, параметры регистрируемого сейсмического сигнала (смещение  $u$ , скорость колебаний  $v$  и ускорение частиц среды  $a$ ) совпадают с соответствующими параметрами механического источника.

Одним из основных вопросов при разработке моделей процесса генерации электрических сигналов в земной коре является установление механического параметра, определяющего характеристики электрического импульса. В связи с этим особый интерес представляет рассмотрение связи между амплитудами электрических импульсов  $E$ , регистрируемых в грунте, и параметрами сейсмических сигналов  $u$ ,  $v$  и  $a$ .

В качестве примера на рис. 14 приведены соответствующие зависимости, полученные для одного из периодов регистрации длительностью 6 час.

Данные рис. 14 показывают, что значимая корреляция наблюдается между амплитудой электрического импульса и ускорением в сейсмическом сигнале. Это

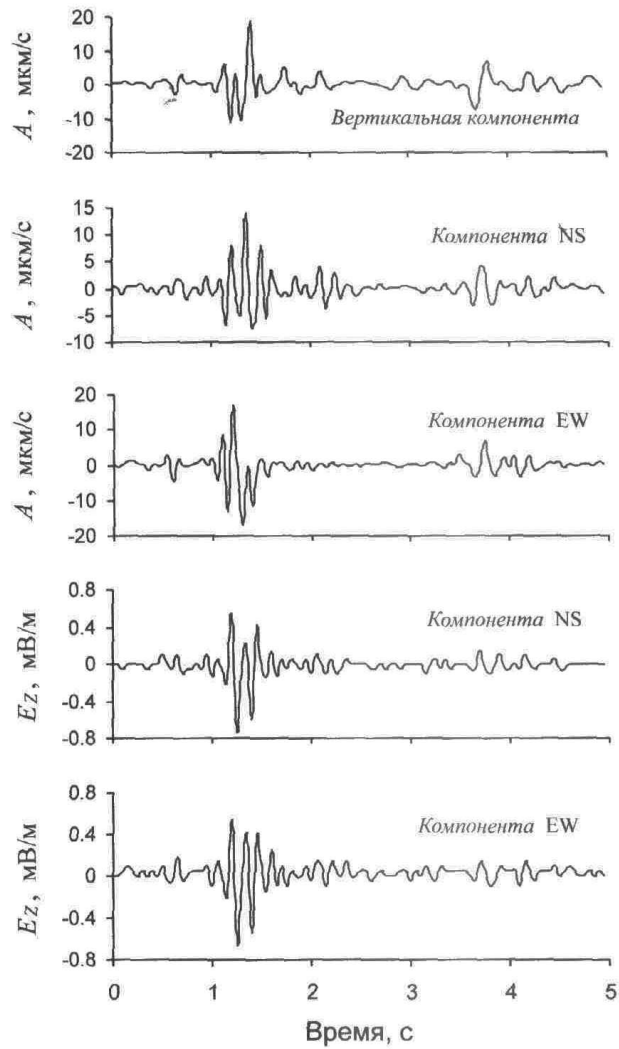


Рис. 13. Пример синхронной записи сейсмического и электрического сигналов.

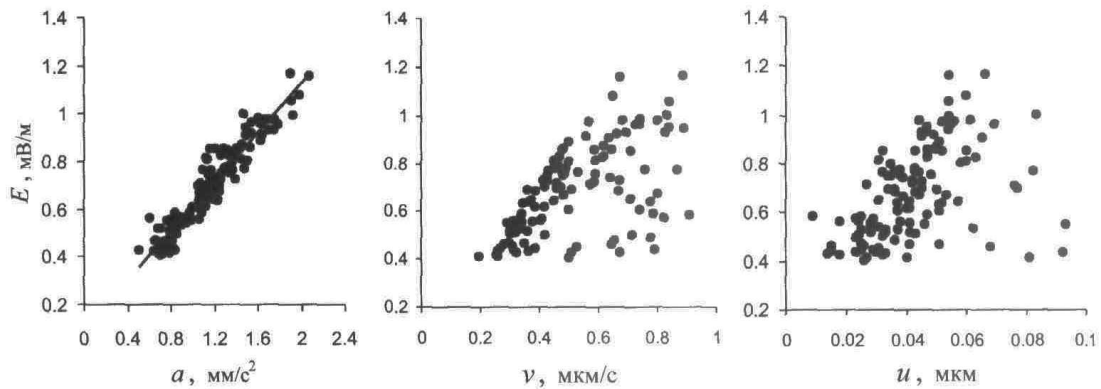


Рис. 14. Корреляционные зависимости между параметрами сейсмического сигнала релаксационного типа: смещением  $u$  (а), скоростью колебаний  $v$  (б), ускорением  $a$  (в) и амплитудой электрических импульсов в грунте  $E$  (пункт SBG; 14.07.2010 г.; начало регистрации 12:00; длительность регистрации 5 час).

может служить одним из указаний на то, что основным механическим параметром, определяющим, а, следовательно, вызывающим электрический сигнал при дифференциальных блоковых движениях в земной коре является ускорение среды (ускорение, испытываемое активной гранью релаксирующего блока).

### Заключение

Выполненные инструментальные наблюдения свидетельствуют о наличии некоторых особенностей геофизических полей в зоне Тункинского рифта.

Характер радоновых эманаций определяется наличием хорошо выраженных периодичностей с периодами, соответствующими периодам основных приливных волн. При этом пространственное распределение средних значений объемной активности подпочвенного радона определяется морфоструктурными особенностями исследуемого участка: на срединных участках Тункинской впадины интенсивность радоновых эманаций заметно ниже по сравнению с окраинными участками, представленными выходом скального основания.

Основное влияние на вариации электрического поля у земной поверхности оказывают, как это обычно и бывает, метеорологические факторы и орография района исследований. К примеру, средние значения напряженности электрического поля, зарегистрированные вдоль профилей в условиях «хорошей» погоды, показывают, что на внутренних участках Тункинской впадины  $E_z$  принимает более низкие значения и характеризуется большей стабильностью по сравнению с участками, расположенными на складчатых структурах. Отмеченная особенность объясняется пространственным характером радоновых эманаций, которые выступают в роли основного ионизатора приземного слоя воздуха. Регистрируемые за время наблюдений аномальные электрические эффекты связаны с естественными (грозовая активность, включая молниевые разряды; изменение состояния атмосферы и т. д.) и техногенными процессами (работа промышленных источников электроэнергии и т. д.) [Локтев, Соловьев, 2010].

Изучаемый район характеризуется невысоким уровнем сейсмического фона с выделяющимся суточным ходом. Амплитуда сейсмических колебаний в дневное время не превышает 0,2 мкм/с и уменьшается в ночное время до 0,03 мкм/с. Увеличение уровня фона в дневные часы в широкой полосе частот связано, в основном, с движением автотранспорта.

Дискретная составляющая поля микросейсмических колебаний и электрического поля в грунте характеризуется наличием достаточно представительной группы импульсных событий малой амплитуды, сопутствующих друг другу. Данные, полученные при регистрации непосредственно в зоне Тункинского разлома, позволили установить важную закономерность, а именно: определяющую роль в инициировании механизма генерации электрических сигналов в грунте играет ускорение частиц среды. Корреляция амплитуды электрических импульсов с величиной смещения и скорости частиц среды не является значимой.

*Исследования выполнены по Программе 7 Отделения наук о Земле РАН «Физические поля Земли и динамика межгеосферных взаимодействий» и финансовой поддержке РФФИ (гранты 09-05-00614-а и 11-05-00096-а).*

## Литература

1. Адушкин В.В., Спивак А.А., Кишкрина С.Б., Локтев Д.Н., Соловьев С.П. Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора-атмосфера // Физика Земли. 2006. № 7. С. 34–51.
2. 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.
3. Грунская Л.В. Электромагнетизм приземного слоя и его взаимосвязь с геофизическими и астрофизическими процессами. Владимир: Владим. гос. ун-т, 2002. 104 с.
4. Кашлева Л.В. Атмосферное электричество. С.-П.: 2008, 116 с.
5. Кречетов А.А., Зайсанов В.А., Оболкин В.А., Шаманский Ю.В. Некоторые результаты совместных наблюдений за изменчивостью электрического поля атмосферы и концентрации аэрозоля на юге Байкала // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 3. С. 243–246.
6. Кузнецов О.Л., Симкин Э.М. Преобразование и взаимодействие геофизических полей в литосфере. М.: Недра, 1990. 269 с.
7. Локтев Д.Н., Соловьев С.П. Комплексные геофизические наблюдения на границе литосфера-атмосфера в районе Байкальской рифтовой зоны // Динамические процессы в геосферах: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2010. С. 250–258.
8. Лосева Т.В., Кузьмичева М.Ю., Спивак А.А. Электрические и магнитные сигналы при стесненных движениях блоков земной коры // Доклады академии наук. 2010. Т. 432. № 5. С. 685–688.
9. Лушина О.В., Гладков А.С., Шерман С.И. Вариации полей напряжений Тункинского рифта (юго-западное Прибайкалье) // Геотектоника. 2007. № 3. С. 69–96.
10. Макухин В.Л., Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Шаманский Ю.В. Газовые примеси и вариации электрического поля атмосферы в приводном слое оз. Байкал // Известия Иркутского гос. университета. Серия «Науки о Земле». 2009. Т. 1. № 1. С. 107–112.
11. Соловьев С.П., Спивак А.А. Электромагнитные сигналы в результате электрической поляризации при стесненном деформировании горных пород // Физика Земли. 2009. № 4. С. 76–84.
12. Спивак А.А., Кожухов С.А. Пространственно-временные вариации природного радона в подпочвенной атмосфере // Доклады академии наук. 2004. Т. 394. № 5. С. 686–688.
13. Спивак А.А., Шувалов В.В. Вариации фильтрационных свойств тектонических нарушений в результате твердого прилива // Локальные и глобальные проявления воздействий на геосферы: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2008. С. 30–43.
14. Спивак А.А., Харламов В.А. Статистические и корреляционные свойства микросейсмических и геоэлектрических импульсов в земной коре // Локальные и глобальные проявления воздействий на геосферы: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2008. С. 236–245.
15. Спивак А.А. Особенности геофизических полей в разломных зонах // Физика Земли. 2010. № 4. С. 55–66.
16. Шулейкин В.Н. Атмосферное электричество и физика Земли. М.: ИГиГ, 2006. 159 с.