УДК 550.371.2

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

^{1,2}Трофименко С.В, ¹Гриб Н.Н.

¹*Технический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Амосова» в г. Нерюнгри, 678960 Республика Саха (Якутия),*

г. Нерюнгри, ул. Кравченко, 16, e-mail: urovsky@yandex.ru

²*Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск, ул. Ким ЮЧена, 65*

Представлены результаты геофизического мониторинга геологической среды в период сейсмической активизации Олекмо-Становой зоны. Установлено соответствие периодов геофизической и сейсмической активизаций. Моделирование двух процессов позволило идентифицировать аномалии в геофизических полях как предвестники землетрясений. Показаны условия применения геофизических методов для прогноза землетрясений.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, геофизический мониторинг, прогноз землетрясения, Южная Якутия.

GEOPHYSICAL RESEARCH ON SOUTH PROGNOSTIC POLYGONS YAKUTIA. PAST AND PRESENT

^{1,2}Sergei V. Trofimenko, ¹Nikolai N. Grib

¹*Technical Institute (branch of) North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov in Neriungry, 16 Kravchenko Str. e-mail: urovsky@yandex.ru*

²*Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia*

The results of the geophysical monitoring of the geological environment in the period of seismic activity Olekmo-Stanovoi zone. The correspondence periods of geophysical and seismic activity. Modeling of the two processes has allowed to

identify anomalies in geophysical fields as the precursors of earthquakes. The conditions of application of geophysical methods to prediction earthquakes.

Keywords: electromagnetic radiation, geophysical monitoring, earthquake prediction, South Yakutia.

Введение

Геофизический мониторинг геологической среды – одно из основных направлений геодинамических исследований, который позволяет дистанционно отслеживать процессы в земной коре. Для проведения мониторинговых наблюдений пункты наблюдений выбираются с учетом активности современных тектонических структур: в зоне влияния Южно-Якутского надвига и южной ветви Северо–Станового разлома, к западному флангу которых приурочены два сильных землетрясения Южной Якутии: Тас-Юряхское 1967 г. и Южно–Якутское 1989 г. с магнитудами $M7$ и $M6,6$ соответственно, а также землетрясения 2005 – 2007 гг.

За время наблюдений отмечено 3 периода повышенной сейсмической активности в ОСЗ: в 1989 г. и 2005–2007 гг. Аномальные изменения в электромагнитных полях, предвещающие землетрясения с энергией более 10^{13} Дж в эти периоды, были ассоциированы с сеймотектоническими процессами в земной коре [3]. Произошедшее землетрясение 20.04.89 г. с энергией $E=10^{16,5}$ Дж ($K = \lg E = 16,5$ – энергетический класс землетрясения) позволило сопоставить аномальные суточные вариации ЭМИ с динамикой афтершоковых последовательностей [4] (Рис. 1).

Изменение напряженности ЭМИ в моменты, предвещающие главное событие 20 апреля 1989 г. и его основные афтершоки 24 и 29 апреля, а также 7 и 17 мая проявилось в виде увеличения амплитуды сигналов в суточных вариациях в течение нескольких суток до события. Погрешность прогноза времени события составила ± 2 суток без указания на характер самого землетрясения: магнитуды, энергетического класса, интенсивности и места события.

Рис. 1. Изменения напряженности ЭМИ в апреле–мае 1989 г. в период Южно-Якутского землетрясения и его афтершоков

Стрелками отмечены моменты сейсмических событий с указанием энергетических классов ($K = \lg E$, где E – энергия землетрясения в Дж), скобками выделены серии аномалий с указанием их порядковых номеров

В течение второго цикла измерений в 2004–2007 гг. в ОСЗ отмечено два периода повышения сейсмической активности. В первом периоде произошло два землетрясения с энергией $E = 1015,7$ Дж – 10.11.2005 и $E = 1014,8$ Дж – 11.12.2005, во втором – также два землетрясения с энергией $E = 1014,6$ Дж – 03.03.2007 и $E = 1014,2$ Дж – 13.03.2007.

Во всех четырех случаях имели место аномальные суточные вариации ИЭМПЗ (Рис. 2, 3), зарегистрированные аппаратурой МГР–1 в каждом из двух пунктов измерений (Нерюнгри, Иенгра), в зоне влияния Северо–Станового разлома и Южно–Якутского надвига [5].

Рис. 2. Вариации ИЭМПЗ в пункте наблюдений «Нерюнгри» с 15.10. по 21.12. 2005 г. в период действия афтершоков землетрясения с энергией в очаге $E = 10^{14,6}$ Дж

Обозначения аналогичны Рис. 1.

Модели геофизических процессов

Основные результаты геофизических исследований заключаются в следующем:

- первая серия аномалий 1989 г. зарегистрирована общей группой, предваряющей основное событие (см. Рис. 1). Первый и второй афтершоки не отмечены аномалиями ЭМИ. Третий афтершок ($K=13,7$) отмечен аномалиями (вторая серия), аналогичными главному толчку.
- четвертый афтершок ($K=13,3$) сопровождался аномалиями, разделенными нормальным суточным фоновым уровнем (серии 3, 4). Аналогичная ситуация проявилась и перед пятым афтершоком ($K=14,8$): аномалия, длительностью около 7 суток, прерывается двух суточным интервалом фоновой интенсивности ЭМИ (серии 5, 6).

В 2005 г. (см. Рис. 2) аномальные амплитуды суточного хода 17–22 октября не сопровождалось сейсмическим событием (серия 1). Первое землетрясение ($K=15,7$) предварялось серией аномалий, в максимуме интенсивности 15-тикратно превышающих нормальный фоновый уровень. После землетрясения в течение 2-х недель вплоть до 28.11. наблюдались аномальные амплитуды суточного хода на фоне многочисленных низкоэнергетических ($K<10$) сейсмических событий. Перед афтершоками $K=12,5$ и $K=14,8$ изменения ИЭМПЗ были аналогичными (серии 4, 5). Следует отметить, что за два месяца до основного события (в сентябре) зарегистрирована аномалия с трехкратным превышением интенсивности сигнала в течение 5-ти суток относительно фонового уровня с отдельным всплеском 17.09. В заключительной стационарной фазе землетрясения не произошло.

Рис. 3. Вариации ИЭМПЗ в пунктах наблюдений «Иенгра-Нерюнгри» с 1 по 25 марта 2007 г. в период действия афтершоков землетрясения с энергией в очаге $E=1014,6$ Дж.

Обозначения аналогичны Рис. 1.

Детальное рассмотрение Рис. 2 приводит к следующим результатам:

- аномальные всплески ЭМИ проявились 2, 4, 7, 9 ноября с максимумом 4-7 ноября;
- амплитуда аномалий более чем в 80 раз превышает максимальную амплитуду суточных вариаций;
- к моменту основного события амплитуда всплесков ЭМИ снизилась в 4 раза;
- максимум суточных вариаций повысился с 900 импульсов 2.11. до 14000 имп. 5.11. с выдержанностью от 1500 до 6000 имп. вплоть до момента основного события;
- землетрясение 10.11.2005 произошло на спаде суточной интенсивности ЭМИ;
- в течение четырех суток после 11.11., т. е. на спаде сейсмической активности, всплесков ЭМИ не наблюдалось;

- с 15.11. – по 25.11. на относительном максимуме сейсмической активности очага появляются аномалии ЭМИ, не связанные с конкретным сейсмическим событием. Они возникают как до, так и во время и после землетрясений;
- все события после 25.11. произошли без аномальных изменений ЭМИ;
- третий относительный максимум сейсмической активности в начале декабря сопровождается интенсивными аномалиями ЭМИ, более чем в 150 раз превышающими амплитуды максимумов суточных вариаций;
- время появления аномалий ЭМИ не связано с временем сейсмических событий;
- группа аномалий по всем каналам проявилась за 7 суток до главного афтершока с $K = 13.5$ [Дж] землетрясения, произошедшего 11.12.2005. Аномалия в одном канале зарегистрирована 7.12., т. е. за 4 дня.

На четвертом относительном максимуме сейсмической активности афтершоков с 12.12. по 20.12.2005 г. амплитуда аномальных всплесков ЭМИ в 60 и более раз превосходит амплитуду суточных вариаций и не связана с конкретными сейсмопроявлениями.

В 2007 г. первая серия аномалий (см. Рис. 3) предвляла землетрясение с энергией в очаге $E = 1014,6$ Дж, которая зафиксирована на обоих пунктах наблюдений. Вторая и третья серии аномалий отмечены в пункте «Иенгра» на фоне многочисленных афтершоков. Четвертая и пятая серии аномалий предвляли второе землетрясение с энергией в очаге $E = 1014,2$ Дж. Шестая и седьмая серии с незначительными отличиями в пунктах наблюдений отмечены на фоне афтершоковых последовательностей второго землетрясения. Практически синфазные аномальные изменения ИЭМПЗ (8 серия) не сопровождались землетрясением. До рассматриваемого периода наблюдений в феврале были выделены аномальные амплитуды с выходом в нормальное поле к 01.03. без сейсмического события.

Детальное рассмотрение временных изменений геофизических полей вследствие сейсмотектонических процессов привело к необходимости решения двух задач: поиск корреляционных зависимостей «аномалии ЭМИ – землетрясение» и определение предельного радиуса (сферы) влияния тектонических процессов на формирование геофизических предвестников землетрясений. Сложности интерпретации, которые при этом возникают, связаны с тем, что групп аномальных сигналов ЭМИ–ИЭМПЗ больше чем землетрясений и, следовательно, при наличии явных предвестников землетрясений нет возможности детерминированного прогноза событий. Это указывает на то, что аномалии ЭМИ в условиях современной активной геолого–тектонической структуры не являются достаточным (100%) признаком возможного повышения сейсмической активности. Вероятность наступления события (отношение числа прогнозных аномалий к общему числу зарегистрированных аномалий) оценивается как $\frac{3}{4}$, или 75%. В этой связи имеет смысл рассмотреть возможные варианты появления аномалий ЭМИ – ИЭМПЗ в соответствие с полученными результатами экспериментальных наблюдений.

Привлекая модель сейсмического процесса в блоковой среде, можно предположить, что аномалии ЭМИ должны проявляться дважды: в период консолидации блоков на начальной стадии формирования очага землетрясения и в период потери устойчивости консолидированных систем блоков, т.е. в периоды наибольшего упруго–кинематического взаимодействия между блоками. Учитывая данные о наблюдениях наклонов в период Южно–Якутского землетрясения [2] впервые предоставленные при анализе геофизических предвестников в период Южно – Якутского землетрясения и его афтершоков, можно заключить, что процесс накопления энергии упругих деформаций и процесс разгрузки среды не симметричны относительно главного события.

Следовательно, первые предвестники будут регистрироваться задолго до землетрясения, так как временной интервал от первых аномалий ЭМИ – ИЭМПЗ до момента землетрясения должен зависеть от скорости накопления упругих

деформаций. Повторные аномалии могут проявляться как непосредственно перед событием, так и после него, т.к. измерения проводятся не в очаге, а на его периферии, а консолидированная область может начать разрушаться с любой точки (наличие в отдельных случаях форшоков землетрясения).

Таким образом, аномалии ЭМИ, выделенные в 1989 г., могут быть разложены по составляющим: афтершоку 28 апреля соответствует две группы аномалий с 27 апреля по 3 мая; афтершоку 7 мая – две группы аномалий с 4 по 11 мая; афтершоку 17 мая – с 12 по 25 мая. Характер изменения суточных аномалий ИЭМПЗ в 2005 и 2007 годах аналогичен вариациям ЭМИ 1989 г., например, серии аномалий 2 – 3 (Рис. 2) соответствуют основному событию с $K=15,7$.

Подтверждением сейсмотектонической природы аномалий ИЭМПЗ может служить отличный характер их проявления в разных пунктах наблюдений. Например, аномальные изменения интенсивности (количества импульсов) в серии 1 и 4, 5 (см. Рис. 3) выделяются в отдельности по каждому пункту наблюдений, но проявляются в различные моменты времени. Следовательно, вследствие выше изложенного данные серии аномалий проявляются как отражение сейсмотектонических процессов. В противоположность этому, причиной аномалий серии 8, синфазно проявившихся на обоих пунктах, могут быть региональные либо глобальные источники возможно не тектонической природы.

Прогноз землетрясений. Обсуждение результатов и выводы

В Южной Якутии впервые были зарегистрированы аномалии в геофизических полях, проинтерпретированные как предвестники сильного ($K=16,5$) землетрясения, произошедшего 21 апреля 1989 г. [6]. Данному успеху предшествовал опыт 10-ти летних непрерывных стационарных и полигонных научных изысканий и близость прогностического полигона (48 км), на котором была установлена измерительная аппаратура к эпицентру проявившегося землетрясения.

Результаты анализа геофизических полей во время формирования очага землетрясения, в момент основного события, после этого землетрясения, моделирование режимов сейсмического и тектонического процессов, положили начало основополагающим принципам прогноза землетрясений в Южной Якутии.

Исследование изменений физико-динамических условий и геофизических полей, геохимической обстановки и других явлений, способных вызывать вариации полей не позволяет установить уверенные критерии или выявить устойчивые взаимно-однозначные связи вариаций геофизических полей с сейсмическими событиями. Это не означает, что возможностей для детерминированного краткосрочного прогноза не существует. Было бы правильно сказать, что на современном этапе развития науки и техники краткосрочный прогноз землетрясений затруднителен.

Изучение вариаций геофизических полей приводит к пониманию того, что непериодические изменения в полях зависят от типа очага, его физико-геологической, динамической и морфо-фациальной модели. Регистрируемые изменения - суть суммарные вариации полей, отражающие общие процессы формирования земной коры.

В составе суммарных вариаций имеются наложенные вариации, ответственные за формирование очага, которые находятся в прямой зависимости от вещественного состава, вмещающего очаговую зону. Необходимо построение физико-геологической (вещественной) модели т.к. физическое поле и его вариацию формирует вещество. Оно же, в основном, определяет распределение поля в пространстве.

Совместный анализ всех результатов наблюдений позволил сформулировать основополагающие принципы построения системы прогноза землетрясений, которые можно представить виде следующих ограничений и методических рекомендаций.

Геофизическим мониторингом геологической среды установлен пространственный параметр влияния сейсмотектонических процессов на формирование аномалий физических полей в пределах активных тектонических структур северной границы Амурской плиты. Построенные модели физических полей [2-6] и сейсмического процесса [1, 8-10] укладываются в концепцию блокового строения геофизической среды [7]. По данному критерию прогнозирование места предстоящего сейсмического события не может быть определено точнее линейного размера неоднородности генерирующих структур.

Обобщение полученных результатов моделирования геофизических полей и процессов указывает на то, что, в конечном итоге, геофизическими методами контролируются геодинамические процессы в целом, а прогнозирование места отдельных землетрясений внутри динамической системы определяется с точностью до пространственных масштабов неоднородностей литосферы.

Разработанные принципы и методические приемы требуют более полного раскрытия ряда научных положений, их элементы должны быть увязаны между собой при возникновении других задач. Но одно бесспорно – каждый вид исследований должен быть четко ориентирован на определенную последовательность эксперимента и направлен на конечный результат – изучение закономерностей сейсмотектонических, геодинамических и физических процессов в земной коре, что, в конечном итоге, и приведет к разрешению основной задачи прогноза землетрясений.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания №5.1771.2014/К Министерства образования и науки.

Список литературы

1. Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М. Сейсмогеодинамика Алдано-Станового блока //Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 1. С. 5-17.
2. Трофименко С.В., Широков И.А., Анохина К. М. Результаты земноприливных наблюдений на территории Южной Якутии //Геофизические исследования в Якутии. Якутск: ЯГУ. 1995. С.55-63.
3. Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Никитин В.М. Анализ вариаций естественного электромагнитного поля Земли в связи с сейсмичностью Южно-Якутского региона // Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии: Материалы совещания. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2007. – Т.1. – С. 105–107.
4. Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Никитин В.М., Муллаяров В.А. Результаты наблюдений за вариациями естественного электромагнитного поля Земли в Южной Якутии // Солнечно–земные связи и предвестники землетрясений: Материалы IV международной конференции 14–17 августа 2007 г., с. Паратунка, Камчатской обл. – Петропавловск–Камчатский: Изд-во ИКИР ДВО РАН, 2007. – С. 453–458.
5. Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Никитин В.М. Вариации электромагнитного поля как отражение сеймотектонических процессов Олекма-Становой зоны //Известия Томского политехнического университета. Том314, №1, 2009. «Науки о Земле». С. 48 -53.
6. Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Никитин В.М. Электромагнитный мониторинг переходной зоны сочленения Алданского щита и Становой складчатой системы // Шестой всероссийский симпозиум «Физика геосфер», 7-11 сентября 2009г., Владивосток. ТОИ ДВО РАН. 2009. С.256-259.
7. Трофименко С.В. Тектоническая интерпретация статистической модели распределений азимутов аномалий гравимагнитных полей Алданского щита // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 3. С. 64–77.
8. Ovsyuchenko, A.N., Trofimenko, S.V., Marakhanov, A.V., Karasev, P.S., Rogozhin, E.A. . Source Zones of Strong Earthquakes in Southern Yakutia as Inferred from Paleoseismogeological Data //Izvestiya Physics of the Solid Earth. 2009.Vol. 45. No. 2. P. 101–117. DOI:10.1134/S1069351309020025.
9. Ovsyuchenko, A.N., Trofimenko, S.V., Marakhanov, A.V. et. al. Detailed Geological–Geophysical Studies of Active Fault Zones and the Seismic Hazard in the South Yakutia Region //Russian Journal of Pacific Geology. 2009. Vol. 3. No. 4. P. 356–373. DOI: 10.1134/S1819714009040046
10. Ovsyuchenko A. N., Trofimenko S. V., Marakhanov A. V., Karasev P. S., Rogozhin E. A. Seismotectonics of the Transitional Region from the Baikal Rift Zone to Orogenic Rise of the Stanovoi Range //Geotectonics. 2010. Vol. 44. No. 1. P. 25–44. Doi:10.1134/S0016852110010036.