

## О подходах к решению некоторых проблем оперативного прогноза сейсмических событий

© 2019 В. А. Паровышный\*<sup>1</sup>, Ю. В. Сохатюк<sup>1</sup>, Д. В. Паровышный<sup>2</sup>,  
О. В. Веселов\*<sup>1</sup>, Е. В. Кочергин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

<sup>2</sup>Сахалинский промышленно-экономический техникум, Южно-Сахалинск, Россия

\*E-mail: valimgg@yandex.ru; o.veselov@imgg.ru

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований по изучению характера временных изменений естественных геофизических полей над залежью газа, расположенной в зоне влияния активного регионального разлома, и выявлению связи этих изменений с сейсмичностью. Установлено, что процесс подготовки сейсмических событий сопровождается резким нарушением стабильности естественных геофизических полей над продуктивными блоками залежи. Рекомендуется использовать этот эффект как метод оперативного прогноза сейсмических событий.

**Ключевые слова:** естественное электрическое поле, геомагнитное поле, термальное поле, оперативный прогноз сейсмических событий.

### Approach to solve specific problems of operative predictions of seismic events

Valery A. Parovyshny\*<sup>1</sup>, Yuri V. Sohatyuk<sup>1</sup>, Dmitry V. Parovyshny<sup>2</sup>,  
Oleg V. Veselov\*<sup>1</sup>, Evgeniy V. Kochergin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

<sup>2</sup>Sakhalin Industrial and Economic College, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

\*E-mail: valimgg@yandex.ru; o.veselov@imgg.ru

The results of experimental studies of temporal changes in natural geophysical fields located in the zone of the active regional fault influence, and above gas deposit have been considered as well as their relationships to seismicity. It has been established that the process of seismic event preparation process is followed by a sharp instability natural geophysical fields on productive reservoirs of the deposit. The effect may be recommended to predict seismic event in operative scale of time.

**Keywords:** natural electric field, geomagnetic field, thermal field, operational forecast of seismic events.

### Введение

Обращаясь к проблемам исследования сейсмичности, необходимо выделить в них прогностическую составляющую и обозначить ее как наиболее важную и нерешенную задачу. Решение задач прогноза сейсмических событий осуществляется в сейсмологии различными способами. По оценке сахалинских сейсмологов, имеется определенный успех в области долгосрочного и среднесрочного прогнозов [Тихонов, Ким, 2008, 2009]. Большим достижением в области средне-

срочного прогноза считается определение «сейсмических циклов» и «сейсмических брешей» первого и второго родов [Моги, 1988]. При решении этой проблемы находят практическое применение законы подобия о распределении интервалов времени между событиями и зависимости частоты их повторяемости от энергетического класса [Шуман, 2013]. И.П. Добровольский [2009] отмечает определенные успехи в области вероятностного и детерминированного прогноза. В то же время, ссылаясь на тридцатилетний

опыт исследований на среднеазиатских полигонах, он говорит об отсутствии положительных результатов в области эмпирического прогноза – исследований предвестников, направленных на создание методики краткосрочного прогноза. И констатирует, что экспериментальных данных в области прогноза явно недостаточно.

В научном сообществе укоренилось мнение о принципиальной невозможности осуществления краткосрочного прогноза землетрясений, а следовательно, и о бессмысленности дальнейшего научного поиска. Пессимистические выводы, сделанные на совещании «Оценка проектов по прогнозу землетрясений» (Лондон, 1996 г.), отразились в следующих основных постулатах: не существует физической основы прогноза отдельного землетрясения, статистический подход предпочтительнее исследований физических процессов (см.: [Николаев, Савин, 2014]). Какими бы ни были взгляды на прогноз, этой проблемой с разной степенью активности продолжают заниматься многие научные подразделения, осознавая, что практическое значение имеет лишь такой прогноз, который содержит точные сведения о месте (пространственных координатах), времени и энергии предстоящего сейсмического события. Разработка методики такого прогноза сейсмических событий – основная задача представленных здесь исследований.

Экспериментальные исследования по изучению связи временных изменений естественных геофизических полей над залежью газа с сейсмическими событиями проводятся лабораторией геодинамики и морской геологии Института морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН с 2003 г.

В исследованиях на Южно-Луговском геофизическом полигоне [Паровышный и др., 2008, 2016] нами было показано, что естественные геофизические поля нестабильны над залежью углеводородов (УВ). Период проявления нестабильности выражается резким возмущением полей и начинается за несколько часов до предстоящего сейсмического события. По этому признаку время предстоящего сейсмического события может

быть определено не менее чем за 4 ч до реализации независимо от его магнитуды, если эпицентр этого события находится в радиусе 650 км от места наблюдений. Там же [Паровышный и др., 2016] был обоснован путь решения задачи об определении координат эпицентров предстоящих сейсмических событий с использованием синхронных наблюдений за естественными геофизическими полями как минимум на 3 полигонах, расположенных не на прямой линии на расстоянии более 200 км друг от друга.

Для реализации данной задачи в августе 2016 г. был организован стационарный пункт комплексных геофизических наблюдений на п-ове Ламанон (далее Ламанонский полигон). Место заложения данного полигона было выбрано на основе результатов комплексных геофизических и геохимических исследований на п-ове Ламанон в 2007 г. [Отчет... , 2008]. Здесь по нашей методике определения продуктивности в отношении нефтегазоносности [Паровышный и др., 2008; Parovyshny et al., 2015] исследовано 5 перспективных объектов, три из них по комплексу признаков признаны продуктивными [Отчет... , 2008]. Стационарный пункт размещен на объекте «Каменский», который соответствует всем необходимым требованиям, предъявляемым к полигону, предназначенному для наблюдений за естественными геофизическими полями с целью отработки методики прогноза сейсмических событий. Полигон расположен над прогнозируемой залежью УВ, удален от населенного пункта – источника техногенных помех – и имеет место для размещения азимутально ориентированной дипольной установки для наблюдения за естественным электрическим полем (ЕП) с малым перепадом высот. Наблюдения на Южно-Луговском полигоне производились с 25 мая по 28 ноября 2016 г., на Ламанонском – с 14 августа по 10 сентября 2016 г. Местоположение полигонов показано на рис. 1. Расстояние между полигонами 210 км.

В качестве источника дополнительной информации о предстоящих сейсмических событиях в работе рассматриваются материалы магнитотеллурического зондирования (МТЗ), полученные в летне-осенние полевые

периоды 2015–2017 гг. отрядом геофизиков Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева под руководством В.М. Никифорова по договору о сотрудничестве между ИМГиГ и ТОИ ДВО РАН. В разделе «Результаты...» демонстрируются отдельные фрагменты записи данных МТЗ в нашей обработке и интерпретации.

На Южно-Луговском геофизическом полигоне (рис. 2) в 2003, 2004 и 2006 гг. выполнено 9 циклов комплексных (гравиметрических и термометрических) наблюдений по сети профилей, пересекающих все продуктивные блоки месторождения. По результатам наблюдений установлены основные признаки продуктивности:

1. В контуре продуктивности гравитационное поле нестабильно во времени. Разности значений  $\Delta g_n$  между циклами наблюдений достигают величины  $\pm 0.16$  мГал.

2. Продуктивные блоки структуры характеризуются максимумами нестабильности гравитационного поля и относительными максимумами температур.

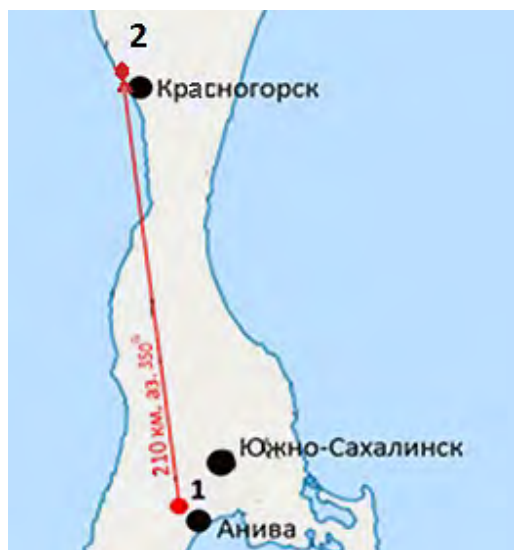
3. Гравитационное и термальное поля над залежью меняют характеристики синхронно. Повышению напряженности гравитационного поля в контуре залежи соответствует повышение температур, и наоборот: понижение

напряженности гравитационного поля сопровождается понижением уровня термального поля.

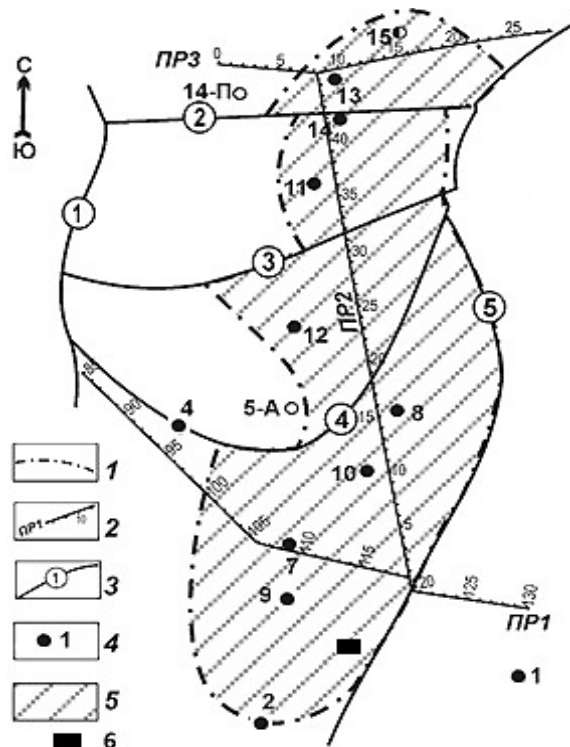
4. В период прохождения естественного сейсмического импульса в контуре залежи происходит повышение температуры.

Необходимо отметить, что эффекты, аналогичные регистрируемым нами, получены в разное время и в разной последовательности другими исследователями. Например, эффект нестабильности гравитационного поля над месторождениями УВ, впервые обнаруженный сотрудниками ИГРГИ АН СССР, достаточно подробно описан в работах А.И. Волгиной [Волгина, Кононков, 1987; Волгина, 1990]. Искажение амплитуд лунно-солнечных вариаций гравитационного поля, предшествующее близким землетрясениям, зафиксировано грузинскими геофизиками [Балавадзе, Картвелишвили, 1995].

Использование залежей УВ в качестве индикатора для прогноза сейсмических



**Рис. 1.** Схема расположения Южно-Луговского (1) и Ламанонского (2) стационарных пунктов. Координаты центров установок ЕП: Южно-Луговской полигон –  $46^{\circ}42'10''$  с.ш.,  $142^{\circ}28'00''$  в.д.; Ламанонский –  $48^{\circ}32'19''$  с.ш.,  $141^{\circ}59'00''$  в.д.



**Рис. 2.** Южно-Луговской геофизический полигон. Расположен на Южно-Луговском месторождении газа. 1 – границы залежи, 2 – профили комплексных геофизических наблюдений, 3 – разрывные нарушения и их номера, 4 – поисковые скважины и их номера, 5 – площадь залежи, 6 – стационарный пункт, действовавший в 2014–2016 гг.

событий отражено в работе [Абдуллаев и др., 2011]. В ней рассматриваются вариации кажущегося удельного электрического сопротивления горных пород за период 2000–2005 гг., полученные вертикальным электрическим зондированием на постоянном токе с разносом питающих электродов  $AB = 300$  м на нефтегазовом месторождении Димитровское, которое расположено на западном побережье Каспия в сейсмоактивном районе Дагестана. Перед сильными землетрясениями в Каспийском регионе с магнитудами  $M = 6.8–7.4$  зарегистрированы импульсные увеличения кажущегося сопротивления, превышающие в десятки раз погрешность измерительной установки. Увеличения кажущегося сопротивления перед сильными землетрясениями авторы связывают с выходом газа из месторождения по трещинным зонам горных пород, проницаемость которых связана с воздействием меняющихся в зоне подго-

товки землетрясения тектонических напряжений. Относительные максимумы температур над продуктивными структурами углеводородов известны из работ [Осадчий и др., 1976; Осадчий, 1990].

Нужно отметить также, что использование дипольной установки ЕП для определения времени предстоящего события возможно, видимо, не только над залежью УВ. Успешное применение 9-канальной установки в г. Вакаяма (Япония) в августе 1993 г. продемонстрировал М. Джонстон [Johnston, 1997]. Он описал эффекты возмущений естественного электрического поля перед сейсмическими событиями с магнитудами 3.1 и 4.2.

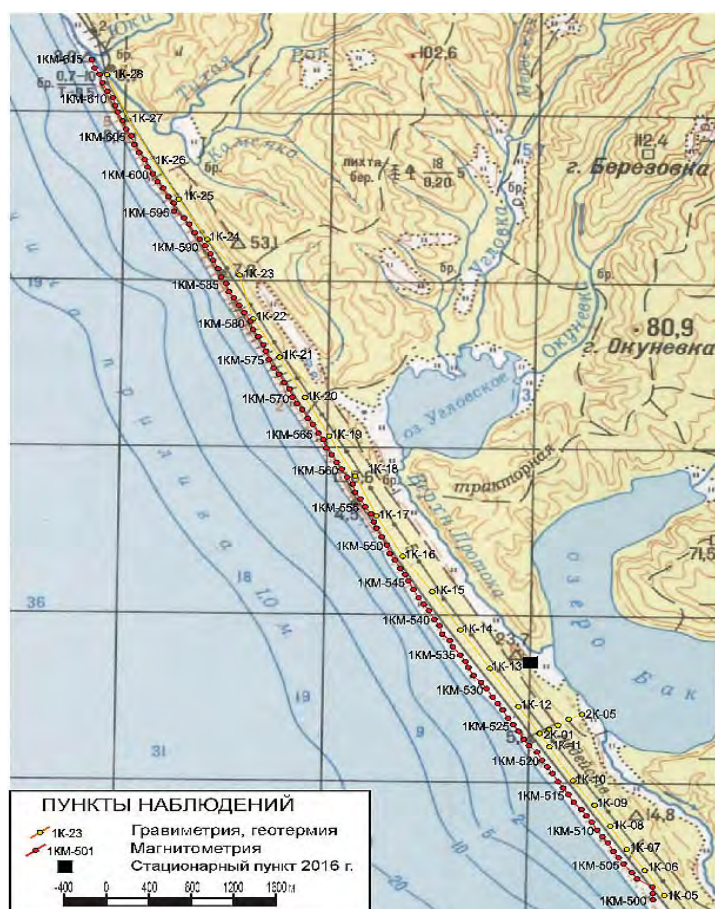
Существование объектов с повышенной чувствительностью к процессу подготовки сейсмических событий отмечено И.П. Добровольским [2009], но он не выделил залежи УВ в особый ряд. Однако нами эффекты в естественных геофизических полях, соответствующие процессу подготовки сейсмического события, зафиксированы только над залежью газа. Попытки наблюдений вне контуров залежи не имели необходимого результата.

Структура и особенности строения Южно-Луговского месторождения газа подробно изложены ранее [Паровышный и др., 2008; Parovyshny et al., 2015], там же представлена методика профильных геофизических наблюдений.

Материалы по Ламанонскому участку ранее не публиковались, поэтому ниже приводятся краткая характеристика структуры и основные данные о ее продуктивности.

Структура выделена по данным сейсморазведочных работ МОВ ОГТ 120-кратного прослеживания, выполненных в 2007 г. [Отчет... , 2008]. В это же время здесь проведено 3 цикла комплексных геофизических наблюдений (высокоточные гравиметрические, термометрические, магнитометрические).

Сеть наблюдений 2007 г. показана на рис. 3, основные результаты наблюдений – на рис. 4.



**Рис. 3.** Расположение стационарного пункта на Ламанонском полигоне в 2016 г. относительно сети комплексных геофизических наблюдений 2007 г. Удален от Южно-Луговского полигона на 210 км по азимуту 350° [Отчет... , 2008].

Ламанонский пункт 2016 г. (см. рис. 3) заложен на основании 1-го и 2-го критериев оценки продуктивности, приведенных выше, а также по наличию аномально высокой концентрации метана по вытяжкам из шпуров в пределах изучаемого объекта. Фрагмент строения структуры и один из критериев наличия залежи УВ (аномально большие разности наблюдаемых значений силы тяжести  $\Delta g_H$ ) представлены на рис. 4.

Структура развита в неогеновых терригенных отложениях маруямской ( $N_{1-2}mr$ ), курасийской ( $N_1kr$ ) и верхнедуйской ( $N_1vd$ ) свит. Вероятно, структура расположена в аллохтоне, в основании ограничена плоскостью надвига. Залежь газа предполагается в отложениях маруямской и верхнедуйской свит; возможно, продуктивен блок предположительно палеогеновых отложений в интервале глубин 2400–3000 м проектной скважины.

#### Аппаратура и методика наблюдений

Комплексные геофизические наблюдения проводились на стационарных пунктах, расположенных над продуктивными блоками залежи углеводородов, комплексом геофизических методов, включающим электробиофизику (метод естественного электрического поля), магнитобиофизику, термометрию.

Электробиофизические наблюдения производили цифровой 6-канальной компьютеризированной станцией от 6 диполей, ориентированных от общей точки пересечения по истинным азимутам через  $30^\circ$ . Дискретность

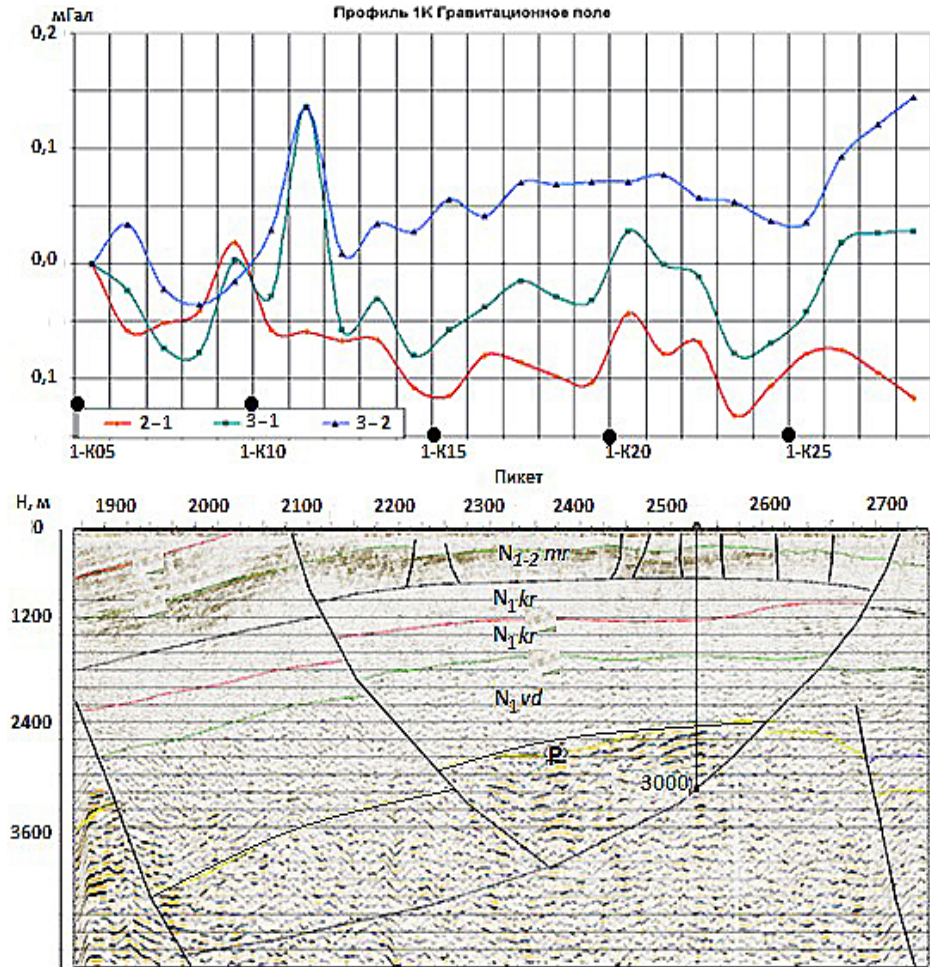


Рис. 4. Каменская структура. Вверху графики разностей наблюдаемых значений гравитационного поля ( $\Delta g_H$ ) для профиля 1К, внизу – временной сейсмогеологический разрез. На пикете 2550 показана проектная скважина глубиной 3000 м. Вверху 2–1, 3–1 и 3–2 означают разницу между циклами наблюдений.

измерений 10 с по каждому каналу, точность определения  $\Delta U = \pm 0.5$  мкВ. Станция позволяет накапливать информацию в собственной памяти, которая периодически скачивается в компьютер, подвергается дальнейшей обработке и архивируется. Обеспечивается просмотр текущего состояния ЕП в графической форме по каждому каналу.

Магнитометрические наблюдения 2015 и 2017 гг. выполнялись феррозондовым трехкомпонентным магнитометром Lemi-025, точность определения по каждому вектору не менее  $\pm 0.01$  нТл, дискретность регистрации 1с. Магнитометр накапливает информацию на сменных CD-картах и обеспечивает просмотр текущего состояния поля на дисплее.

Термометрические наблюдения проводили цифровой компьютеризированной станцией от датчиков, погруженных в скважины

на глубину до 5.5 м. Точность определения температур  $\pm 0.01$  °С. Дискретность записи 1 мин. Показания также фиксируются на CD-картах и просматриваются на дисплее в текущем режиме.

### Результаты и обсуждение

Полученная информация неравноценна по значимости. Наиболее информативны данные ЕП, которые в графической форме позволяют определить время предстоящего сейсмического события и в большинстве случаев направление от места наблюдений на эпицентр. Данные магнитометрии и термометрии используются для подтверждения

факта события и более точного определения времени предстоящего события.

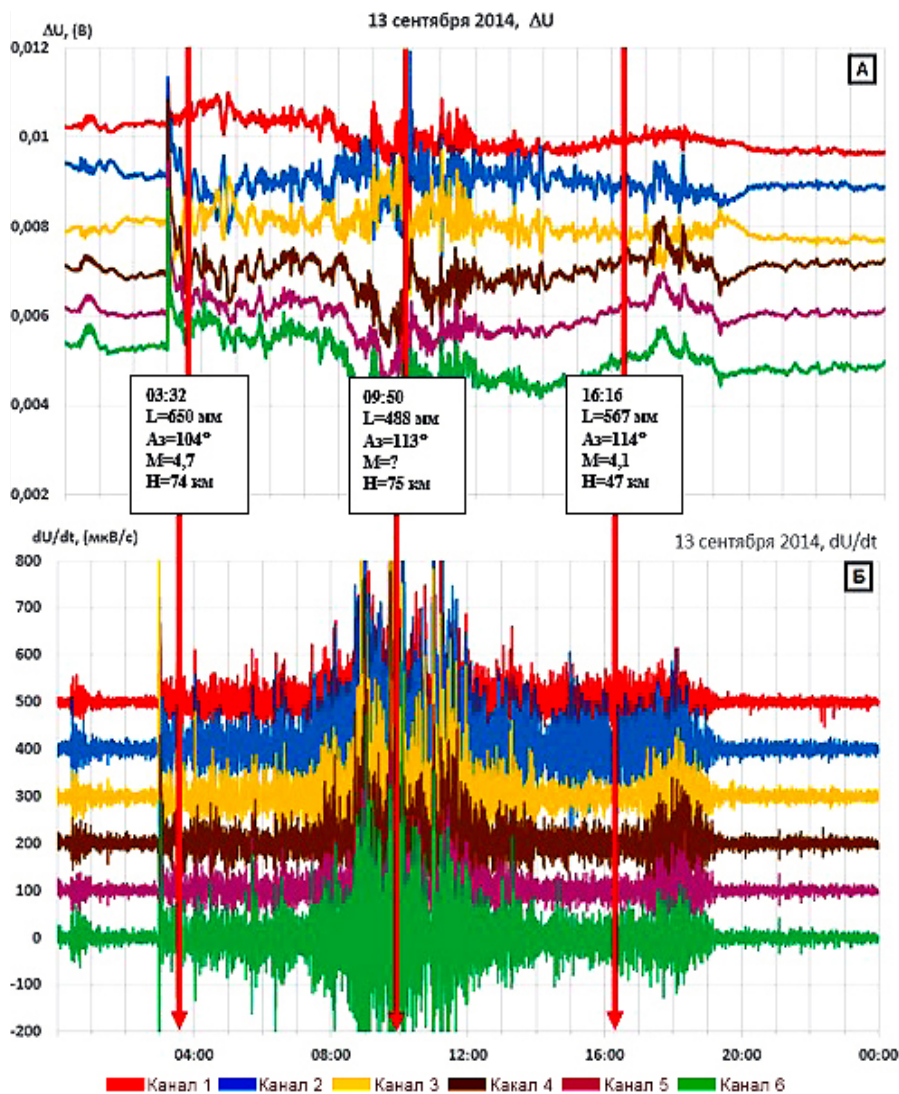
Предыдущими исследованиями на Южно-Луговском геофизическом полигоне [Parovyshny et al., 2015; Паровышный и др., 2016] были установлены критерии определения времени предстоящего сейсмического события и намечены пути решения задачи определения координат эпицентра этого события.

В полевые периоды 2014–2017 гг. ставилась задача выявления главной составляющей определения координат – азимутального направления от пункта наблюдений на эпицентр. Успешное решение этой задачи связано прежде всего с местоположением

дипольной установки ЕП. Она должна располагаться над продуктивным блоком залежи УВ, в котором отбор газа не производится. При этом объем запасов УВ в ловушке существенно значения не имеет. Пункт наблюдений должен быть удален от жилых и производственных объектов, линий электропередач и других коммуникаций. Данным требованиям соответствовали стационарные пункты, расположенные в южном блоке Южно-Луговского месторождения газа (рис. 2) и на п-ове Ламанон (рис. 3).

Фрагменты суточных записей естественных геофизических полей, полученные в данный период времени в графической форме, представлены ниже.

На рис. 5 с помощью графиков  $dU$  (рис. 5А) и графиков градиентов  $dU/dt$  (рис. 5Б) показана реакция ЕП на серию



**Рис. 5.** Реакция ЕП на серию сейсмических событий 13.09.2014. А – графики  $\Delta U$ , Б – графики градиентов  $dU/dt$ . Здесь и далее вертикальными красными стрелками отмечено время события, в табличках на стрелках – параметры события: L – расстояние от места наблюдения до эпицентра, Az – азимут от места наблюдений на эпицентр, M – магнитуда, H – глубина очага.

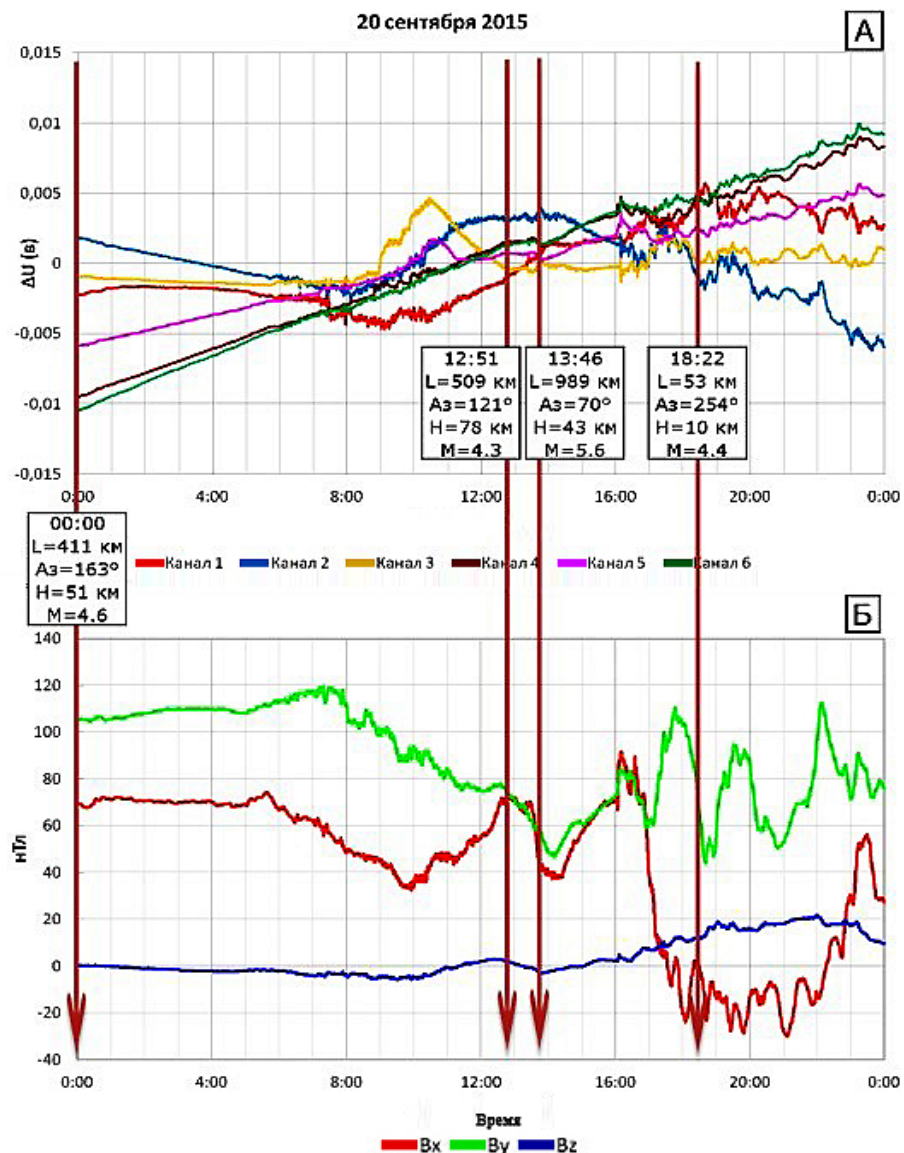
событий 13 сентября 2014 г. Первое событие произошло в 03:32. На графиках  $\Delta U$  читается четкий сигнал в виде пиков по всем каналам в 03:00. Интервал времени между сигналом и временем события составляет всего 32 мин, что является исключением из практики наблюдений. Во всех записанных ранее эпизодах (более 300) сигнал о предстоящем событии поступал примерно за 4 ч до его реализации. В отличие от графиков  $dU$ , на графиках градиентов  $dU/dt$  сигнал о событии в виде резких возмущений поля определяется в 00:15, т.е. разность между началом сигнала и временем события составляет более 3 ч. Здесь же следует отметить двухчасовой период стабилизации поля, предшествующий событию. Эпизоды событий с таким фрагментом записи не постоянны, но отмечаются довольно часто. Они были ранее представлены в работах [Parovyshny et al., 2015; Паровышный и др., 2016].

Использованный здесь и применяемый далее способ визуализации результатов наблюдений в виде градиентов поля дает возможность выделить полезный сигнал, не имеющий четко выраженной формы в истинных значениях поля, а также определить время предстоящего события на 1.5–2 ч раньше, чем по  $\Delta U$ . Таким образом, скорость изменения электрического поля является более чувствительной характеристикой в сравнении с его относительными изменениями.

Далее предлагается анализ записей измене-

ний ЕП (графики  $\Delta U$ , рис. 6А, и графики градиентов, рис. 7А) и геомагнитного поля (рис. 6Б и 7Б), характеризующих серию событий 20 сентября 2016 г.

За этот период сейсмостанциями Сахалина зарегистрировано 4 события. Первое, в 0:00, не рассматривается, поскольку интервал записи, предшествующий ему, расположен в записи за 19.09.2015. Третье событие, в 13:46, слабо отражено в полях по причине большой удаленности эпицентра от пункта наблюдений. Отражение события в 12:51 рассматривается подробно благодаря наличию прогностических признаков по нескольким параметрам.



**Рис. 6.** Реакция естественных электрических и геомагнитных полей на сейсмические события 20.09.2015. А – графики ЕП ( $\Delta U$ ); Б – графики геомагнитного поля по составляющим: Vx, Vy – горизонтальные, Vz – вертикальная.

Отметим следующие моменты. На графиках ЕП (рис. 6А) возмущения поля, предшествующие событию, начинаются в 7 ч, примерно за 5 ч 50 мин до его реализации. Наибольшая амплитуда сигнала отмечена по каналу 3 (диполь ориентирован по азимуту 60°). На графиках геомагнитного поля (рис. 6Б) меридиональная составляющая ( $V_x$ ) реагирует на событие одновременно с ЕП, но широтная составляющая ( $V_y$ ) резко отклоняется от тренда в 5:40, примерно за 7 ч 50 мин до события. На графиках градиентов ЕП (рис. 7А) начало возмущений четко отмечается в 5:00 по каналам 1 и 2, менее выражено по каналу 6. Графики градиентов геомагнит-

ного поля (рис. 7Б) практически синхронно повторяют графики градиентов ЕП.  $V_z$  здесь не информативна.

Резкое возмущение ЕП по всем каналам и геомагнитного поля по горизонтальным составляющим, характерное для следующего события, произошедшего в 18:22, зарегистрировано в 16:22. В данном случае сигнал, предшествующий событию, хорошо опознается за 2 ч 38 мин до его реализации. Отнесенность к рассматриваемому событию более ранних колебаний неоднозначна, поскольку они искажены колебаниями, вызванными двумя предыдущими событиями. Здесь наибольшая амплитуда сигнала в ЕП фиксируется по каналу 4

(диполь ориентирован по азимуту 90–270°), с косвенным подтверждением широтного удаления источника от пункта наблюдений по горизонтальным составляющим геомагнитного поля. Таким образом, азимутальное направление на источник рассматриваемого события определяется достаточно уверенно.

Анализ изложенного приводит к следующим выводам.

1. Визуализация наблюдений в градиентах полей позволяет получить сигнал о предстоящем сейсмическом событии примерно на 2 ч раньше, чем по графикам в истинных значениях.

2. По наибольшей амплитуде сигнала можно определить примерное азимутальное направление от пункта наблюдений на эпицентр предстоящего события. Здесь необходимо сделать следующие пояснения. Ста-

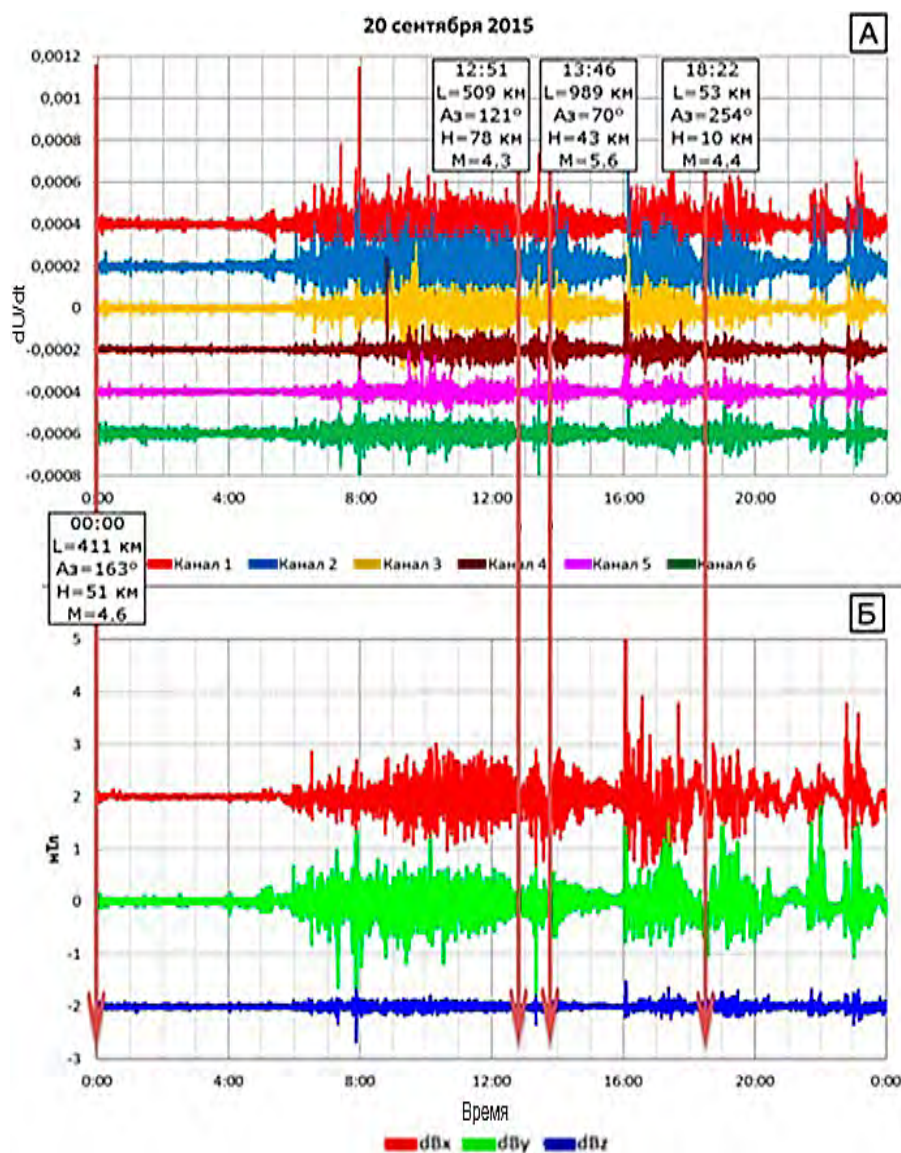


Рис. 7. Реакция естественных электрических и геомагнитных полей на сейсмические события 20.09.2015. А – производные естественного электрического поля ( $dU/dt$ ); Б – производные геомагнитного поля ( $dx/dt$ ,  $dy/dt$ ,  $dz/dt$ ).



ционарный пункт наблюдений, на котором получены исходные данные для демонстрируемых здесь графиков, организован в 2014 г. До 2014 г. стационарный пункт находился севернее, у скв. № 12 (рис. 2), где ориентировка сигнала определялась практически всегда по диполю, ориентированному на эпицентр события. На пункте 2014 г. сигналы ЕП, принимаемые от источников, расположенных в восточном секторе относительно пункта наблюдений, имели большую амплитуду по каналам, ориентированным на 60° против часовой стрелки от истинного направления. Это отклонение регистрируется устойчиво в период наблюдений в полевые сезоны 2014–2017 гг. Вероятно, этот эффект связан с электрической анизотропией залежи газа, его следует учитывать без дополнительного изучения и при определении направления вводить поправку +60°. При организации пункта наблюдений над другой залежью УВ поправка может быть другой. При запуске аппаратуры в рабочий режим необходимо ее тестирование путем сравнения азимутов, вычисленных по координатам эпицентров и полученных от официальных источников, с реально определяемыми аппаратурой ЕП.

3. В геомагнитном поле сигналы о предстоящих событиях хорошо выражены по горизонтальной составляющей Ву, указывая на удаление источника от пункта наблюдений в широтном направлении.

Далее рассматриваются результаты син-

хронных наблюдений естественного электрического поля на Южно-Луговском и Ламанонском стационарных пунктах 16 августа 2016 г. (рис. 8). Графики представлены в градиентах ЕП.

Фрагмент записи представляет отражение в ЕП серии сейсмических событий, эпицентры пяти из которых расположены к северу от полигонов с разностью расстояний около 200 км. Время событий по выявленным ранее признакам в данном случае определить невозможно.

Из сопоставления записей событий следует очевидный вывод о том, что в записи, полученной на Ламанонском пункте, рас-

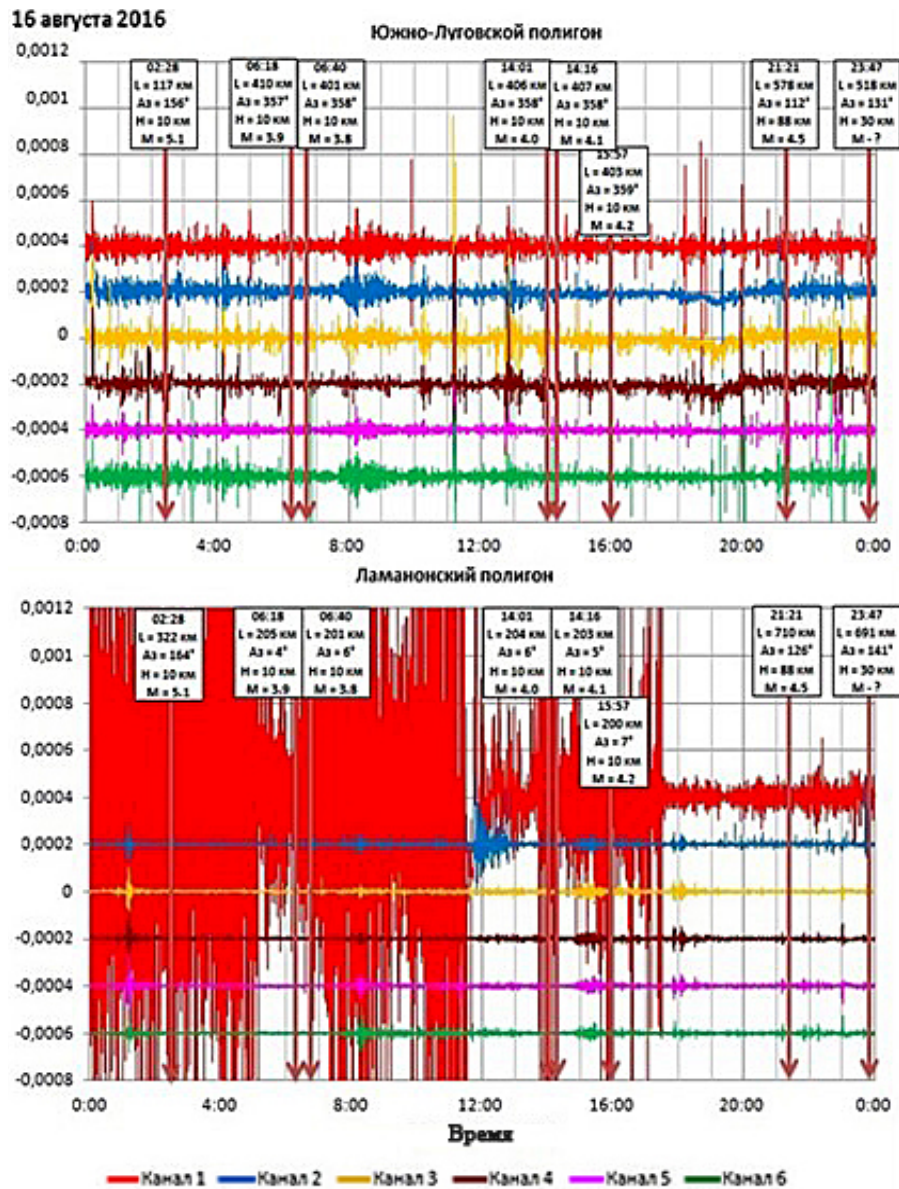


Рис. 8. Сопоставление графиков производных ЕП по результатам наблюдений на Южно-Луговском и Ламанонском полигонах.

положенном на 210 км ближе, чем Южно-Луговской, амплитуда сигнала по каналу 1, ориентируемому близко к направлению на эпицентры событий ( $360^\circ$ ), на несколько порядков выше, чем в записи, полученной синхронно на Южно-Луговском пункте. Нетрудно представить, что при нахождении пункта наблюдений на 300–400 км севернее Ламанонского участка область проявления событий может быть определена даже без четкой дифференциации сигнала по каналам.

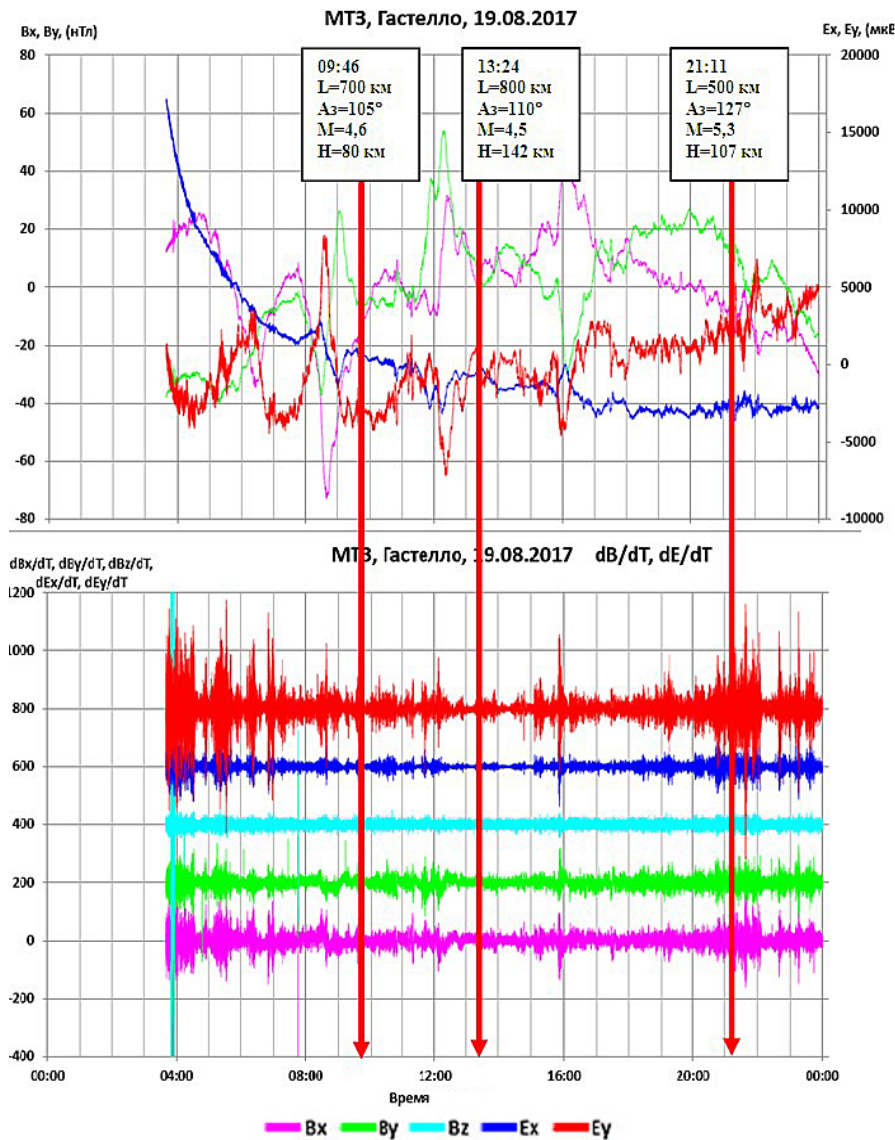
Далее сравним результаты наблюдений по записям на Южно-Луговском и Ламанонском полигонах и по данным МТЗ в нашей обработке и интерпретации.

На рис. 9 представлены результаты наблюдения ЕП и геомагнитного поля по горизонтальным составляющим в истинных значениях и в градиентах. Запись получена на пункте, расположенном в районе пос. Гастелло (266 км на ССВ от Южно-Луговского полигона). Оба графика показывают достаточно хорошо выраженное возмущение полей до зарегистрированных событий 19.08.2017 примерно с теми же характеристиками, что зафиксированы станциями ЕП применяемого нами комплекса. Здесь хорошо выражены элементы полей, позволяющие определить время событий, но отсутствуют критерии для определения направлений на эпицентр

событий из-за меньшего количества диполей на станции МТЗ.

Далее на рис. 10 представлены фрагменты записи изменений естественного электрического поля, полученные 7 августа 2017 г. на Южно-Луговском полигоне. Они характеризуют период подготовки и реализации двух сейсмических событий.

Для сравнения на рис. 11 представлена запись ЕП и геомагнитного поля по данным МТЗ, полученная в районе пос. Нефтегорск (удаление от Южно-Луговского полигона на 725 км к северу), характеризующая те же события. Здесь обнаруживается хорошая корреляция признаков событий, зарегистрированных сейсмостанциями Сахалина в 03:08 и в 15:25. Последнее событие записано от источника, удаленного от Южно-Луговского полигона на 1258 км, что превышает



**Рис. 9.** Состояние ЕП и геомагнитного поля в период подготовки и реализации сейсмических событий 19.08.2017 по данным МТЗ (пункт в 266 км на ССВ от Южно-Луговского полигона). Вверху графики в истинных значениях полей, внизу – в градиентах по составляющим.

предел уверенного приема сигнала имеющейся аппаратурой, тем не менее такие эпизоды неоднократно отмечались и в практике предыдущих наблюдений. Пункты МТЗ также удалены от эпицентров событий на 1660 и 1150 км, но запись хорошо сопоставляется с записью, полученной на Южно-Луговском полигоне. Здесь же нужно отметить характерное возмущение полей, предшествующее событию, которое должно быть реализовано в интервале 10–11 ч, но его регистрация в официальном каталоге сейсмической службы отсутствует. В практике наблюдений такие эпизоды ранее не отмечались. Причины проявившегося эффекта пока неясны.

Таким образом, материалы МТЗ могут существенно дополнить полученную применяемым комплексом информацию, а метод МТЗ может быть использован как в комплексе, так и автономно в целях увеличения плотности сети наблюдений. Кроме того, при наблюдении данным методом можно получить сведения о геологическом разрезе в точке зондирования, что в свою очередь будет способствовать пониманию геодинамических процессов, отражаемых в естественных геофизических полях.

Заканчивая представление фактического материала, необходимо обратиться к результатам термометрических наблюдений, которые включены в применяемый комплекс и в некоторых случаях имеют существенное значение при расшифровке сигналов, поступающих от источников возмущений

полей. На фрагменте записи 26 июня 2016 г., выполненной на стационарном пункте Южно-Луговского полигона (рис. 12), показана реакция температурного поля на событие, зарегистрированное в 12:07. В данном случае использовалась станция температурного мониторинга, сконструированная и изготовленная старшим инженером лаборатории геодинамики и морской геологии Ю.В. Сохатюком. Датчик температуры погружен на глубину 5.7 м, имеет разрешение 0.01 °С. Для сглаживания периодов перехода порога разрешения проведена линия тренда, по которой прослеживается плавное увеличение температуры на 0.04 °С с 0 до 11 ч. Второе событие,

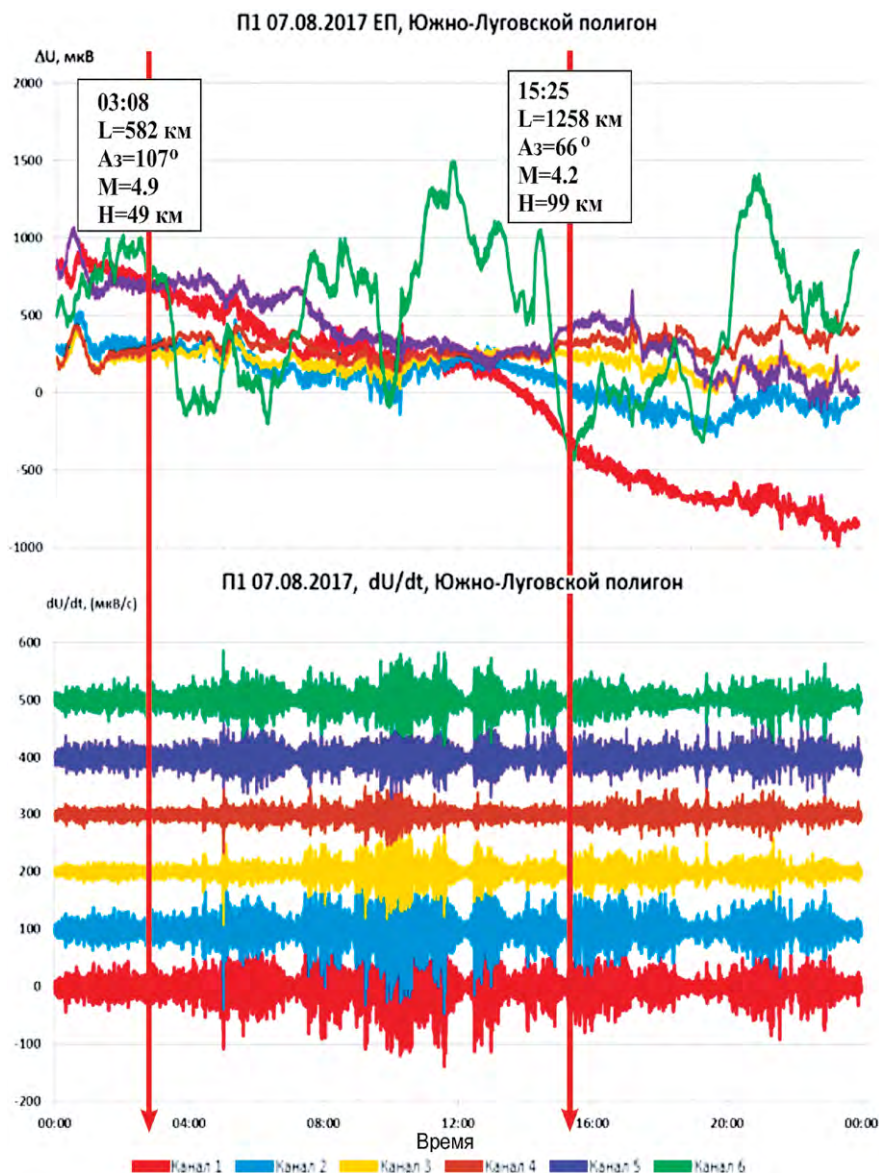


Рис. 10. Реакция ЕП на сейсмические события 7.08.2017 по записи на Южно-Луговском полигоне. Вверху графики в истинных значениях полей, внизу – в градиентах.

в 19:55, из-за большой удаленности от места наблюдений в термальном поле не выражено.

Показанный эпизод представляет наиболее часто встречаемую форму в характере изменения температурного поля в период подготовки сейсмического события. Однако, как и в других полях, в начале интервала

записи, предшествующей событию (как правило, за 6–8 ч до него), единственным устойчивым признаком является резкое отклонение значений от предыдущего, субпараллельного оси времени тренда.

Используемая модификация термометрических наблюдений может быть более информативной при погружении датчиков на глубину не менее 15 м.

### Заключение

Разделяя оперативный прогноз сейсмических событий на отдельные решаемые проблемы определения: 1) точного времени предстоящего события, 2) пространственных координат эпицентра, 3) энергии события, – можно констатировать следующее.

Определение времени предстоящего события по результатам наблюдений используемого комплекса методов электро- и магнитометрии возможно минимум за 4 ч до его реализации (обычно за 6–8 ч). Это положение соблюдается, если событие происходит после периода некоторого сейсмического спокойствия продолжительностью 10–12 ч. Если же события следуют друг за другом через короткие промежутки времени (менее 4 ч), четко определяется только время первого события. Определение времени последующих возможно только после уверенного определения точки затухания колебаний, вызванных предыдущим событием.

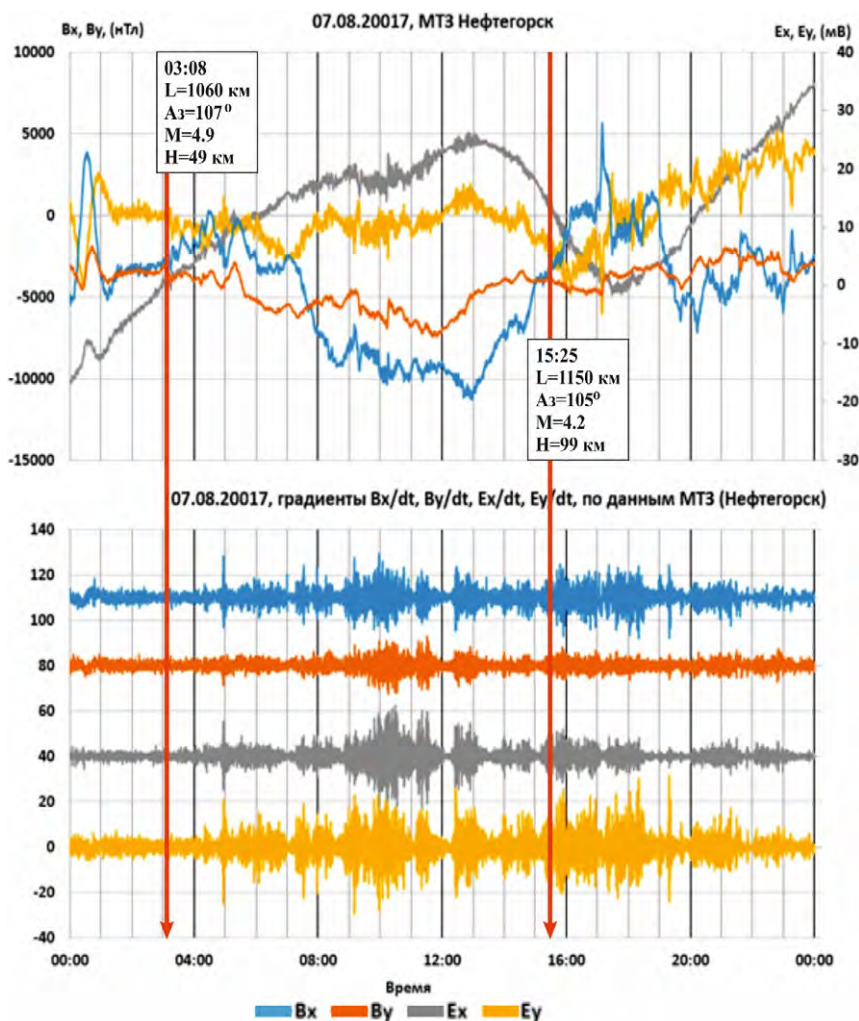


Рис. 11. Реакция ЕП и геомагнитного поля на сейсмические события 7.08.2017 по данным МТЗ на пункте, расположенном у бывшего поселка Нефтегорск.

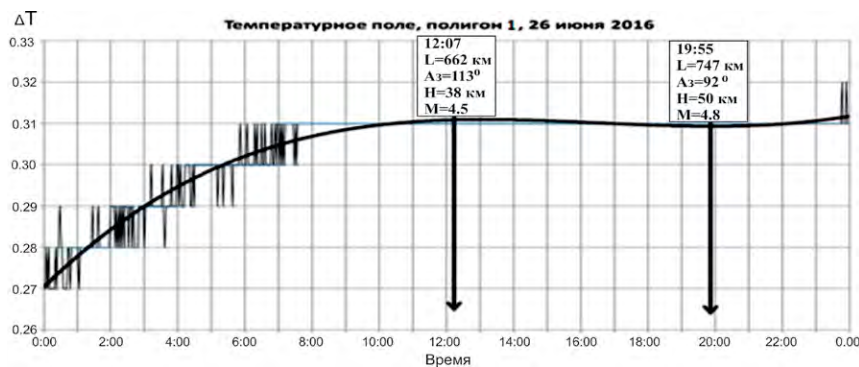


Рис. 12. Пример реакции температурного поля на сейсмические события 26.06.2016.

Определение координат эпицентров предстоящих событий по применяемому комплексу наблюдений возможно только способом азимутальных засечек с нескольких пунктов, удаленных друг от друга не менее чем на 200 км. Главной здесь является задача определения азимутального направления с пункта наблюдений на эпицентр. При использовании 6-канальной установки ЕП азимут на эпицентр может быть найден с погрешностью  $\pm 15^\circ$ , при правильном определении канала, ориентированного в направлении на эпицентр. В большинстве записанных эпизодов процедура определения осуществляется успешно, однако при активизации сейсмических процессов проблема решается неоднозначно или не решается вовсе. В таких случаях предполагается использование эффекта, выявленного в ходе синхронных наблюдений на Южно-Луговском и Ламанонском полигонах, который заключается в многократном увеличении амплитуды колебаний ЕП по мере близости пункта наблюдений к источнику возмущений. Другими словами, при соответствующей плотности сети наблюдений область нахождения источника возмущения полей (эпицентра) может быть найдена и без четкой дифференциации сигналов по каналам. Полному решению проблемы определения координат эпицентров предстоящих событий может способствовать только увеличение плотности сети наблюдений и совершенствование применяемых средств наблюдения.

Для установления магнитуды предстоящего события на данной стадии исследований не найдено рационального пути. Для решения данной проблемы предполагается дальнейшее совершенствование регистрирующей аппаратуры, прежде всего станции регистрации естественного электрического поля, с доведением дискретности регистрации значений до  $1 \cdot 10^{-3}$  с, что позволит проследить изменение частот сигнала при подготовке событий с различными энергетическими характеристиками. Расширение аппаратного комплекса за счет высокоточных автоматических гравиметров так-

же будет способствовать решению данной проблемы. По мере продолжения исследований возможно применение мобильной аппаратуры для определения вариаций концентрации водорода, гелия, радона, метана и его гомологов, аномальные изменения которых известны в период сейсмической активности.

#### Список литературы

1. Абдуллаев Ш.-С.О., Идармачев Ш.Г., Алиев М.М., Алиев И.А., Магомедов А.Г. Вариации кажущихся сопротивлений горных пород, связанные с геодинамическими процессами в районе нефтегазового месторождения // *Вулканология и сейсмология*. 2011. № 3. С. 65–72.
2. Балавадзе Б.К., Картвелишвили Н.К. Изменение амплитуд приливных волн в связи с близкими землетрясениями // *Геофиз. журн.* 1995. Т. 17, № 2. С. 33–36.
3. Волгина А.И. Результаты временных изменений гравитационного поля // *Геология нефти и газа*. 1990. № 3. С. 36–37.
4. Волгина А.И., Кононков В.Ф. Особенности изменения силы тяжести во времени над нефтегазовыми месторождениями // *Геология и геофизика*. 1987. № 7. С. 138–143.
5. Добровольский И.П. *Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения*. М.: Физматлит, 2009. 236 с.
6. Моги К. *Предсказание землетрясений*. М.: Мир, 1988. 382 с.
7. Николаев А.В., Савин М.Г. Сейсмическая безопасность: новые горизонты // *Вестник ДВО РАН*. 2014. № 4. С. 87–95.
8. Осадчий В.Г. *Геотермия зон нефтегазоаккумуляции*: автореф. дис. ... д-ра. геол.-минер. наук. Новосибирск, 1990. 32 с.
9. Осадчий В.Г., Лурье А.И., Ерофеев В.Ф. *Геотермические критерии нефтегазоносности недр*. Киев: Наук. думка, 1976. 142 с.
10. *Отчет о комплексных геофизических и геохимических исследованиях на Красногорской площади лицензионного участка недр «Ламанонский», выполненных в 2007 году геофизическим отрядом лаборатории геодинамики ИМГиГ ДВО РАН / исполн. Паровышний В.А., Сеначин В.Н., Кочергин Е.В., Ходоков В.И.* Южно-Сахалинск, 2008. 94 с. Сахалинский територ. геол. фонд (СахТГФ), Всерос. геол. фонд (ВГФ). № ГР 64-08-13.
11. Паровышний В.А., Веселов О.В., Сеначин В.Н., Кириенко В.С. Временные изменения геофизических полей над газовой залежью (о. Сахалин) // *Тихоокеан. геология*. 2008. Т. 27, № 4. С. 3–14.

- [Parovyshny V.A., Veselov O.V., Senachin V.N., Kirienko V.S. Time variations in the geophysical fields above a gas field on Sakhalin Island. *Russian J. of Pacific Geology*, 27(4): 283-293. <http://dx.doi.org/10.1134/S1819714008040015>]
12. Паровышний В.А., Казаков А.И., Паровышний Д.В., Сеначин В.Н., Веселов О.В., Кочергин Е.В. Признаки подготовки сейсмических событий по вариациям естественных геофизических полей над залежью газа // *Мониторинг. Наука и технологии*. 2016. № 1(26). С. 25–32.
13. Тихонов И.Н., Ким Ч.У. Упешный прогноз Невельского землетрясения 2 августа 2007 года (M=6.2) на юге о-ва Сахалин // *Докл. АН*. 2008. Т. 240, № 4. С. 532–536.
14. Тихонов И.Н., Ким Ч.У. Долгосрочный прогноз Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. // *Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 г., о. Сахалин / под ред. Б.В. Левина, И.Н. Тихонова*. М.: Янус-К, 2009. С. 35–40.
15. Шуман В.Н. О феноменологических моделях и прогнозе сейсмичности: оправдан ли пессимизм, обоснованы ли надежды // *Геофиз. журн*. 2013. Т. 35, № 2. С. 24–37.
16. Johnston M.J.S. Review of electric and magnetic fields accompanying seismic and volcanic activity // *Surveys in Geophysics*. 1997. Vol. 18, N 5. P. 441–476. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1006500408086>
17. Parovyshny V.A., Senachin V.N., Veselov O.V., Kochergin E.V. Temporal variation in geophysical fields and earthquake forecasting issues // *Geodynamics and Tectonophysics*. 2015. Vol. 6, N 1. P. 63–76. <https://doi.org/10.5800/gt-2015-6-1-0172>

#### Сведения об авторах

ПАРОВЫШНЫЙ Валерий Андреевич, кандидат геолого-минералогических наук, руководитель лаборатории, СОХАТЮК Юрий Владимирович, старший инженер, ВЕСЕЛОВ Олег Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, КОЧЕРГИН Евгений Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник – лаборатория геодинамики и морской геологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск; ПАРОВЫШНЫЙ Дмитрий Валерьевич, инженер-программист, преподаватель – Сахалинский промышленно-экономический техникум, Южно-Сахалинск.