

ВЕСТНИК

ISSN 0869-7698

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ
НАУК

4
2009

УДК 550.21: 550.83 (571.642)

В.А.ПАРОВЫШНЫЙ, В.Н.СЕНАЧИН, О.В.ВЕСЕЛОВ, Е.В.КОЧЕРГИН

Вариации геофизических полей над флюидонасыщенными геодинамическими системами в связи с проблемой прогноза сейсмических событий

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований, изучающих характер временных изменений геофизических полей над залежью газа, расположенной в зоне влияния активного регионального разлома, и выявляющих связи этих изменений с сейсмичностью. В результате создана и апробирована методика дистанционного определения наличия залежи углеводородов и ее контура на поисковых объектах. Установлено, что периоды неустойчивости геофизических полей над залежью связаны с конечными фазами подготовки сейсмических событий и прохождением сейсмического импульса.

Ключевые слова: гравиметрия, термометрия, магнитометрия, предвестники землетрясений, геодинамика, газовая залежь, поисковые признаки нефтегазовых месторождений, Сахалин.

Variations of geophysical fields above fluidosaturated systems in connection with the problem of forecasting seismic events. V.A.PAROVYSHNY, V.N.SENACHIN, O.V.VESELOV, E.V.KOCHERGIN (Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RUS, Yuzhno-Sakhalinsk).

Results of experimental study of the character of temporal changes of geophysical fields above the gas reservoir located in the zone of active regional fault influence are considered, and connection of these changes with seismicity is revealed. In the result a method of distance location of a hydrocarbon reservoir presence at the studied area and its profile is developed and approved. It is shown that periods of instability of geophysical fields above the deposit are connected with final phases of preparing seismic events and seismic impulse passing.

Key words: gravimetry, thermometry, magnetometry, earthquake precursors, geodynamics, gas field, prospecting indicators of oil and gas fields, Sakhalin.

Сейсмические события и нефтегазоносность на первый взгляд представляются разноплановыми и не связанными между собой явлениями. Однако исследование геодинамического состояния залежи углеводородов (УВ) посредством естественных геофизических полей позволяет объединить их взаимно корректируемыми методическими приемами.

В 2003 г. лаборатория геодинамики ИМГиГ ДВО РАН приступила к реализации долгосрочной программы изучения временных изменений геофизических полей над флюидонасыщенными геодинамическими системами, расположенными в зонах активных региональных тектонических разломов.

Основные задачи исследований: 1) выявить характерные признаки наличия залежи УВ по временным изменениям геофизических полей и на этой основе создать методику

ПАРОВЫШНЫЙ Валерий Андреевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, СЕНАЧИН Владимир Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, ВЕСЕЛОВ Олег Васильевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, КОЧЕРГИН Евгений Васильевич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск). E-mail: pva@imgg.ru

прогноза нефтегазоносности сложнопостроенных объектов, расположенных в зонах активных разломов; 2) определить связь вариаций геофизических полей над газонасыщенными объектами с сейсмическими событиями и оценить возможность создания методики краткосрочного прогноза землетрясений.

Предпосылкой данных исследований следует считать результаты работ сотрудников Института физики Земли [1], Института геологии и разработки горючих ископаемых и украинских геофизиков [2–4, 6], выявивших специфические эффекты в поведении гравитационного и термального полей над залежами УВ.

Для решения задач был обустроен геодинамический полигон на Южно-Луговском месторождении газа, расположенном в 4 км к западу от г. Анива (Сахалинская область) [7, 8]. Южно-Луговское месторождение приурочено к нижней подсвите маруямской свиты ($N_{1-2} mr_1$), где выделено 14 горизонтов песчаников с хорошими и удовлетворительными коллекторскими свойствами. Газ (метан) содержится в горизонтах III–XIII, промышленно газоносны горизонты VII–XIII. Нижний XIV горизонт повсеместно водоносен. Общая мощность газоносных пластов залежи в разных блоках месторождения различна, колеблется в пределах 40–80 м.

Нижний газоводяной контакт в южном блоке месторождения расположен на отметке -1368 м. Месторождение относится к разряду малых. Суммарные запасы газа составляют около 2 млрд м³. Наличие газовой залежи здесь установлено в 1971 г. скважиной № 1 (Золоторыбная площадь). Во всех блоках структуры (кроме северного периклинального) газоводяной контакт соответствует контурам залежей, локализованных в горизонте XIII. В северном блоке горизонт XIII водоносен, а установленные здесь непромышленные залежи приурочены к горизонтам XI и XII. Разрывные нарушения не выходят на дневную поверхность, они являются ограничениями лишь для продуктивных нижних горизонтов (IX–XIII). Залежи в верхних горизонтах тектонических разрывных ограничений не имеют. Контурные залежей продуктивных горизонтов, расположенных гипсометрически выше горизонта XIII, в плановом положении не выходят за контур залежи, содержащейся в горизонте XIII. Структурные планы по другим горизонтам значительно отличаются от данного, но в связи с тем, что здесь сосредоточены основные запасы газа, нами условно допускается, что основная составляющая количественного выражения изменений геофизических полей должна быть обусловлена изменениями, происходящими в залежи, приуроченной к горизонту XIII. При этом не исключается, что остальные продуктивные горизонты, включая горизонты с непромышленной газоносностью, могут существенно влиять на характер изменения полей.

В 1970–2003 гг. в районе месторождения проведено структурное, глубокое поисковое и разведочное бурение, сейсморазведка МОВ ОГТ кратностью от 6 до 48, в 1976 г. выполнена площадная гравиметрическая съемка масштаба 1 : 25 000. По результатам этих работ были составлены карта аномального гравитационного поля в редукции Буге с реальной плотностью промежуточного слоя (1,9 г/см³) и карты различных преобразований этого поля. Необходимо отметить, что ни в исходном аномальном гравитационном поле, ни в вариантах его трансформации Южно-Луговская структура отражения не имеет. Участок аномального гравитационного поля в месте расположения Южно-Луговской структуры приурочен к западной части регионального минимума аномалий силы тяжести, который соответствует крупной отрицательной структуре, развитой в нерасчлененной толще палеоген-нижнемиоценового комплекса отложений. В районах, расположенных севернее, этот комплекс представлен (снизу вверх) аракайской, холмской и невельской свитами.

При решении первой задачи использовались геофизические наблюдения по трем профилям полигона, пересекающим все блоки структуры.

Применяемые методы: 1) высокоточные профильные гравиметрические наблюдения с погрешностью определения наблюденных значений силы тяжести (Δg_n) не ниже $\pm 0,02$ мГал; 2) малоглубинные термометрические наблюдения (глубина погружения

датчиков 1,5 м) с погрешностью определения температур $\pm 0,05^\circ\text{C}$; 3) профильные геомагнитные наблюдения.

Методика профильных геофизических наблюдений подробно изложена нами ранее [7, 8].

В 2003–2006 гг. здесь выполнено 6 циклов наблюдений, установлены основные признаки продуктивности:

1. В контуре продуктивности гравитационное поле нестабильно во времени. Разности Δg_n между циклами наблюдений, выполняемые со средней частотой через месяц, достигают величины $\pm 0,16$ мГал;

2. Продуктивные блоки структуры характеризуются максимумами нестабильности гравитационного поля, которые коррелируют с 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 напряженности термального поля (рис. 1).

Для выявления характера связи вариаций геофизических полей с сейсмическими событиями применяемый комплекс в 2004 г. был дополнен постоянно действующей магнитовариационной станцией и установкой для измерения вариаций естественного электрического поля в режиме регистрации блуждающих токов, а в 2006 г. – четырехазимутальной установкой, также предназначенной для регистрации изменения напряженности естественного электрического поля (ЕП). Комплекс эксплуатировался в режиме стационарных наблюдений в летне-осенние периоды 2006 и 2008 гг.

Предпосылкой для развертывания постоянных наблюдений послужило зарегистрированное нами 13 сентября 2004 г. в 14 ч 02 мин местного времени сейсмическое событие магнитудой 5,6, эпицентр которого находился в 580 км к юго-востоку от полигона. Это же событие зафиксировано автоматическими сейсмическими станциями в 40 км к северу и в 35 км к югу от полигона (Бюллетень Южно-Сахалинской сейсмологической станции № 9 от 20 сентября 2006 г.). За 40 мин до данного события магнитовариационной станцией на полигоне отмечено резкое увеличение напряженности геомагнитного поля, которое продолжалось еще 15 мин после толчка (рис. 2). Вторым магнитометром в это же время выполнялись рядовые наблюдения по профилю, зарегистрированы интенсивные (20 нТл)

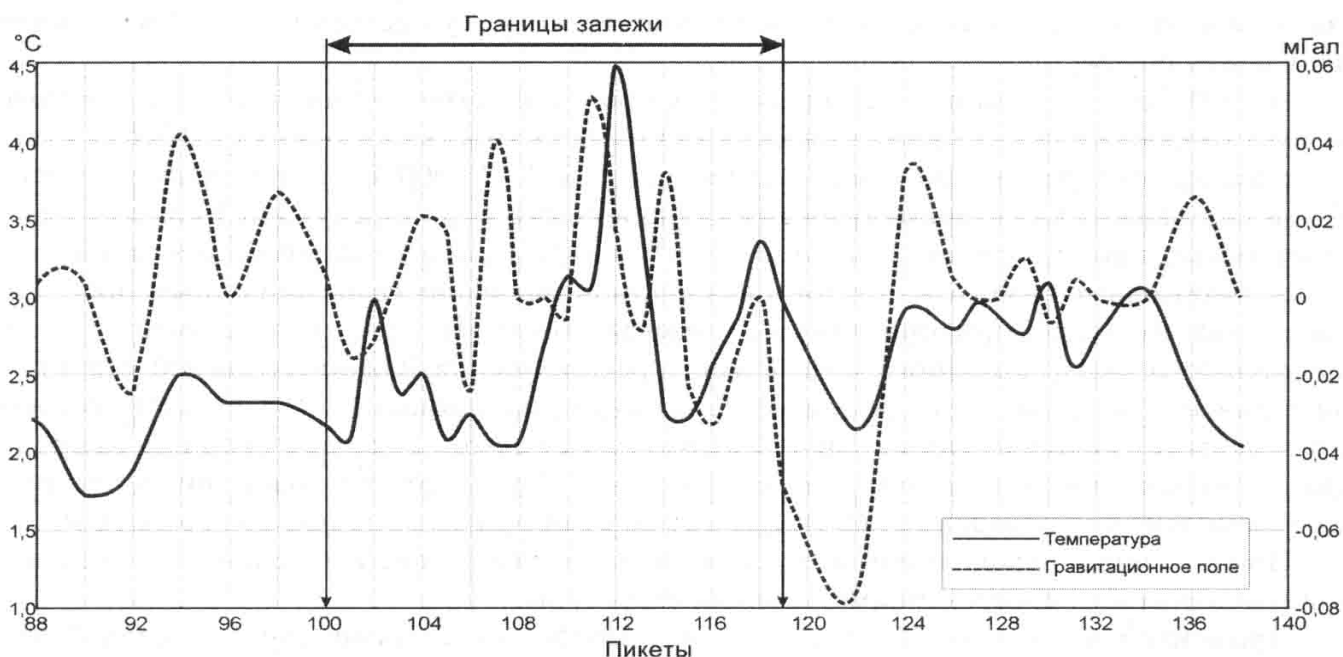


Рис. 1. Пример изменения гравитационного и термального полей над залежью газа (разности значений Δg_n , $^\circ\text{C}$) между циклами наблюдений 10 августа и 17 сентября 2006 г. Южно-Луговской полигон, профиль 1

непериодические колебания за 10 мин до события (рис. 2а) и в течение 4 мин после него (рис. 2б).

Измерение температур по одному из профилей полигона 12 и 15 сентября 2004 г. показало, что в контуре залежи максимальное увеличение температуры составило $0,9^{\circ}\text{C}$. За контуром произошло закономерное для этого времени года сезонное понижение температур на $0,05\text{--}0,15^{\circ}\text{C}$ (рис. 3).

Данный факт свидетельствует, что основной причиной изменения параметров геофизических полей над залежью являются сейсмические импульсы. Таким образом было

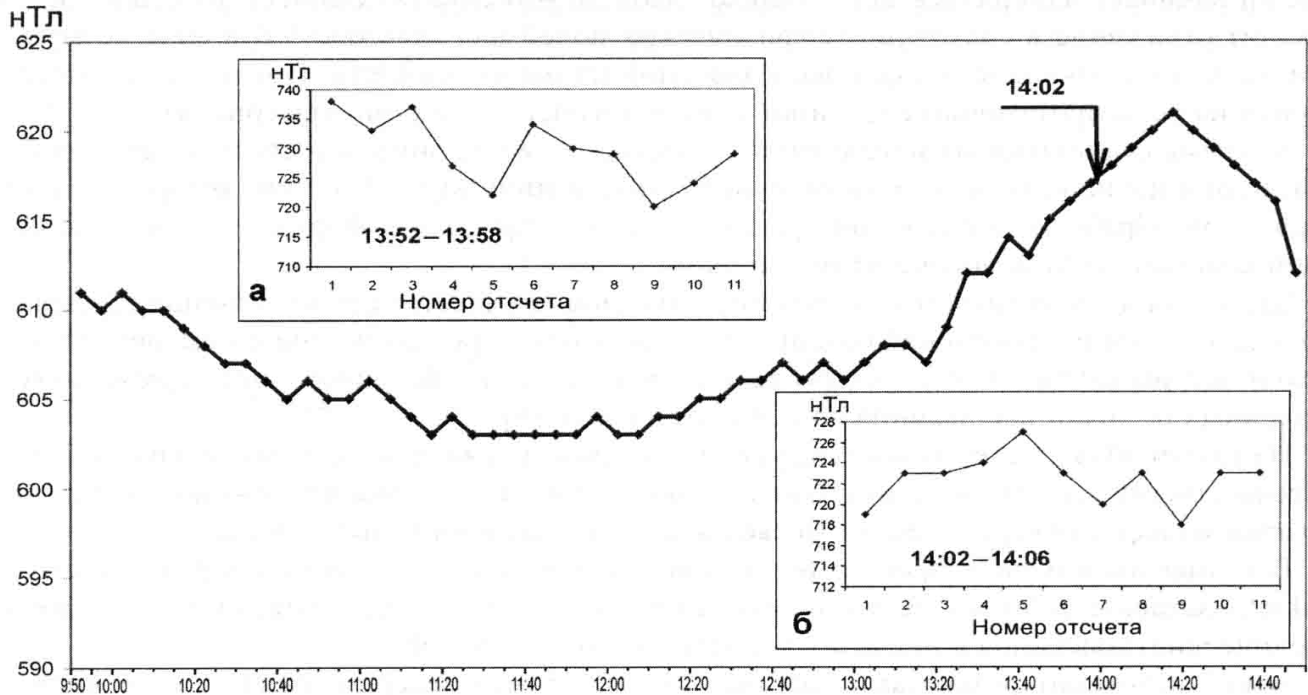


Рис. 2. Графики вариаций геомагнитного поля 13 сентября 2004 г. (запись магнитовариационной станции; на врезках – записи полевым магнитометром до (а) и после (б) события)

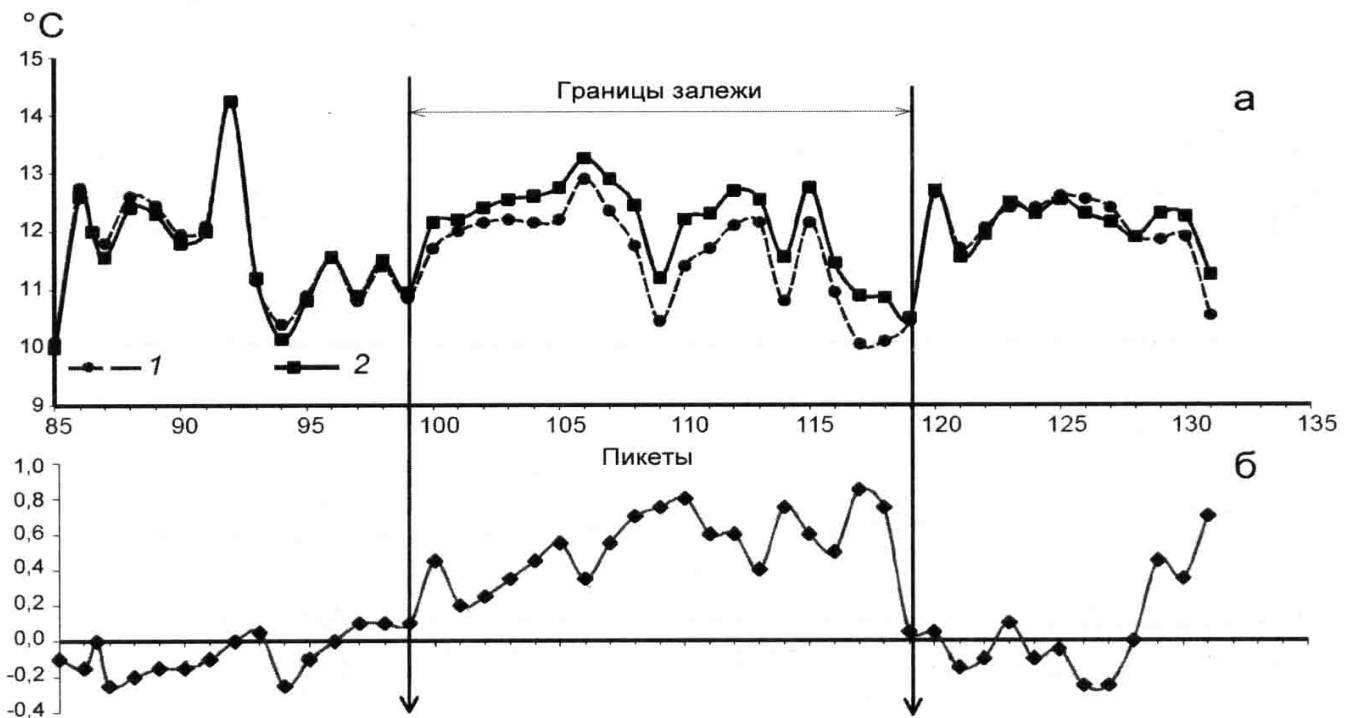


Рис. 3. Изменение температур по профилю 1 до и после землетрясения 13 сентября 2004 г. а – температуры 12 сентября (1), 15 сентября (2); б – разность температур (2–1)

установлено, что в период прохождения сейсмических импульсов залежь газа обнаруживает себя и в то же время является индикатором для регистрации параметров изменения геофизических полей, характеризующих конечную фазу подготовки предстоящего сейсмического события.

В этом плане интересные наблюдения были сделаны А.И.Обжировым с соавторами, зарегистрировавшими увеличение эманаций УВ-газов в Охотском море, связанное непосредственно с периодами повышения степени сейсмической активности [5].

Последующие исследования позволили установить, что геодинамическое состояние залежи начинает изменяться за несколько часов до момента сейсмического события, что находит отражение в состоянии геофизических полей над залежью УВ в виде возмущений, резко отличающихся от фоновых значений их напряженности. Последние регистрируются на всем протяжении спокойной сейсмологической обстановки (рис. 4).

За время стационарных наблюдений записано более 32 эпизодов сейсмических событий, произошедших на удалении от пункта наблюдений на 60–1083 км, которые при камеральной обработке материалов представлены в графической форме и сопоставлены с официальными сейсмологическими данными.

Здесь нужно отметить, что получение сигналов-предвестников от источника, удаленного на 1083 км от пункта наблюдений, вызывает некоторое сомнение у оппонентов. Однако известны случаи, когда электромагнитные сигналы регистрировались от источников, удаленных от точки наблюдения на 2 500 км и более [4].

Из полученных материалов следует, что формы проявления сейсмических событий в геофизических полях различны, но на данной стадии исследований можно выделить некоторые из них, повторяющиеся в нескольких зарегистрированных эпизодах.

В геомагнитном поле происходят плавное или резкое понижение напряженности за 3–4 ч до момента события, резкое повышение за 40–50 мин до события, хаотичные (непериодические) колебания в пределах 5–20 нТл за 10 мин до события.

В ЕП возникают резкие амплитудные (до 10–15 мВ) непериодические колебания за 2–2,5 ч до сейсмического события (рис. 5а), происходят плавное или резкое повышение напряженности на 5–15 мВ за 4–5 ч перед серией толчков, резкое увеличение за 6,5–7 ч до максимума, формирующегося за 5–6 ч до события, затем снижение напряженности до

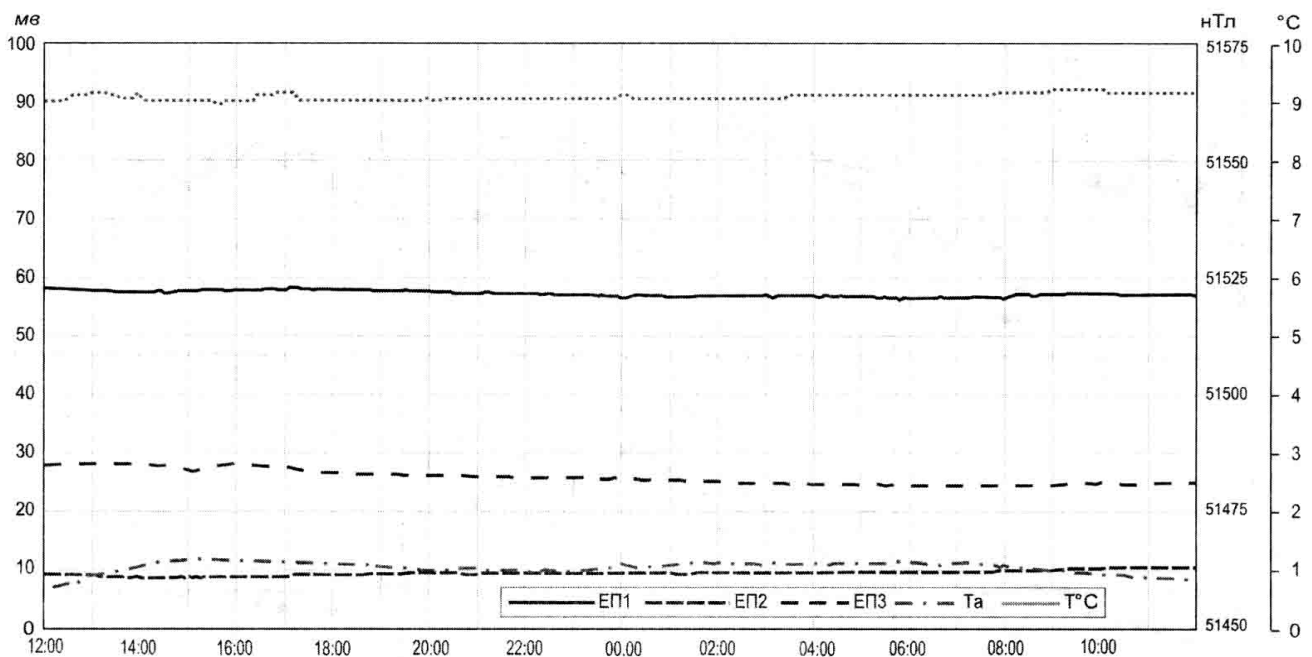


Рис. 4. Пример состояния геомагнитного (Тa), естественного электрического (ЕП) и температурного (Т°С) полей над залежью газа при отсутствии сейсмических событий 18–19 сентября 2008 г.

фоновых значений к моменту события; в некоторых случаях формы кривых ЕП и геомагнитного поля совпадают (рис. 6).

В термальном поле снижение температур в приповерхностном слое начинается за 5–6 ч до сейсмического события, затем следует период стабилизации (1–1,5 ч), в течение которого и происходит событие. После события термальное поле восстанавливается на прежнем уровне (рис. 5б).

Все перечисленное относится к сейсмическим событиям, эпицентры которых удалены на 350 км и более от места наблюдения.

На данном этапе исследований перечисленные проявления сейсмических событий в геофизических полях следует рассматривать как частный случай проявления предвестников.

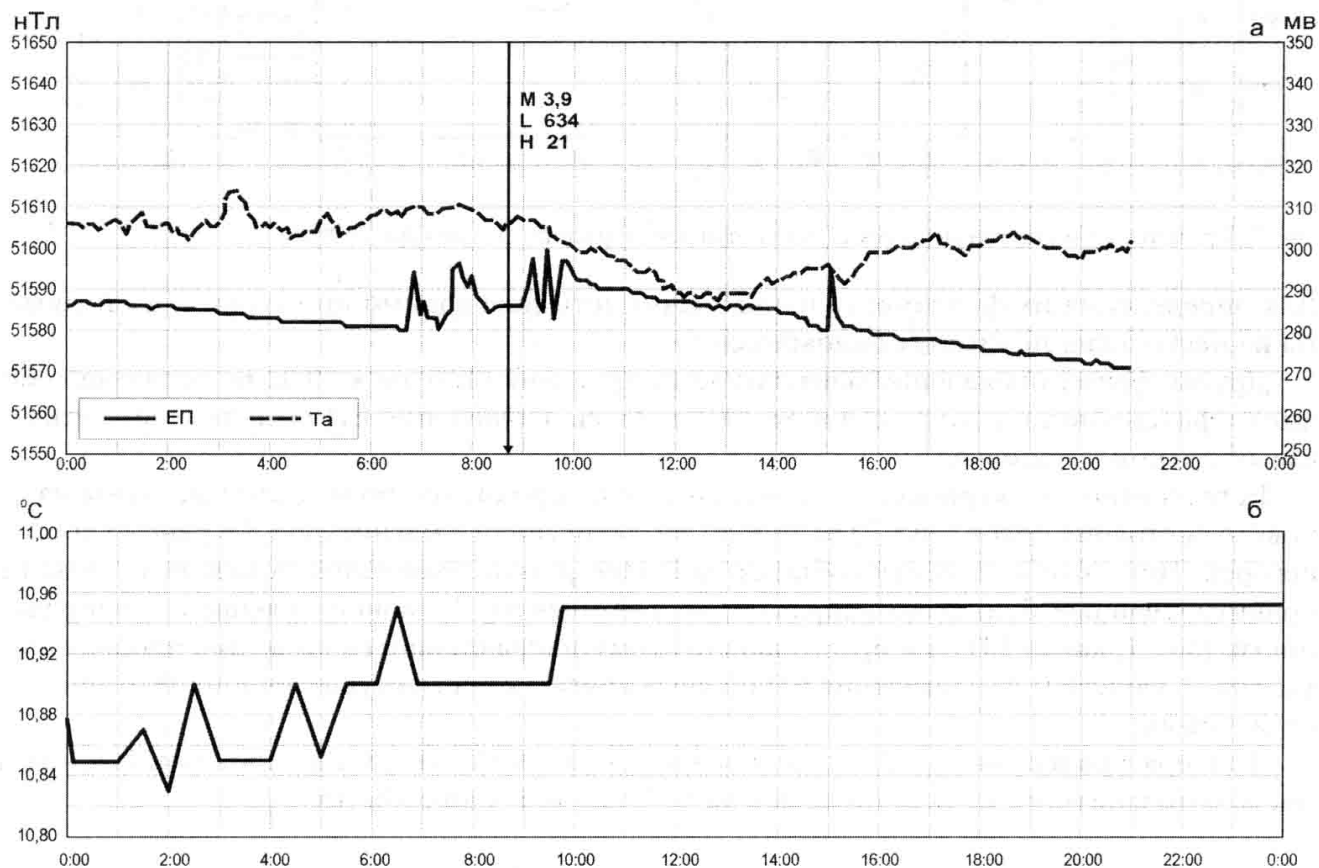


Рис. 5. Вариации геомагнитного (Тa), естественного электрического (ЕП) полей (а) и температуры (б) 21 августа 2006 г. Здесь и далее: М – магнитуда землетрясения, L – расстояние от места наблюдения (км), Н – глубина (км)

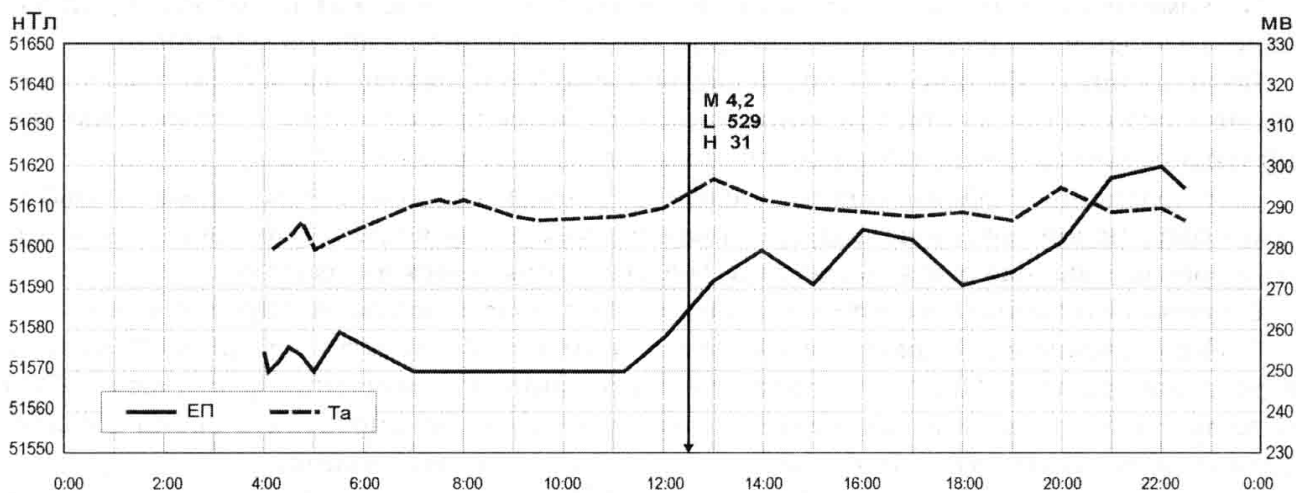


Рис. 6. Вариации Тa и ЕП полей 24 августа 2006 г.

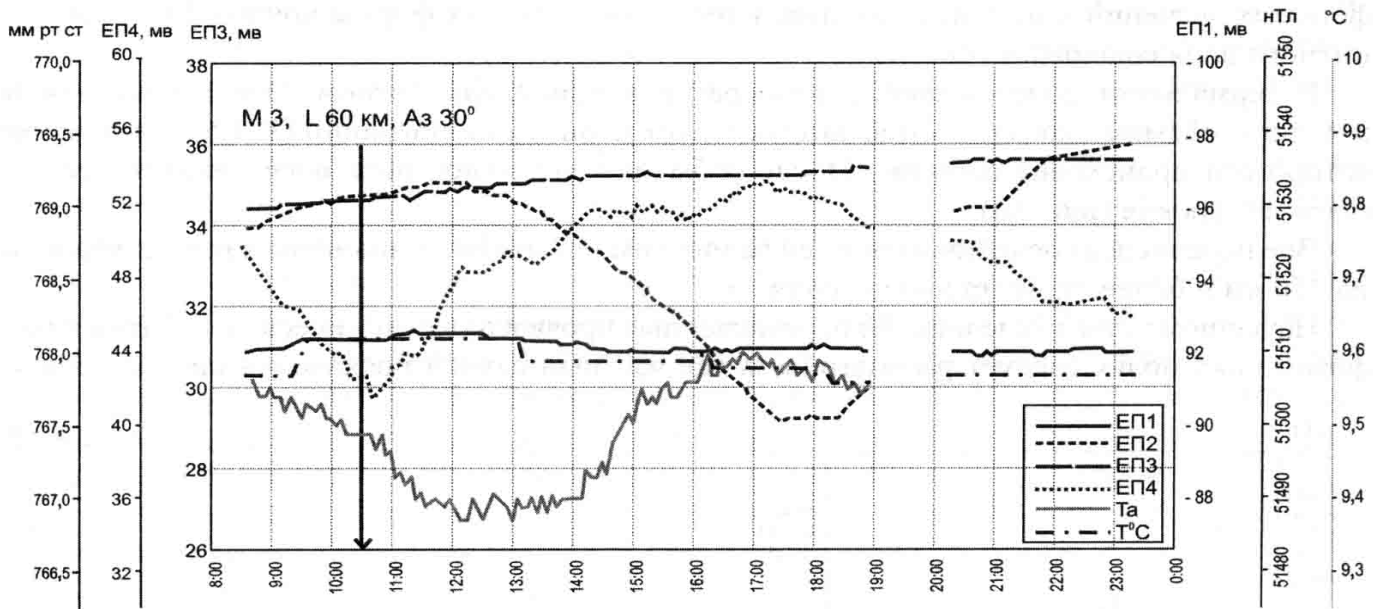


Рис. 7. Пример состояния геофизических полей при землетрясении 17 октября 2008 г.

Для определения их фундаментальной значимости необходимо продолжить эксперименты на нескольких полигонах одновременно.

Другая форма проявления близкого землетрясения (120 км к ССВ от места наблюдения) зафиксирована нами 17 октября 2008 г. Здесь наблюдения ЕП выполнялись четырехазимутальной установкой.

Естественное электрическое, геомагнитное и термальное поля были выведены из фонового состояния покоя (рис. 7) за 26 ч до землетрясения с магнитудой 3 в районе пос. Синегорск. При этом к моменту события наиболее резкие изменения показали каналы ЕП, ориентированные близко по направлению к эпицентру (плавное повышение напряженности, рис. 7, канал ЕП 2) и ортогонально этому направлению (понижение напряженности, рис. 7, канал ЕП 4). Показания ЕП по двум другим каналам существенно не отличились от фоновых.

Температура в пункте наблюдения возросла на $0,05^{\circ}\text{C}$ за 1,5 ч до события. Напряженность геомагнитного поля понизилась на 5–7 нТл за 1 ч до события.

Исходя из сказанного сделаем выводы. Залежь УВ, расположенная в зоне влияния активного тектонического разлома, является индикатором геодинамических процессов, протекающих как внутри нее, так и за пределами.

По комплексу признаков временных изменений геофизических полей контур продуктивности залежи УВ на поисковом объекте может быть определен на местности.

Возмущения геофизических полей над залежью УВ проявляются за несколько часов до сейсмического события при удалении эпицентра более чем на 350 км от пункта наблюдений и ранее чем за сутки, если он расположен в радиусе около 100 км.

Для получения информативных сигналов – предвестников сейсмических событий – может быть использована не подверженная техногенному воздействию залежь углеводородов, расположенная в зоне влияния активного тектонического разлома.

В целом результаты эксперимента позволяют сделать следующие предположения.

1. Определение времени предстоящего сейсмического события не представляется неразрешимой задачей. При продолжении исследований и накоплении фактического материала могут быть выработаны критерии, которые позволят определить время события с достаточно высокой точностью за несколько часов до его реализации.

2. Эпизод, зарегистрированный 17 октября 2008 г. с применением многоазимутальной установки ЕП, позволяет с некоторым оптимизмом оценить возможности определения

направления на эпицентр предстоящего события, а следовательно, и его координат при одновременной регистрации на нескольких достаточно удаленных друг от друга пунктах. Для решения этой задачи комплекс необходимо дополнить ориентированными установками для регистрации электромагнитных импульсов и горизонтальных градиентов геомагнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буланже Б.А. Влияние изменения во времени гидрогеологических факторов на силу тяжести // Повторные гравиметрические наблюдения. М.: ИФЗ, 1986. С. 4-23.
2. Волгина А.И. О влиянии миграции флюидов на изменение силы тяжести // Повторные гравиметрические наблюдения. М.: ИФЗ, 1988. С. 181-185.
3. Волгина А.И. Результаты изучения временных изменений гравитационного поля // Геология нефти и газа. 1990. № 3. С. 36-37.
4. Довбня Б.В., Зотов О.Д., Мострюков А.О., Щепетков Р.В. Электромагнитные сигналы во временной окрестности землетрясений // Физика земли. 2006. № 8. С. 60-65.
5. Обжиров А.И., Салюк А.Н., Шакиров Р.Б. и др. Потоки метана и газовые гидраты Охотского моря // Наука и техника в газовой промышленности. 2004. № 1/2. С. 20-25.
6. Осадчий В.Г., Лурье А.И., Ерофеев В.Ф. Геотермические критерии нефтегазоносности недр. Киев: Наук. думка, 1976. 142 с.
7. 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.
8. Паровышний В.А., Веселов О.В., Сеначин В.Н. Временные изменения геофизических полей над газосодержащими геодинамическими системами. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2005. 50 с.