УДК 550.21: 550.83 (571.642)

ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ И ПРЕДВЕСТНИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ПО ВРЕМЕННЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Паровышный В.А., Сеначин В.Н., Веселов О.В., Кочергин Е.В. – Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

Аннотация. Рассматриваются результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение характера временных изменений геофизических полей над залежью газа, расположенной в зоне влияния активного регионального разлома, и выявления 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 нестабильности геофизических полей над залежью связаны с конечными фазами подготовки сейсмических событий и прохождением сейсмического импульса.

Гравиметрия, термометрия, магнитометрия, предвестники землетрясений, геодинамика, газовая залежь, поисковые признаки нефтегазовых месторождений.

THE PROGNOSIS OF OIL-GASOGENISITY AND THE SEISMIC EVENTS ON THE VARIATIONS OF GEOPHYSICAL FIELDS

Parovyshny V.A., Senachin V.N., Veselov O.V., Kochergin E.V. – The *Institute of Marine Geology and Geophysics FEB of RUS, Yuzhno-Sakhalinsk*

Abstract. The results of the experimental researches directed to the study of the character of temporal changes of geophysical fields above the gas reservoir located in the zone of the influence of active regional fault and revealing of the connection of these changes with seismicity are considered. As a result the method of distance determination of the hydrocarbon reservoir presence UV and its contours on the searched objects is created and evaluated. It was shown that the periods of instability of geophysical fields above the deposit is connected with final phases of preparing of seismic events and passing of seismic impulse.

Gravimetry, thermometry, magnitometry, earthquake precursors, geodynamics, gas field, prospecting indicators of oil and gas fields.

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 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 (Беланже, 1986), Института геологии и разработки горючих ископаемых (Волгина, 1988; 1990) и украинских геофизиков (Довбня и др., 2006; Осадчий, Лурье, Ерофеев, 1976), 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 (рис. 1А) (Паровышный, Веселов, Сеначин, 2005; Паровышный и др., 2008; 2009).

Южно-Луговское месторождение приурочено к нижней подсвите маруямской свиты миоцена ($N_{1\text{-}2}\,mr_1$), где выделено 14

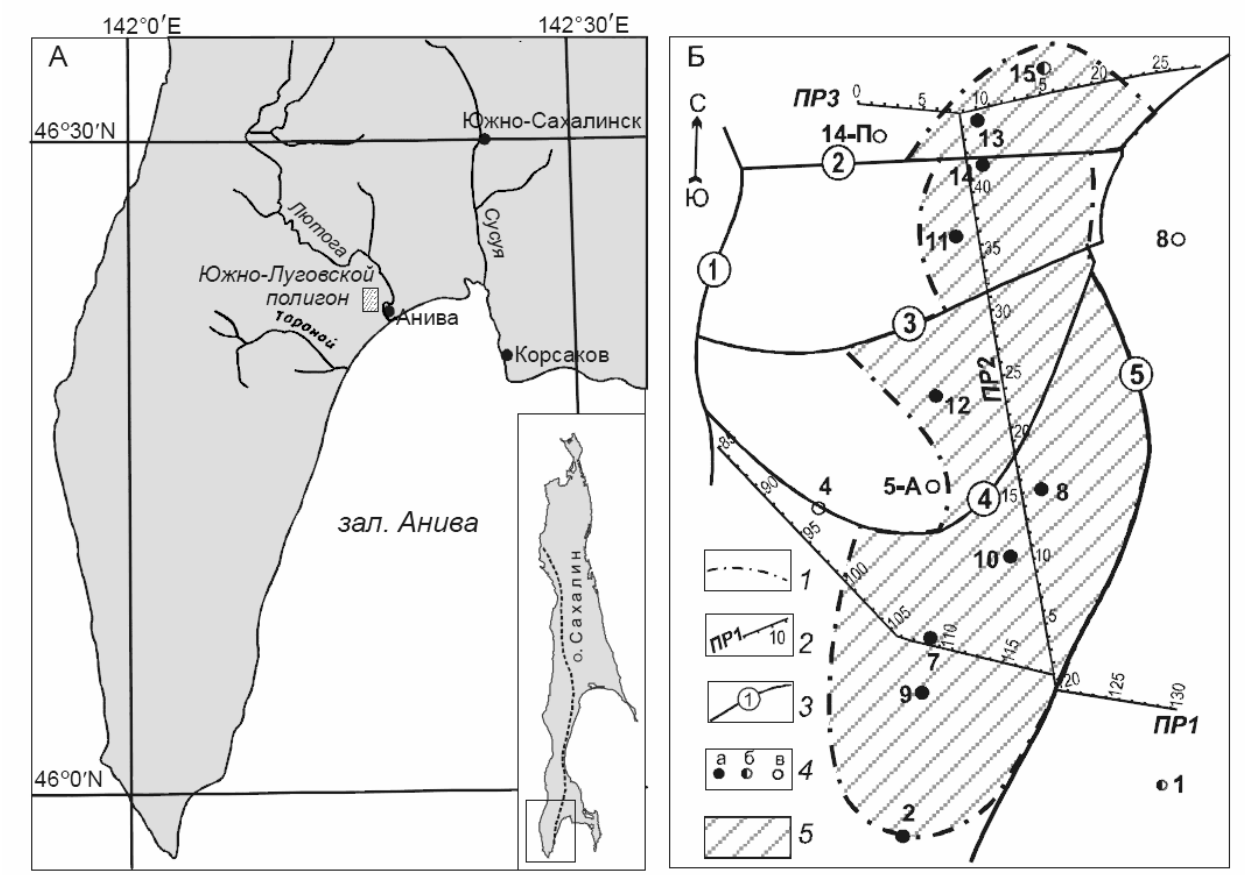

Рис. 1. Географическое положение (А) и структурная схема полигона (Б):
1 – контур газовой зележи; 2 – географические профили; 3 – основные разрывные нарушения по данным сейсморазведки и бурения; 4 – скважины: а – с промышленными притоками, б – с непромышленными притоками, в – непродуктивные; 5 – площадь залежи; на врезке рис. 1А показано положение Центрально-Сахалинского разлома

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 газо-водяной контакт в южном блоке месторождения расположен на отметке 1368 м. Месторождение относится к разряду малых. Суммарные запасы газа составляют около 2 млрд. м^3. Наличие газовой залежи здесь установлено в 1971 г. скважиной № 1 (рис. 1Б).

В структурном отношении, месторождение локализовано в пологой складке срыва с амплитудой несколько десятков метров, которая уменьшается вверх по разрезу. Структура ограничена в основании почти горизонтальной плоскостью нарушения (рис. 2).

Во всех блоках структуры (кроме северного периклинального) газо-водяной 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. Контуры 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

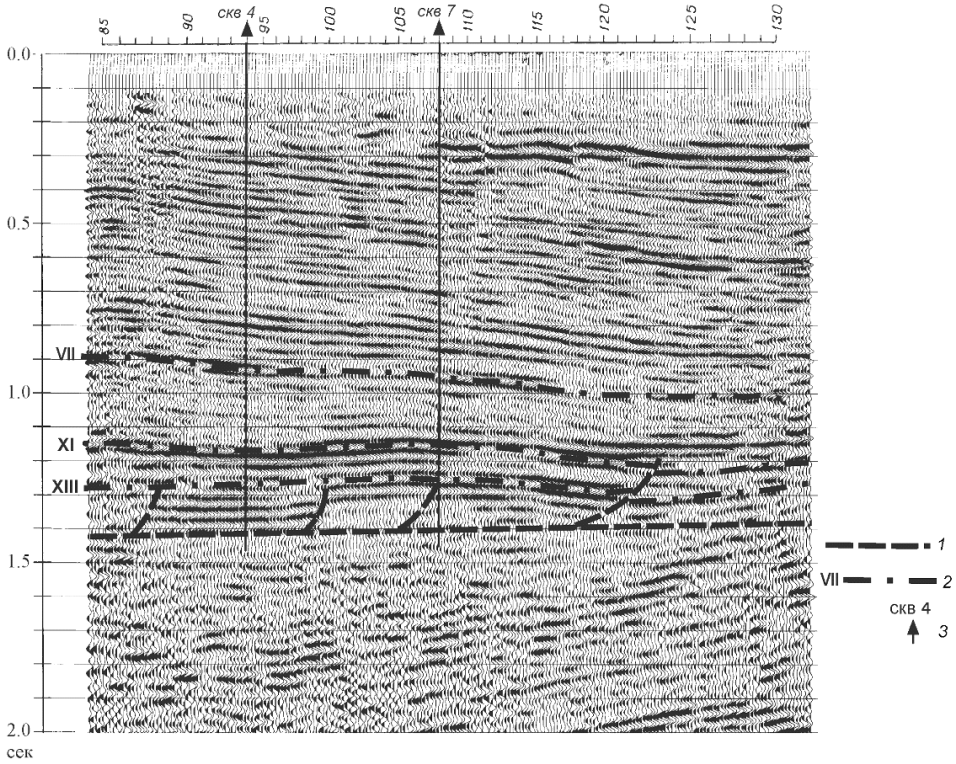

Рис. 2. Временной сейсмический разрез по профилю 9202056 в интерпретации авторов (совмещён с профилем 1 геофизического полигона): 1 – разрывные нарушения, 2 – номенклатурные продуктивные горизонты, 3 – скважины

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 проведены структурное, глубокое поисковое и разведочное бурение, сейсморазведка МОВ ОГТ кратностью от 6 до 48; в 1976 г. выполнена площадная гравиметрическая съемка м-ба 1:25000.

По результатам этих работ были составлены: карта аномального гравитационного поля в редукции Буге с реальной плотностью промежуточного слоя (1,9 г/см^3) и карты различных преобразований этого поля. Необходимо отметить, что ни в исходном аномальном гравитационным 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.

Месторождение эксплуатируется только в зимний период (с середины ноября до середины мая), что дает основание считать, что во время наблюдений (июль-октябрь), техногенное воздействие на залежь отсутствует.

При решении первой задачи использовались геофизические наблюдения по трем профилям полигона, пересекающим все блоки структуры (рис. 1Б).

Применяемые методы:

1) высокоточные профильные гравиметрические наблюдения с погрешностью определения наблюденных значений силы тяжести ($\Delta g_н$) не ниже $\pm 0,02$ мГал;

2) малоглубинные термометрические наблюдения (глубина погружения датчиков 1,5 м) с погрешностью определения температур $\pm 0,05$ ^oC;

3) профильные геомагнитные наблю-

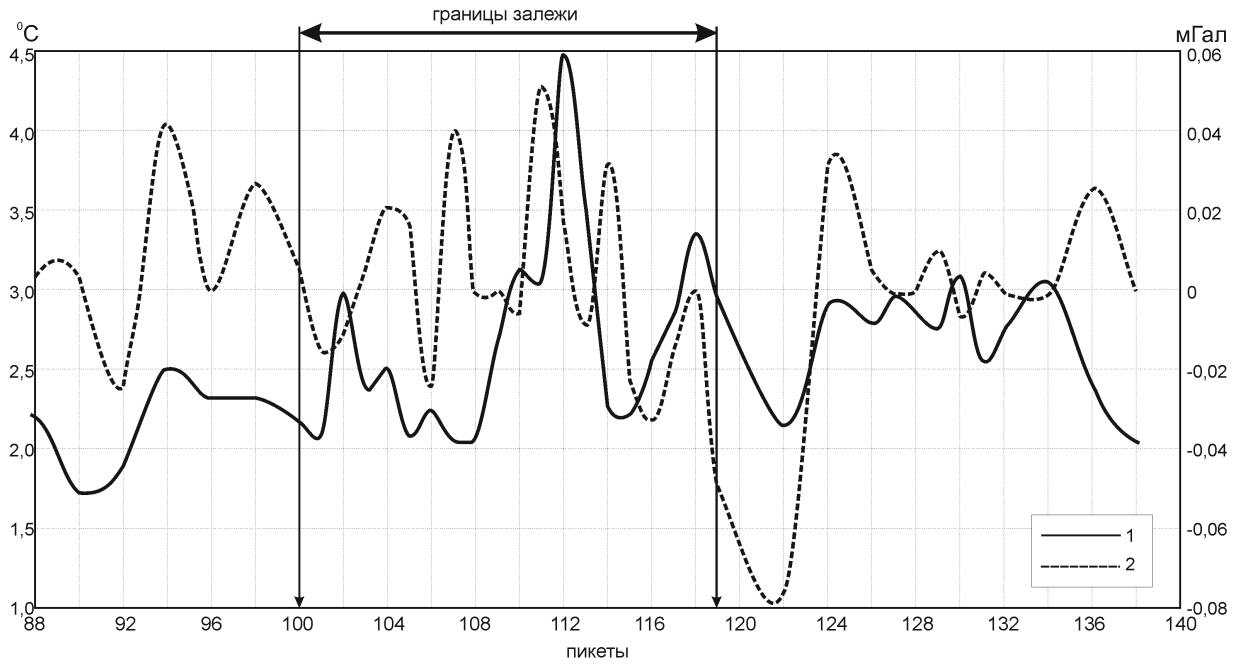

Рис. 3. Пример изменения гравитационного и термального полей над залежью газа: разности значений T °C (1) и $\Delta g_н$ (2) между циклами наблюдений 10 августа и 17 сентября 2006 г., Южно-Луговской полигон, профиль 1

дения с одновременной регистрацией вариаций геомагнитного поля и погрешностью определения ±1 нТл.

Методика профильных геофизических наблюдений подробно изложена нами ранее (Паровышный, Веселов, Сеначин, 2005; Паровышный и др., 2008).

В 2003-2006 гг. здесь выполнено шесть циклов наблюдений. Установлены основные признаки продуктивности:

– в контуре продуктивности гравитационное поле нестабильно во времени. Разности $\Delta g_н$ между циклами наблюдений, выполняемые со средней частотой через один месяц, достигают величины ±0,16 мГал;

– продуктивные блоки структуры характеризуются максимумами нестабильности гравитационного поля, которые коррелируют с относительными максимумами температур;

– 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. 3).

– в период прохождения естественного сейсмического импульса в контуре залежи происходит повышение температуры (рис. 4).

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

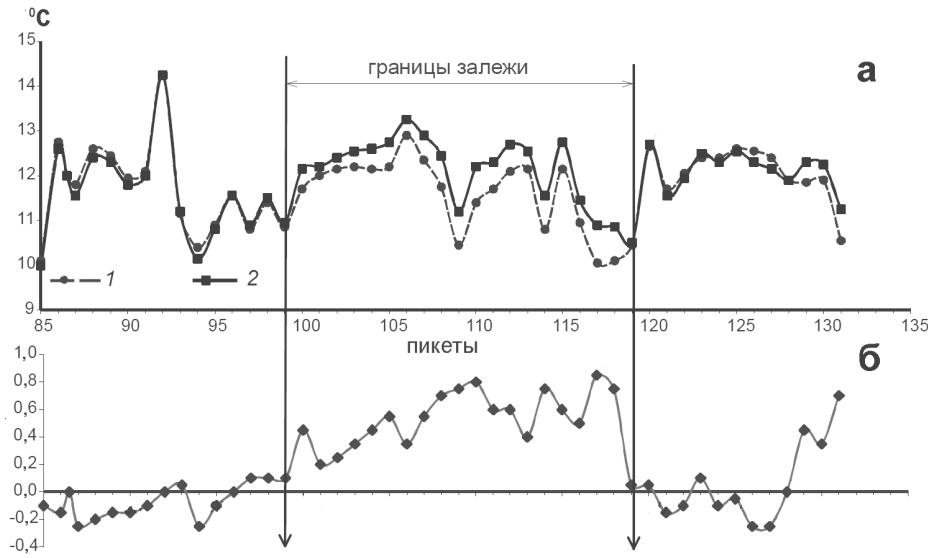

Рис. 4. Изменение температур по профилю 1 до и после землетрясения 13 сентября 2004 г.**:** а – температуры: 12 сентября (1), 15 сентября (2); б – разность температур (2-1)

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. 5).

Вторым магнитометром в это же время выполнялись рядовые наблюдения по профилю, зарегистрированы интенсивные (20 нТл) непериодические колебания за 10 мин до события (рис. 5а) и в течение 4 мин после него (рис. 5б).

Измерение температур по одному из профилей полигона 12 и 15 сентября 2004 г. показало, что в контуре залежи максимальное увеличение температуры составило 0,9 °С. За контуром произошло закономерное для этого времени года сезонное понижение температур на 0,05-0,15 °С (рис. 4).

Данный факт показал, что основной причиной изменения параметров геофизических полей над залежью являются сейсмические импульсы. Таким образом было установлено, что в период прохождения сейсмических импульсов, залежь газа обнаруживает себя, но 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

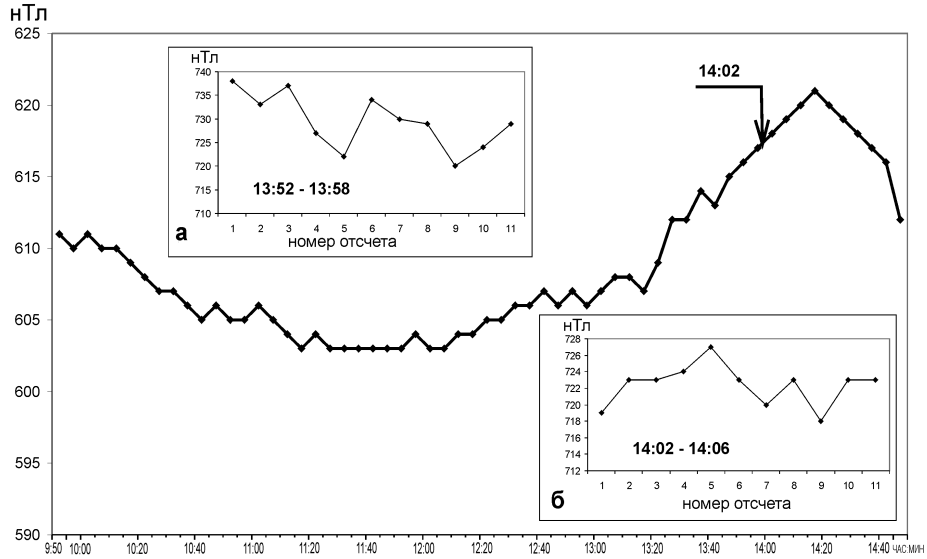

Рис. 5. Графики вариаций геомагнитного поля 13 сентября 2004 г.: большой – запись магнитовариационной станции; на врезках – записи полевым магнитометром до (а) и после (б) события

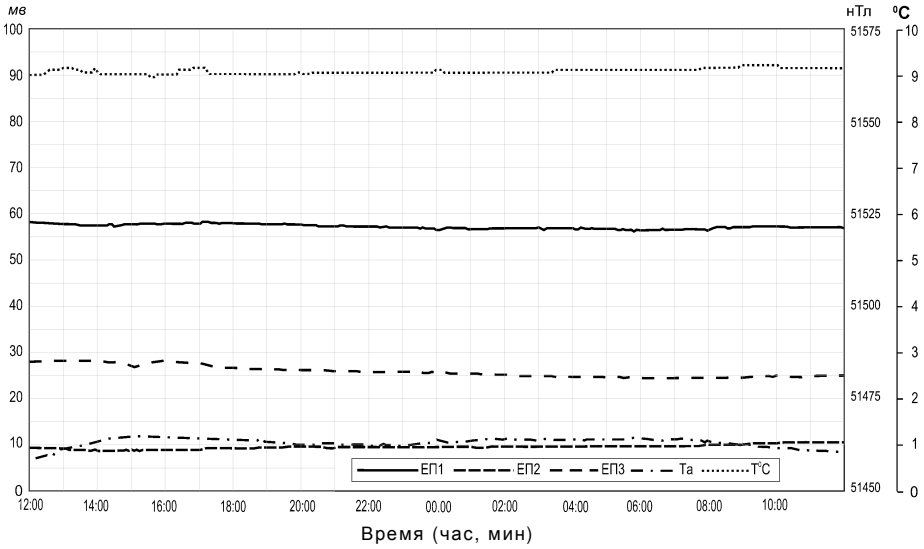

Рис. 6. Пример поведения геомагнитного (Та), естественного электрического (ЕП) и температурного (Т °С) полей над залежью газа при отсутствии сейсмических событий 18-19 сентября 2008 г. (фоновое состояние)

эманаций УВ-газов в Охотском море, связанное непосредственно с периодами повышения степени сейсмической активности (Обжиров и др., 2004).

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. На рис. 6 в качестве примера показано поведение геомагнитного, естественного электрического и температурного полей над залежью газа при отсутствии сейсмических событий.

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 (рис. 7, 8).

Здесь нужно отметить, что получение сигналов-предвестников от источника, удаленного на 1083 км от пункта наблюдений, вызывает некоторые сомнения у оппонентов. Однако известны случаи, когда электромагнитные сигналы регистрировались от источников, удаленных от пункта наблюдений на 2500 и более км (Довбня и др., 2006).

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 происходит 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), происходит 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 фоновых значений к моменту события, в некоторых случаях формы кривых ЕП и геомагнитного поля совпадают (рис. 8).

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. 7).

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

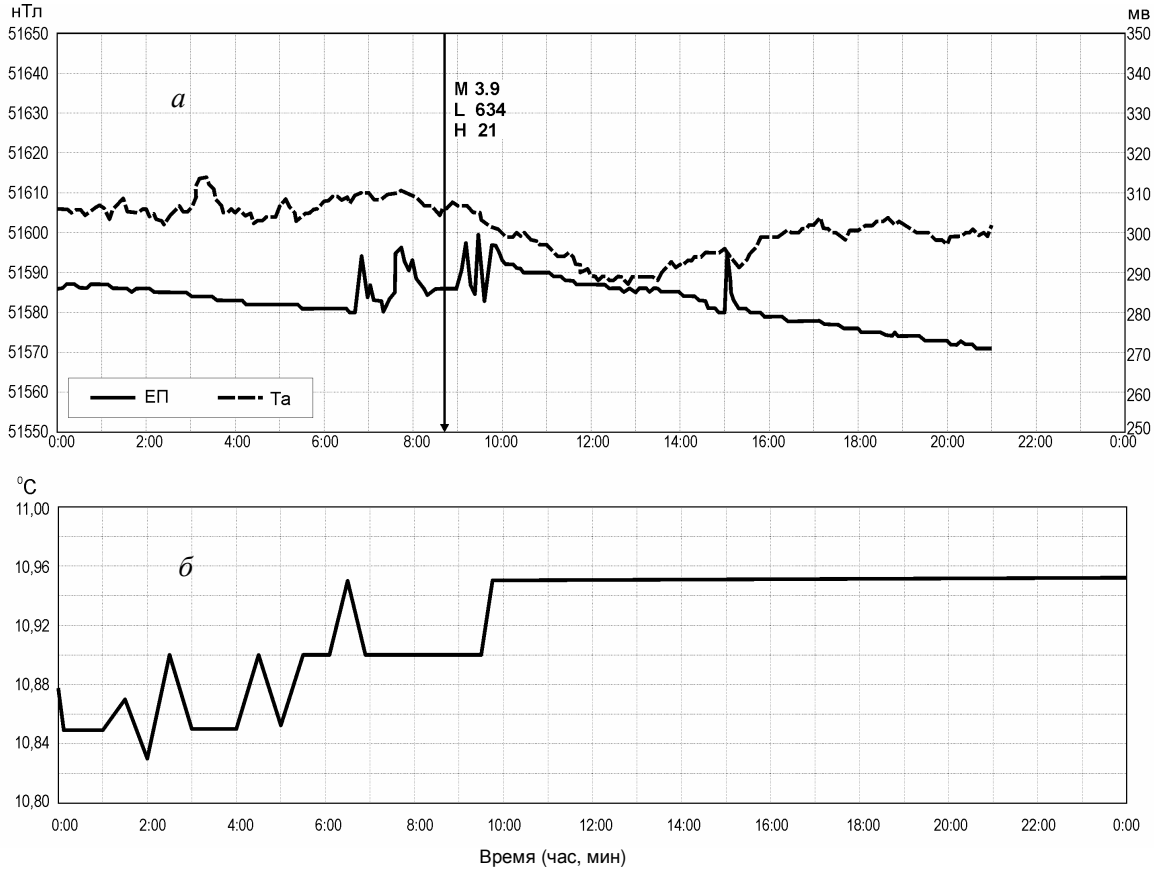

Рис. 7. Вариации геомагнитного (Та), естественного электрического (ЕП) полей (а) и температуры (б) 21 августа 2006 г**.** Здесь и далее: М – магнитуда землетрясения, L – расстояние от места наблюдения (км), Н – глубина (км)

Другая форма проявления близкого землетрясения (60 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 за 26 ч до землетрясения с магнитудой 3 в районе пос. Синегорск. При этом к моменту события наиболее резкие изменения показали каналы ЕП (рис. 9):

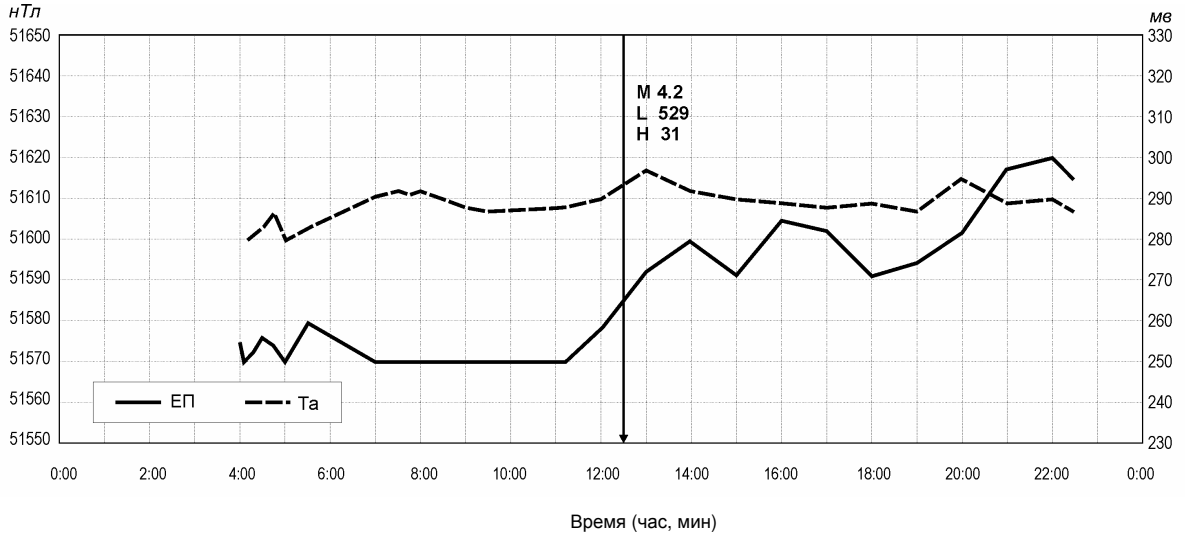

Рис. 8. Пример вариаций геомагнитного (Та) и естественного электрического (ЕП) полей при землетрясении 24 августа 2006 г.

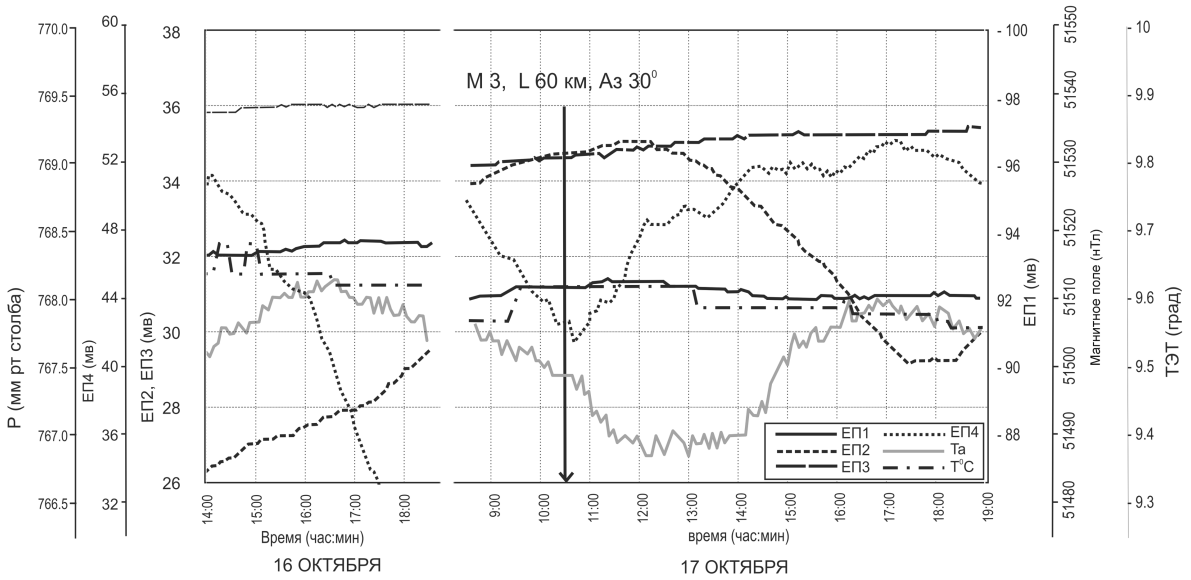

Рис. 9. Пример поведения геофизических полей при землетрясениях 16 и 17 октября 2008 г.

ЕП2, ориентированный по направлению к эпицентру (отмечено плавное повышение напряженности); ЕП4, ориентированный ортогонально этому направлению (понижение напряженности).

Показания ЕП по двум другим каналам существенно не отличились от фоновых.

Температура в пункте наблюдения возросла на 0,05 ºС за 1,5 ч до события. Напряженность геомагнитного поля понизилась на 5-7 нТл за 1 ч до события.

Выводы

1. Залежь УВ, расположенная в зоне влияния активного тектонического разлома, является индикатором геодинамических процессов, протекающих как внутри нее, так и за пределами.

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

3. Возмущения геофизических полей над залежью УВ начинаются за несколько часов до сейсмического события, если его эпицентр удален более чем на 350 км от пункта наблюдений, и ранее чем за сутки, если он расположен в радиусе около 100 км.

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

5. На данном этапе исследований перечисленные проявления сейсмических событий в геофизических полях следует рассматривать как частные случаи проявления предвестников. Для определения их фундаментальной значимости необходимо продолжить эксперименты на нескольких полигонах одновременно.

В целом результаты эксперимента позволяют сделать следующие предположения:

– 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;

– 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

Буланже Б.А. Влияние изменения во времени гидрогеологических факторов на силу тяжести. Повторные гравиметрические наблюдения // Тр. Института физики Земли РАН. М.: ИФЗ, 1986. С. 4-23.

Волгина А.И. О влиянии миграции флюидов на изменение силы тяжести. Повторные гравиметрические наблюдения // Тр. Института физики Земли РАН. М.: ИФЗ, 1988. С. 181-185.

Волгина А.И. Результаты изучения временных изменений гравитационного поля // Геология нефти и газа. 1990. № 3. С. 36-37.

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.

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.

Осадчий В.Г., Лурье А.И., Ерофеев В.Ф. Геотермические критерии нефтегазоносности недр. Киев: Наук. думка, 1976. 142 с.

Паровышный В.А, Веселов О.В., Сеначин В.Н. Временные изменения геофизических полей над газосодержащими геодинамическими системами. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2005. 50 с.

Паровышный 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.

Паровышный В.А., Сеначин В.Н., Веселов О.В., Кочергин Е.В. Вариации геофизических полей над флюидонасыщенными геодинамическими системами в связи с проблемой прогноза сейсмических событий // Вестник ДВО РАН. 2009. №4. С. 50-58.