№ 2(6) ◆ 2011

УДК [(550.834+550.837+550.84):551.1]:553.98.04(571.5-14)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ РЕАКЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПРИЛИВЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Г. Я. Дидичин*, В. Г. Сибгатулин**, С. А. Перетокин**, О. В. Гутина***

Изложены результаты опытно-методических работ на Бирюсинской площади, направленных на разработку новой технологии прогнозирования нефтегазовых залежей. В ее основе лежит анализ изучения реакции геологической среды на гравитационные приливы в земной коре (включая нефтегазовые объекты). Основная цель – повышение эффективности геолого-разведочных работ в сложных горно-геологических условиях юго-западной части Сибирской платформы. Экспериментальные исследования заключались в площадной регистрации естественного импульсного электромагнитного поля, собственных сейсмических шумов, содержаний метана в приземном слое атмосферы в наземном и аэровариантах, концентрации радона в воде в 20 пунктах в течение 29-дневного цикла колебания барицентра системы «Земля – Луна». Выявлена тесная зависимость изменения структуры электромагнитного, сейсмического и геохимического полей от положения барицентра, влияющего на состояние сжатия и растяжения земной коры. Выявленные эффекты позволяют рекомендовать данный комплекс методов для изучения строения земной коры в целях поисков залежей УВ.

Ключевые слова: *Сибирская платформа, Бирюсинская площадь, геофизические и геохимические поля, гравитационные приливы, барицентр «Земля – Луна», земная кора, геодинамика, мониторинг.*

BETTER EFFICIENCY IN FORECASTING OIL-AND-GAS POOLS BASED ON RESPONSES OF GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL FIELDS TO GRAVITATION TIDES IN THE EARTH'S CRUST

G. Ya. Didichin, V. G. Sibgatulin, S. A. Peretokin, O. V. Gutina

Some results of test-methodological studies over the Biryusinskaya area aimed at the development of a new technology for forecasting oil-and-gas pools are given. It is based on the analysis of geologic environment responses to gravitation tides in the Earth's crust, oil-and-gas objects included. The main objective is to increase the efficiency of geological studies in difficult mining and geological conditions in the south-western part of the Siberian Platform. Experimental investigations consisted in areal recording of the natural pulsed electromagnetic field, inherent seismic noises, methane content in the atmospheric boundary layer in the ground and aerial variants, radon concentrations in water at 20 stations during the 29-day cycle of fluctuation of the Earth-Moon system barycenter. A close relationship between restructured electromagnetic, seismic and geochemical fields and the barycenter position affecting the state of the Earth's crust compression and tension was established. The revealed effects allow the use of these methods for studying the Earth's crust structure in an effort to search for HC pools.

Key words: *Siberian Platform, Biryusinskaya area, geophysical and geochemical fields, gravitation tides, Earth-Moon system barycenter, Earth's crust, geodynamics, monitoring.*

В сложных горно-геологических условиях Сибирской платформы надежность прогнозирования залежей нефти и газа крайне низка, несмотря на внедрение современных технологий сейсморазведки. С целью повышения эффективности геолого-разведочных работ на поиски углеводородов в 2010 г. на Бирюсинской площади выполнен комплекс геофизических и геохимических исследований, направленных на разработку новой технологии прогнозирования нефтегазовых залежей на основе изучения реакции геологической среды (включая нефтегазовые объекты) на гравитационные приливы в земной коре.

Опытно-методические работы на Бирюсинской площади проведены неслучайно. Она находится в пределах Красноярского края в междуречье Ангары, Бирюсы и Чуны. В структурно-тектоническом отношении по отражающему сейсмическому горизонту Б или кровельной части тэтэрской свиты она расположена в пределах Присаяно-Енисейской синеклизы на восточном окончании Богучано-Манзинского выступа. Стратиграфический разрез составлен отложениями от нижнего протерозоя – рифея до кембрия включительно. Основные продуктивные и перспективные уровни, из которых уже получены притоки нефти и газа на Абаканской, Имбинской, Берямбинской площадях, приурочены к отложениям тасеевской серии (алешинская, чистяковская, мошаковская и редколесная свиты). Площадь расположена в пределах развитой инфраструктуры, относится к одному из перспективных нефтегазоносных районов и уже вовлечена в поисковый

*ГП «Сибирьгеофизика» (Лесосибирск)
**«ЭЦ РОПР» (Красноярск)
***ОАО «Енисейгеофизика» (Красноярск)

процесс (аэрогеофизические, сейсморазведочные работы, глубокое бурение, открытие газового месторождения) и может быть эталонной для последующих исследований. На северо-востоке площади в отложениях венда – рифея открыта Абаканская газовая залежь. Суммарная мощность газонасыщенной толщи достигает 200 м, что позволяет ожидать реакцию газовой залежи на гравитационные приливы

В процессе опытно-методических работ на Бирюсинском полигоне проводились экспериментальные исследования методом площадной регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), собственных сейсмических шумов, содержаний метана и пропана в приземном слое атмосферы в наземном и аэровариантах, концентрации радона в воде. Регистрация геофизических и геохимических полей осуществлялась в режиме мониторинга в течение всего 29-дневного цикла колебания барицентра системы «Земля – Луна». Для этого на полигоне были установлены 20 пунктов наблюдения электромагнитной эмиссии и собственных сейсмических шумов. Регистрация геофизических полей проводилась в непрерывном режиме с 4 июня по 7 июля 2010 г.

Для мониторинга геохимического (метан) поля были оборудованы два стационарных пункта наблюдений в поселках Пинчуга и Токучет: первый – в северной части полигона, второй – в южной; расстояние между ними 80 км. Содержания метана на дневной поверхности измерялись в течение суток в определенное время: 6:00, 12:00, 18:00, 00:00. Цикл измерений составлял 5 минут.

Для наблюдения за уровнем радона в подземных водах использовались воды подземного источника «Ключ», находящегося в 15 км от пос. Токучет на берегу р. Чуна. Заборы проб воды проводились ежедневно с 11.06.2010 по 17.07.2010 с 19:00 до 21:00.

Ведение мониторинга ЕИЭМПЗ осуществлялось многоканальным геофизическим регистратором МГР-01. Регистрация сейсмических сигналов проводилась аппаратурой «Байкал» производства ГС СО РАН (Новосибирск). Для изучения концентраций радона в воде применялось оборудование «Радиометр радона РРА-01М-01». Содержания метана в приземном слое атмосферы и на дневной поверхности измерялись дистанционным оптическим газоанализатором «ДОГА-1М1».

В целях обоснованного выбора временного интервала регистрации геофизических и геохимических аномалий, вызванных гравитационными приливами, предварительно (до начала полевых работ) выполнено моделирование положения барицентра системы «Земля – Луна» и приливных волн напряжений земной коры на основе расчета планетарных эфемерид. Методика прогнозирования положения барицентра по исследуемой площади разработана С. А. Перетокиным и А. А. Кабановым (НП «ЭЦ РОПР»). В результате было рассчитано положение барицентра с шагом во времени 1 ч на весь период проведения эксперимента. Положение определяется географическими координатами и глубиной барицентра от поверхности земли в километрах. Также с шагом 1 ч рассчитано расстояние от барицентра до Бирюсинского полигона. За время опытно-методических работ барицентр описывает полный цикл.

Методика расчета положения барицентра системы «Солнце – Земля – Луна» и графическое представление гравитирующих (относительных) потенциалов данной системы позволяют прогнозировать время прохождения резонансных гравитирующих приливных волн на изучаемой площади и, соответственно, настроить на оптимальную регистрацию все составляющие поискового комплекса (ЕИЭМПЗ, низкочастотную сейсморазведку). Одновременно велась регистрация гидрогеодинамического (ГГД) поля Земли, эмиссии метана (пропана) в приземном слое атмосферы, а также выполнены два полета с аэрогеохимической аппаратурой (в периоды максимального сжатия и растяжения земной коры под влиянием приливов).

Известно, что влияние Солнца на интенсивность приливных волн в земной коре примерно в 2 раза слабее, чем гравитационное влияние Луны (барицентра). Однако в связи с наложением годовых циклов вращения Земли относительно Солнца, а также 28–30-дневных лунных циклов относительно Земли в земной коре возникают резонансные явления при гравитационных приливах, что было отмечено в ходе исследований.

ЕИЭМПЗ, в основе которого лежит пьезоэффект в земной коре под влиянием волн сжатия и растяжения, четко реагирует на резонансные явления в гравитирующей системе «Солнце – Земля – Луна» (рис. 1). Наблюдается явная связь частотно-фазовой структуры поля ЕИЭМПЗ за весь период наблюдений и резонансов приливных явлений в земной коре. Анализ изменений этой структуры за данный период указывает на их устойчивую корреляцию с особыми точками гравитирующей системы «Солнце – Земля – Луна».

При опытно-методических работах зафиксированы особые точки в гравитационных приливах – 07.06, 09.06, 15.06, 21.06, 24.06, 02.07, максимальное сжатие земной коры приходится на 13–15 июня 2010 г., максимальное растяжение – на 28–30 июня 2010 г.

Данные ЕИЭМПЗ по 20 точкам были подвергнуты качественному анализу. При этом установлены устойчивая форма записи суточного хода и закономерные изменения особенностей записи отдельных станций в различные дни, что позволяет предположить наличие связи аномалий электромагнитного поля с геологическим строением исследуемой территории.

Интерес вызывает структура поля ЕИЭМПЗ в периоды максимального сжатия – растяжения

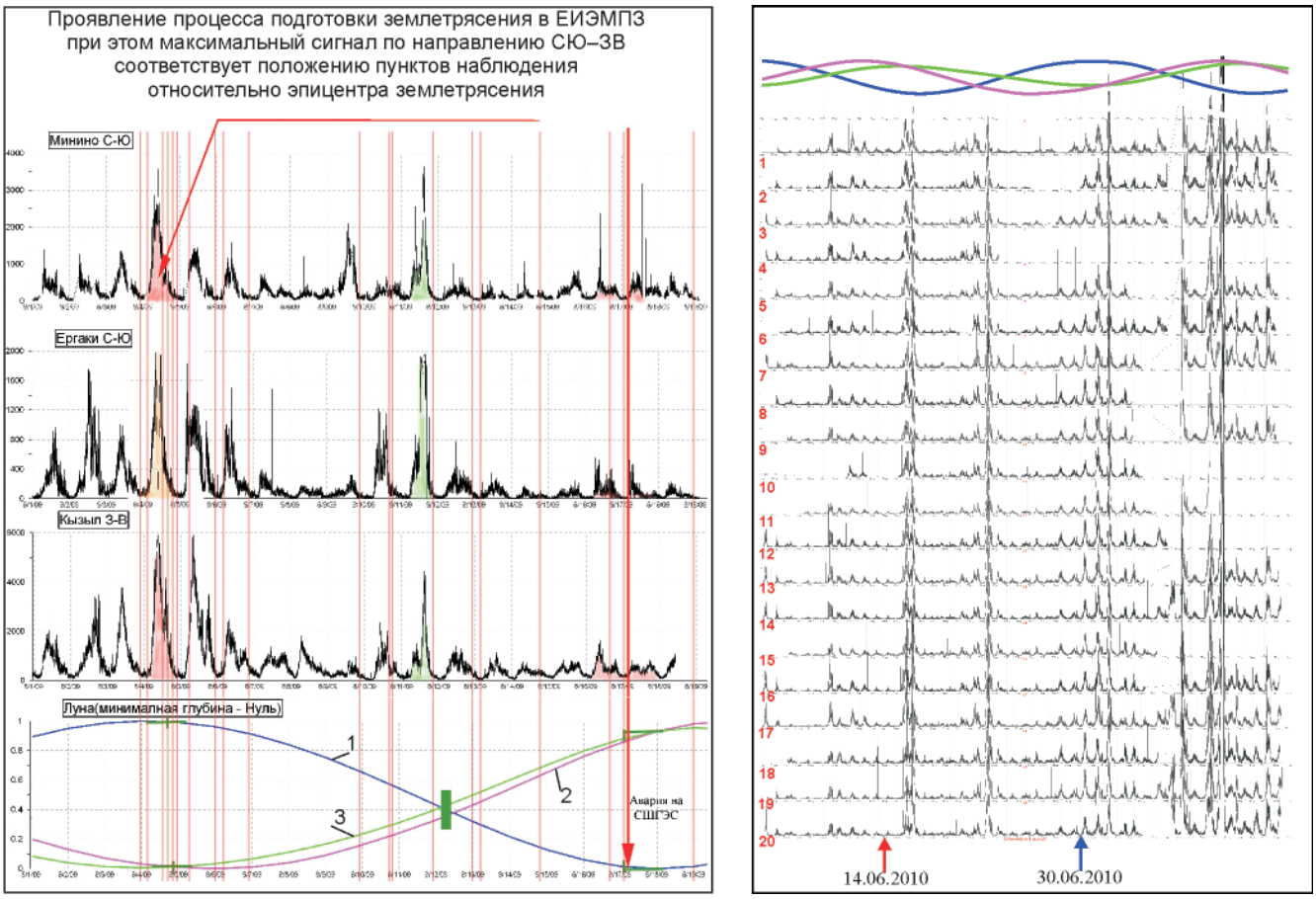


Рис. 1. Результаты измерения естественного импульсного электромагнитного поля Земли

Графики: 1 – колебания расстояния от Земли до Луны, 2 – изменения фазы Луны, 3 – колебания глубины гипоцентра

земной коры (см. рис. 1). В период сжатия (14 июня) в северной части полигона проявляется заметная неоднородность, выраженная в повышенной интенсивности электромагнитной эмиссии, что дает право предположить ее геологическую природу. Это может быть обусловлено тектоническими и структурно-литологическими особенностями строения осадочного чехла и, вероятно, высокой насыщенностью разреза УВ флюидами. В период растяжения (30 июня) характер поля резко меняется, аналогичные неоднородности начинают наблюдаться в юго-западной части полигона. Данное явление вполне объяснимо и связано с изменением физического состояния горных пород земной коры. Пока не представляется возможным установить прямые связи между флюидодинамическими системами в осадочном чехле и интенсивностью электромагнитной эмиссии в зависимости от гравитационных приливов. Это задача дальнейших опытно-методических работ на конкретных месторождениях УВ. Главный результат настоящего эксперимента – выявление четкой корреляции между частотно-фазовой структурой поля ЕИЭМПЗ и резонансами приливных явлений в земной коре.

Основная задача эксперимента – наблюдения собственных сейсмических шумов в диапазоне низких (до 10 Гц) частот, т. е. тестовая проверка принципиальной возможности применения низкочастотной сейсморазведки для решения нефтегазопоисковых задач на Сибирской платформе. Для генерации низких (1–10 Гц) и ультранизких (0,1–1,0 Гц) частот в геологическом разрезе отпадает необходимость в использовании искусственных источников колебаний, так как земная кора постоянно подвергается энергетическому влиянию гравитационных приливов в системе «Солнце – Земля – Луна». На основе регистрации собственных колебаний различных геологических объектов (включая и нефтегазовые), усиленных резонансом гравитационных приливов, можно выявлять крупные скопления углеводородов.

При районировании территории по сейсмическим шумам использованы два параметра – амплитуда спектра когерентности и относительная амплитуда собственных колебаний. Они рассчитывались для выделенного набора собственных частот, вычисленных для периодов сжатия (13–16 июня) и растяжения (29 июня – 2 июля).

В качестве базовых станций выбраны пункты регистрации № 4 и № 19. Первый расположен вблизи продуктивной газовой скважины на Абаканской площади, второй – в районе пос. Токучет на р. Чуна (по комплексу геолого-геофизических данных залежей углеводородов в разрезе нет). Результаты сейсмического мониторинга приведены на рис. 2, 3.

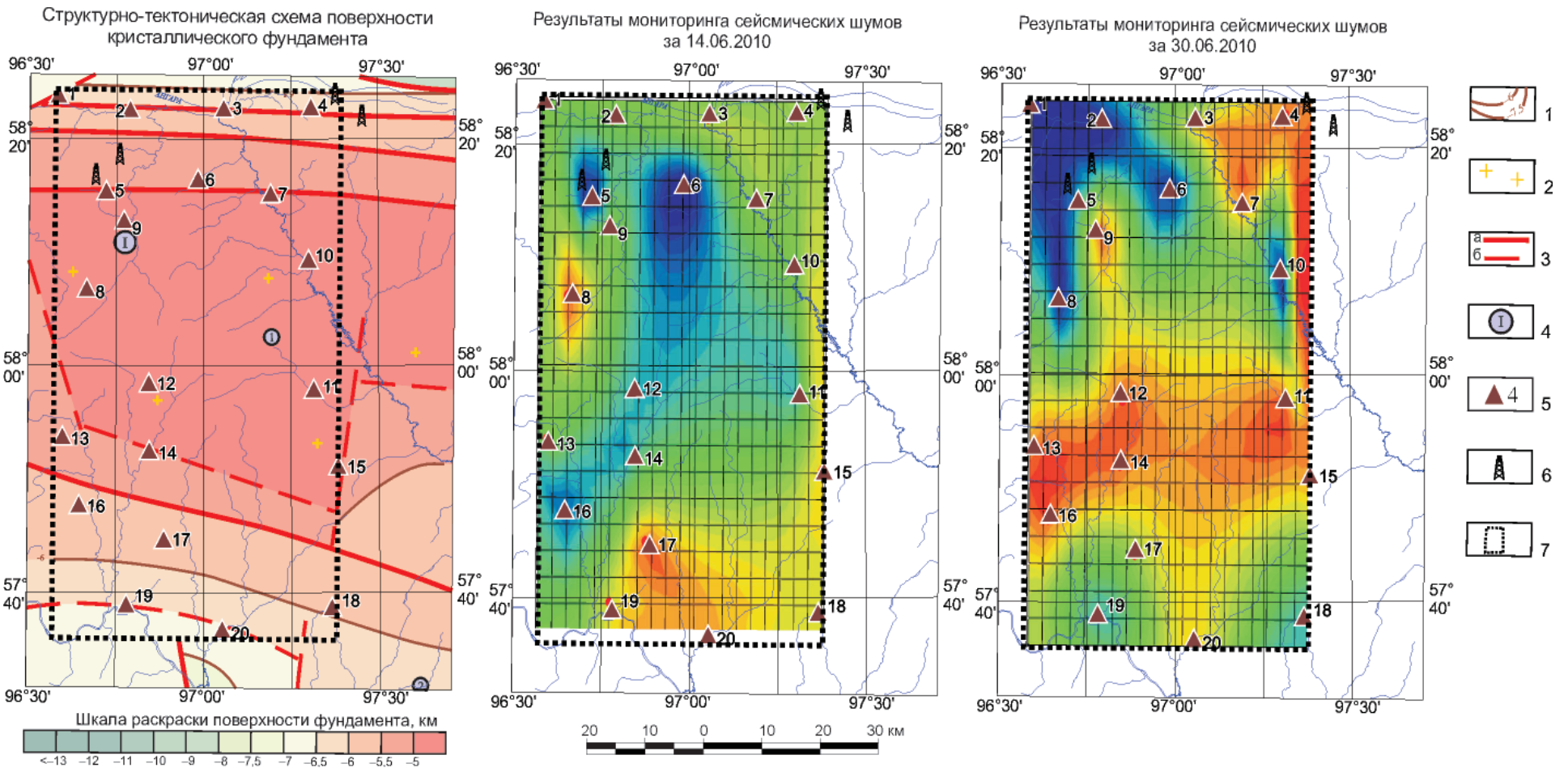


Рис. 2. Структура низкочастотного сейсмического поля в периоды сжатия (14.06.2010) и растяжения (30.06.2010) земной коры и ее взаимосвязь с тектоническим строением фундамента

1 – изогипсы поверхности кристаллического фундамента по данным интерпретации гравимагнитных полей, км; 2 – локальные выступы фундамента гранитоидного состава; 3 – основные структурообразующие разломы: а – межблоковые, б – внутриблоковые; 4 – структурные элементы поверхности кристаллического фундамента: I – Чуно-Бирюсинский мегавыступ, 1 – Манзинский выступ, 2 – Почетский выступ; 5 – пункты наблюдений ЕИЭМПЗ и сейсмических шумов; 6 – скважины глубокого бурения; 7 – контур экспериментального полигона

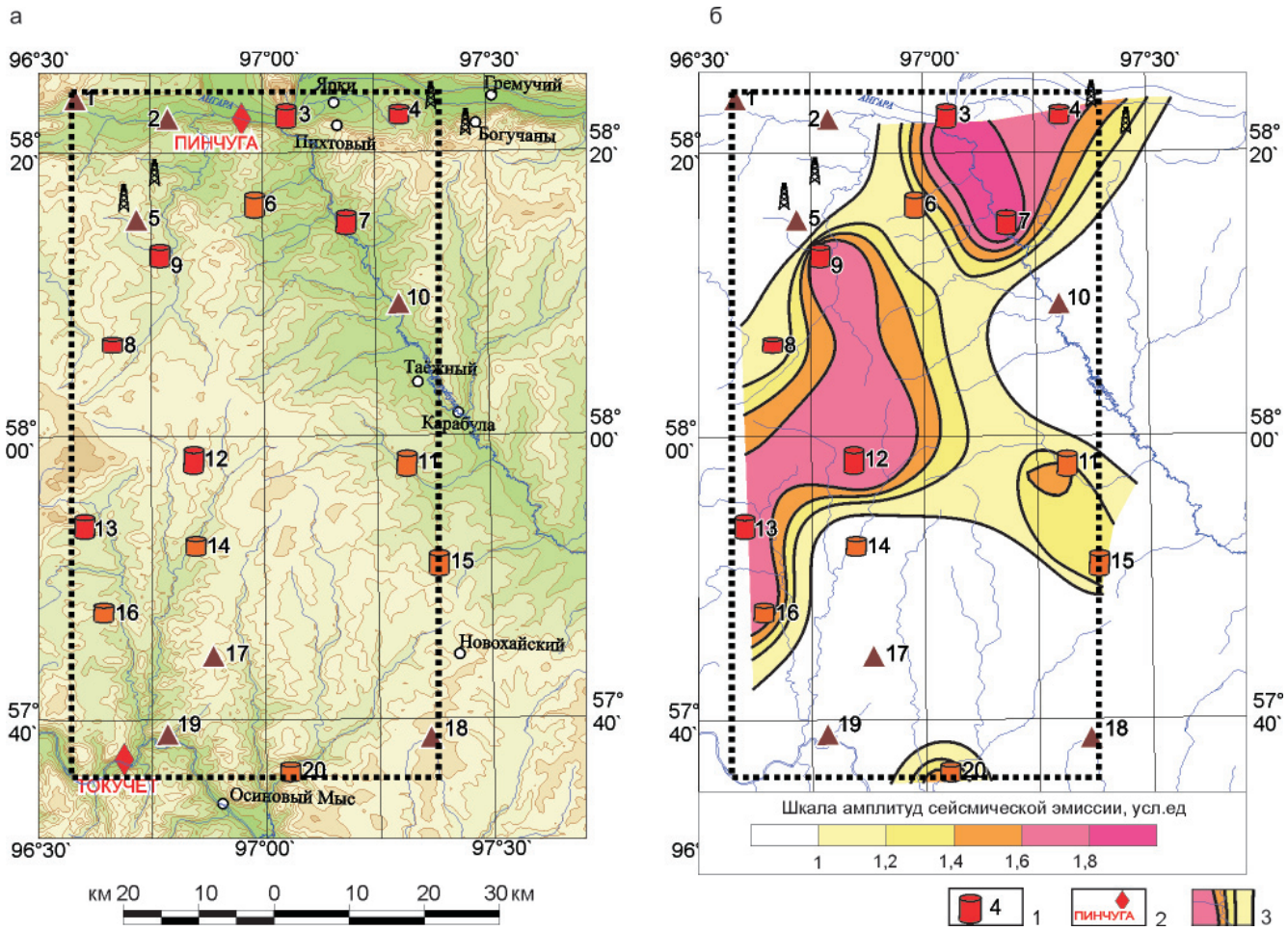
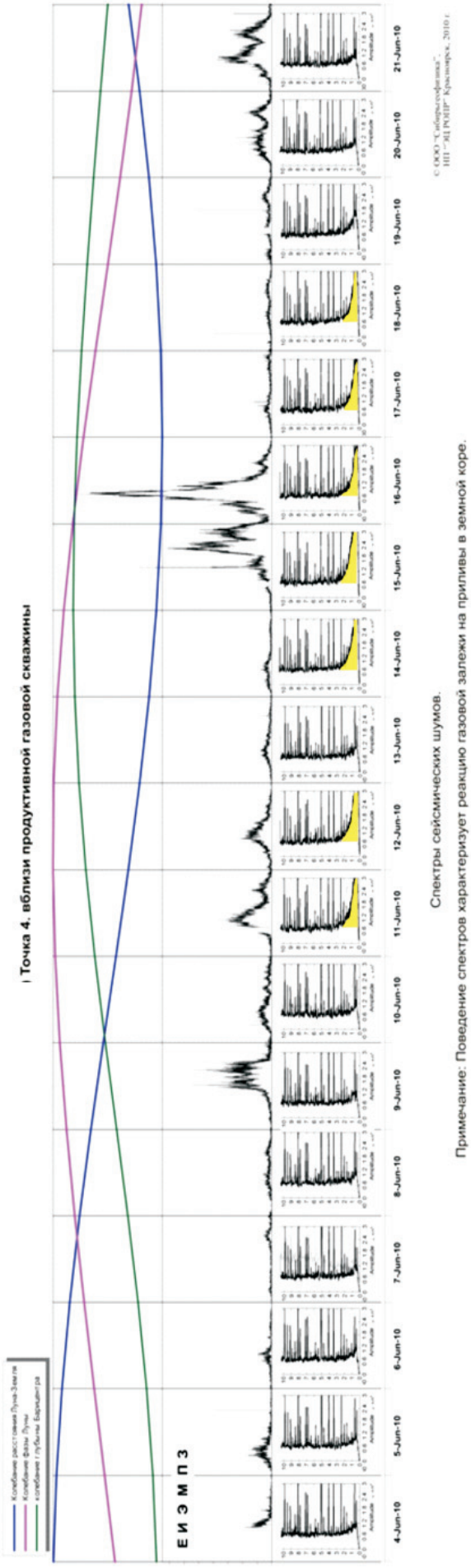


Рис. 3. Пункты наблюдений сейсмических и геохимических шумов на топооснове (а) и изменение характеристик (амплитуд) собственных частот относительно пункта наблюдений № 4 (б)

1 – пункты наблюдений с эталонными характеристиками сейсмических шумов; 2 – пункты наблюдений геохимического поля; 3 – изолинии амплитуд собственных сейсмических частот; остальные усл. обозн. см. на рис. 2

В период сжатия земной коры в низкочастотном сейсмическом поле относительно малоамплитудными собственными колебаниями четко выделяется консолидированный блок кристаллического фундамента (см. рис. 2). По данным гравимагнитных исследований во время растяжения (30 июня 2010 г.) земной коры казалось бы монолитный блок кристаллических пород начинает «дробиться» на более мелкие локальные блоки. В низкочастотном спектре собственных сейсмических колебаний начинают активно проявляться тектонические зоны разломов. Следовательно, в процессе низкочастотного сейсмического мониторинга можно уточнять геологическое строение консолидированной части разреза.

Анализ собственных сейсмических шумов на частотах 1,9; 2,4; 3,0 Гц позволяет выделить геодинамически активные блоки в осадочном чехле. Для наглядности и плановой привязки на рис. 3 амплитуды сейсмической эмиссии, обусловленной геодинамической активностью структур осадочного чехла, включая флюидные системы (коллектора нефти и газа), показаны в изолиниях. Расчет амплитуд произведен относительно пункта регистрации № 4, который расположен вблизи скважины, вскрывшей газовую залежь. Поэтому сейсмические характеристики в этом пункте принимаются за эталонные. По аналогии с ними проведена оценка геодинамической обстановки всей исследуемой площади. Также были рассчитаны спектры сейсмических шумов в п. 4 и п. 19 с использованием программных средств ЗАО «Градиент» (Казань) (рис. 4). При этом зафиксирована четкая реакция газовой залежи в районе п. 4 на приливные воздействия в низкочастотной части спектра. Судя по характеру спектра сейсмических шумов, в п. 19 нефтегазовая залежь, как и ожидалось, отсутствует. Наиболее активный блок-эталон наблюдается в районе перспективной структуры на северо-востоке полигона. Другой крупный блок, представляющий нефтегазопоисковый интерес, выделяется на западе площади. Южную и центральную части полигона из-за неравномерной и редкой сети наблюдений оценить сложно. Геодинамически активные блоки, установленные на основе регистрации сейсмической эмиссии, на данном этапе экспериментальных исследований определяются как зоны вероятного распространения УВ-флюидов в разрезе осадочного чехла.



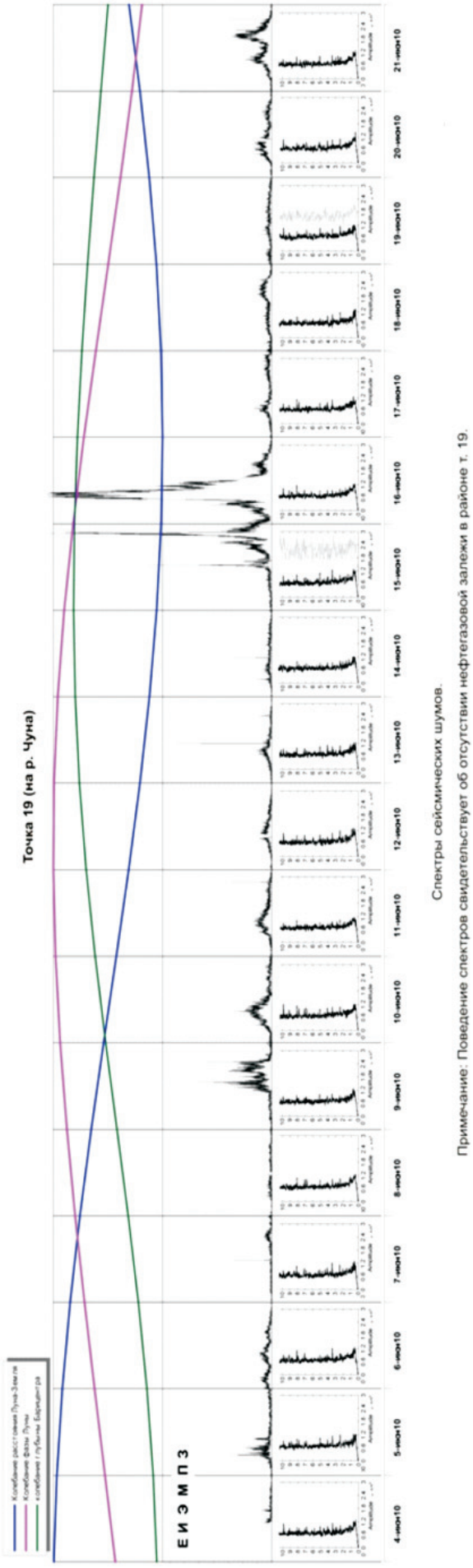


Рис. 4. Проявление газовой залежи в Приангарье при гравитационных приливах

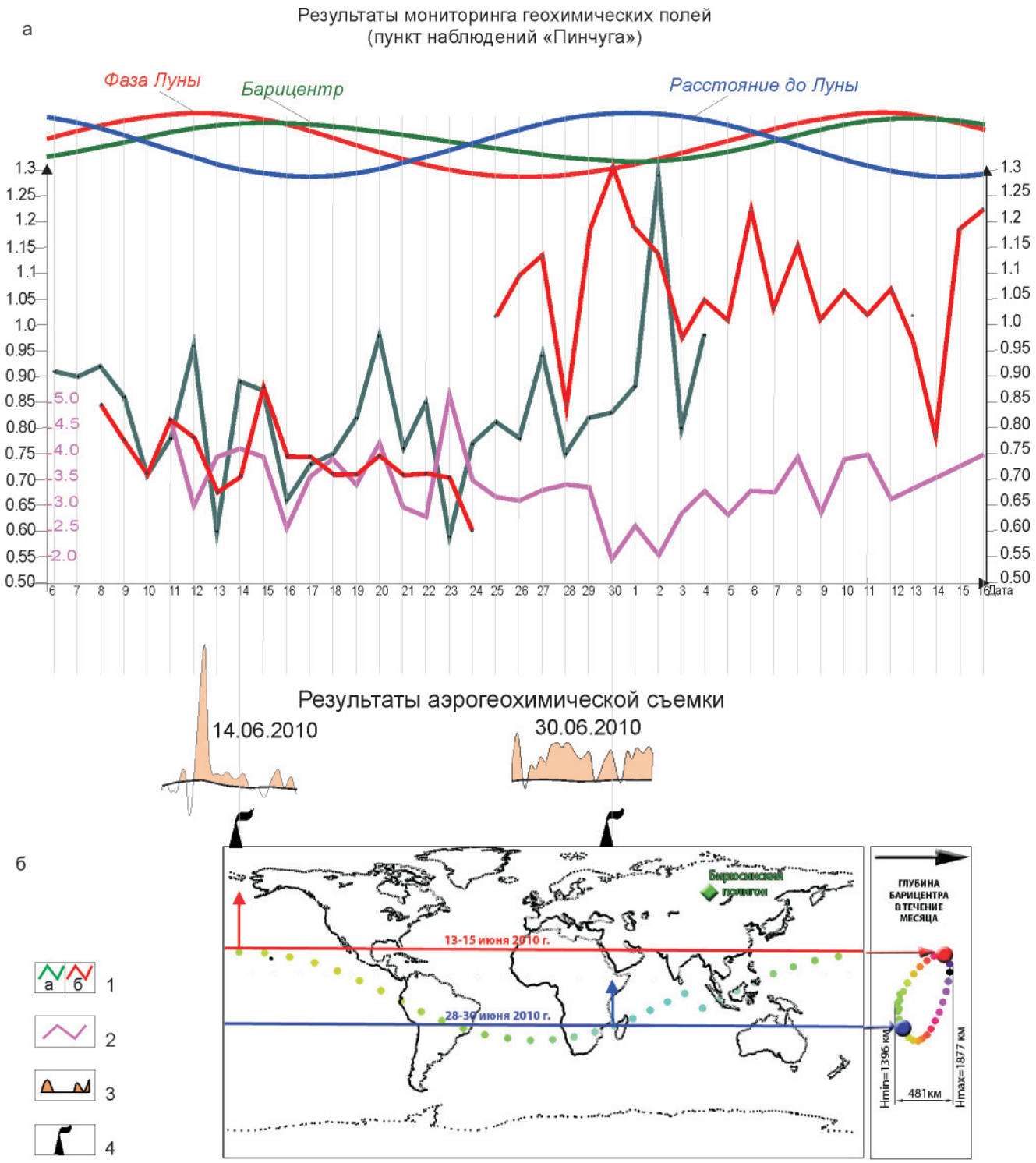


Рис. 5. Взаимосвязь аномалий метана, радона с резонансными явлениями в земной коре по данным ЕИЭМПЗ (а) и положения барицентра в системе «Земля – Луна» (б)

Графики средних содержаний: 1 – метана в 12:00 на земле (а – Пинчуга, б – Токучет), 2 – радона, 3 – пропана в приземном слое атмосферы (1см = 0,015 усл. ед.); 4 – глубокая скважина, вскрывшая газовую залежь

Одновременно с мониторингом геофизических полей на Бирюсинском полигоне проводился мониторинг геохимических (метан, радон) полей. Зафиксированные аномалии этих газов по времени приурочены к определенным моментам прохождения волн растяжения – сжатия в земной коре по данным ЕИЭМПЗ (рис. 5).

Аэромониторинг геохимического (пропан) поля выполнен по сети профилей, охватывающих всю площадь полигона. Суть эксперимента заключается в следующем: один вылет осуществлен в период сжатия земной коры (14 июня), второй – в период растяжения (30 июня). Полученные результаты показывают, что в зависимости от геодинамического состояния земной коры структура геохимического (пропан) поля меняется кардинально. Так, в период сжатия общий уровень поля понижается и на этом фоне в ряде случаев фиксируются локальные

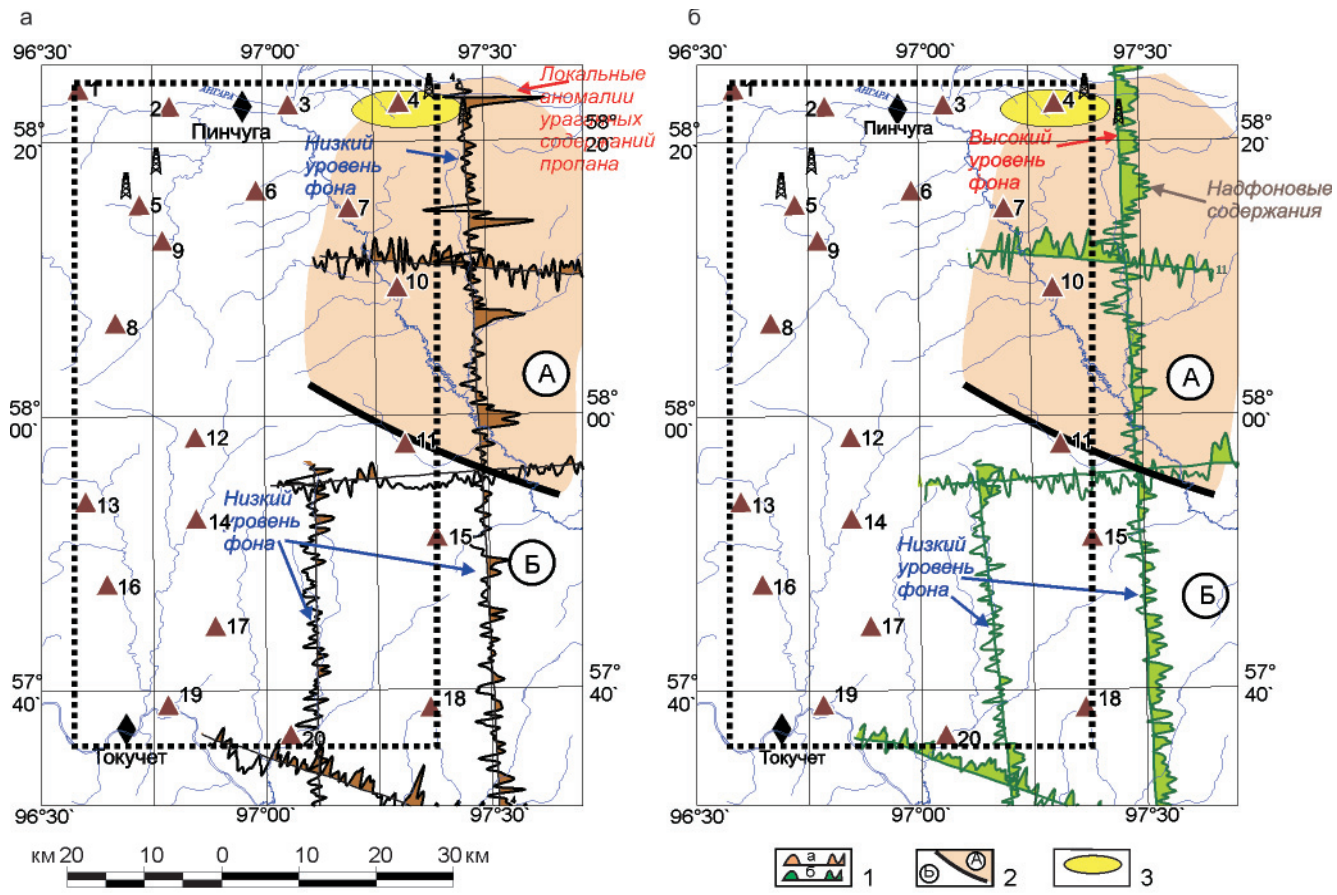


Рис. 6. Характер проявления скоплений углеводородов в геохимическом поле пропана в зависимости от режимов сжатия (14.06.2010) (а) и растяжения (30.06.2010) (б) земной коры в районе Абаканской залежи УВ

1 – графики содержаний пропана во время съемки: а – 14.06.2010, б – 30.06.2010; 2 – зоны: А – интенсивного насыщения разреза осадочного чехла УВ флюидами (вероятная зона нефтегазонакопления), Б – отсутствия в разрезе крупных скоплений УВ; 3 – Абаканская залежь; остальные усл. обозн. см. на рис. 2

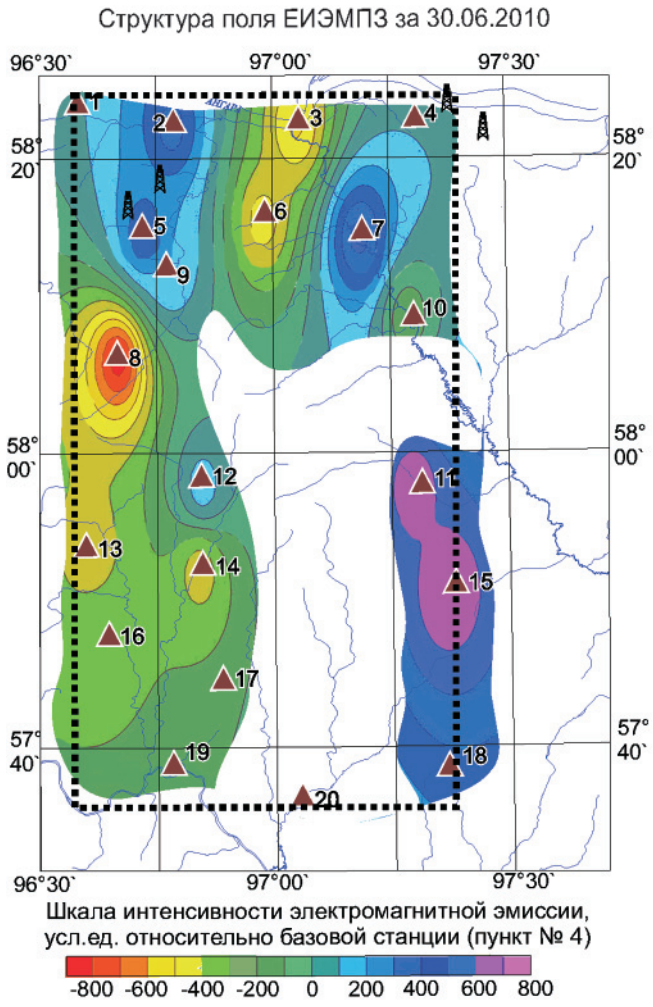
аномалии с ураганными содержаниями пропана. И наоборот, в период растяжения средний уровень фона повышается, локальность аномалий исчезает, они становятся более интегрированными (рис. 6). При этом следует отметить, что в районе вскрытой газовой залежи геохимическое поле в обоих случаях характеризуется определенной аномальностью при низком и высоком среднем фоне.

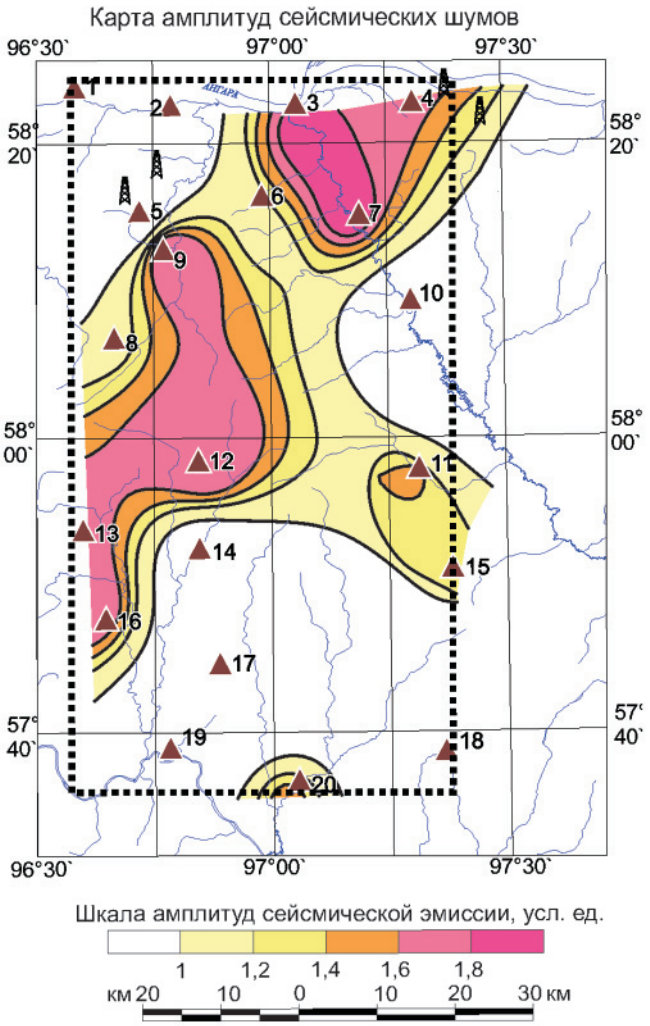
Сравнение геохимических данных в режиме аэромониторинга 14 и 30 июня 2010 г. с результатами обработки данных ЕИЭМПЗ путем получения приращений по отношению к базовой станции подтверждает их тесную корреляцию ($k > 0,8$). Физически эту корреляционную связь можно объяснить проявлением гравитационных приливов различной интенсивности в разное время. В частности, 14.06 и 30.06 барицентр системы «Земля – Луна» приближался к особым точкам, в которых максимально проявились эффекты растяжения и сжатия земной коры.

Сопоставление результатов обработки данных ЕИЭМПЗ, сейсмических шумов, аэрогеохимии (рис. 7) с картами среднечастотных аномалий магнитного и гравитационного полей подтверждает тесную связь между физическими (геологическими) неоднородностями в осадочном чехле (включая газовую залежь в районе пункта регистрации № 4) с особенностями структуры поля ЕИЭМПЗ и аномалий в поле собственных сейсмических шумов. При этом аномалии электромагнитной и сейсмической эмиссии хорошо согласуются с представлениями о геологическом строении территории. Аномалии приурочены к обрамлению гранитоидного выступа в фундаменте.

Основным итогом опытно-методических работ на Бирюсинском полигоне является возможность прогнозирования нефтегазовых залежей на основе изучения реакции геофизических и геохимических полей на гравитационные приливы в земной коре. Выявленные особенности ЕИЭМПЗ и собственных сейсмических шумов в комплексе с аэрогеохимией в режиме мониторинга позволили, во-первых, подтвердить результаты ранее проведенных аэрогеофизических и сейсмических исследований, а во-вторых, выделить участки, перспективные на поиски УВ, в границах вероятных зон нефтегазонакопления.

Кроме поисковых задач, знание времени возникновения резонансов при гравитационных приливах в системе «Солнце – Земля – Луна» позволяет повысить надежность выявления нефтегазовых объектов при испытаниях скважин. Проявление гравитационных приливов в земной коре фиксируется не только в виде пьезоэлект-





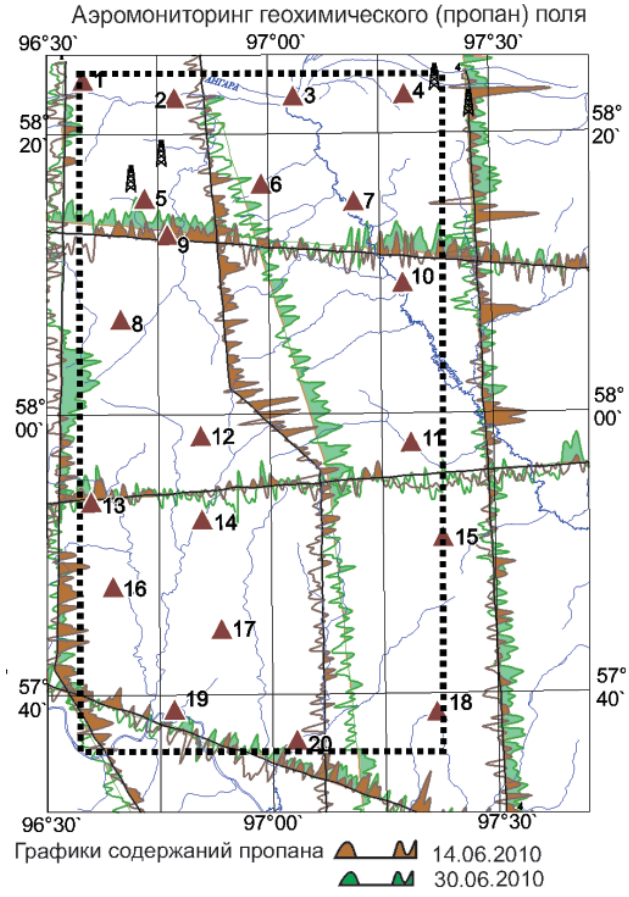


Рис. 7. Сопоставление результатов ЕИЭМПЗ, сейсмических шумов и аэрогеохимии

ромагнитного эффекта ЕИЭМПЗ, но и в виде изменений ГГД-поля, а также изменения притоков флюидов (воды, нефти, газа) в скважинах. При этом максимальные притоки из пластов-коллекторов можно получить за счет оптимизации времени испытаний (синхронизации с резонансами гравитационных приливов). На этапе эксплуатации нефтегазовых скважин постоянно наблюдаются колебания притоков, одна из вероятных причин которых – гравитационные приливы, что следует учитывать при планировании добычи и принятии решения целесообразности интенсификации притоков.

Выявленные эффекты позволяют рекомендовать комплекс методов (ЕИЭМПЗ, низкочастотная сейсморазведка, геохимия в мониторинговом режиме, ГГД-поле) для изучения строения земной коры в целях поисков залежей УВ.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований разработаны принципиально новая методика и технология для прогноза нефтегазовых залежей в физико-геологических условиях Сибирской платформы.

© Г. Я. Дидичин, В. Г. Сибгатулин, С. А. Перетокин, О. В. Гутина, 2011