



О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭМИССИИ МИКРОСЕЙСМ ПРИ ПОИСКЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЧАЙКИНСКОЙ ПЛОЩАДИ

Е. А. Хогоев^{1,3}, Е. Е. Хогоева^{1,2}, М. Л. Шемякин²

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А. А. Трофимука, Новосибирск, Россия; ²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия; ³Алтай-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба» РАН, Новосибирск, Россия

Приведены результаты картирования микросейсм по Чайкинской площади с использованием сейсмограмм стандартной сейсморазведки (участки сейсмограмм с удалениями более 2 км на времени от 3,5 с, т. е. после регистрации первичных волн от взрыва). На отдельных участках профилей выявлен эффект сейсмической эмиссии – кратного увеличения интенсивности микросейсм частот 0–30 Гц по сравнению с микросейсмскими, регистрируемыми до первых вступлений волн от взрыва. Выделена аномалия микросейсмического шума на поднятии в северо-восточной части площади, подтверждаемая наследованием аномалии на двух параллельных профилях и пересекающем их профиле. Эта аномалия коррелирует на площади с ловушкой, обнаруженной методом аэрогамма-спектрометрии. Результаты исследования микросейсмической эмиссии могут быть использованы в комплексной интерпретации геофизических данных при поиске нефтегазовых месторождений.

Ключевые слова: сейсморазведка, спектр микросейсм, прогноз нефтегазовых залежей.

ABOUT THE POSSIBILITY OF USING THE EMISSION OF MICROSEISMS IN SEARCHING FOR OIL AND GAS DEPOSITS, ON THE EXAMPLE OF CHAYKINSKAYA AREA

E. A. Khogoev^{1,3}, E. E. Khogoeva^{1,2}, M. L. Shemyakin²

¹A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS; Novosibirsk, Russia; ²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia; ³Altai-Sayan Branch of Federal Research Center "United Geophysical Service" RAS, Novosibirsk, Russia

The article presents the results of microseismic mapping of Chaykinskaya area using standard seismic gathers. Offsets more than 2 km and time interval from 3.5 s and, i.e. after the registration of primary artificial waves are used. Increasing of microseisms intensity (0–30 Hz) compared to intervals before first brakes was revealed. The anomaly of microseismic noise at the elevation in the northeastern part of the area confirmed by an inheritance of the anomaly on two parallel profiles and a profile crossing them was identified. This anomaly correlates in the area with a trap detected by the aero-gamma-spectrometry method. The investigation results of the microseismic emission can be used in an integrated interpretation of geophysical data in oil and gas exploration.

Keywords: seismic exploration, microseismic spectrum, oil and gas exploration.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-88-95

Серьезные препятствия для эффективного применения традиционных сейсморазведочных методов на большинстве разведываемых объектов Восточной Сибири представляют такие факторы, как сложное строение верхней части разреза, высокие скорости распространения волн, сильный фон частично-кратных волн. В результате мы получаем низкую прослеживаемость отражающих горизонтов, появление временных аномалий, искажающих структурный план целевых горизонтов. Указанные факторы характеризуют сейсмогеологические условия Чайкинской площади. В связи с этим для решения задач поиска нефтегазовых залежей возрастает значение комплексного исследования объекта с привлечением как можно большего числа геофизических методов.

В дополнение к традиционным методам обработки данных сейсмики в настоящее время развивается направление, нацеленное на извлечение из сейсмического поля дополнительной информации, прямо не связанной с отраженными волнами. Зада-

ча здесь – получение независимой и более полной информации о строении геосреды с использованием волн разных классов, в том числе волнового поля сейсмической эмиссии. Проведенные нами ранее исследования по Берямбинской и Пайяхской площадям дают основания полагать, что аномалии микросейсмической эмиссии коррелируют с нефтегазовыми залежами [6, 7].

Наш подход является одним из вариантов использования микросейсмической эмиссии при поисках залежей углеводородов. Наиболее известный в этом направлении метод – поиск залежей с помощью мониторинга низкочастотных (2–6 Гц) микросейсм (АНЧАР). Авторы этого метода С. Л. Арутюнов, О. Л. Кузнецов и др. в недавней статье [5] по результатам многолетних исследований обосновывают утверждение, что микросейсмическая эмиссия геосреды связана с ее УВ-насыщением и может быть прогнозным индикатором нефтегазовых залежей, а при техногенном воздействии интенсивность микросейсмической эмиссии залежи возрастает



кратно. Эти выводы в целом согласуются с нашим опытом.

За рубежом также проявляется интерес к этому подходу, в частности, применительно к поиску волн микросейсмической эмиссии в данных активной сейсмики в поздней части сейсмической записи после прохода первичных волн PP, PS и SS [9].

Ранее Г. В. Ведерниковым и Л. А. Максимовым [2] была проведена обработка и интерпретация микросейсм по части профилей (1, 2, 4, 5) Чайкинской площади. В связи с ограниченностью данных не удалось построить карты распределения микросейсмических шумов по площади. При обработке использовались данные до первых вступлений волн от взрыва, где контрастность аномалий оказалась мала, что не способствует надежному их выделению.

В предлагаемой статье приводятся результаты исследования спектров микросейсм по сейсмограммам МОГТ на поздних временах записи сейсмотрасс, после регистрации волн от источника. Использование такого подхода позволяет выделить сейсмоземиссионные эффекты от залежи углеводородов. После прохождения волн от взрыва, как уже отмечалось, ожидается кратное увеличение микросейсмической эмиссии по сравнению с эмиссией, регистрируемой на сейсмограммах до первых вступлений.

Методика обработки

В наших работах начиная с 2006 г. развивается направление, которое заключается в использовании данных МОГТ для картирования аномалий спектров эмиссионных микросейсм с помощью их накопления в точках приема и поиску связи характеристик спектра с нефтегазовыми залежами и блочным строением среды [1]. Исходными данными служат отрезки трасс с большими (более 2 км) удалениями от источника как до вступления первых волн, так на поздних временах записи (от 3,5 с записи). Это близко подходу, описанному в работе [9], с тем отличием, что ее авторы ищут следы фронтов волн эмиссии непосредственно в волновом поле, что представляет более сложную задачу.

Мы проводим анализ микросейсм на определенных интервалах сейсмических трасс. На первом этапе вычисляются основные статистические параметры по всему профилю измерений (математическое ожидание M , стандартное отклонение σ) и проводится отбраковка интервалов с выбросами амплитуд по известному правилу статистики 3σ . Путем минимизации влияния случайных импульсных помех удается выделить стационарный фоновый процесс. Мы рассчитываем спектры микросейсм и затем проводим их усреднение в точках приема. В итоге мы получаем распределение значений усредненного спектра в координатах (по горизонтали – профильные координаты точек приема, по вертикали – частота), значение спектра кодируется цветом. При выводе изображения производится

нормировка на среднее значение спектра по всему профилю.

При построении карт требуется унифицировать полученные результаты. Для унификации данных по профилям мы переходим к удельному спектру определенного частотного диапазона, т. е. отношения суммы значений спектра (например, от F_1 до F_2) к сумме всего спектра от 0 до 250 Гц. В данном случае $F_1 = 0$ Гц, $F_2 = 30$ Гц. Используя площадные координаты пунктов приема, мы можем строить карты распределения удельного спектра в процентах по площади, воспользовавшись программой Surfer. Надо отметить, что достоверность карт меньше, чем изображение спектра по профилю, так как качество интерполяции определяется количеством профилей и их плотностью на площади. Надежным способом интерпретации при выделении области аномальных значений спектра микросейсм является видимая наследуемость аномалий на параллельных и пересекающихся профилях.

Опираясь на полученные ранее результаты по связи фонового микросейсмического шума с нефтегазовыми залежами на Берябинской и Пайяхской площадях [6, 7], проведем исследование микросейсм по сейсмопрофилям МОГТ на поздних временах сейсмотрасс по данным площадной 2D съемки Чайкинской площади.

Нефтегазоносность Чайкинского поднятия

Чайкинское поднятие (площадь около 2500 км², амплитуда до 250 м) расположено в зоне сочленения Непско-Ботубинской антеклизы с Предпатомским региональным прогибом. Основные перспективы нефтегазоносности здесь, по данным А. В. Мигурского и др. [3], связаны с венд-нижнекембрийскими отложениями. Их нефтегазоносность доказана бурением на соседнем Талаканском месторождении, где продуктивны осинский (основной) и хамакинский горизонты. Оценка нефтегазоносности поднятия показала, что ресурсы условных углеводородов могут достигать 4,0 млрд м³. В 2008 г. была пробурена параметрическая скв. 279. В разрезе по керну и каротажу выделены пласты, продуктивные на соседних площадях – осинский (1046–1088 м), преображенский (1370–1383 м), хамакинский (1613–1630 м).

Нефте- и газопроявления отмечены в нескольких горизонтах. Промышленный приток газа с конденсатом (164,5 тыс. м³/сут) получен из чайкинского горизонта (аналог хамакинского) верхнепаршинской подбиты (нижний венд), представленного трещиновато-кавернозными сульфатно-карбонатными обломочными породами.

С целью локализации зон нефтегазонакопления и выявления участков перспективных на поиски углеводородов в рифейском и вендском нефтегазоносных комплексах, на Чайкинском поднятии пробурена параметрическая скв. 367, в 24 км северо-восточнее – скв. 279. Пласт газонасыщенных

брекчированных доломитов, вскрытый в Чайкинской скв. 279 и названный чайкинским продуктивным горизонтом, в Чайкинской скв. 367 представлен плотными глинистыми известняками и известковистыми аргиллитами без явных признаков коллекторов. При испытании получены непромышленные нефтепроявления из пород верхнего венда.

С 2006 г. Чайкинская площадь входит в число активно изучаемых специалистами СНИИГиМС объектов. Проведены комплексные исследования, включающие в себя МОГТ, электроразведку ЗСБЗ, геохимическую и аэрогеофизическую съемку. В результате построены прогнозные карты перспективных объектов, представленных в презентации А. С. Ефимова, М. Ю. Смирнова и др. [8], на которые мы будем опираться в качестве экспертного материала для верификации наших результатов.

Результаты обработки данных

В зимний сезон 2010–2011 гг. на Чайкинской площади была проведена сейсморазведка МОГТ-2D. В нашем распоряжении имеется десять профилей, из них три (4, 5 и 10) с направлением с юго-запада на северо-восток, два последних протяженные (около 50 км), а также вкрест первой группе профилей 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9 протяженностью до 30 км. Общий план размещения профилей показан на рис. 1. Шаг по пунктам приема 20 м, по пунктам взрыва 40 м.

Проведем анализ среднечастотных (0–30 Гц) фоновых микросейсм по профилю 5 в следующих вариантах окон анализа: 1) расположенное до первых вступлений ($T_0 = 0$ с, удаления $|L| \geq 2$ км); 2) смещенное на поздние времена ($T_0 = 3,5$ с, $|L| \geq 2$ км). Длина окна по времени в обоих вариантах составляет 512 мс (256 отсчетов).

На рис. 2 приводится сопоставление результатов расчета фоновых микросейсм по профилю 5 с фрагментом временного разреза. В варианте расчета по участкам трасс до первых вступлений (см. рис. 2, а) наблюдаются слабо выраженные среднечастотные аномалии в конце профиля (на 42–43 и 47–48 км). Второй вариант (см. рис. 2, б) рассчитан по поздним временам трасс, после прохождения первичных волн от взрыва. Сравнивая эти рисунки, мы приходим к выводу, что присходит значительное увеличение среднечастотных микросейсмических шумов в конце профиля значительно. Значения суммы спектра W в интервале частот 0–30 Гц при $T_0 = 3,5$ с в 3–4 раза превосходит значения при $T_0 = 0$ с в интервале профиля 39–51 км (см. рис. 2, в). По нашим предположениям, разрастание спектральной аномалии в области низких частот свидетельствует об эмиссионном отклике среды, насыщенной углеводородами. Проходящие через залежь волны, вызванные взрывом, служат триггером для сейсмоэмиссионного отклика. До прохождения волн от взрыва, если рассчитывать спектры микросейсм до первых вступлений, фоновый процесс эмиссии существует, но уровень спек-

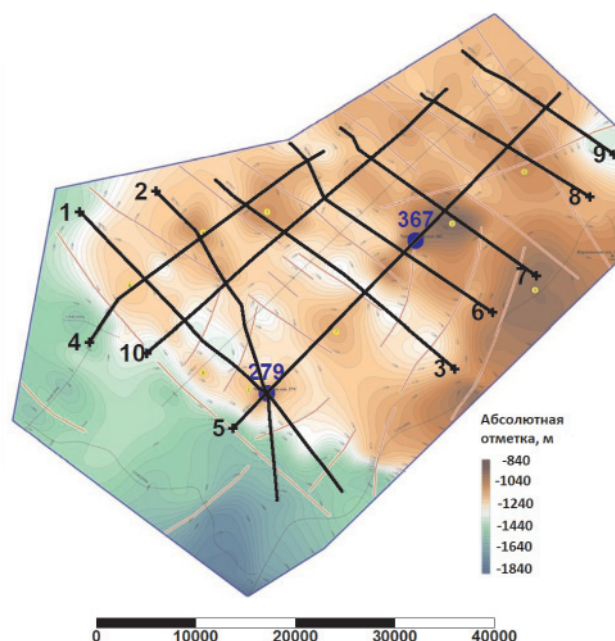


Рис. 1. Структурная карта кровли паршинской свиты на Чайкинской площади по [8]. Черные линии – сейсмические профили; синий цвет – скважины и их номера

тров меньше, область их регистрации на профиле в линейных координатах сужается почти в 10 раз. Расчеты по другим профилям также показывают, что наиболее информативен вариант анализа по поздним временам в интервале начала окна от 3,5 с, поэтому дальнейшие расчеты проводились по этой методике.

При сопоставлении спектров по профилю с временным разрезом мы приходим к следующим выводам. Во-первых, в месте расположения продуктивной скв. 279 отмечается локальное погребенное поднятие, однако в спектре микросейсм аномалий не наблюдается. Необходимо пояснить, что испытание данной скважины с получением притока газа проводилось в 2008 г., а сейсморазведка – только в 2011 г. Вскрытая залежь из-за изменения внутрислоевого давления представляет собой другой объект по сравнению с исходной, если мы рассматриваем условия возникновения микросейсмической эмиссии. Во-вторых, скв. 367 расположена в средней части профиля над поднятием, в целом протяженным, но локально над областью разломов, приводящих к потере прослеживаемости горизонтов. Такие сложные тектонические условия препятствуют формированию ловушки углеводородов, что подтвердилось испытанием скважины. Связанное с поднятием в средней части профиля повышение уровня спектра фоновых микросейсм незначительно. И в-третьих, протяженная аномалия спектра эмиссионных микросейсм в конце профиля 5 на временном разрезе коррелируется с поднятием.

Рассмотрим пересечение пр. 5 с пр. 7, 8 и 9. На рис. 3 даны спектры микросейсм по этим профилям, черной чертой отмечены точки пересечения с пр. 5, которые расположены на пр. 8, 9 в об-

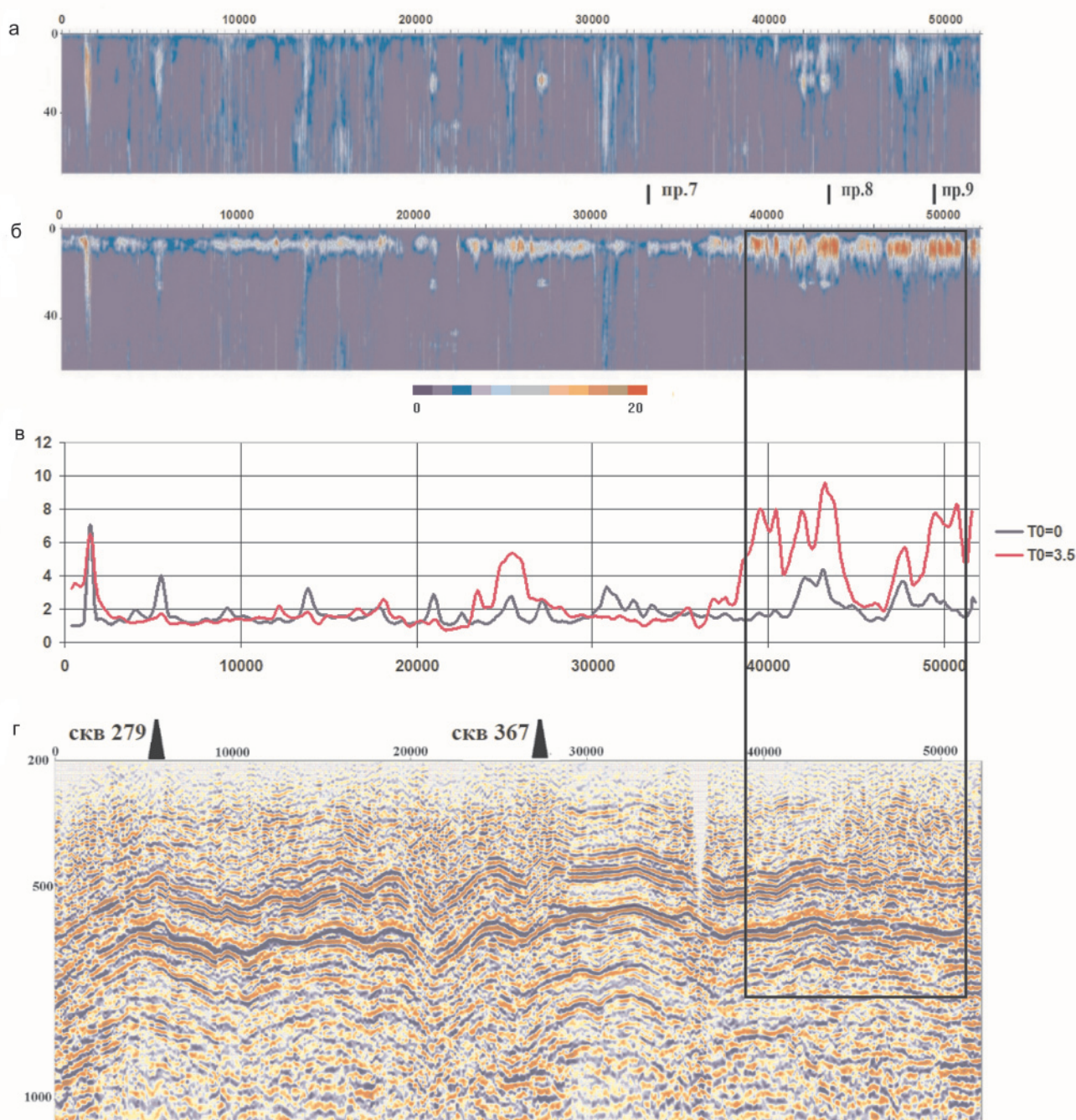


Рис. 2. Чайкинская площадь, профиль 5. Осредненный спектр по выборке удалений, превышающих 2 км: а – по началу трасс, $T_0 = 0$ с; б – $T_0 = 3,5$ с; в – средний амплитудный спектр в интервале 0–30 Гц при начале окна анализа с $T_0 = 0$ с и 3,5 с; г – фрагмент временного разреза пр. 5

ласти аномалии спектра микросейсм. Как следует из рис. 1, эти профили расположены рядом на расстоянии 7–10 км и практически параллельны. Очевидно, что аномалия повышенного уровня микросейсм наследуется на данных профилях: пр. 8 – на 9–13 км, пр. 9 – на 8–12 км. На пр. 7 имеются аномальные участки на 5–11 км, но относительная интенсивность их меньше, поэтому мы не рассматриваем их как прямое продолжение аномальной области. Преобладающая частота (около 10 Гц) и размер аномалии схожи. Форма аномалий на профилях 5, 8, 9 характеризуется большой изрезанностью, что обусловлено, вероятно, блоковым строением территории.

Существенные аномалии на средних частотах (до 30 Гц) отмечаются на пр. 5 в северо-восточной части, пр. 8 и 9 – в центральной. Чтобы построить карты аномалий спектра микросейсм, по каждому профилю в точках приема мы рассчитываем удельный спектр W_{30} в диапазоне 0–30 Гц, т. е. отношение суммы спектра от 0 до 30 Гц к сумме всего спектра, выраженное в процентах. В результате имеем площадные координаты пунктов приема и значения W_{30} в этих точках. По этим данным строим карту, представленную на рис. 4, здесь же приведено положение профилей и скважин и их номера. При построении карты используется процедура обобщенной линейной регрессии Kriging.

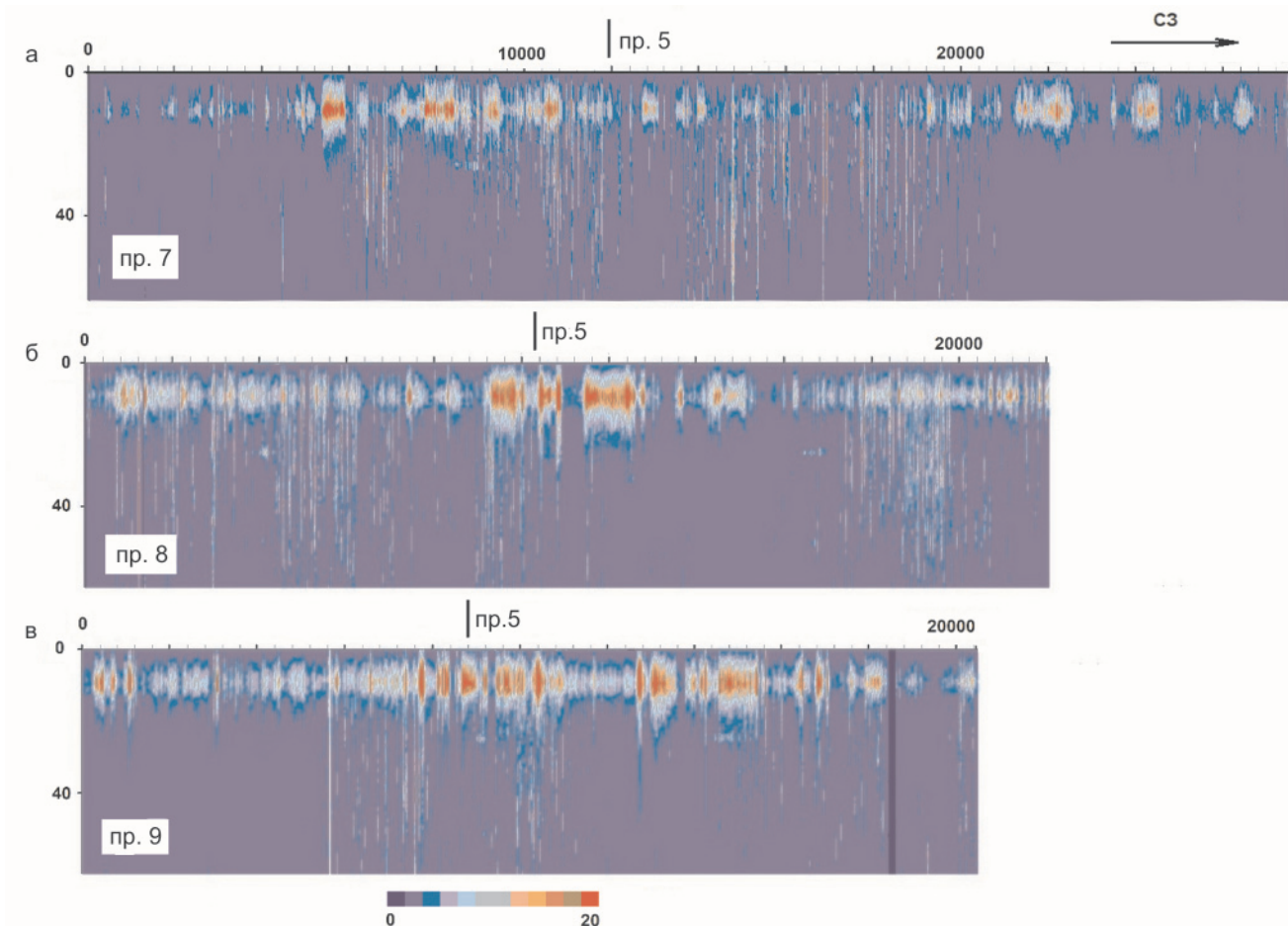


Рис. 3. Чайкинская площадь, профили 7 (а), 8 (б), 9 (в). Осредненный спектр по выборке удалений, превышающих 2 км, $T_0 = 3,5$ с; по вертикальной оси частота, Гц, по горизонтальной – координаты профиля. Вертикальной чертой отмечена точка пересечения с пр. 5

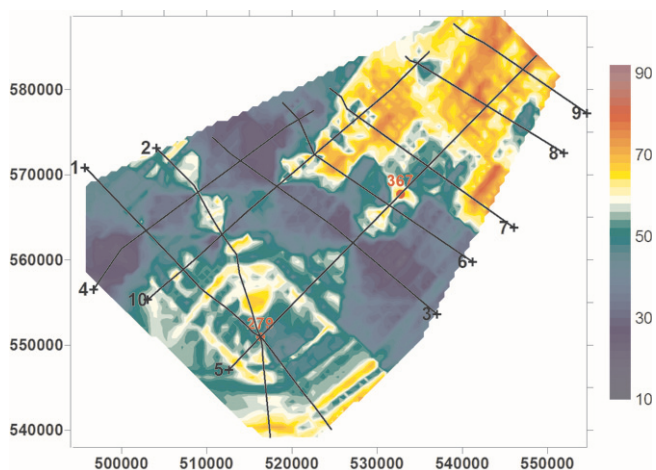


Рис. 4. Чайкинская площадь. Карта удельной части спектра 0–30 Гц в общем спектре (W_{30} , %). По осям площадные координаты X, Y. Значения кодируются цветом, шкала справа. Красные кружки – скважины, черные линии – сейсмические профили

Из построенной карты следует, что на северо-востоке площади имеется устойчивая аномалия среднечастотных фоновых микросейсм, предположительно связанная с наличием залежи углеводородов. Несмотря на разреженность профилей и неравномерное покрытие ими площади, можно

полагать, что карта, построенная посредством интерполирующей процедуры, достоверно отражает имеющийся материал по отдельным профилям (см. рис. 4).

Очевидно, что наибольший фоновый микросейсмический шум сосредоточен в северо-восточной части площади, причем аномалии наследуются на соседних параллельных профилях 8, 9, а также на пересекающем их профиле 5 (см. рис. 1). Протяженность аномальной зоны, состоящей из двух экстремумов с характерным разрывом, на пр. 8–9 составляет около 3 км. Протяженность аномальной зоны по пр. 5 более 10 км с перерывами. Мы обнаруживаем также еще одну область повышения уровня спектра микросейсм вблизи пересечения пр. 7 и пр. 10, однако здесь нет подтверждаемости результатов на параллельных профилях, как в первом случае, потому мы оставляем эту область под сомнением. Также аномалия спектра микросейсм в начале пр. 7 не обсуждается, поскольку отсутствуют профили, на которых можно было бы найти подтверждающие данные.

Параметрическая скв. 279 в юго-западной части площади находится близ слабой аномалии, окружающей ее по кольцу. Причины отсутствия аномалии уже объяснены.

Скв. 367 находится вне зоны существенных отклонений фонового микросейсмического поля.

Обсуждение результатов

Обратимся к итоговой прогнозной карте Чайкинской площади, построенной в результате комплексного анализа, проведенного сотрудниками СНИИГГиМС под руководством А. С. Ефимова (рис. 5).

Здесь приводятся данные интерпретации сейсморазведки МОГТ, аэрогамма-спектрометрии (АГС), электроразведки и литологии. Выделяется девять ловушек, из которых четыре – по интерпретации данных сейсморазведки, две – по данным электроразведки и по одной – по данным литогеохимии и АГС. На карте заливкой разного цвета показана оценка перспективности коллектора.

Мы отмечаем, что наиболее заметная аномалия микросейсм на рис. 4, отмеченная оттенками красного цвета, хорошо коррелирует с прогнозом ловушки по данным АГС на рис. 5 (желтый контур на северо-востоке); ловушка по данным электроразведки и одновременно АГС (зеленый контур к северу от центра площади) также пересекается со второй по значимости аномалией микросейсм.

На рис. 5 по изолинии 65 % мы поместили фиолетовый контур области главной аномалии спектра микросейсм (подтверждаемой на двух параллельных профилях и одном пересекающем их). Видно, что этот контур включает в себя ловушку 5, выделенную АГС, отмеченную также цветом как область перспективного коллектора. Известно, что прогнозные возможности АГС основываются на косвенном проявлении в поле радиоактивности индикаторов

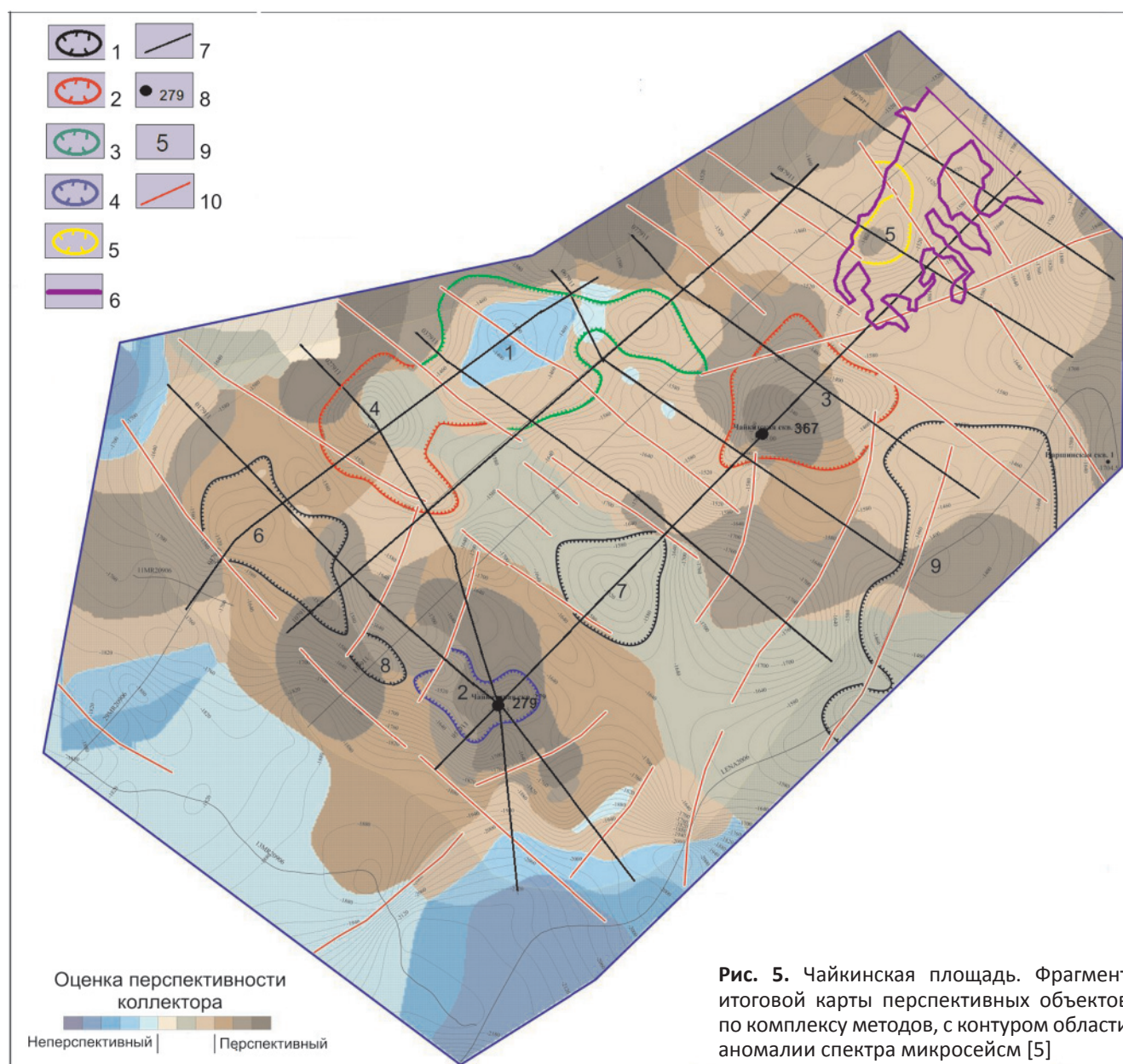


Рис. 5. Чайкинская площадь. Фрагмент итоговой карты перспективных объектов по комплексу методов, с контуром области аномалии спектра микросейсм [5]

Ловушки, подтвержденные: 1 – сейсморазведкой, 2 – электроразведкой, 3 – электроразведкой и аэрогамма-спектрометрией, 4 – электроразведкой и литогеохимией, 5 – аэрогамма-спектрометрией; 6 – контур области аномалии спектра микросейсм; 7 – сейсмические профили; 8 – скважины; 9 – ловушки; 10 – разрывные нарушения

залежи, поступающих к поверхности вместе с летучими флюидами.

В работе [4] в результате подробного исследования установлено, что на юге Сибирской платформы аномальные корреляционные ореолы радиоэлементов (в основном урановой группы) выявлены над всеми УВ-вмещающими купольными структурами в пределах водогазонефтяных контактов.

Таким образом, наш прогноз нефтегазоносности, основанный на исследовании аномальной сейсмической эмиссии, подтверждается методом прогноза, основанном на совершенно иных физических свойствах залежи.

Выводы

Установлено, что среднечастотный спектр фонового микросейсмического шума, выделенного в волновом поле при поздних временах регистрации (после прохождения волн от искусственного источника), коррелирует с среднечастотным спектром шума, присутствующего в начале сейсмической записи до первых вступлений. Отличие заключается в более яркой выраженности среднечастотного шума на поздних временах записи: его амплитуда вырастает 3–4 раза (см. рис. 2, г).

Протяженность аномалии микросейсм по профилю значительно превышает слабые аномалии, выделяемые по полю микросейсм, регистрируемых до прихода первых волн. Это говорит об эффекте сейсмической эмиссии, возникающей непосредственно после прохождения волн от взрыва. Оптимальные параметры окна анализа спектра фоновых микросейсм: удаления более от 2 км, время начала окна анализа T_0 от 3,5 с.

В результате опробования нашей методики на сейсмическом материале по Чайкинской площади выявлена аномалия спектра среднечастотных микросейсм в северо-восточной части площади. Аномалия подтверждается наследованием на двух параллельных профилях 8 и 9, отстоящих друг от друга на 7 км, и на пересекающем их профиле 5. Характерный размер аномалии на профилях 8 и 9 около 2,5 км, на профиле 5 протяженность с учетом разрывов свыше 10 км. Устойчивость аномалии, ее контрастность и корреляция с прогнозом АГС указывают на возможность присутствия залежи углеводородов на этом участке Чайкинской площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведерников Г. В., Хогоев Е. А. Уточнение блоковых моделей залежей углеводородов по характеристикам микросейсм // Сб. матер. 10-й геофиз. науч.-практ. конф. «ТюменьЕАГО». – Тюмень, 2006. – С. 17–22
2. Ведерников Г. В., Максимов Л. А., Старосельцев В. С. Об учете геодинамических шумов в модели Чайкинского месторождения // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 2. – С. 58–62.

3. Мигурский А. В., Старосельцев В. С., Мельников Н. В. Опыт изучения Чайкинского поднятия – крупного объекта нефтепоисковых работ на Сибирской платформе // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2010. – № 4. – С. 14–25.

4. Результаты интерпретации материалов аэрогамма-спектрометрической съемки в южной части сибирской платформы разведки / Н. Г. Лященко, Е. И. Махнач, Г. М. Тригубович, М. И. Карпукhin // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2010. – № 2. – С. 39–48.

5. Сейсмические исследования неравномерности открытой трещиноватости и неоднородности флюидонасыщения геологической среды для оптимального освоения месторождений нефти и газа / О. Л. Кузнецов, И. А. Чиркин, С. И. Арутюнов и др. // Георесурсы. – 2018. – Т. 20, № 3, ч. 2. – С. 206–215.

6. Хогоев Е. А., Шемякин М. Л. Микросейсмическое районирование Берямбинской площади по данным 2D сейсмической разведки // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 2 (30). – С. 104–111.

7. Хогоев Е. А., Хогоева Е. Е., Шемякин М. Л. Результаты численного анализа микросейсм по сейсмограммам МОГТ в районе Пайяхского нефтяного месторождения // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2018. – № 2 (34). – С. 93–99.

8. Эффективность прогноза нефтегазоперспективных локальных объектов на территории широкого развития траппового магматизма на Сибирской платформе / А. С. Ефимов, М. Ю. Смирнов, В. С. Старосельцев, Г. М. Тригубович. – URL: <http://www.rosnedra.gov.ru/data/Files/File/2576.pdf>.

9. Batta G. K., Singh S. N. Micro seismic evidences in active seismic data: resonant near infrasonic microseismic emission as direct hydrocarbon indicator (DHI) (A case study from Upper Assam Basin, India) // 10th Biennial international conference and exposition on the theme «Changing Landscapes in Geophysical Innovations» on 23–25 November 2013. – Kochi, 2013. – 182 p.

REFERENCES

1. Vedernikov G.V., Khogoev E.A. [Refinement of block models of hydrocarbon deposits based on microseismic characteristics]. *Sbornik materialov 10-y geofizicheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii TyumenEAGO* [Collection of writings of 10th Geophysical Research Conference TyumenEAGS (Euro-Asian Geophysical Society)]. Tyumen, 2006, pp. 17–22. (In Russ.).
2. Vedernikov G.V., Maksimov L.A., Staroseltsev V.S. [On account of geodynamical noises in the Chaikinskoye field model]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2014, no.2, pp. 58–62. (In Russ.).
3. Migurskiy A.V., Staroseltsev V.S., Melnikov N.V. [Experience of the Chaikinskoye uplift study – the major object of the petroleum exploration on the Siberian



Platform]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2010, no. 4, pp. 14–25. (In Russ.).

4. Lyashchenko N.G., Makhnach E.I., Trigubovich G.M. [Interpreted results of aerogamma-spectrometric survey in the southern Siberian Platform]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2010, no. 2, pp. 39–48. (in Russ.).

5. Kuznetsov O.L., Chirkin I.A., Arutyunov S.I., et al. [Seismic studies of the unevenness of open fracturing and inhomogeneity of the fluid saturation in the geological environment for optimal development of oil and gas fields]. *Georesursy – Georesources*, 2018, vol. 0, no. 3, part 2, pp. 206–215. (In Russ.).

6. Khogoev E.A., Shemyakin M.L. [Seismic micro-zoning of the Beryambinskaya area based on 2D seismic survey data]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2017, no. 2 (30), pp. 104–111. (In Russ.).

7. Khogoev E.A., Khogoeva E.E., Shemyakin M.L. [Results of numerical microseism analysis on CDP seismograms in the area of Paiyakhskoye oil field] *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2018, no. 2 (34), pp. 3–99. (In Russ.).

8. Yefimov A.S., Smirnov M.Yu., Staroseltsev V.S., Trigubovich G.M. [Efficiency of prediction of oil and gas promising local targets in the territory of wide development of trap magmatism on the Siberian Platform]. Available at: <http://www.rosnedra.gov.ru/data/Files/File/2576.pdf>. (In Russ.).

9. Batta G.K., Singh S.N. Micro seismic evidences in active seismic data: resonant near infrasonic micro-seismic emission as direct hydrocarbon indicator (DHI) (A case study from Upper Assam Basin, India). *10th Biennial international conference and exposition on the theme «Changing Landscapes in Geophysical Innovations» on 23–25 November 2013*. Kochi, 2013. 182 p.

© Е. А. Хогоев, Е. Е. Хогоева, М. Л. Шемякин, 2021