

Перспективы газоносности Татарского трога

по результатам повторной интерпретации
данных сейсморазведки

Владимир Ломтев, к.г.-м.н.,
Институт морской геологии и
геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

По результатам переинтерпретации данных МОГТ обсуждаются перспективы газоносности Татарского трога (аномалии типа «залежь» и структуры прорыва флюидов, близкие грязевулканам) в полосе 220×50 км, параллельной хабаровскому побережью. Они позволяют предполагать, что под осадочным клином неогена залегают отложения палеогена значительной мощности, выполняющие краевой прогиб складчатого Сихотэ-Алиня. По результатам этих исследований определены основные объекты для будущих нефтепоисковых работ, включая бурение.

Дискуссионный район исследований

Татарский прогиб в северной части Японского моря разделяет горные системы Сахалина и Сихотэ-Алиня (рис. 1). Геолого-геофизическими методами (ГСЗ, МОГТ, НСП, промер, грави-, магнито- и термометрии, бурения) он изучается более 50 лет [4, 7, 9, 11, 12, 16]. Его считают структурой растяжения и опускания земной коры типа рифта или рифтограбена, где с палеогена накопилось до 5–10 км морских отложений (осадочный бассейн). Депоцентр бассейна располагается на сахалинском борту трога, зона регионального выклинивания — на западном. Аналогичная зона по отложениям палеогена-неогена на востоке бассейна находится в предгорьях Восточного Сахалина и заливе Терпения.

The gas potential of the Tatarsky Trough based on re-interpretation of seismic data

The gas potential of the Tatarsky Trough ("field" type anomalies, breakout fluid structures, similar to mud volcanoes) on a 220x50km strip parallel to the Khabarovsk coastline are being discussed on the basis of the results of reinterpreting data obtained by the common depth point (CDP) method. They suggest there is an active Paleogene continental margin of the fold Sikhote-Alin with the regional nappe, accretionary prism and buried paleotrench at the front. The results of these studies have served to define the main sites for future oil prospecting, including drilling.

Key words: trough, Cenozoic cover, CDP profile, "field" type anomalies, fluid break structures, marginal trough.

Vladimir Lomtev

К 1987 году на сахалинском шельфе было пробурено 11 «сухих» (по нефти) скважин и две на о-ве Монерон, открыта небольшая Изильметьевская залежь газа, выделен Северо-Татарский нефтегазоносный бассейн. При анализе столь скромных результатов бурения и МОГТ треста «Дальморнефтегеофизика» (ныне ОАО «ДМНГ») выявлена ошибочность модели палеогенового рифта [7, 9]. Так, его борта имеют разное строение, что характерно только для тектонического трога. Например, восточный борт формируют постседиментационные, гравитационно-оползневые полускладки в чехле, ориентированные к северо-западу и обычно сопряженные с надвигами и взбросами восточного падения. В верхней половине придонного дерюгинского сейсмокомплекса (поздний плиоцен-квартер) обнаружены встречные клиноформы бокового наращивания, которые надежно фиксируют снос терригенных осадков с Сихотэ-Алиня и Камышевого моноклиория Сахалина (коррелятный комплекс трога).

Таким образом, налицо инверсионная природа и четвертичный возраст моноклиория (~ 0,5 млн лет [6]), возникшего в депоцентре широкого неогенового (Западно-Сахалинского) прогиба. Такой же возраст имеет и Татарский трог (остаточный прогиб). Удаленность от основной области сноса (Сихотэ-Алинь) на >50–100 км и малые (до 1 м/км) углы наклона дна обусловили преобладание тонкозернистых биотерригенных отложений (флюидопоры). В итоге было рекомендовано перенести нефтегазопроисковые работы на западный борт трога, где на погребенном Сюркумском выступе с аномалиями типа «залежь» (АТЗ) выбрана точка заложения параметрической скв. 1 (рис. 1, 2, 5; [5]). Однако с распадом СССР эти предложения не были реализованы. Позднее авторы крупной работы [4] отошли от упомянутых

Ключевые слова: трог, кайнозойский чехол, профиль МОГТ, аномалия типа «залежь», структура прорыва флюидов, краевой прогиб.

предложений и, опираясь на модель палеогенового рифта, снова рекомендовали сахалинский шельф для поиска и разведки залежей углеводородов (УВ). Таким образом, направление нефтегазопроисковых работ в Татарском проливе остается дискуссионным. Ниже по результатам повторной интерпретации профилей МОГТ ДМНГ (в основном объекты 22/83 и 14/86), проведенной недавно автором и учитывающей коммерческие интересы ОАО «ДМНГ», появилась возможность вернуться к этой проблеме.

Аномалии типа «залежь»

Известно, что газонасыщение отложений приводит к изменению их физических свойств, которое на сейсмических разрезах МОВ отображается следующими характерными особенностями:

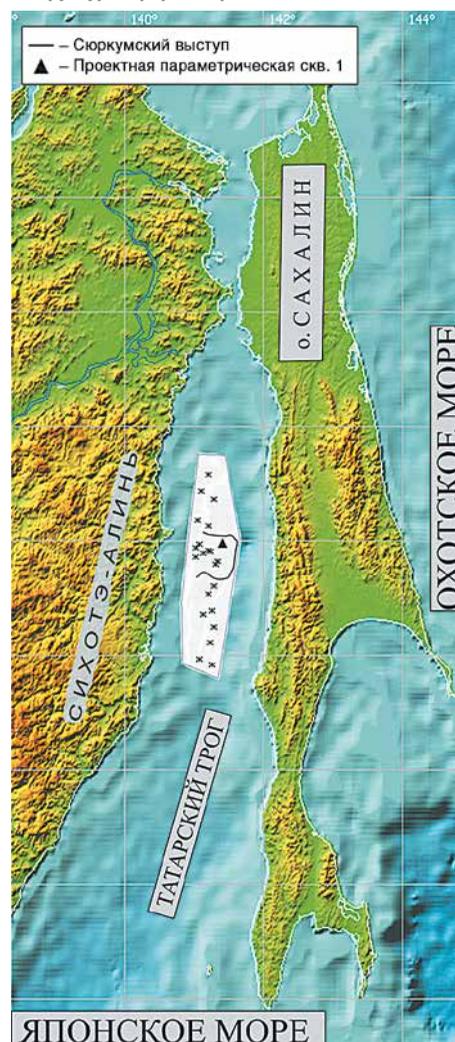
- в зависимости от акустических свойств отложений на границах газонасыщенного коллектора образуются положительные («яркое пятно») или отрицательные аномалии интенсивности отраженных волн;
- возникают локальные прогибы временных горизонтов, связанные с уменьшением интервальных скоростей в газонасыщенном коллекторе;
- нередко наблюдается обращение полярности сигнала и дифракции на границах пласта-коллектора;
- аномальное затухание высоких частот ниже коллектора в связи с повышенным поглощением сейсмических волн в газонасыщенных отложениях [1, 2, 13, 15].

К этим известным в нефтегазовой сейсморазведке особенностям необходимо добавить резкое ухудшение коррелируемости отражающих границ в связи с изменением степени газонасыщения в залежи и преимущественно изометричные контуры зон с аномальными сейсмическими параметрами [11]. Обнаружение всех или большей части этих признаков на временных разрезах МОГТ позволяет уверенно выделять зоны, перспективные на газ (рис. 1–5).

По материалам МОГТ ДМНГ на Чайвинском месторождении УВ на шельфе северо-восточного Сахалина выделено два типа скоростных аномалий типа «залежь» (АТЗ) шириной 2 км [2, 13]. Первый представляет собой симметричный ложный провал отражающих границ (псевдосинклиналь) в своде антиклинальной складки, т.е. в центре месторождения с максимальной мощностью и количеством продуктивных горизонтов. И напротив, второй тип АТЗ (мини-гайот, или трапеция) обнаружен на периферии месторождения, где мощность и количество последних минимальны. Выделим разную амплитуду инверсии скорости в нефтяных (до 5–6%) и газовых (до 30%) АТЗ на этом месторождении, что делает почти невозможным выделение первых на фоне вторых и наблюдение В.Э. Кононова в Северо-Сахалинском нефтегазоносном бассейне, связывающее между собой ширину залежей УВ с шириной их АТЗ как 3:1 [2]. Особо отметим ложный провал отражающих границ на Чайвинской АТЗ не только в зоне аккумуляции УВ, но и в низах ее покрывки мощностью 200–300 м.

Возвращаясь к материалам МОГТ по Татарскому тропу, обратим внимание на рисунок 2, на котором показаны 8 АТЗ первого типа на Сюркумском погребенном выступе размером 40х40 км. При пересечении АТЗ двумя профилями, например 336 и 313, можно видеть их кольцевую или овальную форму в плане [7]. Диаметр АТЗ варьирует в пределах 0,9–2,1 км (рис. 3). Снижение скорости распространения Р-волн рассчитано для самой крупной АТЗ на профиле 336 и составляет по оценке В.Н. Патрикеева 16% [11], что близко таковому на Чайвинской АТЗ [13]. Газовые залежи здесь находятся в позднемиоценовых курасийских отложениях (многопластовый коллектор) мощностью до 100–200 м, залегающих на **глубинах 0,6–1,6 с** под дном. При скорости распространения Р-волн в покрывке 2000 м/с это составит **0,6–1,6 км**. Коллектор отчетливо выделяется на профилях МОГТ акустической контрастностью (рис. 4,

Рисунок 1
Аномалии типа «залежь»
и структуры прорыва флюидов



Источник: [8]. Основа карты – <http://tsun.ssec.ru/tsulab> (Новосибирск).

5) и слоисто-шероховатым строением, местами с абразионным срезом наклонных слоев. Иначе говоря, его слагают мелководные, частью субаэральные (эоловые), осадки прибрежной банки мористее палеогенового интрузивного массива мыса Сюркум. По периметру выступа они замещаются шельфовыми, нормально слоистыми фациями (рис. 5), а их более молодые, позднемиоцен- и/или плиоцен-четвертичные разности трансгрессивно перекрывают Сюркумскую банку (покрывка). В ее контуре глубины дна составляют 100–200 м, хотя все обнаруженные здесь АТЗ находятся в мелководной (100–150 м), западной части банки

(внешний шельф). При бурении АТЗ на профиле 336 важно вскрыть осветленную толщу углегорских отложений (ранний — средний миоцен [4, 7] и контрастный, вулканогенно-осадочный сергеевский комплекс эоцена-раннего миоцена) с пологовогнутыми отражениями на глубинах 1,5–1,8 с.

АТЗ второго типа шириной 3 км обнаружена на северо-западном окончании профиля 420 А (объект 14/86 ДМНГ) в 67 км к северу от Сюркумского выступа (рис. 1, 2). Это типичный мини-гайот (трапеция) в своде низкой асимметричной антиклинали шириной более 10 км. Помимо выполаживания отражающих границ в краевой части многопластовой залежи УВ здесь, согласно [1, 2, 13], также четко видны смена полярности и интенсивности фаз в интервале глубин 0,8–1,4 с. В низах нефтегазоперспективного интервала (1,4–1,6 с) по аналогии с Сюркумской банкой [7] можно предполагать прибрежные грубозернистые осадки миоцена, которые выше по разрезу сменяют осадки мелководного шельфа с многочисленными песчаными пластами (контрастные пакчи). Основные проблемы здесь связаны с разрушиванием этой АТЗ до осветленной и контрастной толщ углегорских и сергеевских отложений соответственно (интервал разреза 1,6–2,1 с).

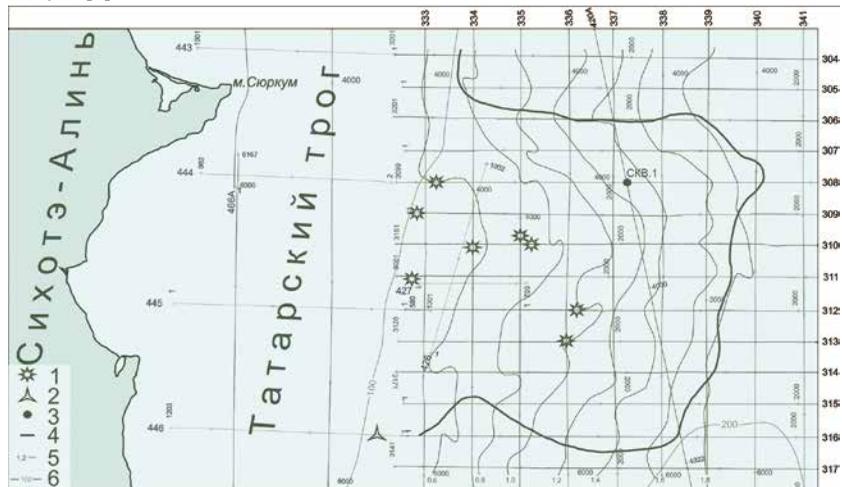
Структуры прорыва флюидов

Такие структуры впервые описаны на западном борту Татарского трога в [7, 9] как субвертикальные, сложнопостроенные зоны перерыва отражающих границ в кайнозойском чехле (рис. 1, 4). Предполагалось, что хотя бы часть из них относится к грязевулканам, известных спутников нефтегазоносных провинций [14]. Образование грязевулканов принято связывать с региональными надвигами или взбросами, в лежачем крыле которых возникают зоны аномально высокого пластового давления, водонасыщения и разуплотнения (сопочная брекчия) преимущественно глинистого разреза кайнозооя. Таковы, в частности, Пугачевский и Южно-Сахалинский грязевулканы Сахалина близ выхода Центрально-Сахалинского взбросо-надвига меловых пород [4].

В Татарском проливе одна из крупных структур прорыва флюидов (СПФ) шири-

Рисунок 2

Сюркумский погребенный выступ с профилями МОГТ ДМНГ объектов 22/83 и 14/86 [5]

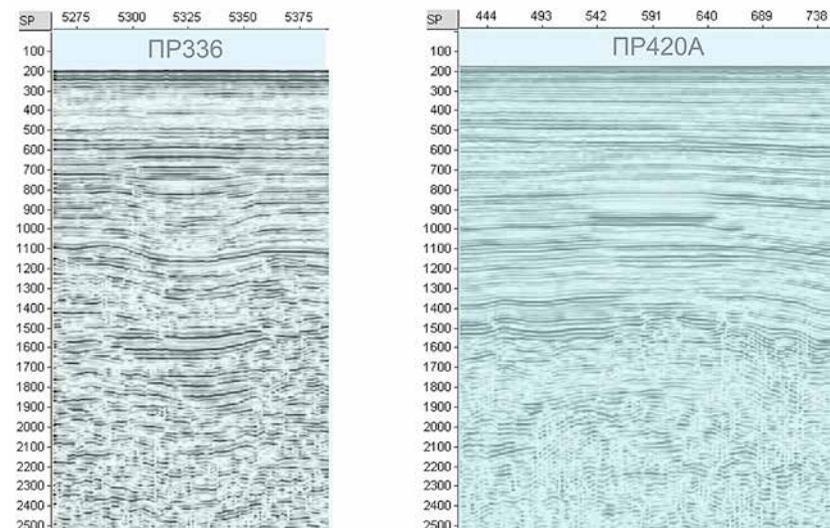


- 1 — аномалии типа «залежь» (АТЗ)
- 2 — структура прорыва флюидов (СПФ)
- 3 — положение одноименной параметрической скв. 1
- 4 — контуры выступа
- 5 — изохроны кровли выступа (верхний контрастный коллектор) в секундах двойного пробега по Г. Ф. Балабко и др. (ДМНГ)
- 6 — изобаты в метрах.

ной 2,5–5 км обнаружена на профиле 453 (объект 14/86) в 65 км к югу от Сюркумского выступа и в 52 км к востоку от побережья Сихотэ-Алиня между портами Ванино и Совгавань. В рельефе дна это верхняя часть континентального склона с глубинами около 210 м (рис. 1). В разрезе контрастного осадочного неогена (интервал 0,6–2,8 с и возможно глубже) здесь обособляется полупрозрачная, вертикальная зона сложного волнового поля с массой микродифракций и коротких разнонаклонных отражений. Ее боковые стенки неровные

Рисунок 3

Примеры аномалий типа «залежь» на профилях (ПР) МОГТ



Вертикальный масштаб в секундах двойного пробега с шагом 0,1 с, горизонтальный масштаб — гидроточки ОГТ с шагом 40 т/км (здесь и на рис. 4, 5)

с выступами (клинья) и смежными карманами, что фиксирует внедрение в неогеновый чехол низкоскоростных, газо- и водонасыщенных осадочных масс (сопочная брекчия?) как по вертикали, так и по горизонтали (меж- и внутрипластовые внедрения). На уровне 1,1 с или глубине 750 м под дном выпуклый изгиб акустически контрастных слоев чехла маркирует кровлю этих масс, но без образования грязевого конуса. Следовательно, данная структура явно молодая, четвертичная и продолжает расти, поскольку сопочная брекчия еще не вышла на дно и не сформировала грязевого конуса.

Другой пример структур прорыва флюидов дает профиль 420 А в 68 км к северу от Сюркумского свода (рис. 4). Здесь также выделяется сложнопостроенная, полупрозрачная и субвертикальная зона шириной от 1 до 2 км (на уровне 2 с). Она почти вдвое ниже и меньше предыдущей. Кровля внедрившихся газо- и водонасыщенных осадочных масс (сопочная брекчия?) намечается по низкому и пологому изгибу слоев миоцена на уровне 1,2 с или на глубине около 1 км под дном. Однако в отличие от предыдущей структуры здесь в интервале 1,0–1,3 с налицо аномальное выполаживание свода складки, смена полярности и интенсивности отражений, что свидетельствует о его флюидо- и газонасыщенности.

Обсуждение результатов

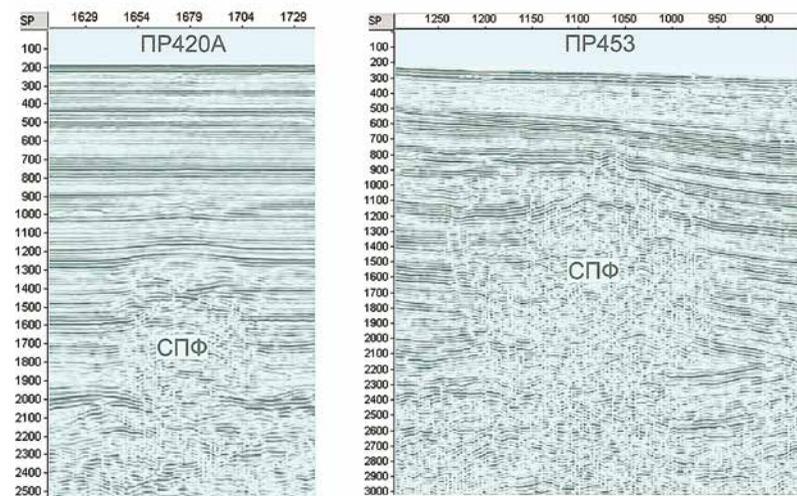
Профили МОГТ и их повторная геологическая интерпретация надежно фиксируют признаки региональной газонасыщенности кайнозойского чехла на западном борту Татарского трога (аномалии типа «залежь», структуры прорыва флюидов, многочисленные газовые окна и столбы или т. н. газопроявления). Зона их распространения протяженностью более 220 и шириной 50 км параллельна хабаровскому побережью (рис. 1). Она тяготеет к полюсе отрицательных остаточных гравинаномалий внешнего шельфа и прилегающей части континентального склона (глубины 100–200 м [4]). В связи с этим здесь можно предполагать погребенный палеогеновый краевой прогиб складчатого Сихотэ-Алиня, выполненный вероятно отложениями палеоцена и эоцена мощностью 4–5 км (по данным ГСЗ [12]). В олигоцене прогиб был инверсирован при региональном надвиге меловых пород акустического фундамента к востоку (активная континентальная окраина Сихотэ-Алиня). По данным МОГТ, грави- и магнитометрии, фундамент выходит под или на дно на внутреннем шельфе и интродуцирован кайнозойскими маг-

матитами различного состава [4, 7, 12]. Таким образом, преднеогеновый фронтальный надвиг разделяет прибрежную зону положительных остаточных гравинаномалий, частью изометричных (магматические диапиры?), и отрицательные гравинаномалии внешнего материкового шельфа и прилегающего склона (палеогеновый компенсированный прогиб). К сожалению, газонасыщенность разреза за редкими исключениями [12] не позволяет фиксировать на профилях МОГТ отражения от мелового акустического фундамента и картировать зону фронтального надвига (скрытый разлом), имеющего вероятно западное падение. Последнее следует из аналогии между Пугачевским и Южно-Сахалинским грязевулканами на выходе Центрально-Сахалинского взбросо-надвига меловых пород, имеющего также западное падение [3], и структурами прорыва флюидов на западном борту Татарского трога. С учетом линейности и параллельности хабаровскому побережью зоны АТЗ и СПФ (рис. 1) фронтальный надвиг Сихотэ-Алиня, видимо, является региональным экраном (флюидоупор) для УВ и сопочной брекчии. Замечу, что многочисленные газопроявления в кайнозойском чехле на профилях МОГТ объекта 14/86 [7] позволяют продлить газоперспективную зону на рисунке 1 к югу как минимум на 80 км, хотя качество электронных версий профилей недостаточно для картирования АТЗ и СПФ.

Среди новых проблем в геологии и тектонике Татарского трога выделим разновозрастность регионального экрана (олигоцен) и структур прорыва флюидов перед ним (квартер), а также сейсмическое затишье на материковой окраине Японского моря в сравнении с островодужной [11, 17]. С учетом данных об аллохтонном залегании коры в Японском и Охотском морях и смежных дугах, молодом (0,5–1,0 млн лет) возрасте Курильского и Японского желобов [10, 17] и небольшого (первые десятки см) крипе коры между Байкалом и дугой Хонсю к востоку при мегаземлетрясении Тохоку 11.03.2011 г. [18], можно предполагать, что мористее преднеогенового надвига Сихотэ-Алиня формируются и более молодые (квартер) надвиги того же падения (дуплекс).

Рисунок 4

Примеры структуры прорыва флюидов на профилях МОГТ



Объекты нефтегазопоиска

Итак, основным объектом для нефтегазопоисковых работ, включая поисковое и параметрическое бурение, на западном борту Татарского трога является погребенный Сюркумский выступ и прилегающие районы палеогенового краевого прогиба. По своим размерам последний близок Северо-Сахалинскому прогибу (кайнозойский нефтегазоносный бассейн). По аналогии с Чайвинской АТЗ на шельфе СВ Сахалина, заверенной первой поисковой скважиной [2, 13], ключевым может стать бурение АТЗ на кресте профилей МОГТ 336 и 313 (рис. 2, 3). При этом важно оценить мощность осадочного палеогена (по данным глубинного сейсмозондирования и гравиметрии), положение и амплитуды фронтального надвига Сихотэ-Алиня с учетом нефтегазопроявлений на побережье, пополнить имеющийся фонд ловушек УВ [4, 7], отделить фации палеоАмура от ближних источников сноса.

Особо отметим, что ледовые и погодные условия для поискового бурения близ мыса Сюркум существенно более легкие, чем на шельфах СВ Сахалина, Магадана или Западной Камчатки. Единственное сколько-нибудь серьезное затруднение связано с затопленными судами и боеприпасами, что потребует консультаций с соответствующими службами Тихоокеанского флота РФ.

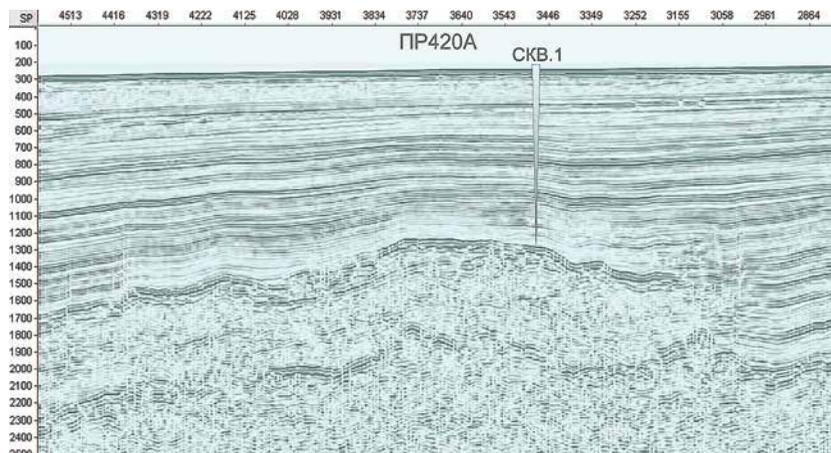
Выводы

По результатам повторной геологической интерпретации профилей МОГТ ДМНГ на западном борту Татарского трога закартирована газоперспективная полоса 220×50 км (аномалии типа «залежь», смена полярности и интенсивности отражений, структуры прорыва флюидов, яркие пятна, газовые окна и столбы). Она связана с зоной регионального выклинивания осадочного неогена и толщами палеогенового краевого прогиба Сихотэ-Алиня и с запада ограничена его фронтальным преднеогеновым надвигом (флюидоупор).

Основным объектом будущих нефтепоисковых работ, включая бурение, может стать погребенный Сюркумский выступ (многопластовая, в основном газовая, залежь) и прилегающие территории компенсированного краевого прогиба. ■

Рисунок 5

Фрагмент профиля МОГТ 420А через восточный фас Сюркумского выступа с проектной скв. 1



Положение профиля см. на рис. 2.

Литература

1. Березкин В. М., Киричек М. А., Кунарев В. В. Применение геофизических методов для прямых поисков месторождений нефти и газа. М.: Недра, 1978. 223 с.
2. Возможности метода непрерывного сейсмического профилирования (НСП) при нефтегазопоисковых исследованиях/В. Л. Ломтев и др.//Геодинамика, геология и перспективы нефтегазоносных бассейнов Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. Т. 1. С. 107–119.
3. Геология СССР. Т. XXXIII. Остров Сахалин. М.: Недра, 1970. 431 с.
4. Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 220 с.
5. Геолого-геофизическое обоснование на бурение Сюркумской параметрической скважины № 1/В. Л. Ломтев и др. Южно-Сахалинск: ДМНГ, 1987. 6 с.
6. Кучай В. К. Современная орогенная структура южной части острова Сахалин//Тихоокеанская геология. 1987. № 1. С. 50–57.
7. Комплексные рекогносцировочные геофизические исследования в Охотском море (объект 11/86)/Л. С. Чуйко и др. Южно-Сахалинск: ДМНГ, 1988. 284 с.
8. Ломтев В. Л. К строению и газоносности западного борта Северо-Татарского трога (Японское море)// Современное состояние наук о Земле. Мат-лы междунар. конф. памяти В. Е. Хаина. М.: Изд-во Геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, 2011. С. 1162–1165.
9. Ломтев В. Л., Кругляк В. Ф., Савицкий В. О. Геологическое строение, история геологического развития в неогене и направление нефтепоисковых работ в северной части Татарского пролива//Геология и стратиграфия кайнозойских отложений Северо-Западной Пацифики. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. С. 63–69.
10. Ломтев В. Л., Нагорных Т. В., Сафонов Д. А. О строении и сейсмоструктуре Курильской системы дуга-желоб//Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. Т. 39, № 4. С. 19–38.
11. Ломтев В. Л., Торгашов К. Ю., Патрикеев В. Н. Признаки газоносности западного борта Татарского трога//Вестник ДВО РАН. 2008. № 6. С. 63–71.
12. Новое в строении Татарского трога (Японское море) по геофизическим данным/В. Л. Ломтев и др.// Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2014. № 3. С. 14–22.
13. Прогнозирование нефтегазоносности на акваториях. М.: Недра, 1988. 168 с.
14. Словарь по геологии нефти и газа. Л.: Недра, 1988. 679 с.
15. Решение литологических задач сейсмическими методами разведки. М.: Недра, 1979. 224 с.
16. Северо-Татарский нефтегазоносный бассейн/Ю. А. Тронов и др.//Тихоокеанская геология. 1987. № 6. С. 45–49.
17. Тихонов И. Н., Ломтев В. Л. Мелкофокусная сейсмичность Японского моря и ее тектонические особенности//Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32, № 5. С. 66–77.
18. Analysis of the far-field crustal displacements caused by the 2011 Great Tohoku earthquake inferred from continuous GPS observations/N. V. Shestakov et al.//Tectonophysics. 2012, 524–525, p. 76–86. doi: 10.1016/j.tecto.2011.12.019.

Автор благодарен коллегам по ДМНГ и ИМГиГ, с кем в доверье обсуждать вопросы геологии и тектоники Татарского трога, поднятые в статье, а также геофизику ВЦ ДМНГ К. Ю. Торгашову, недавнему аспиранту ИМГиГ, за возможность работы с e-версиями профилей МОГТ.