

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/21_2021

УДК 550.834:553.98.04(571.56)

Трофимов В.А.Независимый эксперт геолог-геофизик, Москва, Россия, vatgeo@yandex.ru**Закиров Ф.Ф.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» (ФГБУ «ВИМС»), Москва, Россия

Колесниченко Л.Ю.

Акционерное общество «Центральная геофизическая экспедиция» (АО «ЦГЭ»), Москва, Россия

Косовцев В.И.

Независимый эксперт - геофизик, Москва, Россия

Слончак К.А.

Акционерное общество «Центральная геофизическая экспедиция» (АО «ЦГЭ»), Москва, Россия

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)

Проведенные в южной бортовой зоне Вилюйской гемисинеклизы региональные сейсморазведочные работы позволили получить новые и уточнить имеющиеся сведения о геологическом строении территории, выявить перспективные на нефть и газ объекты, в том числе крупную, перспективную на газ динамическую аномалию и значительные по площади зоны сокращения мощности верхнепалеозойских и нижнемезозойских отложений, где вполне вероятно формирование ловушек, связанных с выклиниваниями пластов и литологическими замещениями. На этой основе существенно расширены перспективы нефтегазоносности изученной территории. Кроме того, в восточной ее части (Синская площадь) уточнено положение Западно-Якутского рифового барьера и выявлены горстообразные структуры по нижним горизонтам осадочного чехла. Предложены направления дальнейших геологоразведочных работ, в том числе бурение параметрических скважин.

Представление геологических результатов сопровождается анализом методических вопросов проведения сейсморазведочных работ в южной части Вилюйской синеклизы. Показано, что в условиях слабой геолого-геофизической изученности значимость регионально-зональной сейсморазведки многократно возрастает. Представляется чрезвычайно важным обоснованное и тщательное планирование подобных исследований.

Ключевые слова: *нефтегазоносность, сейсморазведочные работы, перспективные объекты на нефть и газ, Вилюйская синеклиза, Республика Саха (Якутия).*

Введение

В Вилюйской синеклизе, являющейся одним из наиболее перспективных на поиски углеводородов крупных структурных элементов Восточной Сибири, сейсморазведочные работы достаточно активно проводились до конца 1980-х гг. В результате установлены основные черты геологического строения территории, выявлено значительное количество перспективных объектов, протрассирован Западно-Якутский рифовый барьер. Однако, затем

исследования прекратились вплоть до 2013 г., когда институтом ВНИГРИ совместно с АО «Якутскгеофизика» начаты комплексные геолого-геофизические работы на Южно-Вилуйской площади. Одним из основных методов примененного комплекса являлась сейсморазведка МОГТ по региональным профилям.

Сейсморазведочные работы, проведенные Южно-Вилуйской партией, несмотря на относительно небольшой объем (459 пог. км), позволили получить новые данные о геологическом строении и о перспективах нефтегазоносности территории [Кушмар и др., 2014; Ситников и др., 2013, 2018] и, по существу, ознаменовали собой начало нового этапа исследований недр Вилуйской гемисинеклизы.

В последующие годы изучение региона пошло более высокими темпами: в 2016 г. начато комплексное геолого-геофизическое изучение Вилуйской и Синской площадей, в 2017 г. к ним добавились Якутская и Усть-Амгинская площади, в 2018 г. – Ыгытинская и Наманинская площади (рис. 1). В ближайшие годы со всей остротой встанет вопрос о проведении обобщающих работ, но уже сейчас представляет несомненный интерес совместное рассмотрение результатов по двум сопредельным площадям – Вилуйской и Синской, расположенным в южной части синеклизы, работы на которых полностью завершены, а общая площадь исследований достаточно велика и составляет около 53 тыс. км².

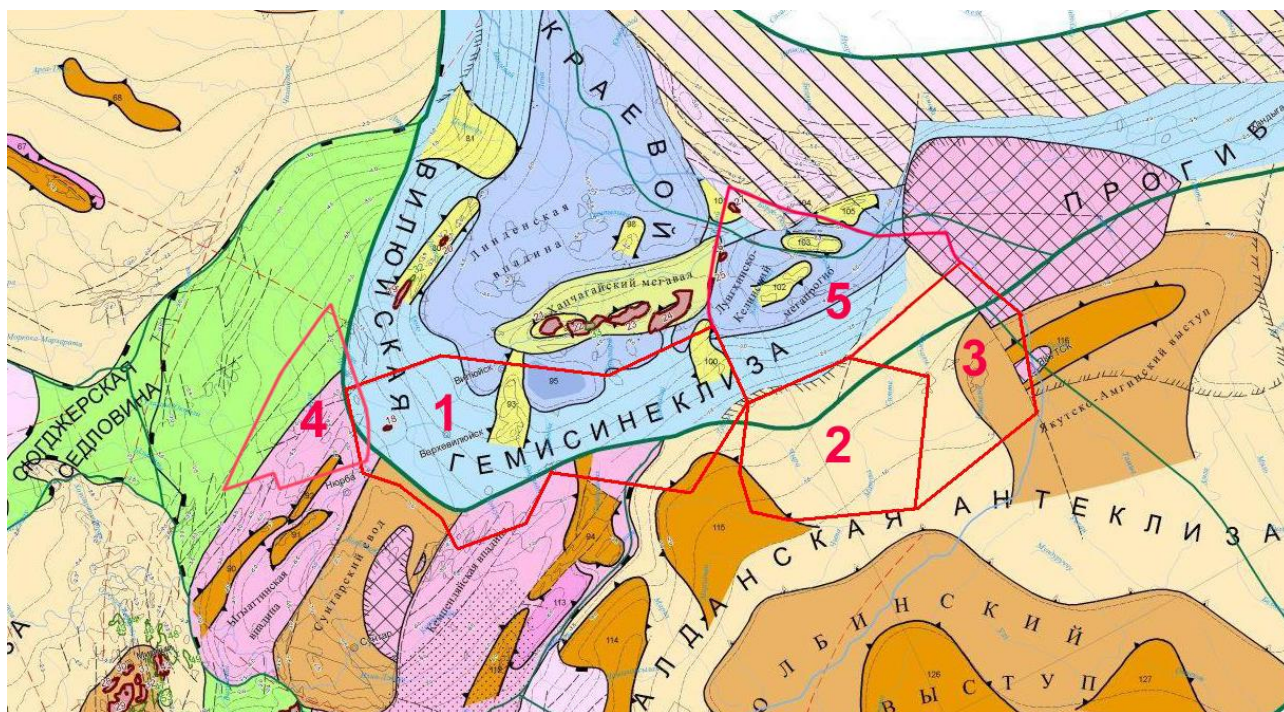


Рис. 1. Схема размещения площадей регионально-зональных геофизических работ

Основа: фрагмент структурно-тектонической карты Сибирской платформы, СНИИГГиМС, 2016г. Цифрами обозначены площади: 1 - Вилуйская, 2 - Синская, 3 - Якутская, 4 - Ыгытинская, 5 - Намская.

Целью статьи не является полное изложение результатов комплексной интерпретации всех применяемых методов, а в ней рассмотрены основные геологические и методические результаты сейсморазведочных работ.

Далее уделено внимание и тому, как повлияли на достоверность этих результатов планирование сейсморазведочных работ, методика полевых наблюдений и обработки данных и, конечно, идеология интерпретации. Рассмотрены также требующие решения проблемы и актуальные направления дальнейших исследований.

Планирование сейсморазведочных работ

Рациональным путем изучения геологического строения и перспектив нефтегазоносности крупных тектонических элементов является проведение геологоразведочных работ в соответствии с проверенной временем их этапностью. То есть, прежде всего должны быть проведены полноценные региональные геолого-геофизические исследования всего изучаемого элемента, в том числе по профилям, пересекающим его полностью, а уже затем регионально-зональные работы на наиболее интересных участках. Ранее такой подход предлагался и якутскими геофизиками ([Сафронов, Горбачев, 1991] и др.), а также специалистами АО «ЦГЭ» [Трофимов и др., 2018].

Тем не менее, новый этап изучения недр Вилюйской синеклизы начался сразу с регионально-зональных работ. Учитывая высокую сложность геологического строения, а также принципиальную возможность ускоренного прироста ресурсов УВ, такую стратегию геологоразведочных работ можно считать допустимой. Но в этом случае, отрабатываемые на сопредельных площадях сейсморазведочные профили должны образовывать единую взаимосвязанную сеть изучения и Вилюйской синеклизы, и ограничивающих ее тектонических структур. Фактически же это происходило не всегда. Так, если субширотные профили Якутской площади (см. рис. 1) являются продолжениями профилей ранее отработанной Синской площади и составляют вместе с ними единое целое, то ситуация с увязкой Синской и Вилюйской площадей совершенно иная. Мало того, что между ними остался неизученный «клин» (см. рис. 1), здесь не согласуются ни плотность сети профилей, ни их направления. Площади увязаны между собой только в одной (!) точке и то через профиль 2013 г. Все это затрудняло привязку отражений к геологическому разрезу, особенно на Синской площади, очень слабо изученной бурением. Отсутствие полноценной увязки Вилюйской и Синской площадей не способствовало формированию цельного представления о геологическом строении территории.

Особенности методики полевых работ и обработки данных.

Всего на изучаемой территории в 2017-2019 гг. оработаны 33 профиля общей протяженностью 3652 пог.км (табл. 1), в 2013-2014 гг. Южно-Виллойской сеймопартией – 5 профилей, общей протяженностью 459 км, почти полностью входящих в контур Виллойской площади.

Таблица 1

Объемы и основные параметры методики полевых наблюдений МОГТ

Основные параметры	Южно-Виллойская пл., 2013-2014 гг.		Виллойская пл., 2016-2019 гг.	Синская пл., 2016-2018 гг.
	Центральная- симметричная	Центральная- симметричная	Центральная- симметричная	Центральная- симметричная
Площадь исследований, тыс.км ²	-		36,2	16,5
Объем, пог.км (полнократных)	459		1850	1802
Плотность сети профилей, пог.км/км ²	-		0,05	0,11
Система наблюдений	Центральная- симметричная	Центральная- симметричная	Центральная- симметричная	Центральная- симметричная
Количество активных каналов	121	163	244	164
Расстояние между ПВ, м	50	50	50	50
Расстояние между ПП, м	50	50	50	50
База группирования СП	50	50	25	25
Минимальное расстояние ПВ – ПП, м	0	0	25	75
Максимальное расстояние ПВ – ПП, м	3000	4000	6075	4075
Кратность перекрытия	60	80	122	80-82
Источник возбуждения колебаний - длительность свип- сигнала, с - частота свип-сигнала, гц	СВ-20/150 10 8-80	«Енисей КЭМ-4»	СВ-20/150 18 10-80	СВ-27/150К 20 10-70
Регистрация колебаний: тип сейсмостанции	Sercel-428	INOVA G3i	Sercel-428	Sercel-428
Шаг дискретизации, мс	2	2	2	2
Длина записи, с	5	6	8	6

Плотность сети профилей невелика и изменяется от 0,05 км/км² на Виллойской до 0,11 пог. км/км² на Синской площадях. Даже с учетом Южно-Виллойских профилей, плотность сети на Виллойской площади увеличивается незначительно – до 0,06 пог. км/км².

Полевые сейсморазведочные исследования 2016-2019-х, а также 2013-2014 гг., выполнялись с использованием современных технико-методических средств, что создавало

основу для решения поставленных геологических задач. Однако, из проведенного сопоставления (см. табл. 1) следует, что при производстве работ применялись четыре варианта методики наблюдений. Если каждый из них, имея свои положительные и отрицательные стороны, с большим или меньшим успехом мог быть использован при изучении строения недр Вилуйской синеклизы, то применение их вместе на двух соседних площадях, а то и на одном и том же сейсмопрофиле, говорит о недостаточной скоординированности планирования и проведения исследований.

Методики работ на запланированных для переобработки сейсмических профилях 1980-х гг., существенно отличались и между собой, и, естественно, от ныне применяемых. В качестве источников возбуждения применялись и взрывы, и вибраторы, и другие источники. Кратность менялась от 6 до 80. Качество материалов тех лет также разное.

Судя по актам приемки полевых сейсморазведочных материалов, качество операторской обработки оценено высоко. Однако, в плане геофизической информативности полученные материалы неоднородны по площади и отличаются высокой сложностью. Сейсмограммы зачастую осложнены различного рода помехами. В ряде случаев уровень помех таков, что на их фоне отраженные волны практически не выделяются. На отдельных участках профилей, обычно связанных с наличием озер и болот, наблюдается ухудшение качества сейсмического материала. Отмеченные выше сложности в большей мере относятся к материалам прошлых лет, когда применяемые технико-методические средства ведения работ далеки от ныне применяемых.

Естественно, что все выше сказанное вместе с исключительно сложным геологическим строением южной части Вилуйской синеклизы, обуславливали необходимость тщательной и продуманной обработки данных, целью которой являлось получение мигрированных и немигрированных суммарных разрезов, адекватно отображающих строение изучаемого региона. Основные принципы построения таких разрезов: достижение максимальной разрешенности записи и наилучшей прослеживаемости отражающих горизонтов во всем временном интервале регистрации. Обработка сейсморазведочных материалов по новым площадям выполнялась в АО «ЦГЭ» с использованием программного пакета OMEGA.7 Western Geco Schlumberger.

Учитывая сложность строения Вилуйской площади, особенно, ее западной части, принципиальным являлся вопрос выбора метода расчета статических поправок. Поэтому почти половина профилей обрабатывалась дважды: со статикой от рельефа и со статикой, рассчитанной по преломленным волнам. Длиннопериодная компонента статических поправок, учитывающих влияние скоростных неоднородностей в ВЧР, рассчитывалась в пакете GeoDepth (Power 2D) компании Paradigm Geophysical. Сравнение полученных по таким

технологиям разрезов показало, что различия между ними несущественны.

Не детализируя примененный граф, можно отметить, что он позволил и на Синской, и на Вилюйской площадях получить сейсмические разрезы, вполне пригодные для решения поставленных геологических задач. Примеры результативных сейсмических разрезов по наиболее проблемным участкам этих площадей приведены на рис. 2 и 3.

Кроме материалов по новым профилям, переобработаны 28 профилей прошлых лет, общим объемом 1067 пог. км. Переобработанные сейсмические разрезы по информативности подразделяются на две большие группы: отработанные в 2013-2014 гг. и в 1980-х гг.

Первая группа это 5 профилей (459 км) Южно-Вилюйской площади, как ранее отмечено, почти полностью входящей в Вилюйскую площадь. Методика полевых сейсморазведочных работ на этих профилях достаточно близка к методике, применяемой впоследствии на Вилюйской площади, и позволила получить в целом неплохие результативные разрезы. Однако, смена методики в ходе производства полевых работ (см. табл. 1), когда большинство профилей начинали отрабатывать по одной методике, а заканчивали по другой, снижало информативность сейсмических данных, в первую очередь, для динамической интерпретации. Конечно, переобработка позволила повысить выразительность сейсмических разрезов, но устранить недостатки полевых работ полностью не смогла. Для структурных же построений переобработанные разрезы вполне кондиционны.

Переобработанные профили 1980-х гг. оказались намного лучше, чем полученные в те годы. Но, в то же время, их информативность не достигла уровня профилей не только 2016-2019-х, но и 2013-2014-х гг. По этой причине переобработанные профили 1980-х гг. использовались авторами в основном как вспомогательные.

Основные черты геологического строения района работ

Перед изложением результатов интерпретации сейсморазведочных материалов кратко рассмотрены имеющиеся данные о геологическом строении территории исследований. В структурно-тектоническом плане она относится в основном к Вилюйской гемисинеклизе. Лишь юго-западная ее часть находится в зоне сочленения синеклизы с Сунтарским сводом и Кемпендяйской впадиной, а юго-восточная - в зоне сочленения с Алданской антеклизой (см. рис. 1). С севера площадь работ ограничена Хапчагайским мегавалом. По результатам предшествующих исследований на изучаемой территории выделены довольно крупные тектонические элементы – структуры II порядка, в том числе Южно-Хапчагайский прогиб, Быраканский структурный мыс и другие.

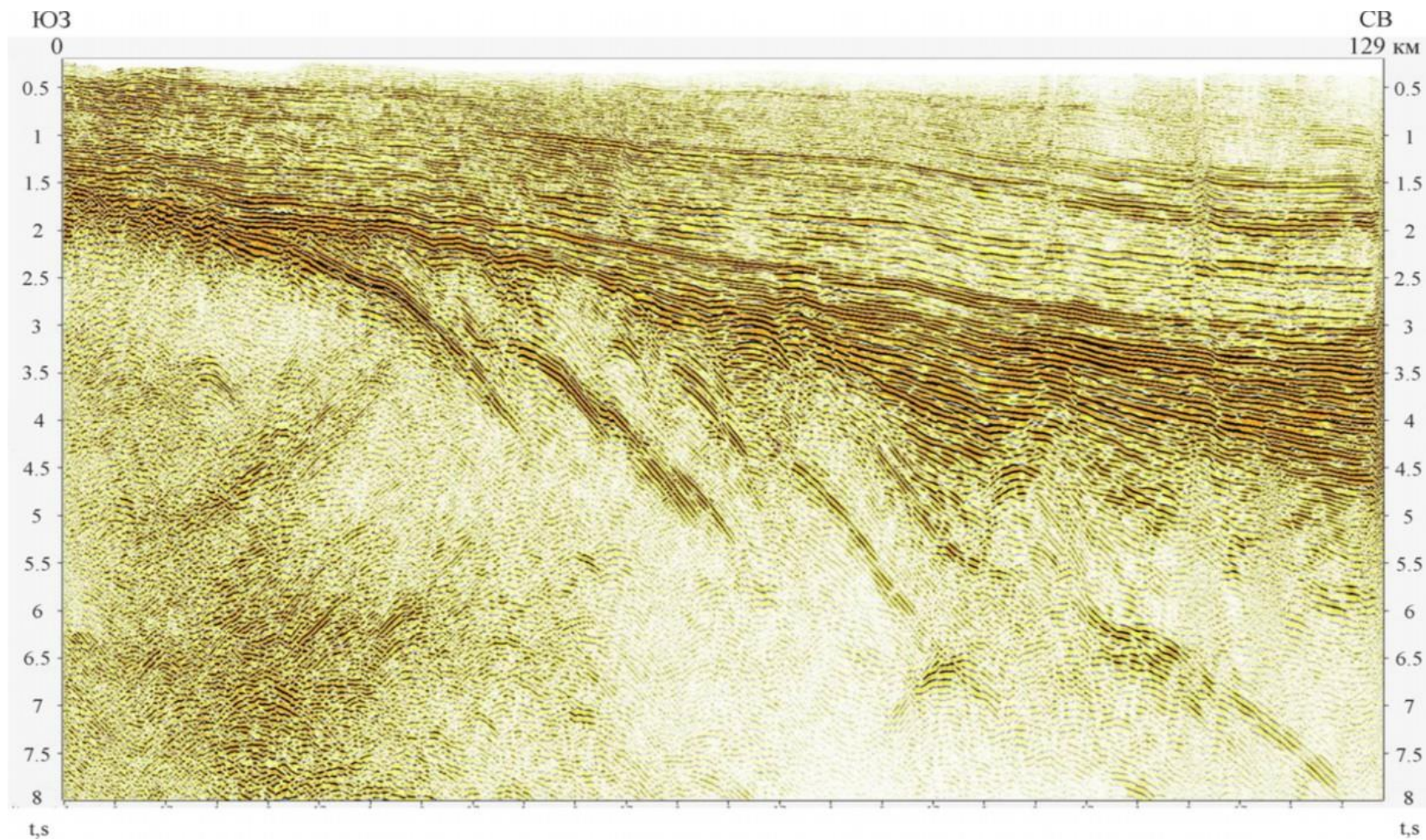


Рис. 2. Результативный сейсмический временной разрез Вилюйской площади по профилю 160802 (без интерпретации)

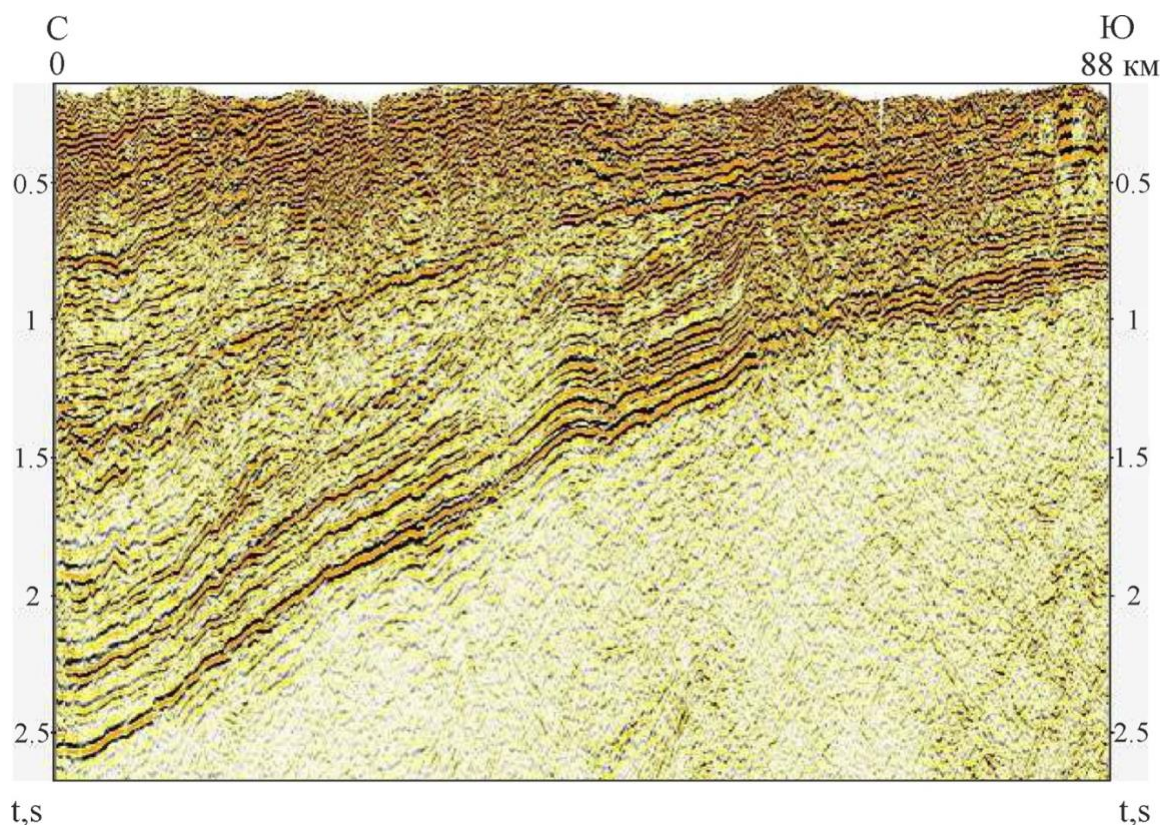


Рис. 3. Результативный сейсмический временной разрез Синской площади по профилю 160509 (без интерпретации)

В строении разреза исследуемого района Вилуйской синеклизы принимают участие породы архейско-нижнепротерозойского кристаллического фундамента и осадочного чехла, представленного отложениями верхнепротерозойского, палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. Осадочный чехол имеет мощность от 2-3 км в бортовых зонах синеклизы и по данным ГСЗ увеличивается до 12-14 км в центральной ее части, а также в Кемпендяйской впадине. По составу отложений и структурным признакам он подразделяется на три структурно-формационных комплекса (СФК):

- первый (нижний) СФК включает в себя рифейско-вендские и кембрийские отложения и представлен переслаиванием терригенных и карбонатных пород;
- второй СФК представлен отложениями ордовикской, силурийской, девонской и каменноугольной систем. Сложен терригенными, карбонатными, вулканогенными и галогенными породами. Выделяется на относительно небольших участках изучаемой территории, а в восточной ее части отсутствует полностью;
- третий СФК состоит из отложений пермской, триасовой, юрской и меловой систем и представлен исключительно терригенными породами.

В непосредственной близости от северной границы изучаемого участка в пределах Хапчагайского мегавала открыто несколько газоконденсатных месторождений, успешно разрабатываемых уже несколько десятилетий. Продуктивными являются отложения

нижнемезозойского и верхнепалеозойского возраста. Непосредственно на изучаемой территории в тех же отложениях в скважинах Хайлахской, Южно-Неджелинской, Быраканской площадей отмечались газопроявления, в ряде случаев весьма значительные. Кроме того, учеными Якутии и ВНИГРИ на южном борту Вилюйской синеклизы прогнозируется наличие нового нефтеносного района с крупным УВ-потенциалом в отложениях кембрийского возраста [Ситников и др., 2013; 2018]. В работе И.А. Кушмар с соавторами высоко оценивались перспективы этого района по мезозою и верхнему палеозою [Кушмар и др., 2014].

Интерпретация сейсморазведочных материалов

Интерпретация сейсморазведочных материалов выполнялась в пакетах DV-Discovery и Kingdom. Для большей объективности получаемых результатов и учитывая крайне слабую изученность бурением Синской площади, изначально создан единый интерпретационный проект для обеих изучаемых площадей, в который загружены и все переобработанные профили прошлых лет. Практиковалось также получение композитных разрезов, включающих профили и Синской, и Вилюйской площадей. Охарактеризовать поступивший на интерпретацию материал можно по представленным выше профилям (см. рис. 2, 3).

Привязка отражающих горизонтов к геологическому разрезу выполнена в основном по скважинам 1-Баппагайская, 2-Андреевская, 1184-Быраканская, 1-Бес-Кюэльская. В результате на разных участках изучаемой территории выделены от 10 до 15 отражающих горизонтов, основными из которых являются:

- Y_{3br} - кровля верхнеюрских отложений (кровля бергеинской свиты - J_{3b});
- Y_2 - кровля среднеюрских отложений (кровля якутской свиты - J_2jkt);
- Y_1 - кровля нижнеюрских отложений (кровля сунтарской свиты - J_{1sun});
- YT - кровля триасовых отложений (кровля тулурской свиты - T_{tl});
- T_{1tg} - кровля таганджинской свиты нижнего триаса (T_{1tg});
- TP - поверхность раздела мезозойского и палеозойского комплексов;
- P_2_{bot} - подошва отложений средней перми, залегающих на размывтой поверхности нижнепермских, каменноугольных (C_{1kr}) или девонских ($D_{звл}$ - $D_{знд}$) отложений (на Синской площади - это горизонт PC - кровля верхнекембрийских отложений);
- H_2 - кровля тымпынской толщи среднекембрийских отложений;
- H_1 - кровля инниканской свиты нижнего кембрия;
- K_{m1} - в восточной части Вилюйской и на Синской площадях - это подошва инниканской свиты нижнего кембрия (K_{m1in}), в западной - подошва олемкинской свиты нижнего кембрия (K_{m1ol});

- Ф - поверхность кристаллического фундамента.

Кроме основных горизонтов, на различных участках изучаемой территории выделены отражения от границ в девонских, вендских, рифейских отложениях. По всем этим горизонтам выполнены структурные построения. Сейсмофациальное расчленение разреза представлено на рис. 4.

Говоря о стратиграфической привязке отражающих горизонтов, нельзя не отметить один исторически сложившийся негативный момент. Имеются ввиду случаи, когда отложения, приуроченные к одним и тем же возрастным интервалам разреза и характеризующиеся одинаковым (или близким) литолого-фациальным составом, на разных площадях Вилюйской синеклизы называются по-разному. Несколько лет назад, причем для значительно больших территорий Восточной Сибири, эта проблема обозначена в публикации [Скоробогатов, 2017]. Имела она место и на изучаемой территории. Так, если в восточной ее части отражение N1 связывается с кровлей инниканской свиты нижнего кембрия, то в западной – с чарской.

Очевидно, что при выполнении обобщающих работ по значительным территориям обозначенная проблема встанет с большей остротой. Поэтому требуется коллегиальное ее решение учеными и специалистами институтов и производственных предприятий путем унификации названий свит и основных отражающих горизонтов.

Сейсмические временные разрезы, по которым проводилась интерпретация, существенно различаются по сложности волновой картины. Так, в восточной части Вилюйской и на Синской площадях большинство отражений, в том числе и от поверхности фундамента, прослеживаются вполне уверенно (см. рис. 3). Неоднозначности в корреляции здесь есть, но они немногочисленны. В западной же части Вилюйской площади ситуация совершенно иная: на разрезах наблюдаются следы крупных тектонических подвижек, коррелируемость горизонтов ухудшается, а в глубокопогруженных зонах исчезает совсем.

Ярким примером неоднозначно интерпретируемой картины по поверхности фундамента может быть наличие интенсивных наклонных отражателей (см. рис. 2). Это потребовало осмысления полученной информации как с традиционных, так и с нетрадиционных позиций.

Наличие наклонных отражателей и их конфигурация может свидетельствовать о широком развитии на этом участке надвиговой тектоники. То есть, наблюдаемые наклонные отражатели могут являться тектоническими границами, по существу - отражениями от разломов, от поверхностей срыва. В этом случае логично предположить, что эти срывы происходят по границе раздела пород осадочного чехла и более крепких пород фундамента или, по крайней мере, где-то в приконтактной зоне. Таким образом, достраивая горизонты срыва по нижним частям наклонных отражателей, можно прогнозировать положение поверхности кристаллического фундамента (рис. 5).

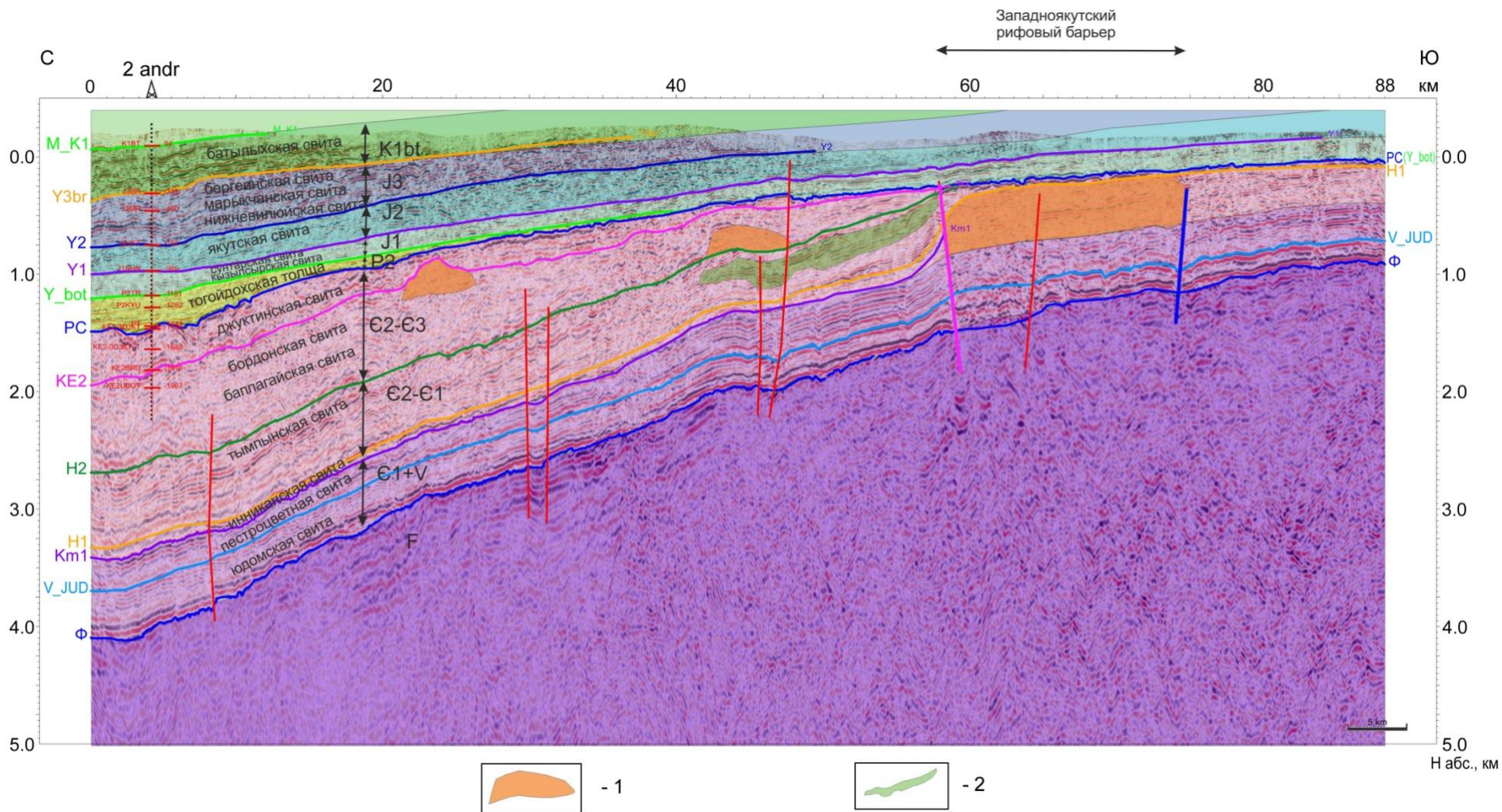


Рис. 4. Сейсмический разрез по профилю 160509 с выделенными структурно-формационных комплексами
 1 - рифогенные отложения; 2 - илейф продуктов разрушения рифа. Индексы отражающих горизонтов показаны на оси времен.

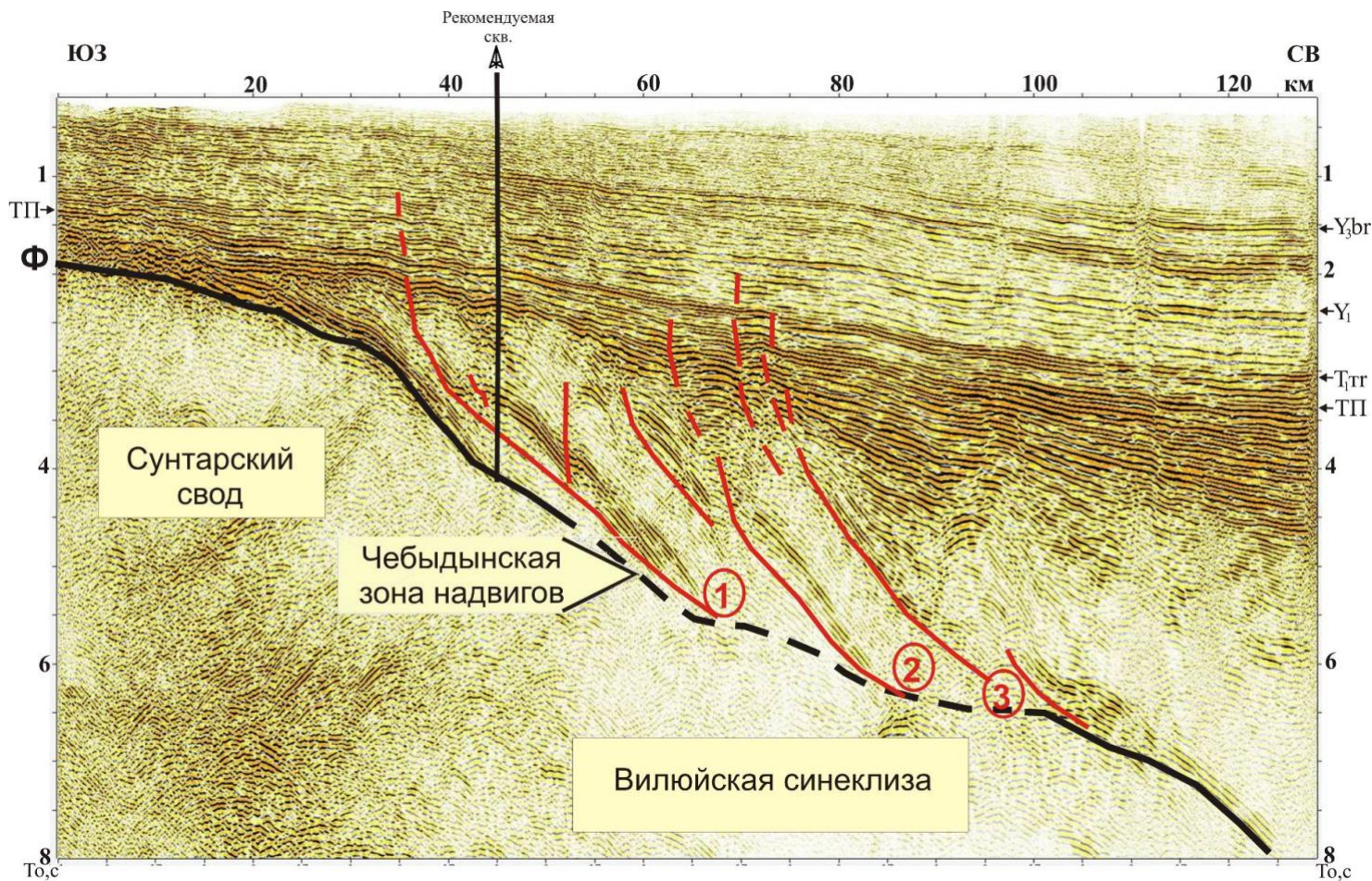


Рис. 5. Сейсмический разрез по профилю 160802 в Чебыдинской зоне надвигов

Цифрами в кружках обозначены надвиги.

Вполне вероятен и второй вариант интерпретации, когда поверхность фундамента проводится по подошве наклонных отражателей с тектоническими разрывами в местах их прерывания. Оба варианта иллюстрируются на фрагменте профиля 160802, представленном при соотношении горизонтального и вертикального масштабов, близким к 1:1 (рис. 6). Какой из этих вариантов более правильно отображает тектонику фундамента и нижних горизонтов осадочного чехла, могло бы ответить бурение параметрической скважины. Одно из наиболее интересных мест ее заложения при относительно небольшой глубине находится на профиле 160802 (рис. 5 и 6). Бурение скважины предлагается на антиклинальном перегибе, что может представлять интерес и с поисковых позиций.

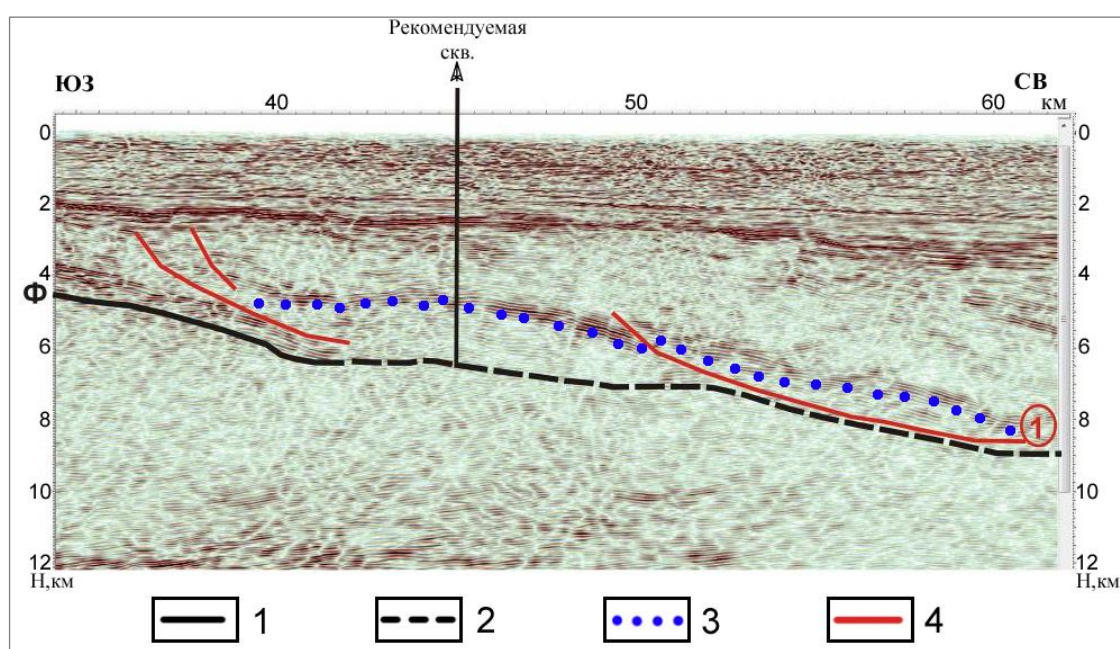


Рис. 6. Фрагмент сейсмического разреза по профилю 160802 с иллюстрацией двух подходов к определению положения поверхности фундамента

Соотношение вертикального и горизонтального масштабов близко к 1:1.

1 - уверенное определение положения поверхности фундамента; 2 и 3 - первый и второй варианты интерпретации; 4 - тектонические нарушения.

При любом из двух рассмотренных вариантов интерпретации совершенно очевидно общее погружение фундамента к центральной части Вилюйской синеклизы до глубин порядка 14-15 км. А структуры, осложняющие это погружение, судя по наблюдаемой волновой картине, сформировались в результате тангенциального сжатия со стороны Верхоянского массива в юго-западном направлении.

Структурные планы отражающих горизонтов

Структурные построения, выполненные по поверхности архейско-нижнепротерозойского фундамента и по горизонтам осадочного чехла, несмотря на

определенный схематизм, обусловленный небольшой плотностью сети сейсмических профилей и неоднозначной интерпретацией, дают вполне определенные представления о геологическом строении изучаемой территории. По большинству горизонтов построения выполнялись отдельно по Вилюйской и по Синской площадям. А по поверхности фундамента и по горизонту ТР построены сводные структурные карты. Ниже приведена краткая характеристика полученных результатов.

В целом, как и ожидалось, структурные планы по всем отражающим горизонтам имеют моноклиальный характер: по каждому из них наблюдается погружение к центральной части Вилюйской синеклизы. В то же время, некоторым из этих горизонтов или интервалов разреза свойственны свои, индивидуальные особенности.

Структурная карта по отражающему горизонту Ф - поверхности кристаллического фундамента в западной части изучаемой территории, несмотря на сглаживание, связанное с неоднозначной интерпретацией в зоне разломов, характеризуется значительной расчлененностью и контрастностью. Абсолютные отметки по площади изменяются от -2 км в пределах выступов до -14 км в центральной части Вилюйской синеклизы. Таким образом, максимальный размах тектонических движений, обусловивших современный структурный план фундамента, составляет порядка 12 км.

Судя по полученным сейсмическим разрезам (см. рис. 2, 5, 6), зона сочленения Вилюйской синеклизы и Сунтарского свода (Чебыдинская моноклиаль) осложнена тектоническими нарушениями, однако, в отличие от ранее сформировавшихся представлений, базирующихся на данных сейсморазведки 1970-1980-х гг. и недостаточных объемах глубокого бурения, характер этих нарушений не ступенчато-сбросовый, а взбросо-надвиговый, что может свидетельствовать о совершенно иной геодинамической обстановке, а именно, о горизонтальном сжатии со стороны Верхоянского массива. Но, к сожалению, выполнение построений с учетом этих нарушений на данном этапе изученности не представляется возможным. Требуется более плотная сеть сейсмических профилей и, хотя бы, одна параметрическая скважина, подтверждающая интерпретационную модель.

В восточной части изучаемой территории (Синская площадь), в зоне сочленения Вилюйской синеклизы и Алданской антеклизы, на структурной карте по поверхности фундамента хорошо видно, что южная часть моноклизы более пологая (градиент погружения 15-16 м/км), в то время как северная часть гораздо круче (градиент погружения 30-32 м/км). Подобная неравномерность погружения наблюдается и по вышележающим отражающим горизонтам.

Резкая смена наклона горизонтов может быть существенным признаком изменения тектонической обстановки. Не исключено, что эта смена наклона отображает границу между

Алданской антеклизой и Вилюйской синеклизой (тем более, что в отношении ее положения в настоящее время нет единого мнения). Несомненно, высказанное предположение требует дальнейшего полноценного регионального изучения территории и обобщения полученных данных.

Сравнительный анализ выполненных построений показал хорошее соответствие поверхности нижнепалеозойского комплекса с поверхностью кристаллического фундамента и почти полное отсутствие такового с вышележающими комплексами среднего и верхнего палеозоя и мезозоя. В то же время, между собой отражающие горизонты в этих комплексах в значительной степени подобны, выполаживаясь вверх по разрезу.

В заключение необходимо подчеркнуть, что выполненные структурные построения базируются на результатах регионально-зональных сейсморазведочных работ, когда расстояния между сейсмическими профилями составляли 15-30 км и вполне кондиционно отображают региональные особенности строения изучаемой территории. Особенности волнового поля, свидетельствующие о наличии локальных структурных форм, должны быть изучены в ходе последующих более детальных работ.

Зоны и объекты, перспективные для дальнейших исследований

В результате анализа полученных сейсмических разрезов и выполненных структурных построений выделен ряд объектов, перспективных в нефтегазоносном отношении. Несомненно, наиболее интересным из них является крупный, перспективный на газ объект в северо-восточной части Вилюйской площади. Строение этого объекта, его возможная связь с примыкающими тектоническими элементами, а также предложения по дальнейшему его изучению рассмотрены в ранее опубликованных статьях [Трофимов, 2018, 2020].

Как следует из результатов выполненных сейсмических построений, замкнутые положительные структурные формы на изучаемой территории практически не проявляются (рис. 7). Исключением является только известное по предшествующим работам Быраканское поднятие. Его размеры и амплитуда весьма значительны. Например, по отражающему горизонту ТР (поверхность раздела мезозойских и палеозойских отложений) оно оконтуривается изогипсой -3000 м и имеет площадь около 207 кв. км, а амплитуда составляет 450 м. По другим горизонтам отмечены близкие значения. Ранее в центральной части поднятия пробурены скважины 2, 3, 1184 – Быраканские. В последней из них в отложениях верхней перми и нижнего триаса отмечались значимые газопроявления (соответственно, 90,9 и 130-150 тыс. м³/сутки).

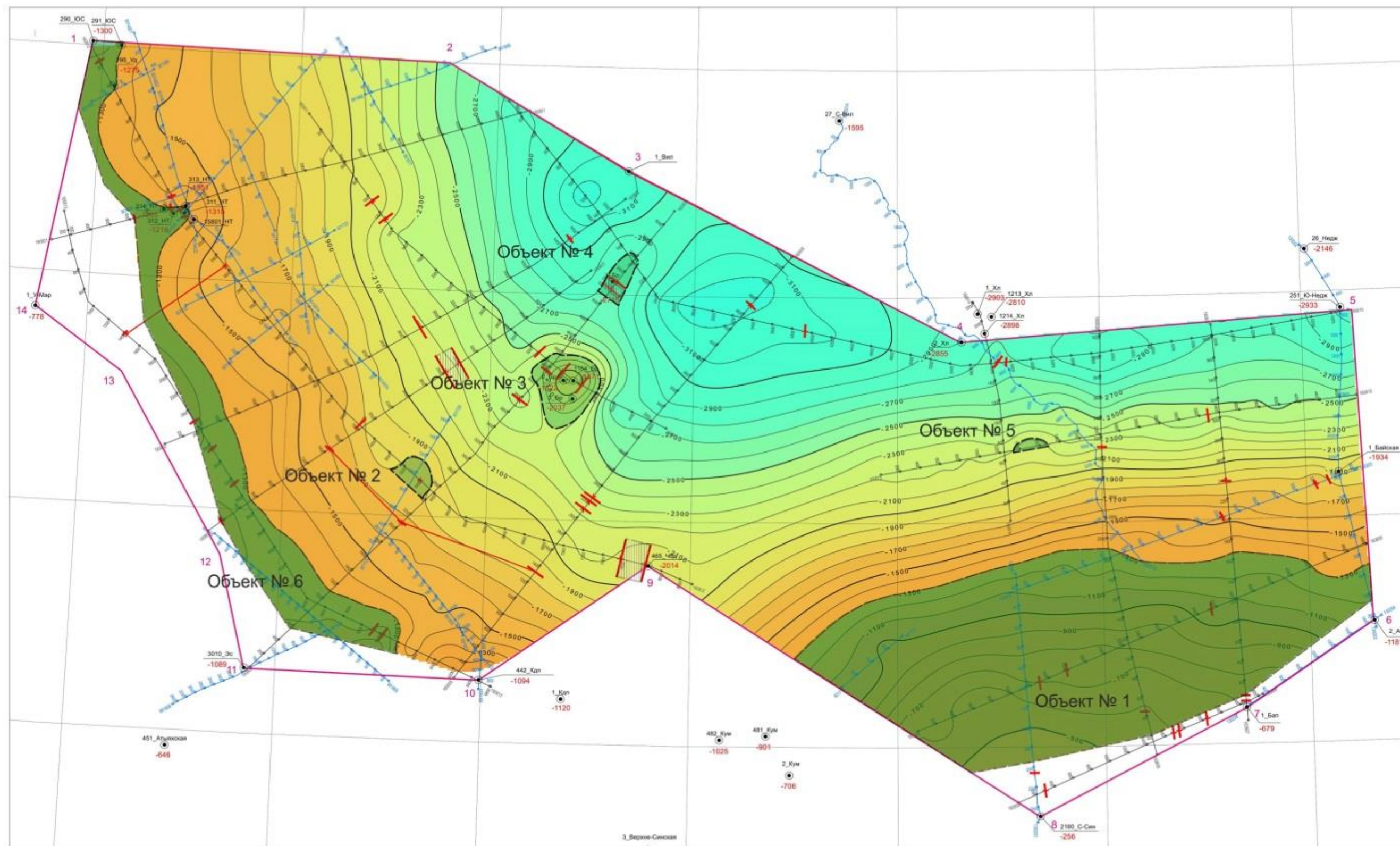


Рис. 7. Схема перспективных зон и объектов Вилуйской площади на структурной карте по отражающему горизонту ЮТ

Имеющаяся информация не позволяет сделать однозначные выводы о перспективах нефтегазоносности Быраканского поднятия. С одной стороны, данные бурения могут говорить о том, что сводовая часть структуры малоперспективна. С другой стороны, газопроявления все-таки отмечаются. В пользу этой структуры как потенциально газоносного объекта свидетельствуют и результаты AVO-анализа, по данным которого западный склон структуры может быть более перспективен. Поэтому, учитывая значительные размеры и амплитуду поднятия, авторы считают целесообразным его дальнейшее изучение, прежде всего, путем проведения детальных сейсморазведочных работ.

Быраканская структура может быть перспективна не только на поиски углеводородов. Так, на субширотном профиле 160811 в сводовой ее части по всему осадочному чехлу и верхней части фундамента вполне уверенно выделяется субвертикальная динамическая аномалия, отображающая, возможно, трубку взрыва. (В анализе материалов принимал участие супервайзер ВНИГНИ А.Б. Губанов). То есть, Быраканская структура в целом может представлять собой крупный палеовулкан. Наличие таких вулканов на изучаемой территории показано в работе [Костин, 2017].

Таким образом, при проектировании здесь детальных сейсморазведочных работ, при обработке и интерпретации полученных материалов следует предусмотреть получение достоверной информации о строении разреза для прогнозирования возможных трубок взрыва, а также комплексирование сейсморазведки с другими геофизическими методами.

Большинство из вновь выявленных перспективных на углеводороды объектов представляет собой гемиантиклинали по верхнепалеозойским и мезозойским горизонтам (см. рис. 7). Отсутствие замыканий по южным критическим крыльям в определенной мере снижает вероятность открытия новых месторождений, но не полностью. Во-первых, нельзя отрицать возможность формирования тектонических или литологических экранов, способных удерживать залежи на моноклинали, и, во-вторых, при проведении более детальных исследований замыкание все-таки может проявиться. Поэтому представляется целесообразным провести на наиболее интересных гемиантиклиналях поисковые сейсморазведочные работы с целью их оконтуривания и более тщательного изучения. Одним из таких объектов может быть №2, расположенный на пересечении профилей 160812 и 831729 (см. рис. 7).

Вблизи южной и юго-западной границ изучаемой территории выявлены значительные по площади зоны сокращения мощности верхнепалеозойских и нижнемезозойских отложений (№1 и №6 на рис. 7). В таких зонах вполне вероятно формирование ловушек, связанных с выклиниваниями пластов и литологическими замещениями. Инициаторами выделения таких зон выступили специалисты ВНИГРИ [Кушмар и др., 2014], а выявленный авторами крупный

перспективный на газ объект свидетельствует в их пользу [Трофимов, 2020].

В восточной части территории исследований (Синская площадь) в качестве объектов, перспективных для дальнейшего изучения, на отдельных профилях выделены структурные формы, осложняющие моноклираль. Наиболее интересными из таких форм, по мнению авторов, являются высокоамплитудные и горстообразные структуры по нижним горизонтам чехла и поверхности фундамента (рис. 8). Они не трассируются по площади, но их размеры по профилю довольно значительны и составляют около 10 км, амплитуды - ориентировочно 100-120 м. В отдельных случаях горстообразные структуры отмечены под Западно-Якутским рифогенным барьером (см. рис. 4), что может неоднозначно указывать на влияние скоростных неоднородностей в вышелегающей толще и вносит определенные сомнения в существование видимых на сейсмических разрезах структур. Вероятно, этот вопрос будет решен в ходе последующих исследований.

Значительный интерес и с общегеологических позиций, и как объект для поисков углеводородов представляет собой выделенный на севере Сибирской платформы и простирающийся в субширотном направлении ниже-среднекембрийский рифогенный барьер, который прослежен на расстояние более 2000 км и своей восточной частью заходит на исследуемую территорию, где именуется Западно-Якутским.

Несмотря на то, что этот рифогенный барьер выявлен достаточно давно, его изученность бурением и современной сейсморазведкой невелика. Необходимо отметить существенный момент: если западнее рифогенный барьер рассматривается как приоритетный объект на поиски нефтяных и газовых залежей [Филипцов и др., 2014], то на изучаемой территории, вследствие относительно небольших глубин залегания барьера (на Синской площади 0,8-1,0 км), его перспективы оцениваются намного ниже. В то же время, залежи углеводородов могут сформироваться и в шлейфе продуктов разрушения рифа, где глубины уже существенно больше и достигают 1,5-1,6 км. Поэтому выделению и трассированию этого барьера авторы уделили значительное внимание.

На сейсмических разрезах по Синской площади Западно-Якутский рифогенный барьер и шлейф продуктов его разрушения выделяются вполне уверенно (см. рис. 4, 8). Также он трассируется в запад-северо-западном направлении в сторону Вилюйской площади, не отклоняясь к скв. 2-Андреевской, как он интерпретировался ранее по сейсморазведочным материалам 1970-1980-х гг. (рис. 9).

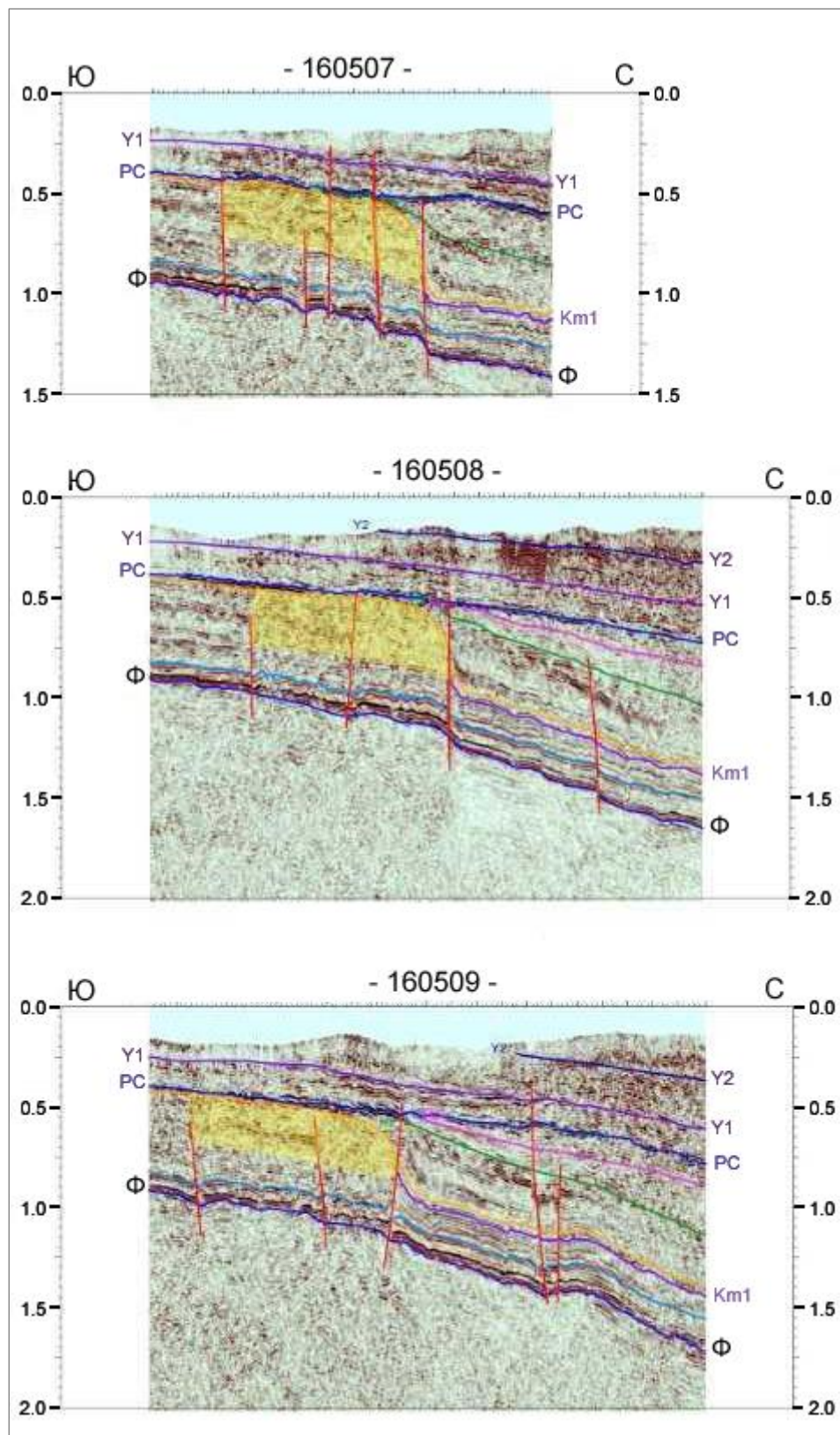


Рис. 8. Сейсмические разрезы Синской площади с иллюстрациями Западно-Якутского рифогенного барьера

Рифогенный барьер подкрашен желтым; по нижним горизонтам чехла и поверхности фундамента видны структурные осложнения как под рифом (профиль 160508), так и за его пределами (профиль 160509).

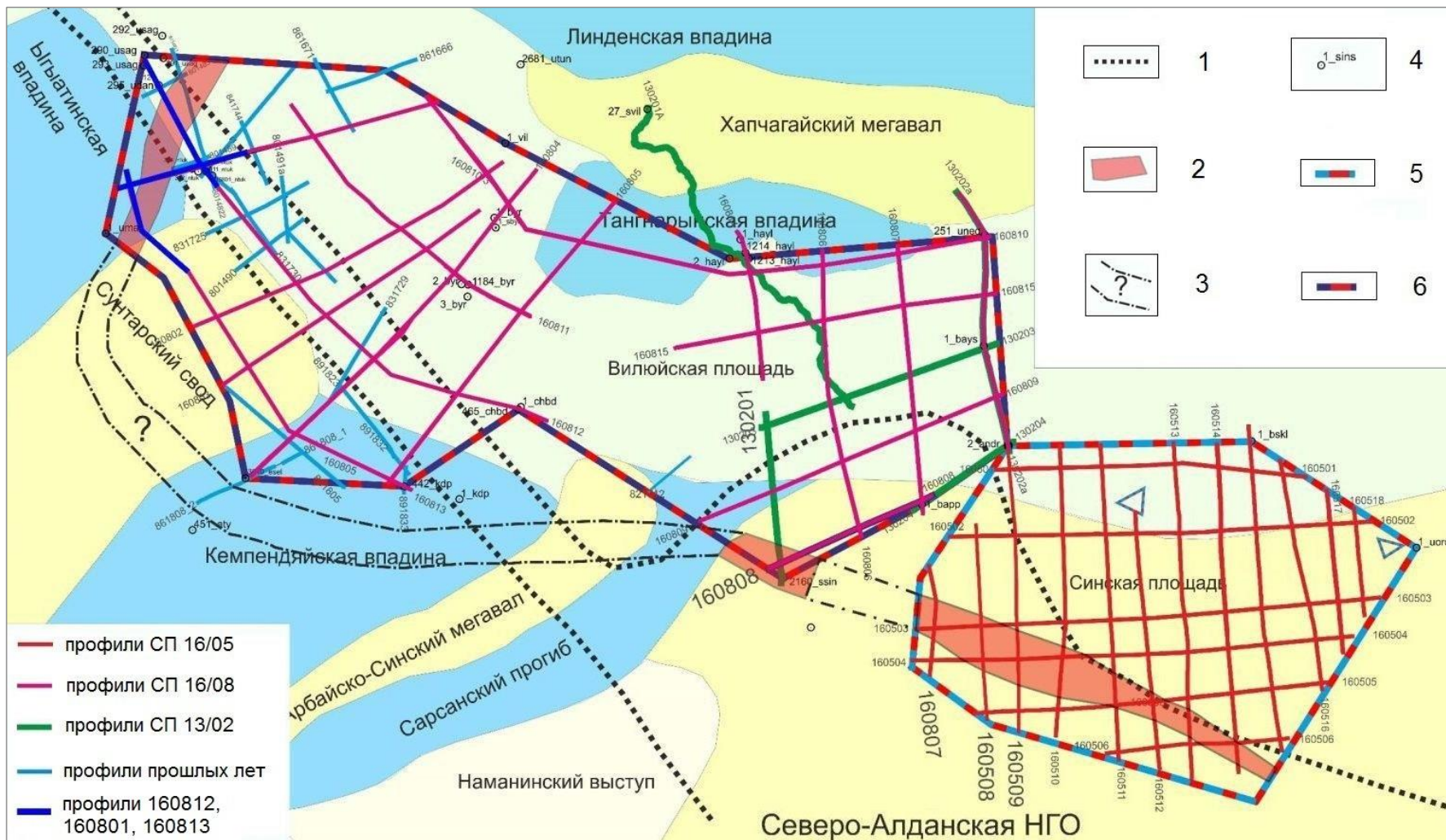


Рис. 9. Схема трассирования Западно-Якутского рифогенного барьера на Вилуйской и Синской площадях в юго-западной части Вилуйской гемисинеклизы

1-3 - положение рифогенного барьера: 1 - в основном по материалам 1980-х гг. (данные АО «Якутскгеофизика»); 2 - по материалам 2013-2018 гг.; 3 – предполагаемое; 4 - глубокие скважины; 5 – Синская площадь; 6 – Вилуйская площадь.

Однако, в восточной части Вилюйской площади Западно-Якутский рифогенный барьер выделяется только в юго-восточном ее углу, не вполне уверенно и в значительной степени благодаря данным по скв. 2160-Северо-Синской. Далее к западу рифогенный барьер на сейсмических разрезах не отмечен. Какова причина этого - отсутствие сейсмических профилей в средней части Вилюйской площади и очень сложный материал для западной части, отсутствие рифогенного барьера на этом участке или его прохождение южнее Вилюйской площади – пока остается только предполагать. По мнению авторов, более вероятен последний вариант, в пользу которого говорит появление волновой картины, напоминающей рифогенный барьер, на самом юго-западе Вилюйской площади. Этот вариант проиллюстрирован на рис. 9.

Направления дальнейших исследований

1. Сейсморазведочные работы, проведенные в 2016-2019 гг. в южной бортовой зоне Вилюйской гемисинеклизы, позволили получить новую и уточнить имеющуюся информацию о геологическом строении и перспективах нефтегазоносности. Намеченные перспективные зоны и объекты (гемиянтиклиналы, горстообразные структуры), а также Быраканское поднятие требуют более детального их изучения сейсморазведкой. Рекомендации по открытию возможного крупного газового скопления высказаны авторами ранее [Трофимов, 2020].

2. Отдельный и особо важный вопрос – бурение параметрических скважин.

Такие скважины бурятся, как правило, для решения достаточно крупных и принципиальных задач, актуальных для значительных территорий. На изученной части Вилюйской синеклизы одной из таких задач, по мнению авторов, является исследование природы наклонных отражателей, наблюдаемых на Чебыдинской моноклинали. Понимание их природы позволит провести обоснованную интерпретацию сейсморазведочных данных и в комплексе с результатами других методов создать новую тектонодинамическую основу и обосновать оценку перспектив нефтегазоносности.

Предпочтительным местом для заложения такой скважины является юго-западная часть площади, где наклонные отражатели прослеживаются очень четко, на относительно небольших глубинах (профиль 160802 на рис. 5, 6) и корреспондируются с поверхностью фундамента. Ориентировочная глубина скважины – 4,5 км.

3. Актуальной и практически важной стала бы постановка тематических работ по анализу и обобщению результатов геолого-геофизических исследований, проведенных (или проводящихся) в последние годы на Вилюйской, Синской, Якутской, Усть-Амгинской, Ыгытинской, Наманинской, Намской и других площадях. Такой подход к изучению строения

Вилуйской синеклизы позволит оптимизировать государственные инвестиции в геологические работы и раскрытие ее ресурсного потенциала.

4. Одной из важнейших задач предлагаемого в будущем обобщения результатов геолого-геофизических работ по Вилуйской синеклизе (или значительной ее части) должно стать создание тектонодинамической карты (модели). Для построения такой карты результаты бурения параметрической скважины на Чебыдинской зоне надвигов неопределимы. Кроме того, потребуется современная аэрограви- и магнитометрическая съемка всей Вилуйской синеклизы.

5. По дальнейшему изучению Западно-Якутского рифогенного барьера авторы предлагают следующее. Если небольшие глубины его залегания на территории исследований являются отрицательным фактором для формирования залежей углеводородов, то для изучения геологического строения и закономерностей изменения фациального состава эти глубины вполне благоприятны. Оптимальным путем решения этих задач могло бы быть профильное бурение в комплексе с сейсморазведкой. Профиль скважин со вскрытием фундамента предлагается проложить вдоль сейсмического профиля 160509, на котором уже имеется одна скважина - 2-Андреевская. Всего необходимо пробурить три скважины: на бровке рифа, на шлейфе продуктов разрушения и на высокоамплитудной структуре по нижним горизонтам чехла в зарифовой части бассейна. Глубины этих скважин вполне доступны и составят от 1 до 2 км. Комплексный анализ данных сейсморазведки и бурения по четырем скважинам даст детальную информацию о строении и перспективах нефтегазоносности Западно-Якутского рифогенного барьера, а также примыкающих к нему объектов на изучаемой территории.

Заключение

Проведенные в южной бортовой зоне Вилуйской гемисинеклизы регионально-зональные сейсморазведочные работы позволили получить новые и уточнить имеющиеся сведения о геологическом строении территории, выявить перспективные на нефть и газ объекты, в том числе крупную, перспективную на газ динамическую аномалию, и на этой основе существенно расширить перспективы нефтегазоносности изученной территории. Предложены направления дальнейших геологоразведочных работ, в том числе бурение параметрических скважин.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в условиях слабой геолого-геофизической изученности значимость результатов регионально-зональной сейсморазведки в изучении строения и перспектив нефтегазоносности, многократно возрастает. Поэтому представляется чрезвычайно важным обоснованное и тщательное планирование подобных

исследований на сопредельных площадях Вилюйской синеклизы.

Литература

Костин А.В. Новый геологический объект вулканического происхождения на Лено-Вилюйском водоразделе (восток Сибирской платформы) // Успехи современного естествознания. Науки о Земле. - 2017. - №2. - С.100-105. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.36370>

Кушмар И.А., Семенов В.П., Яшенкова Л.К., Головин С.В., Шостак К.В. Перспективы нефтегазоносности мезозоя и верхнего палеозоя южного борта Вилюйской синеклизы // Проблемы воспроизводства запасов нефти и газа в современных условиях: сборник материалов конференции. - ВНИГРИ, 2014. - С.153-162.

Сафронов А.Ф., Горбачев В.Ф. Строение зоны сочленения Предверхоанского прогиба со складчатой областью // Геология нефти и газа. - 1991. - № 6. - С. 7-10.

Ситников В.С., Кушмар И.А., Прищепина О.М., Погодаев А.В. О возможном открытии на юге Вилюйской синеклизы нового нефтеносного района (Сибирская платформа) // Геология нефти и газа. - 2013. - №4. - С.2-12.

Ситников В.С., Павлова К.А., Севостьянова Р.Ф. Перспективы нефтеносности центральных районов Западной Якутии // Геология нефти и газа. - 2018. - №6. - С.63-72

Скоробогатов В.А. Енисей-Ленская мегапровинция: формирование, размещение и прогнозирование месторождений углеводородов // Геология нефти и газа. - 2017. - №3. - С.3-17.

Трофимов В.А. Крупный, перспективный на газ объект в Вилюйской синеклизе // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2020. - Т.15. - №2. http://www.ngtp.ru/rub/2020/16_2020.html. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/16_2020

Трофимов В.А. Новый газовый гигант в Вилюйской синеклизе? // Геолого-геофизические исследования нефтегазоносных территорий: научные и прикладные аспекты («РосгеоНЕФТЕГАЗ-2018»): сборник материалов научно-практической конференции (г. Москва, 22-24 мая 2018 г.). - Санкт-Петербург: АО «ВНИГРИ». - С.28-32. - <http://www.ngtp.ru/publication/sborniki/RosgeoOilGas.pdf>

Трофимов В.А., Закиров Ф.Ф., Косовцев В.И., Колесниченко Л.Ю. Региональные геофизические исследования Предверхоанского краевого прогиба и Вилюйской синеклизы - основа оптимизации дальнейших работ на нефть и газ в регионе // ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии: труды Международной геолого-геофизической конференции. - Тверь, ООО «ПолиПРЕСС», 2018. - С.64-67.

Филипцов Ю.А., Мельников Н.В., Ефимов А.С., Вальчак В.И., Горюнов Н.А., Евграфов А.А., Смирнов Е.В., Щербаков В.А., Култышев В.Ю. Нижне-среднекембрийский рифогенный барьер на севере Сибирской платформы – объект первоочередных нефтегазопроисловых работ // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. - 2014. - № 2. - С. 25-35.

Trofimov V.A.

Independent expert geologist-geophysicist, Moscow, Russia, vatgeo@yandex.ru

Zakirov F.F.

Federal State Budgetary Institution "All-Russian Scientific-research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky" (FSBI VIMS), Moscow, Russia

Kolesnichenko L.Yu.

JSC "Central Geophysical Expedition", Moscow, Russia

Kosovtsev V.I.

Independent expert geophysicist, Moscow, Russia

Slonchak K.A.

JSC "Central Geophysical Expedition", Moscow, Russia

MAIN RESULTS OF REGIONAL SEISMIC EXPLORATION ACTIVITY IN SOUTHERN PART OF VILYUY SYNECLISE, REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

The regional seismic exploration carried out in the southern part of the Vilyuy hemisyncline made it possible to obtain new data and to improved the information on the geological structure of the territory, to recognize promising objects for oil and gas, including a large, gas-promising dynamic anomaly and significant areas of reduction in the thickness of the Upper Paleozoic and Lower Mesozoic strata, where the formation of traps associated with pinch-out and lithological replacements is quite likely. On this basis, the prospects for the oil and gas content of the studied area have been significantly expanded. In addition, in its eastern part (Sinsk area), the position of the West Yakutsk reef barrier has been clarified and the horst-like structures have been identified along the lower levels of the sedimentary cover. The directions of further exploration activity, including the drilling of parametric wells, are proposed. The presentation of geological results is accompanied by an analysis of the scientific issues of seismic exploration in the southern part of the Vilyuy Syncline. It is shown that in conditions of poor geological and geophysical knowledge, the significance of the results of regional seismic exploration in the study of the structure and prospects of oil and gas content increases many times. It seems extremely important to sound and careful planning of such studies in the studied region.

Keywords: oil and gas content, seismic exploration activity, oil and gas promising objects, Eastern Siberia, Vilyuy Syncline.

References

Filiptsov Yu.A., Mel'nikov N.V., Efimov A.S., Val'chak V.I., Goryunov N.A., Evgrafov A.A., Smirnov E.V., Shcherbakov V.A., Kultyshev V.Yu. *Nizhne-srednekembriyskiy rifogenny bar'er na severe Sibirskoy platformy – ob'ekt pervoocherednykh neftegazopoyiskovykh rabot* [Lower-Middle Cambrian reef barrier in the northern Siberian Platform as a target of primary exploration for oil and gas]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri*, 2014, no. 2, pp. 25-35.

Kostin A.V. *Novyy geologicheskoy ob'ekt vulkanicheskogo proiskhozhdeniya na Leno-Vilyuyskom vodorazdele (vostok Sibirskoy platformy)* [New geological object of volcanic origin in Lena-Vilyuy watershed (Eastern Siberian Platform)]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. Nauki o Zemle*, 2017, no. 2, pp.100-105. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.36370>

Kushmar I.A., Semenov V.P., Yashenkova L.K., Golovin S.V., Shostak K.V. *Perspektivy neftegazonosnosti mezozoya i verkhnego paleozoya yuzhnogo borta Vilyuyskoy sineklizy* [Prospects of oil and gas potential of the Mesozoic and upper Paleozoic of the southern side of the Vilyuy Syncline]. *Problemy vosproizvodstva zapasov nefti i gaza v sovremennykh usloviyakh: sbornik materialov konferentsii, VNIGRI*, 2014, pp.153-162.

Safronov A.F., Gorbachev V.F. *Stroenie zony sochleneniya Predverkhoyanskogo progiba so skladchatoy oblast'yu* [Framework of a zone of junction between the Pre-Verkhoyansk downwarp and a folded area]. *Geologiya nefti i gaza*, 1991, no. 6, pp. 7-10.

Sitnikov V.S., Kushmar I.A., Prishchepa O.M., Pogodaev A.V. *O vozmozhnom otkrytii na yuge*

Vilyuyskoy sineklizy novogo neftenosnogo rayona (Sibirskaya platforma) [On the possible discovery of new oil-bearing region in the south of Vilyuy Syneclise (Siberian platform)]. *Geologiya nefti i gaza*, 2013, no.4, pp.2-12.

Sitnikov V.S., Pavlova K.A., Sevost'yanova R.F. *Perspektivy neftenosnosti tsentral'nykh rayonov Zapadnoy Yakutii* [Oil potential of the central part of the Western Yakutia]. *Geologiya nefti i gaza*, 2018, no.6, pp.63-72

Skorobogatov V.A. *Enisey-Lenskaya megaprovintsiya: formirovanie, razmeshchenie i prognozirovaniye mestorozhdeniy uglevodorodov* [Yenisei-Lena megaprovince: formation, placement and forecasting of hydrocarbon fields]. *Geologiya nefti i gaza*, 2017, no.3, pp.3-17.

Trofimov V.A. Krupnyy, perspektivnyy na gaz ob"ekt v Vilyuyskoy sineklize [A large gas prospect in the Vilyuy Syneclise]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2020, vol. 15, no.2, available at: http://www.ngtp.ru/rub/2020/16_2020.html. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/16_2020

Trofimov V.A. *Novyy gazovyy gigant v Vilyuyskoy sineklize?* [New gas giant in the Vilyuy Syneclise?] *Geologo-geofizicheskie issledovaniya neftegazonosnykh territoriy: nauchnye i prikladnye aspekty («RosgeoNEFTEGAZ-2018»): sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii (Moscow, 22-24 May 2018)*. St. Petersburg: AO «VNIGRI», pp.28-32. <http://www.ngtp.ru/publication/sborniki/RosgeoOilGas.pdf>

Trofimov V.A., Zakirov F.F., Kosovtsev V.I., Kolesnichenko L.Yu. *Regional'nye geofizicheskie issledovaniya Predverkhoyanskogo kraevogo progiba i Vilyuyskoy sineklizy - osnova optimizatsii dal'neyshikh rabot na nef't' i gaz v regione* [Regional geophysical studies of Pred-Verkhoyansk Foredeep and Vilyuy Syneclise: basis for optimising future oil and gas operations in the region]. *GeoEvraziya 2018. Sovremennyye metody izucheniya i osvoeniya neдр Evrazii: trudy Mezhdunarodnoy geologo-geofizicheskoy konferentsii*. Tver', OOO «PoliPRESS», 2018, pp.64-67.

© Трофимов В.А., Закиров Ф.Ф., Колесниченко Л.Ю., Косовцев В.И., Слончак К.А., 2021

