

УДК 550.834:553.98(571.56)(268.53)
DOI 10.17513/use.38361

ИЗУЧЕННОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО, ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ГРАВИМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЯКУТИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПРИМОРСКИХ ПРОГИБОВ И ВПАДИН

¹Слепцова М.И., ¹Оболкин А.П., ²Оболкин А.А., ¹Севостьянова Р.Ф.

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» – обособленное подразделение Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: msleptsova@mail.ru;
²ПАО «Сургутнефтегаз», Сургут, e-mail: s_obolkin@mail.ru

Целью данной работы является разработка предложений для рационального размещения работ на нефть и газ в слабоизученных прибрежных районах северо-востока Республики Саха (Якутия) с учетом новых данных по геологии региона. Выполненная работа направлена на уточнение, детализацию и повышение достоверности дальнейших исследований, предварительно актуализированных в процессе научного изучения материалов геологоразведочных работ прошлых лет. По электроразведочным исследованиям на Приморской площади была выделена аномальная зона продольной проводимости, подтверждено существование кайнозойских структур: Нижнеянского грабена и Усть-Янского поднятия. Намечена положительная Селеняхская структура, перспективная в нефтегазоносном отношении. По аэромагнитной съемке Тастахской впадины и Хромского массива установлено блоковое строение фундамента и показаны перспективы впадин в нефтегазоносном отношении. Переинтерпретация сейсмических материалов, выполненная в последние годы, показала, что в основании Тастахского прогиба присутствует рифтовая зона. Зырянская впадина представляет собой сложнопостроенную тектоническую, шовную зону, состоящую из поднятых и опущенных блоков горизонтально-сдвигового и надвигового типов. Эти и другие данные дают основание о возобновлении нефтегазопромысловых исследований в Зырянской, Момской, Нижнеянской, Нижнеколымской впадинах и Тастахском прогибе. Обязательным условием продолжения работ является стадийность работ, включающая проведение, на начальном этапе, научных, региональных геолого-геофизических, геохимических исследований, опорного, параметрического бурения.

Ключевые слова: северо-восток Якутии, сейсморазведка, гравиразведка, магниторазведка, электроразведка, Тастахский прогиб, Момо-Зырянская впадина

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 122011100158-2.

STUDY OF SEISMIC, GEOELECTRIC AND GRAVIMAGNETIC FIELDS IN THE NORTH-EAST OF YAKUTIA AND OIL AND GAS POTENTIAL PROSPECTS COASTAL TROUGHS AND DEPRESSIONS

¹Sleptsova M.I., ¹Obolkin A.P., ²Obolkin A.A., ¹Sevostyanova R.F.

¹Federal Research Centre – The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: msleptsova@mail.ru;
²PJSC “Surgutneftegas”, Surgut, e-mail: s_obolkin@mail.ru

The purpose of this work is to develop proposals for the slow placement of oil and gas in the poorly studied coastal regions of the northeast of the Republic of Sakha (Yakutia), taking into account new data on the geology of the region. The work performed is aimed at clarifying, detailing and increasing the reliability of further research, previously updated in the process of scientific study of materials from geological exploration work of past years. Based on electrical exploration studies in the Primorskaya area, an anomalous zone of longitudinal conductivity was identified, and the existence of Cenozoic structures was confirmed: the Nizhneyansky graben and the Ust-Yansky uplift. A positive Selennyakh structure has been outlined, which is promising in oil and gas terms. Based on aeromagnetic surveys of the Tastakh depression and the Khrom massif, the block structure of the foundation was established, and the oil and gas prospects of the depression were shown. Reinterpretation of seismic materials carried out in recent years has shown that there is a rift zone at the base of the Tastakh trough. The Zyryansk depression is a complex tectonic, suture zone, consisting of uplifted and lowered blocks of horizontal shear and thrust types. These and other data provide grounds for the resumption of oil and gas exploration in the Zyryansk, Momsкая, Nizhneyanskaya, Nizhnekolymskaya depressions and the Tastakh trough. A prerequisite for the continuation of work is the staged nature of the work, including, at the initial stage, scientific, regional geological, geophysical, geochemical studies, reference, and parametric drilling.

Keywords: northeast of Yakutia, seismic exploration, gravity exploration, magnetic exploration, electrical exploration, Tastakh trough, Momo-Zyryansk depression

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 122011100158-2.

Введение

На северо-востоке Республики Саха (Якутия) шельфы морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, приморские впадины, а также прогибы в устьевых зонах р. Индигирки, Колымы и Яны, наряду с крупными континентальными впадинами, такими как Момская и Зырянская, представляют собой области с высоким потенциалом для разработки углеводородов [1]. Для проведения исследований были использованы данные, полученные в результате сейсмических, гравимагнитных, геоэлектрических и геохимических работ, которые осуществлялись на протяжении различных лет, а также повторная интерпретация сейсмических данных. Проведенные исследования варьируются по географическим регионам и охвату.

Целью данной работы является дальнейшая разработка оптимальной геолого-геофизической основы для рационального размещения работ на нефть и газ в слабоизученных прибрежных районах северо-востока Республики Саха (Якутия).

Материалы и методы исследования

Объектом нашего исследования выступает северо-восточная часть Якутии. Район исследований представляет собой обширную заболоченную равнину в тундровой зоне, с высотными отметками от +10 м до +80 м. Растительный покров встречается вдоль берегов рек в виде редких узких полос кустарников. Реки покрыты льдом с ноября по май, толщина льда в марте составляет 0,7–1,2 м. Безопасные условия передвижения зависят от степени промерзания льда в водоемах, который во многом зависит от толщины и времени выпадения снежного покрова. Ледовый покров, достигающий 80 см, образуется не ранее января. Характерной особенностью арктического климата района работ является большое количество ветреных дней в году с постоянно меняющимся направлением ветра с моря и материка. Скорость ветра достигает 20–30 м/с с порывами до 40 м/с. Полярная ночь создает определенные трудности для выполнения всех видов работ. В летнее время производство полевых работ осложнено высокой заводненностью и большой удаленностью от баз. Есть ограничения по природоохранному законодательству.

Материалами исследования послужили результаты сейсмических, гравимагнитных геоэлектрических работ, проведенных в разные годы. Проведен обзор полученных результатов, выяснены возможности продол-

жения нефтегазопоисковых исследований и выбора районов для постановки региональных работ. Работа направлена на уточнение, детализацию и улучшение достоверности будущих исследований, которые были предварительно актуализированы в ходе научного анализа материалов геологоразведочных работ, проводимых в предыдущие годы.

Методология исследования основана на обобщении и анализе имеющихся геофизических данных, включающих сейсмические, гравимагнитные, геоэлектрические геохимические исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Сейморазведка. Сейморазведочная изученность исследуемых континентальных территорий Якутии относительно ее шельфовых районов невысока. Исследования сейсмического характера на территории Якутии, особенно в отношении шельфовых зон, остаются недостаточно глубокими и обширными. В период с 1979 по 1992 г. были проведены локализованные проекты АО «Якутскгеофизика», охватившие континентальную часть северо-востока региона в районе Зырянской впадины и Тастахского прогиба [2, с. 15]. В совокупности сейсмические работы с использованием метода общей глубинной точки (МОГТ) составили более 3889 погонных километров: для Зырянской впадины – свыше 2709 пог. км. Эти исследования позволили существенно уточнить геологическую структуру указанных территорий. В частности, были выявлены отражающие горизонты, указывающие на осадочный характер формирования прогиба и впадины [3]. Для Тастахского прогиба верхний слой разреза характеризуется слабыми, малоамплитудными волнами с тонкослоистой структурой. Нижняя часть проявляет стабильные низкочастотные отражения, указывающие на складчатое основание (рис. 2, профиль 921423). Зырянская впадина же демонстрирует более сложную картину: нестабильные тонкослоистые волны с помехами широкого спектра и различными типами интерференций, особенно заметными на профилях (рис. 2, профили 912251.8; 92227) [4]. В результате исследований были выявлены антиклинальные структуры внутри впадины, а также определена обширная зона выклинивания нижнемеловых отложений в северной части Зырянской впадины. В этой зоне предполагается наличие значительных углеводородных ловушек неантиклинального типа [4].

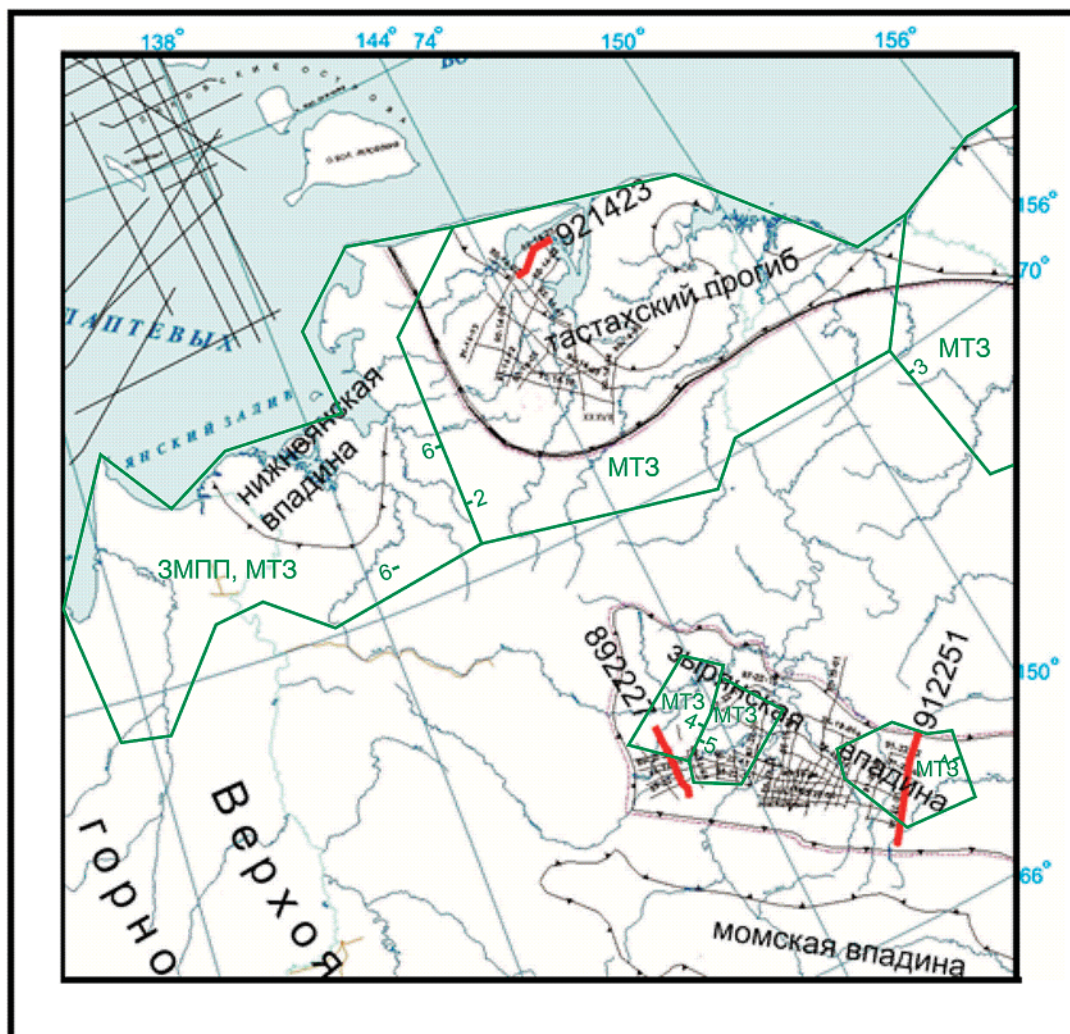


Рис. 1. Изученность северо-востока Якутии сейсморазведкой, электроразведкой
Условные обозначения:

- Прилагаемые сейсмические профили, 1–6 – площади, изученные электроразведкой:
1. Зырянская электроразведочная партия № 19/70-71.М 1:1500000.
 2. Алазейская электроразведочная партия № 50/85-86.М 1:1500000.
 3. Колымская электроразведочная партия № 50/86-87.М 1:1500000.
 4. Селенняхская электроразведочная партия № 50/87-88.М 1:500000.
 5. Селенняхская электроразведочная партия № 50/88-89.М 1:500000.
 6. Приморская электроразведочная партия № 50/91-92.М 1:1500000.

Гравирозведка. Гравиметрические исследования масштаба 1:200000 в Зырянской впадине начаты в 1982–1983 гг. и продолжены в 1986 г. и последующие годы. Исследования позволили уточнить и детализировать границы впадины, строение ее центральной и краевых частей и смежных с ней структур – Алазейского поднятия и Илинъ-Тасского антиклинория. Крупные прогибы и разделяющие их поднятия, седловины, структурные террасы определяют своеобразную продольную и поперечную зональность строения Зырянской впадины.

Выделяются также многочисленные локальные структуры, которые, по мнению авторов, выражены преимущественно в меловых отложениях [2, с. 296]. Отмечается их морфологическое разнообразие, которое обусловлено, видимо, их приуроченностью к различным тектоническим зонам [4]. Наряду с другими выводами по изученному региону была дана оценка перспектив нефтегазоносности, которые связывались с верхнепалеозойскими отложениями Зырянской впадины и нижнепалеозойскими образованиями в пределах Бадярихинской впадины [5, с. 198].

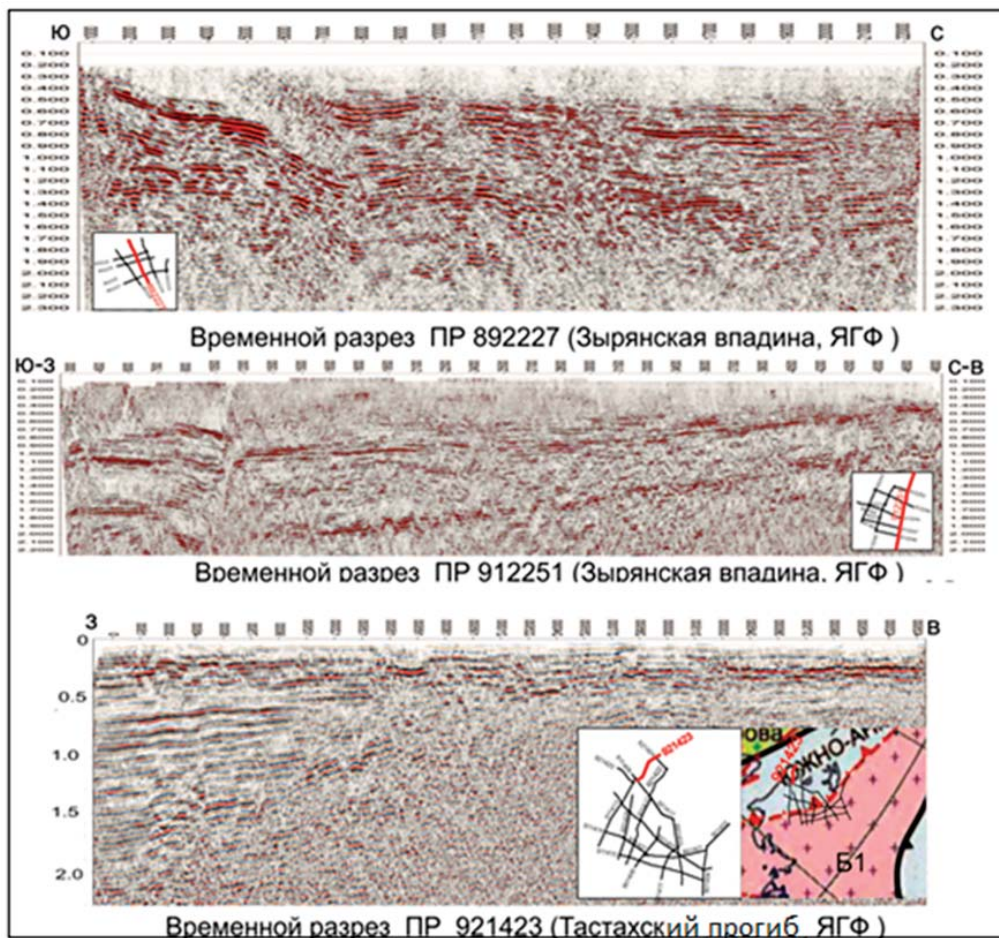


Рис. 2. Временные разрезы Зырянской впадины и Тастахского прогиба

К северу от Зырянской впадины в пределах Приморского прогиба, гравиметрические исследования масштаба 1:200000 впервые были проведены в 1963–1965 гг. с целью изучения шельфа и дна морских акваторий. В последующем вся прибрежная территория и шельф были охвачены съемкой масштаба 1:1000000 [6, 7]. По результатам работ были намечены контуры Хромского поднятия, Кондаковской впадины, Колымского срединного массива, Олойской впадины и других крупных структур. В ходе дальнейших площадных исследований были выявлены четыре крупные зоны: субокеаническая (Тастахская впадина, север Хромского массива), фронтальные (Лаптевская, Святоноская), преддуговые и тыловые. Часть известных структур (Кондаковская впадина, Хромский массив и др.) вошли в различные зоны, разобщенные, как правило, межглыбовыми разломами. Показаны высокие перспективы изученных впадин с точки зрения перспектив нефтегазоносности. По результатам проведенных

обобщений ГУП РС (Я) «Якутская поисково-съемочная экспедиция» в 2004 г. подготовлена и издана цифровая карта поля силы тяжести континентальной части территории РС (Я), послужившая основой для построения карты масштаба 1:1000000 и ГКМ 1:100000 на континентальной и шельфовой части северо-востока [6, 7].

Электроразведочные работы. В 1970 г. геофизические изучения с целью разведки углеводородов впервые осуществила Якутская комплексная геофизическая экспедиция треста «Якутскгеофизика» в восточной части региона (1, рис. 1). Были составлены карты различных геоэлектрических показателей, включая структурную карту кровли высокоомного комплекса. В северной зоне участка выявлена Тастахская впадина с глубиной залегания опорного горизонта НШ (2–3 км) и Хромское возвышение – НШ – менее 1 км, а также ряд меньших структурных элементов. Полученные данные свидетельствуют о перспективности «платформенной» зоны Приморского прогиба для

поиска нефти и газа в послелеюрских отложениях (2, рис. 1). В период с 1986 по 1987 г. электроразведочные работы на территории Колымской площади, расположенные восточнее Приморского прогиба, были продолжены методом МТЗ. В ходе исследований выделено три основных типа геоэлектрических кривых. Эти данные расширяют представление о перспективности не только «платформенной», но и прилегающих к ней переходных зон Приморского прогиба для поиска углеводородов в послелеюрских отложениях (3, рис. 1).

В 1987–1988 гг. в северо-западной части Зырянской впадины специалистами треста «Якутскгеофизика» были проведены работы по геофизическому исследованию. Удалось уточнить северные границы впадины, а также установить наличие зоны надвиговых дислокаций в юго-западной ее части [3]. В результате проведенных исследований определены характеристики выклинивания осадочных слоев на северо-восточном краю впадины и особенности сочленения этих слоев со складчатыми структурами на юго-западном краю (4, рис. 1).

В 1988–1989 гг. электроразведочной партией № 50/1988–1989 на Селенняхской площади были проведены исследования, в результате которых обозначена граница Восточно-Селенняхской впадины, а также подтверждено существование Бадярихинского поднятия и От-Юряхского грабена (5, рис. 1).

В сезоне 1991–1992 гг., на основе работы Приморской электроразведочной партии 50/91-92, была выделена аномальная зона с повышенной проводимостью, расположенная на западном склоне Куларского поднятия. Также установлено наличие кайнозойских структур: Нижнеянского грабена и Усть-Янского поднятия. В восточной части Чодонского грабена выявлена положительная Селенняхская структура с перспективами по добыче нефти и газа (6, рис. 1).

Магниторазведка. Аэромагнитные исследования начали проводиться в 1960-х гг. По материалам этих работ была составлена схема тектонического районирования Колымо-Индибирского междуречья масштаба 1:200000, намечены площади развития интрузивных образований, выявлены зоны глубинных разломов. В 1963–1965 гг. Полярной экспедицией НИИГА проведены мелкомасштабные исследования (1:2500000) акваторий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. В 1979–1980 гг. проведены исследования аэромагнитной съемкой масштаба 1:50000 Тастахского прогиба и Хромского

массива. Было установлено блоковое строение фундамента и показаны перспективы впадин в нефтегазоносном отношении. На сегодняшний день все многообещающие рудные участки северо-восточной Якутии были исследованы с помощью аэромагнитной съемки в масштабах 1:50000, 1:25000 и больше. На основе анализа полученных исследований в 1987 г. подготовлена и издана магнитная карта аномального поля континентальной части территории РС (Я) масштаба 1:500000, послужившая основой для континентальной и прибрежной зон.

Таким образом, территории северо-востока Якутии потенциально нефтегазоносные с достаточно высоким прогнозным углеводородным потенциалом.

Все исследования на нефть и газ в настоящее время сосредоточены на шельфах северных морей России. Выполненный объем сейсморазведочных исследований оценивается в сотни тысяч погонных километров сейсмопрофилей. Поисковый этап работ сдерживается отсутствием глубокого бурения и дискуссией о стратификации сейсмических, отражающих горизонтов. Начатое Роснефтью малоглубинное бурение на шельфах северо-востока дало важную информацию о стратификации верхней части осадочного чехла. Нужно отметить, что представления института о стратификации разрезов шельфов северо-востока не противоречат данным малоглубинного бурения Роснефти на шельфах Северо-Востока [8].

Как видно из приведенного обзора, на северо-востоке Якутии проведен большой объем гравимагнитных исследований различного масштаба. Работы нефтегазовой направленности выполнены в ограниченных объемах. Изучение материалов по Тастахскому прогибу, Зырянской впадине и данных малоглубинного бурения Роснефти показало близость разрезов, и истории геологического развития до позднего мела Приморского прогиба, Зырянской впадины с геологией шельфов морей северо-востока Якутии [8]. Разрезы представлены палеозойско-мезозойским основанием, перекрытым палеоген-четвертичными породами. Основное различие заключается в большой мощности палеоген-четвертичных отложений и присутствием в разрезах шельфа позднемиловых структурно-тектонических комплексов Южно-Анюйской сутуры и палеоген-четвертичных, тектоно-магматических комплексов Арктического плюма [9, 10].

Возможно получение новой информации по Зырянской впадине и Тастахскому

погибу. Так, уточнение результатов и переинтерпретация сейсмических материалов, выполненных в последние годы, свидетельствуют, что в основании Тастахского прогиба присутствует рифтовая зона, а не Южно-Аннуйская сутура, что радикально меняет представления о перспективах нефтегазности прогиба [9]. Зырянская впадина представляет собой сложнопостроенную тектоническую, шовную зону, состоящую из поднятых и опущенных блоков горизонтально-сдвигового и надвигового типов, сформированных в палеоген-неогене, что не позволяет считать ее первоочередным объектом исследований. Изучение проявлений тектогенеза показало, что основное внимание при поисковых исследованиях следует уделить районам, не вовлеченным в киммерийский и кайнозойский тектогенез. С этой точки зрения первоочередными объектами исследований должны стать приморские впадины, прогибы и примыкающие территории. Изучение продолжается.

Заключение

Как видно из приведенного обзора, на северо-востоке Якутии проведен большой объем гравимагнитных исследований различного масштаба. Работы нефтегазовой направленности выполнены в ограниченных объемах. Все исследования на нефть и газ в настоящее время сосредоточены на шельфах северных морей России. Выполненный объем сейсморазведочных исследований оценивается в десятки тысяч погонных километров сейсмопрофилей. Поисковый этап работ сдерживается отсутствием глубокого бурения. Начатое Роснефтью малоглубинное бурение на шельфах северо-востока дало важную информацию о стратификации верхней части осадочного чехла. Нужно отметить, что представления института о стратификации разрезов шельфов северо-востока не противоречат данным малоглубинного бурения Роснефти. Изучение материалов сейсморазведки и малоглубинного бурения показывает близость разрезов и истории геологического развития Приморской впадины, Зырянского прогиба с геологией шельфов морей северо-востока Якутии. Разрезы представлены палеозойско-мезозойским основанием, перекрытым палеоген-четвертичными породами. Различие заключается в большой мощности палеоген-четвертичных отложений и присутствии в разрезах шельфа магматических комплексов Арктического плюма. Возможно получение новой инфор-

мации по Зырянской впадине и Тастахскому прогибу. Так, уточнение результатов и переинтерпретация сейсмических материалов свидетельствует, что в основании Тастахского прогиба присутствует рифтовая зона.

Зырянская впадина представляет собой сложнопостроенную тектоническую, шовную зону, состоящую из поднятых и опущенных блоков горизонтально-сдвигового и надвигового типов. Изучение проявлений тектогенеза показало, что основное внимание при поисковых исследованиях следует уделить районам киммерийской складчатости, не вовлеченным в кайнозойский тектогенез. С этой точки зрения первоочередными объектами исследований должны стать приморские впадины, прогибы и примыкающие территории. Как ранее отмечалось, назрела необходимость вернуться к продолжению нефтегазопроисковых исследований в Зырянской, Момской, Нижнеянской, Нижнеколымской впадинах и Тастахском прогибе, учитывая возможность проведения глубокого бурения с существенно меньшими затратами, чем на шельфе, и применение, кроме сейсмических и электроразведочных, гравимагнитных, и геохимических исследований.

Обязательным условием продолжения работ является стадийность работ, включающая проведение, на начальном этапе, региональных геолого-геофизических, геохимических исследований, опорного, параметрического бурения. Предварительно необходимо составление программы регионального изучения слабоизученных прибрежных районов северо-востока Якутии с целью выявления районов и структур, перспективных в нефтегазодонном отношении для постановки опорного, параметрического бурения в количестве 3–4 скважин, глубиной 3–5 км.

Для выбора объектов под бурение необходимо проведение региональных сейсмических, геоэлектрических и геохимических исследований в объеме до 5 тыс. пог. км сейсмопрофилей МОГТ-2Д x150, 5 тыс. физ. точек геоэлектрических наблюдений ЗСБ и 5 тыс. геохимических колонковых проб на скважину. Суммарный объем на всю прибрежную зону оценивается до 20 тыс. пог. км сейсмопрофилей и 20 тыс. точек геоэлектрических и геохимических региональных исследований с плотностью сейсмопрофилей 40x40 км. По одной точке ЗСБ и геохимии на километр. Целевыми объектами разреза осадочного чехла могут быть девонские, пермские, меловые отложения.

Для подготовки точки заложения первой скважины может понадобиться от 3 до 5 лет научно-исследовательских, подготовительных и полевых работ.

Институт проблем нефти и газа СО РАН, опираясь на многолетний опыт, готов сопровождать работы на всех этапах, начиная от обоснования, составления проекта до геофизических, буровых работ с интерпретацией полевых материалов, подготовкой окончательного отчета и публикаций.

Список литературы

1. Оболкин А.П., Слепцова М.И. Особенности сейсмогеологических характеристик Анабаро-Оленекской структурной зоны, шельфов моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря // Успехи современного естествознания. 2023. № 9. С. 54–62. DOI: 10.17513/use.38191.
2. Ковалев В.К., Оксман С.С. Отчет о результатах гравиметрической съемки масштаба 1:200000, проведенной на Приморской площади в 1986 г. (Приморская гравиметрическая партия № 39/ 86–89). Якутск: Якутскгеофизика, 1987. 386 с.
3. Ситников В.С., Алексеев Н.Н., Аржаков Н.А., Павлова К.А., Севостьянова Р.Ф., Слепцова М.И. О строении и перспективах нефтегазоносности пришельфовых арктических территорий Восточной Якутии // Наука и образование. 2017. № 4 (88). С. 50–59.
4. Аржаков Н.А., Оболкин А.П., Ситников В.С. Анализ геолого-геофизической изученности потенциально нефтегазоносных районов Северо-Восточной Якутии и прилегающего шельфа Восточно-Арктических морей // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т. 12, № 4. С. 11. DOI: 10.17353/2070-5379/39_2017.
5. Ляхов В.А., Ляхова М.Е. Тектоническое строение Момо-Зырянской впадины и сопредельных структур по данным региональных геофизических наблюдений // Геологическое строение и нефтегазоносность восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов: материалы Всесоюзного совещания по оценке нефтегазоносности территории Якутии (г. Москва). М.: Недра, 1968. С. 195–199.
6. Бургуто А.Г., Дорофеев В.К., Рекант П.В., Шкарубо С.И., Авдюничев В.В., Журавлев В.А., Зуйкова О.Н., Иванова А.М., Иванова В.В., Неупокоева А.А., Пашковская Е.А., Радченко М.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Лаптево-Сибироморская. Лист S-53 – о. Столбовой, S-54 – Ляховские о-ва. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 300 с.
7. Большианов Д.Ю., Васильев Б.С., Виноградова Н.П., Гавриш А.В., Заварзина Г.А., Зинченко А.Г., Зуйкова О.Н., Кямьяр В.В., Мохов В.В., Нагайцева Н.Н., Нелюбин В.В., Радченко М.С., Саванин В.В., Проскурнин В.Ф., Рекант П.В., Солонина С.Ф., Шкарубо С.И., Шманяк А.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Лаптево-Сибироморская. Лист S-51. Оленекский залив, S-52 – дельта реки Лена. Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 274 с.
8. Мальшев Н.А., Вержбицкий В.Е., Колобакин А.А., Комиссаров Д.К., Бородулин А.А., Обметко В.В., Попова А.Б., Данилкин С.М., Васильева И.С., Тимошенко Т.А., Александрова Г.Н., Гатовский Ю.А., Сулова А.А., Никишин А.М. Технологические аспекты и опыт стратиграфического бурения в морях российской Арктики // Геология нефти и газа. 2024. № 3. С. 19–30.
9. Метелкин Д.В., Абашев В.В., Верниковский В.А., Михальцов Н.Э. Палеомагнитное обоснование стационарности Исландского плюма и его раннемелового проявления в высокоширотной Арктике // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 501, № 2. С. 139–144.
10. Соколов С.Д., Тучкова М.И., Ганелин А.В., Бондаренко Г.Е., Лейер П. Тектоника Южно-Аннуйской сутуры (Северо-Восток Азии) // Геотектоника. 2015. № 1. С. 5–30.