

В.К. ЛЕКСИН

Выявление геологических опасностей на Южно-Киринском нефтегазоконденсатном месторождении (шельф острова Сахалин)

На Южно-Киринском нефтегазоконденсатном месторождении (шельф о-ва Сахалин) с 2010 г. выполнялась сейсморазведка высокого разрешения с целью выбрать безопасные места для постановки буровых платформ. Использовалось продольное профилирование отраженными волнами с 48-кратным перекрытием отражающих горизонтов. Для получения качественных сейсмических мигрированных разрезов разработан единый алгоритм обработки сейсмических данных для морских площадей Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения. Обработаны данные сейсмических разрезов общей протяженностью более 8 тыс. км. По каждому горизонту проведен динамический анализ максимальной и минимальной пиковых амплитуд. Выявленные аномалии в процессе интерпретации сейсмических разрезов нанесены на карту геологических опасностей для постановки буровых платформ.

Ключевые слова: сейсморазведка высокого разрешения, сейсмический разрез, интерпретация, амплитудные аномалии, геологические опасности.

Identification of geological hazards of the South-Kirinskoye oil and gas condensate field (shelf of the Sakhalin Island). V.K. LEKSIN (Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk; JSC «Pacific Engineering Company», Yuzhno-Sakhalinsk)

Since 2010, the South-Kirinskoye oil and gas condensate field (shelf of the Sakhalin Island) has carried out high resolution seismic surveys to search for geological hazards in order to choose a safe location for the drilling platform. Longitudinal profiling of reflected waves with a 48-fold overlap of the reflecting horizons was applied. To obtain high-quality seismic migrated sections, the unified algorithm for processing seismic data for the offshore areas of the South-Kirinskoye oil and gas condensate field was developed. Seismic sections data of more than 8,000 km were processed. For each horizon, dynamic analysis of maximum peak amplitude and minimum peak amplitude was carried out. In the process of seismic sections interpretation all identified anomalies were gathered in the geological hazards map to select safe location of drilling platforms.

Key words: high resolution seismic survey, seismic section, interpretation, amplitude anomalies, geological hazards.

Введение

В практике нефтегазодобычи известны случаи аварий на буровых платформах в морских акваториях, причиной которых стало отсутствие достаточных инженерно-геологических изысканий на месторождениях. Для определения безопасных мест установки буровых платформ используется сейсморазведка высокого разрешения, являющаяся основным оптимальным методом в морской инженерной геофизике. По результатам такой сейсморазведки составляются карты геологических опасностей (рисков) эксплуатации

ЛЕКСИН Василий Константинович – аспирант (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск); инженер-геофизик I категории (АО «Тихоокеанская инжиниринговая компания», Южно-Сахалинск).
E-mail: lex-vasya@mail.ru

буровых установок, связанных с геологическими особенностями того или иного месторождения.

Основой для интерпретации и создания карты геологических опасностей на Южно-Кириинском нефтегазоконденсатном месторождении послужили сейсмические данные, полученные в 2010–2017 гг. Сейсморазведка высокого разрешения [2] осуществлялась по методике продольного профилирования отраженными волнами с 48-кратным перекрытием отражающих горизонтов. Пройдено свыше 8 тыс. погонных километров по профилям с сетью 100×500 м при скорости судна 3,5–4,5 узла относительно воды по судовому лагу. Сейсмические данные обработаны по единому алгоритму [5] для всех площадей исследования в пределах месторождения (рис. 1) с целью повышения качества и точности обработки и картирования. Обработка данных выполнялась по методу общей глубинной точки [3, 10, 12, 15]. Применялся программный пакет Landmark ProMAX.

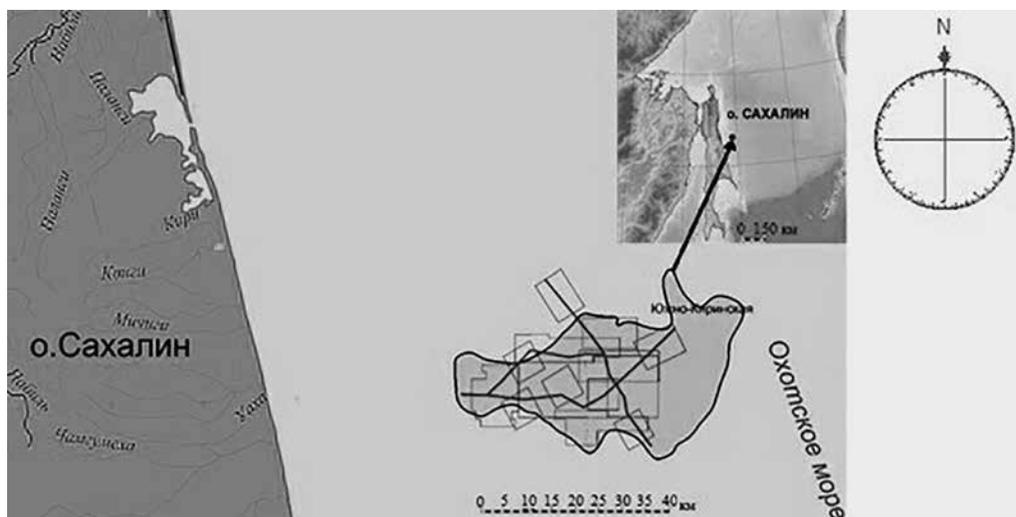


Рис. 1. Обзорная карта исследований сейсморазведки высокого разрешения в пределах Южно-Кириинского нефтегазоконденсатного месторождения

Задачей данной статьи является анализ результатов сейсмической разведки Южно-Кириинского нефтегазоконденсатного месторождения с целью определения площадей, в пределах которых повышается эксплуатационный риск установки буровых платформ.

Геологическое строение Южно-Кириинской антиклинали

Южно-Кириинское нефтегазоконденсатное месторождение приурочено к одноименному внутрибассейновому поднятию, разделяющему Северо-Сахалинский и Мынгинский прогибы. Поднятие является погребенным выступом акустического фундамента размером 65×15 км, в рельефе которого изогипсами -3600 и -4800 м выделены восточный и западный купола [8]. Асимметричное по форме поднятие протягивается в субширотном направлении. Его куполовидный свод смещен на восток. Восточная периклиналь свода короткая, западная – пологая удлиненная, осложнена субмеридиональным сбросом, развивающимся с плиоцена. Этот сброс разделяет Южно-Кириинскую и Кириинскую антиклинали и характеризуется вертикальной амплитудой смещения по поверхности фундамента до 2 км. В северном крыле поднятия отмечаются малоамплитудные сбросы длиной 4–10 км. Южное крыло более крутое в сравнении с северным. Но в целом углы наклона северного и южного крыльев структуры на уровне несогласного залегания уйнинского и дагинского горизонтов составляют $1,5\text{--}2,00^\circ$. Шарнир складки погружается в восточном

направлении под углом $1,50^\circ$, в западном – под углом $1,00^\circ$. Свод складки, западная периклиналь, южное крыло структуры осложнены нарушениями сбросового типа субширотной и северо-западной ориентировки с амплитудами смещения 10–20 м. Относительно кровли даехуриинского горизонта (палеогеновый комплекс) на сейсмических разрезах наблюдается смещение сводов вышележащих горизонтов в северо-западном направлении. В течение среднего и позднего плиоцена продолжался рост Южно-Кириинской структуры, ее свод непрерывно воздымался, сохраняя положение, аналогичное современному [9].

К началу формирования нижненутовских отложений (поздний миоцен) вертикальные тектонические движения в пределах Южно-Кириинской и Мынгинской структур прекратились. Это отличает их от структур северо-восточного шельфа Сахалина, в котором главный этап формирования всех крупных структур и связанных с ними месторождений пришелся на конец миоценового времени, главным образом на плиоцен. Таким образом, на фоне структур северо-восточного шельфа Сахалина Южно-Кириинское и Мынгинское поднятия являются более древними образованиями, относящимися к ранним периодам тектонического развития бассейна [9]. Однако в плиоцене происходили меридиональные сдвиги и растяжения, обусловленные широтным сжатием. При этих движениях отдельные разрывы вспороли верхненутовские отложения. В результате тектонические нарушения присутствуют по всей толще разреза – от фундамента до нутовских отложений.

Стратиграфия

Стратиграфическая схема мезокайнозойских отложений северо-восточного шельфа Сахалина, включая Южно-Кириинское месторождение углеводородов, дана согласно [7] и результатам глубокого бурения в районе Лунской, Кириинской, Южно-Кириинской структур [8, 11].

В строении Южно-Кириинской структуры выделены мезозойский акустический фундамент и кайнозойский осадочный чехол. Фундамент сложен вулканогенно-кремнистыми терригенными отложениями позднемелового возраста, вскрытыми на Полярниинской и Нампинской площадях [1]. Несогласное наложение раннекайнозойских отложений на поверхность акустического фундамента соответствует крупной структурной перестройке региона в период ларамийской фазы складчатости. Акустический фундамент на сейсмических разрезах выделяется по высокоамплитудному двухфазному отражению с налеганием на него вышезалегающих отражающих границ.

В пределах Южно-Кириинской антиклинальной складки наиболее древняя даехуриинская свита (эоцен–олигоцен) представлена кремнистыми аргиллитами и алевролитами с маломощными прослоями вулканогенных песчаников и включениями гравия, гальки (следами ледового разноса). На сейсмической записи внутренний облик даехуриинской свиты (горизонта) характеризуется широким спектром отражений: от субпараллельных до хаотических, что свидетельствует о широком диапазоне обстановок осадконакопления – от прибрежно-морских до глубоководных.

На отложениях палеогена согласно залегают осадочные породы уйнинской свиты (ранний миоцен), сформированные алевроитоглинистыми и песчаными отложениями морских фаций, насыщенных тонкими линзами и прослоями хорошо отсортированных песчаников.

Согласно залегающая на отложениях уйнинской свиты дагинская свита (раннесредний миоцен) представлена переслаиванием песчаных и алевроитопесчаных пластов и глинистых прослоев. В скважине Кириинская-1 дагинский горизонт вскрыт в интервале 2800–3482 м. На Южно-Кириинской площади верхнедагинский подгоризонт, сформированный песчаными отложениями, выклинивается в восточном направлении. Он наиболее перспективен в нефтегазовом отношении.

Окобыкайский горизонт трансгрессивно перекрывает отложения уйнинско-дагинского сейсмокомплекса. Среднемиоценовые осадочные породы этого горизонта,

сформированные в условиях крупнейшей за кайнозойскую историю трансгрессии моря и являющиеся глубоководными по своему генезису, сложены алевроитовыми глинами, глинистыми алевролитами с небольшим количеством песчаных пластов различной мощности [11]. На сейсмических разрезах нижняя часть комплекса фиксируется как акустически прозрачная толща с прерывистыми малоинтенсивными отражениями, характерными для однородных глинистых отложений, накапливающихся при крупной трансгрессии.

Нижненутовские отложения, регрессивно залегающие на окобыкайской толще, сформировались в период раннеплиоценового повышения уровня моря. Они состоят из ритмически переслаивающихся слаболитифицированных тонких прослоев алевролитов с темно-серыми глинами, мощность которых незначительно увеличивается вверх по разрезу. В пределах Южно-Киринской структуры к нижненутовскому комплексу относятся глинисто-алевритовые отложения глубокого шельфа.

Отложения верхненутовского комплекса (средний плиоцен – ранний плейстоцен) имеют существенную литолого-фациальную изменчивость и представлены чередующимися разномасштабными песчаниками, гравелитами с галечным материалом, алевроитопесчаниками, диатомовыми глинами. На Южно-Киринском месторождении верхненутовский подгоризонт состоит из глинисто-алевролитовых отложений глубокого шельфа.

Верхнюю часть осадочного чехла месторождения слагают охотско-дерюгинские отложения позднеплиоцен-четвертичного возраста, которые в скважине Южно-Киринская-1 представлены пачкой типично шельфовых алевроитопесчаных седиментов, состоящих из рыхлых песков с включениями гальки, гравия, диатомовых глин. Эти отложения формировались на глубоководном шельфе, переходящем в подводный склон в условиях новейшей тектонической активности, сопровождающейся позднеплиоцен-плейстоценовыми складчатыми движениями.

Интерпретация сейсмических разрезов

Для интерпретации сейсмических данных использовался программный комплекс LMKR GeoGraphix.

Интерпретация данных осуществлялась по следующему алгоритму процедур:

- 1) загрузка полного объема обработанных сейсмических данных в программный комплекс;
- 2) увязка сейсмических данных между собой. В качестве опорных были выбраны связующие профили;
- 3) выбор сейсмогеологической модели. Для интерпретации данных выбрана модель из 13 сейсмических комплексов, разделенных 13 отражающими горизонтами (рис. 2). Эта модель позволила наиболее подробно описать потенциально опасные объекты для выполнения буровых работ. Сейсмические разрезы охватывают верхнюю часть осадочного чехла, представленную охотско-дерюгинскими отложениями позднеплиоцен-четвертичного возраста. Отражающий горизонт (Sg12) был использован для проецирования на него разрывных нарушений и выноса их на карту геологических опасностей;
- 4) пикировка разрывных нарушений по каждой площади;
- 5) определение разрывных нарушений, для которых наблюдается выход в приповерхностные толщи пород (от дна до 300 м) и имеются признаки миграции флюидов. При наличии одного или обоих признаков разрывное нарушение классифицируется как потенциально опасное;
- 6) пикировка отражающих горизонтов (согласно выбранной модели) по каждой площади;
- 7) для выделения потенциально опасных объектов по каждому горизонту был проведен динамический анализ, включая оценку максимальной и минимальной пиковых амплитуд. Результатами анализа стали соответствующие наборы данных по каждой

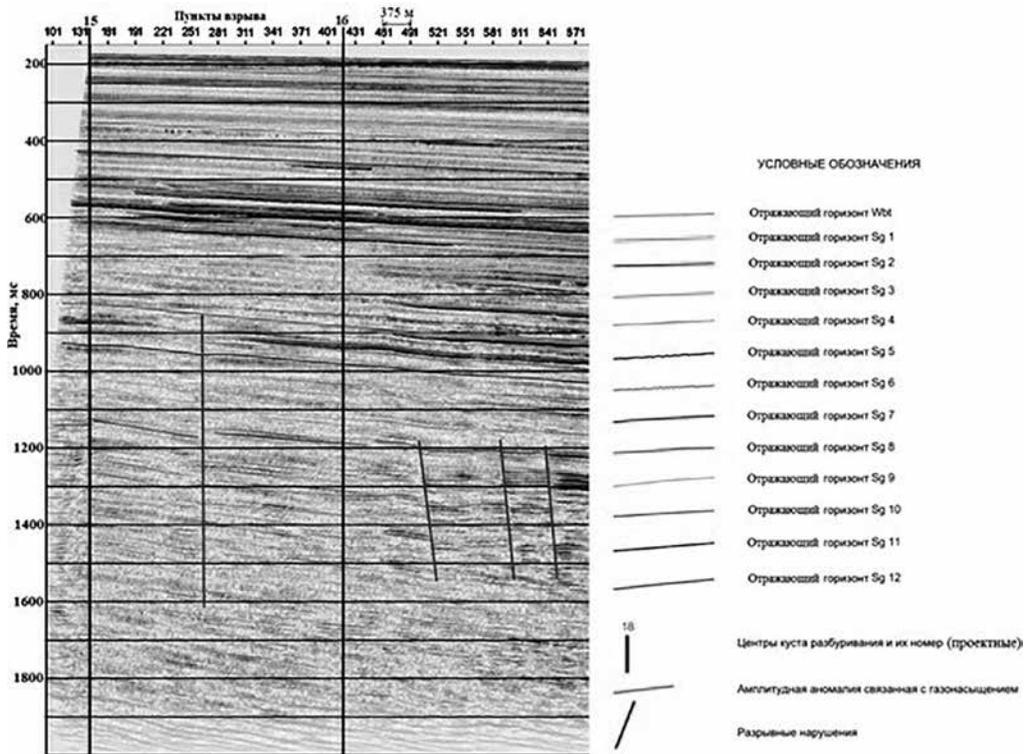


Рис. 2. Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза с выделенными отражающими горизонтами

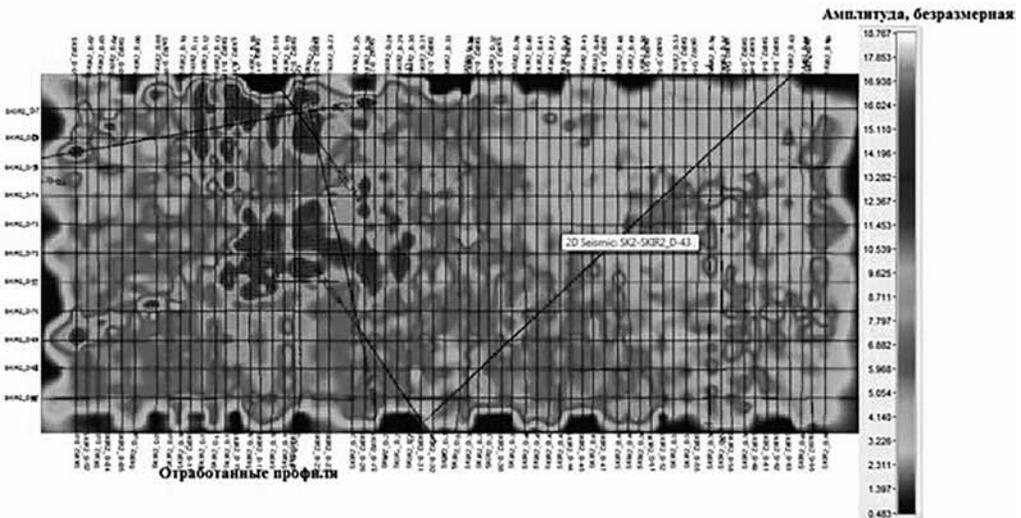


Рис. 3. Пример распространения динамической характеристики с наложенной схемой отработанных профилей. Максимальная пиковая амплитуда по сейсмическому горизонту с отражающими горизонтами Sg5–Sg6

площади и каждому исследованному горизонту. Пример динамического анализа показан на рис. 3;

8) изучение и систематизация аномалий, полученных в ходе амплитудного анализа; выявление помимо амплитуды четырех признаков: смены фазы, наличия питающего канала, снижения частоты, наличия искажения (ложного прогибания) всех нижележащих

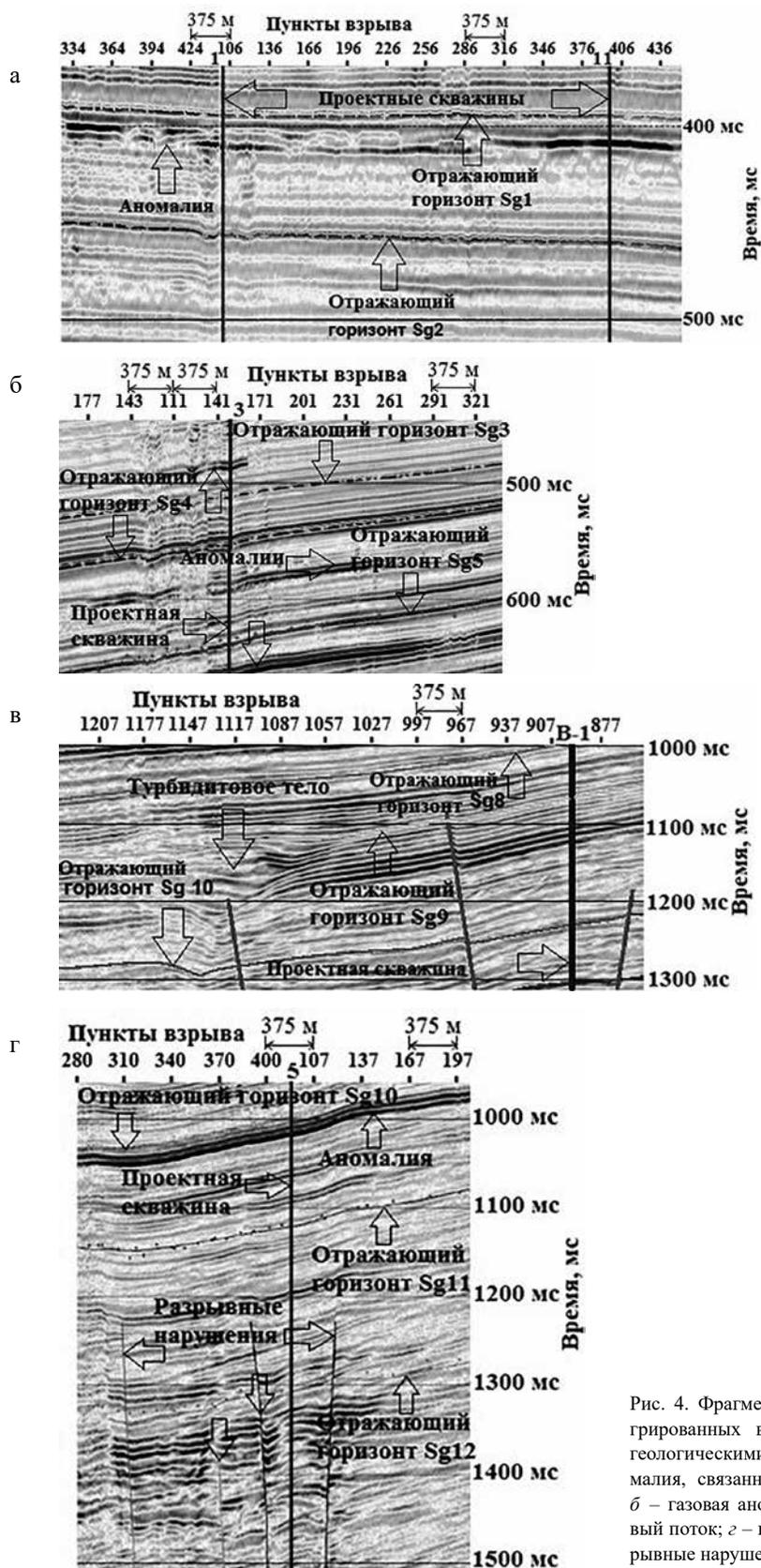


Рис. 4. Фрагменты сейсмических мигрированных временных разрезов с геологическими аномалиями: *а* – аномалия, связанная с газонасыщением; *б* – газовая аномалия; *в* – турбидитовый поток; *г* – газовая аномалия и разрывные нарушения

границ, свидетельствующих о возможном наличии газа [13]; систематизация и классификация амплитудных аномалий согласно указанным признакам; определение степени вероятной опасности для проведения буровых работ;

9) построение сводной карты зон газопроявлений и карты проекции разрывных нарушений на отражающий горизонт Sg12;

10) вынос всех обнаруженных геологических опасностей на карту.

Ранее было установлено, что на шельфе о-ва Сахалин основными геологическими опасностями при установке буровых платформ являются газовые эманаии и разрывные нарушения [4, 6, 14]. Детальный анализ сейсмических разрезов в пределах Южно-Кириинского нефтегазоконденсатного месторождения показал наличие большого количества амплитудных аномалий разной мощности и размеров. Типичными для месторождения аномалиями являются зоны газопроявлений, разрывные нарушения и турбидитовый поток.

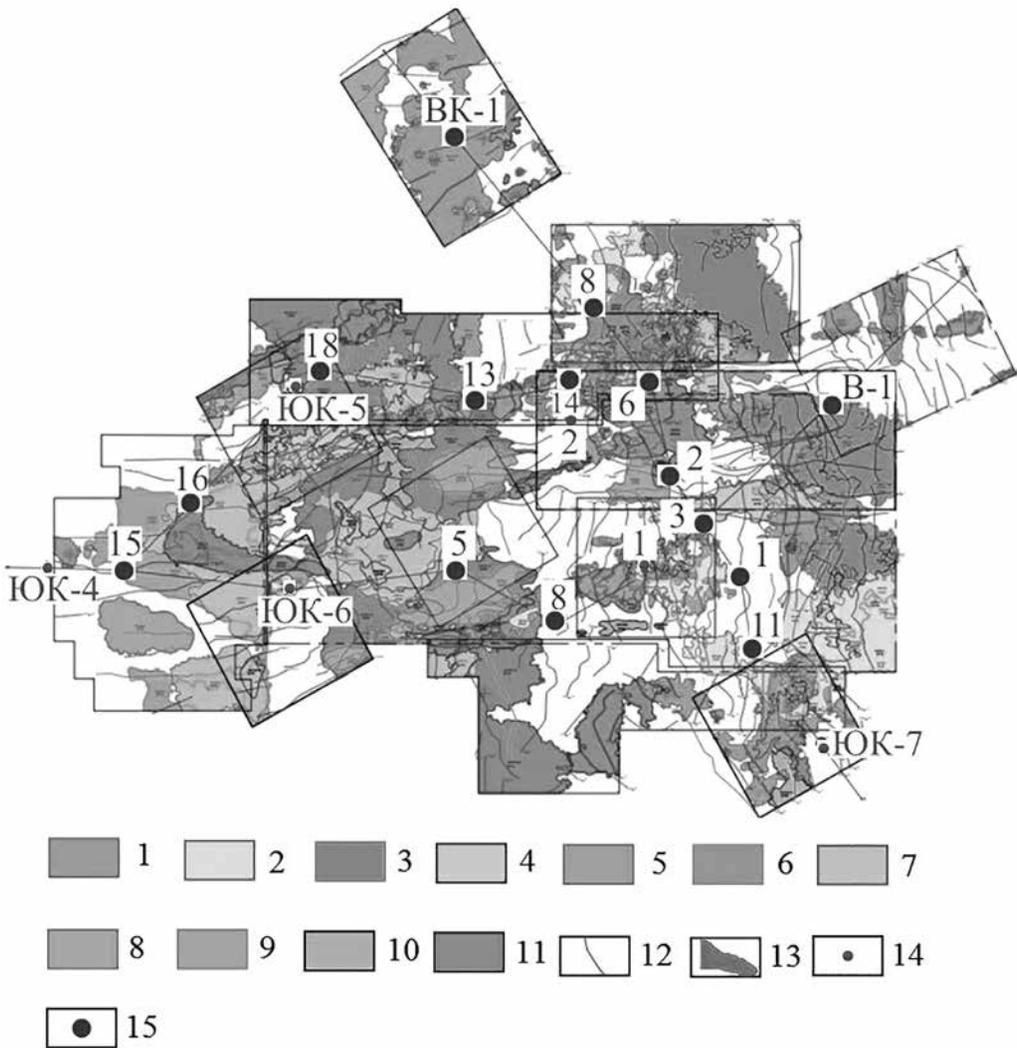


Рис. 5. Карта геологических опасностей на Южно-Кириинском нефтегазоконденсатном месторождении по данным сейсморазведки высокого разрешения. 1–11 – зоны газопроявлений отражающих горизонтов: 1 – wbt–Sg1, глубина 10–55 м от морского дна, 2 – Sg1–Sg2, глубина 30–100 м, 3 – Sg2–Sg3, глубина 150–180 м, 4 – Sg3–Sg4, глубина 180–210 м, 5 – Sg4–Sg5, глубина 160–280 м, 6 – Sg5–Sg6, глубина 210–330 м, 7 – Sg6–Sg7, глубина 260–410 м, 8 – Sg7–Sg8, глубина 340–440 м, 9 – Sg8–Sg9, глубина 380–500 м, 10 – Sg9–Sg10, глубина 440–650 м, 11 – Sg10–Sg11, глубина 570–720 м; 12 – разрывные нарушения; 13 – контур фронтальной части турбидитового потока; 14 – пробуренные скважины и их номера; 15 – проектные скважины и их номера

Примеры фрагментов сейсмических разрезов с геологическими опасностями показаны на рис. 4, а–г.

В результате обработки и интерпретации сейсмических данных построена карта геологических опасностей в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения (рис. 5).

Выводы

Сейсморазведка высокого разрешения показала высокую эффективность для определения геологических опасностей на Южно-Киринском нефтегазоконденсатном месторождении. Интерпретация сейсмических данных позволила с достаточной точностью выделить на сейсмических разрезах следующие геологические объекты: разрывные нарушения, зоны газопроявлений, турбидитовый поток. Все они представляют угрозу при проведении буровых работ, поэтому для более безопасной проходки верхнего ствола скважины в точке проектируемого расположения буровой платформы необходимо исключить участки с наличием указанных геологических проявлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология СССР. Т. 33. Остров Сахалин. Геологическое описание. М.: Недра, 1970. 432 с.
2. Иванов Г.И., Казанин А.Г., Саркисян М.В. Сейсмика высокого разрешения – новый шаг вперед при изучении опасных геологических процессов // Нефть. Газ. Новации. 2016. № 1. С. 65–68.
3. Козлов Е.А. Миграционные преобразования в сейсморазведке. М.: Недра, 1986. 248 с.
4. Ксенофонтова М.А. Выделение инженерно-опасных районов в шельфовой зоне по данным непрерывного сейсмического профилирования на примере работ в Охотском море // Инженерная геофизика: тез. 12-й науч.-практ. конф. и выставки. Анапа: EAGE, 2016. С. 1–6.
5. Лексин В.К., Фетискин Г.Н., Лисковский П.Н., Самарин В.И. Единый алгоритм обработки данных 2D сейсморазведки высокого разрешения для морских площадей Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения (шельф о. Сахалин) // Науки о Земле. Современное состояние: материалы 5-й Всерос. молодеж. науч.-практ. шк.-конф. Геол. полигон «Шира», Республика Хакасия, 30 июля–5 авг. 2018 г. Новосибирск: НГУ, 2018. С. 49–51.
6. Миронок С.Г. Геологические опасности осваиваемых месторождений восточного шельфа о. Сахалин: идентификация и принципы картографирования // Вести газовой науки. 2015. № 2 (22). С. 113–117.
7. Решение рабочих Межведомственных региональных стратиграфических совещаний по палеогену и неогену восточных районов России – Камчатка, Корякского нагорья, Сахалина и Курильских островов: Объясн. зап. к стратиграф. схемам. М.: ГЕОС, 1998. 147 с.
8. Рудницкая Е.С. Особенности геологического строения Южно-Киринского антиклинального поднятия (шельф Северо-Восточного Сахалина) // Геология нефти и газа. 2013. № 6. С. 29–37.
9. Рыбальченко В.В., Гоговков Г.Н., Парасына В.С. Условия формирования Южно-Киринского месторождения на шельфе о-ва Сахалин // Геология нефти и газа. 2014. № 4. С. 42–52.
10. Телегин А.Н. Морская сейсморазведка. М.: Геоинформмарк, 2004. 237 с.
11. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Науч. мир, 2010. 276 с.
12. Хаттон Л. Обработка сейсмических данных. М.: Мир, 1989. 216 с.
13. Хилтерман Ф.Дж. Интерпретация амплитуд в сейсморазведке. Тверь: ГЕРС, 2010. 256 с.
14. Хоштария В.Н., Мартын А.А., Дмитриев С.Е., Кирпичников А.В., Пятницкий Ю.И. Результаты геологоразведочных работ ООО «Газпромгеологоразведка» на восточном шельфе о-ва Сахалин (Охотское море) // Геология нефти и газа. 2016. № 2. С. 28–37.
15. Sheriff R.E., Geldart L.P. Exploration Seismology. Data-processing and interpretation. L.: Cambridge Univ. Press, 1983. 231 p.