

СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЮЖНО-ШПИЦБЕРГЕНСКОГО ШЕЛЬФА И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ

На Южно-Шпицбергенском шельфе ОАО МАГЭ в 2005 г. были выполнены комплексные геолого-геофизические исследования, которые включали сейсморазведку МОВ ОГТ 2D в объеме 3000 км, надводную гравиметрию в объеме 4200 км, дифференциальную магнитометрию в объеме 3200 км, сейсмоакустическое профилирование в объеме 3000 км, газогидрохимическое профилирование в объеме 3000 км и донный пробоотбор в количестве 102 ст. Плотность сети геофизических наблюдений составила 10x18 км. Глубины моря в районе исследований изменяются от 80-380 м в шельфовой части до 1760 м в области континентального склона. Выполненные работы позволили детально изучить геологическое строение Южно-Шпицбергенского шельфа, в частности, выполнить детальное сейсмостратиграфическое расчленение кайнозойского и палеозойско-мезозойского осадочного чехла, выделить основные тектонические элементы и возможные зоны нефтегазонакопления.

Тектоническое районирование. Система глубинных долгоживущих разломов, являющихся западной границей Баренцевоморского шельфа, делит Южно-Шпицбергенский шельф на три геотектонических блока (рис. 1, 2).

А. Свальбардская плита. В пределах плиты выделены поднятие Стаппен и прогиб Стурфьорд. Осадочный чехол представлен нижнепалеозойскими Э-S, девонско-нижнекаменноугольными (D-C₁), среднекаменноугольно-нижнепермскими (C₂-P₁), верхнепермско-триасовыми (P₂-T) и юрско-нижнемеловыми (J-K.) отложениями. Юрско-нижнемеловые отложения развиты только в северной части площади, в пределах поднятия Стаппен отложения этого стратиграфического диапазона отсутствуют [Шпилов и Тарасов, 1998; Larssen et al., 2005].

Б. Норвежско-Шпицбергенская зона ступеней представляет собой область деструкции континентальной коры, ограниченную с запада и востока крупными региональными сбросами субмеридионального простирания. В пределах этой зоны многочисленные разрывные нарушения формируют систему грабенов и горстов, сегментированную сдвиговыми деформациями. Ширина разломной зоны составляет порядка 40 км. Глубина грабенов, выполненных преимущественно отложениями палеозойско-мезозойского возраста, достигает 7 км. Фрагментарно с резким угловым несогласием на палеозойско-мезозойских образованиях залегают отложения среднеэоцено-раннеолигоценного возраста. В пределах этой зоны могли сохраниться палеоценовые отложения [Bergh & Grogan, 2003]. Отложения палеозойско-мезозойского возраста залегают на фундаменте переходного типа (Фп) [Шкарубо, 1999].

В. Поморский периокеанический прогиб представляет собой кайнозойский осадочный бассейн, ограниченный хр. Книповича на западе и Норвежско-Шпицбергенской зоной ступеней на востоке. В Поморском прогибе выделено два типа фундамента - переходный и океанический [Шкарубо, 1999]. Переходный тип развит в зоне предокеанических ступеней, образованных системой листрических сбросов север - северо-западной ориентировки. Падение плоскостей листрических сбросов имеет западное направление. Ступени фундамента разбиты сдвиговыми дислокациями субширотного простирания, к узловым тектоническим зонам которых поданным гравимагнитных исследований приурочены интрузивные тела.

В центральной части площади выделяется грабенообразный прогиб субширотного простирания. Известно, что в переходной зоне от океана к континенту косвенно находят отражение трансформные разломы, формирующие отдельные субширотные грабены, выделяемые в фундаменте континентального склона. Возможно, что выделенный на площади прогиб является частью трансформного разлома. Часто эти разломы находят продолжение в пределах континента, в виде региональных сдвиговых деформаций. Трансформные разломы, по видимому, являются основными поставщиками базальтовых лав и интрузий, которые формируют вулканические пояса. Примером таких вулканических поясов в данном районе может служить вулканическая провинция Вестбаккен, в пределах которой отмечались процессы раннеэоценового и плиоценового магматизма, и вулканы развиты поверх континентальных блоков [Тальвани и Эльдхольм, 1978; Шкарубо, 1999; Dallmann et al., 1993]. Область развития фундамента океанического типа в структурно-

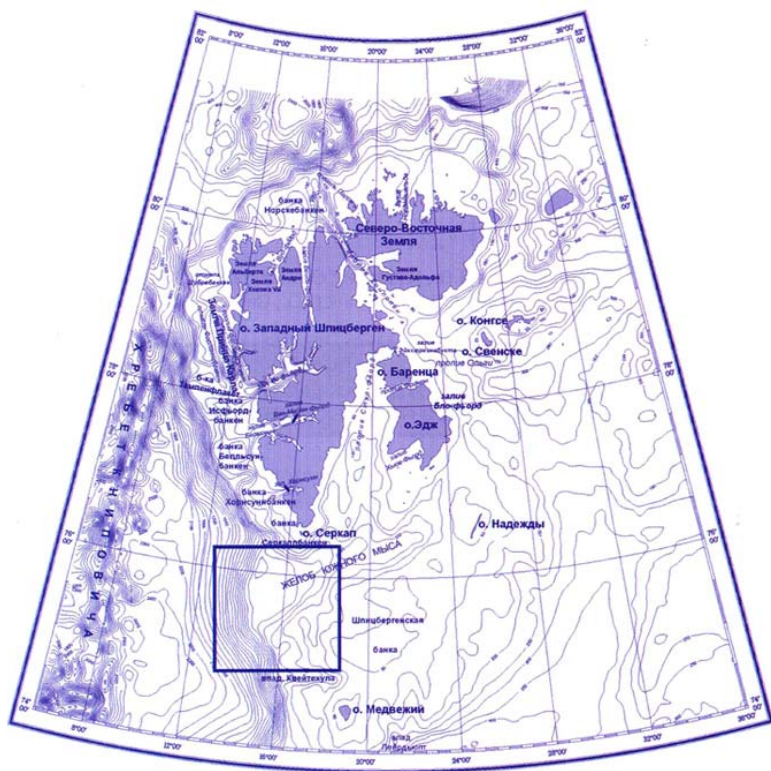


Рис. 1. Обзорная схема района работ

тектоническом отношении достаточно однообразна, что проявляется в его моноклинальном погружении в южном направлении от 5 до 10 км.

Сеймостратиграфическая характеристика осадочного чехла. Осадочный чехол исследованного района представлен отложениями кайнозойского и палеозойско-мезозойского возраста. Наибольшие мощности кайнозойских отложений пространственно связаны с континентальным склоном, где они достигают 11 км. Палеозойско-мезозойский осадочный чехол развит в пределах западной окраины Свальбардской плиты и Норвежско-Шпицбергенской зоны ступеней. В зоне ступеней мощность осадков достигает 7 км.

В кайнозойской осадочной толще выделено пять сеймостратиграфических комплексов (ССК) и подкомплексов (ССПК), которые отражают основные этапы ее седиментационной истории. Границами сеймостратиграфических комплексов являются региональные несогласия U_3, U_2, U_1, U_0, Q_2 (отражающие горизонты (ОГ)), характеристика которых будет дана ниже. Стратиграфическая привязка выделенных региональных несогласий сделана на основе всего доступного массива данных морского бурения и сухопутных материалов [Лившиц, 1973; Bergh & Grogan, 2003; Larssen et al., 1994; Seismic atlas..., 1994; Ryseth et al., 2003]. Принято, что несогласие U_3 отражает переход от глубоководно-морских к мелководным условиям осадконакопления и характеризует на-

чальную фазу инверсии бассейна в раннем эоцене. Несогласие U_2 связано с обмелением морского бассейна в олигоцене и его инверсией в пределах разломной зоны Хорнсунн. Поверхность несогласия U_1 отражает мелководно-морские условия осадконакопления на фоне тектонического подъема территории в позднем миоцене. Несогласие U_0 связано с денудационными процессами, развивавшимися на рубеже позднего плиоцена - эоплейстоцена. Схема сеймостратиграфического расчленения кайнозойского разреза представлена в таблице.

Палеозойско-мезозойский ССК развит в Норвежско-Шпицбергенской зоне ступеней, на западе по региональному сбросу комплекс контактирует с кайнозойскими ССК Поморского прогиба, а на востоке, также по

системе региональных сбросов с палеозойско-мезозойскими комплексами Свальбардской плиты. На севере мезозойско-палеозойский ССК ограничен субширотным тектоническим нарушением, по-видимому, сдвигового типа.

ССК	ССПК	СФЕ	Отражающие горизонты, ограничивающие ССК и ССПК	
Мезозойско-палеозойский	--	--	$\Phi_{п,с} - U_3(P_2^1), U_2(P_3^1), (Q_E), Q_2$	
Палеоцен-нижнеэоценовый	--	--	$\Phi_{ок}, \Phi_{п} - U_3(P_2^1)$	
Среднеэоцен-нижнеолигоценый	Среднеэоценовый	--	$U_3(P_2^1) - U_3^1(P_2^2)$	$U_3(P_2^1) - U_2(P_3^1)$
	Среднеэоцен-нижнеолигоценый	1	$U_3^1(P_2^2) - U_2(P_3^1)$	
		3		
Средне-верхнемиоценовый	--	--	$U_2(P_3^1) - U_1(N_1^3)$	
Средне-верхнеплиоценовый	Среднеплиоценовый (?)	--	$U_1(N_1^3) - U_1^1$	$U_1(N_1^3) - U_0(Q_E)$
	Средне-верхнеплиоценовый	--	$U_1^1 - U_1^2$	
	Верхнеплиоценовый	--	$U_1^2 - U_0(Q_E)$	
Эоплейстоценоголоценовый	--	--	$U_0(Q_E) - \text{дно}$	

В подошве комплекс представлен отражениями, характеризующими поверхность фундамента переходного ($\Phi_{п}$) и континентального ($\Phi_{к}$) типов, в кровле - несогласиями U_3, U_2 в зоне ступеней, U_0 и Q_2 в пределах Свальбардской плиты. Следует отметить, что проследивание отражающего горизонта Φ обоих структурных элементов весьма неоднозначно. Мак-

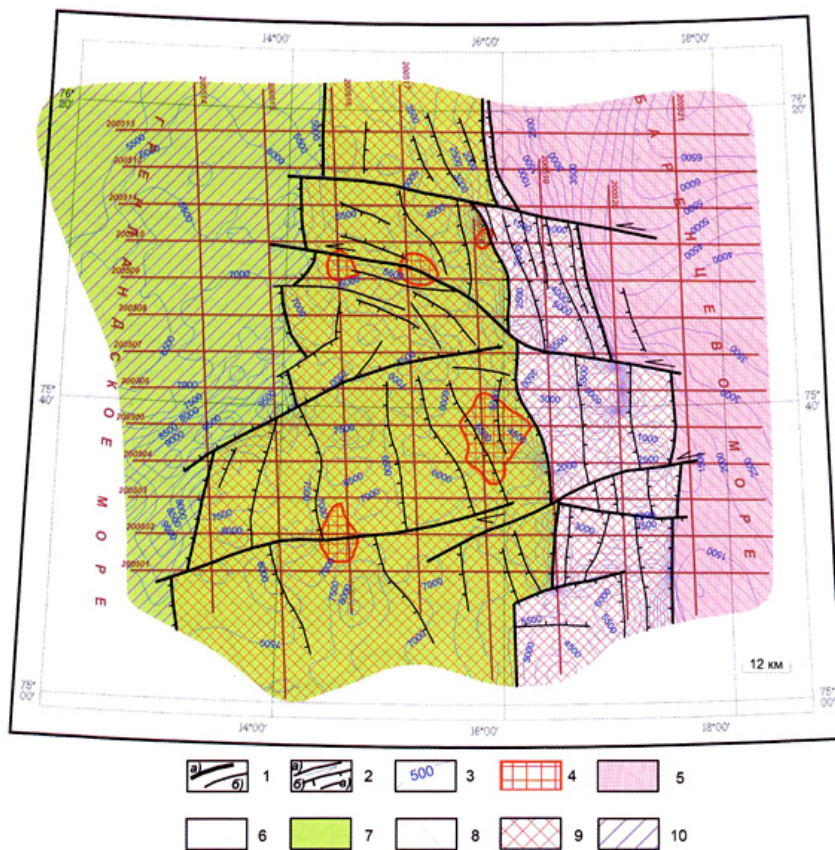


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема по поверхности гетерогенного фундамента: 1 – тектонические нарушения : а – основные, б – прочие; 2 – кинематическая характеристика разрывных нарушений: а – сдвиги, б – сбросы, в – неясной кинематики; 3 – изогипсы поверхности гетерогенного фундамента, м; 4 – интрузии (гравимагнитные данные); основные тектонические зоны: 5 – Свальбардская плита, 6 – Норвежско-Шпицбергенская зона ступеней (разломная зона Хорнсунн), 7 – Поморский прогиб; тип земной коры: 8 – континентальная, 9 – переходная, 10 – океаническая

симальное время регистрации отражений, которые могут отождествляться с кровлей гетерогенного фундамента в зоне ступеней, составляет 4-5 с. Внутреннее строение комплекса охарактеризовано отражающими горизонтами $A_1(T_1)$, $Ia(P_1)$. Стратиграфический интервал отложений ССК в Норвежско-Шпицбергенской зоне ступеней, по-видимому, ограничивается каменноугольным-раннемеловым временем, в пределах Свальбардской плиты - раннепалеозойско-раннемеловым.

Палеоцен-нижнеэоценовый ССК развит в пределах Поморского прогиба и ограничен в подошве поверхностью акустического фундамента двух типов (переходный Фп и океанический Фок) и несогласием $U_3(P_2^1)$ в кровле. В южной части поверхность $U_3(P_2^1)$ осложнена тектоническими нарушениями север-северо-восточного направления, представляющими собой взбросы и формирующими в плане приразломные локальные поднятия. Взброшенные части выделяются как аномалии типа «яркое» и «плоское пятно» (рис. 3). Данный комплекс характеризуется клиноформным строением. В зоне крутого сброса (западный борт Норвежско-Шпицбергенской зоны ступеней) палеоцен-

нижнеэоценовый ССК без сокращения мощности контактирует с палеозойско-мезойским ССК. Область тектонического контакта может представлять собой перспективную зону развития ловушек УВ неструктурного типа. Наибольшие мощности ССК приурочены к грабену, выделенному в центральной части площади и приуроченному к крупному тектоническому нарушению сдвигового типа субширотного простирания.

Среднеэоцен-нижнеолигоценовый ССК ограничен в подошве ОГ $U_3(P_2^1)$, а в кровле ОГ $U_2(P_3^1)$. Как подошва ССК, ОГ $U_3(P_2^1)$ имеет признаки несогласия по схеме подошвенного налегания, которая наиболее ярко проявляется в северной части площади. Волновое поле комплекса отличается разнообразием видов отражений: хаотические, косослоистые, плоскопараллельные и т.д. В целом комплекс характеризует клиноформное строение осадочной толщи.

Среднеэоценовый ССПК (нижний) ограничен в кровле ОГ $U_3^1(P_2^2)$, представляющим собой ярко выраженную поверхность несогласия типа эрозионного среза. В южной части площади в области приподнятого блока фундамента отражение $U_3^1(P_2^2)$ выделяется как аномалия типа «яркое пятно». Поверхность $U_3^1(P_2^2)$ осложнена тектоническими нарушениями север-северо-восточного направления, представляющими собой взбросы и формирующими в плане приразломные локальные поднятия (см. рис. 3).

Среднеэоцен-нижнеолигоценовый ССПК (верхний) характеризуется клиноформным строением, в кровле ограничен ОГ $U_2(P_3^1)$. Подошва подкомплекса $U_3^1(P_2^2)$ является типичным несогласием типа подошвенного налегания. В пределах рассматриваемого ССПК выделяются три сейсмофациальные единицы (СФЕ) отличающиеся рисунком сейсмической записи. СФЕ-1 характеризуется динамически выраженными субпараллельными отражающими площадками значительной протяженности

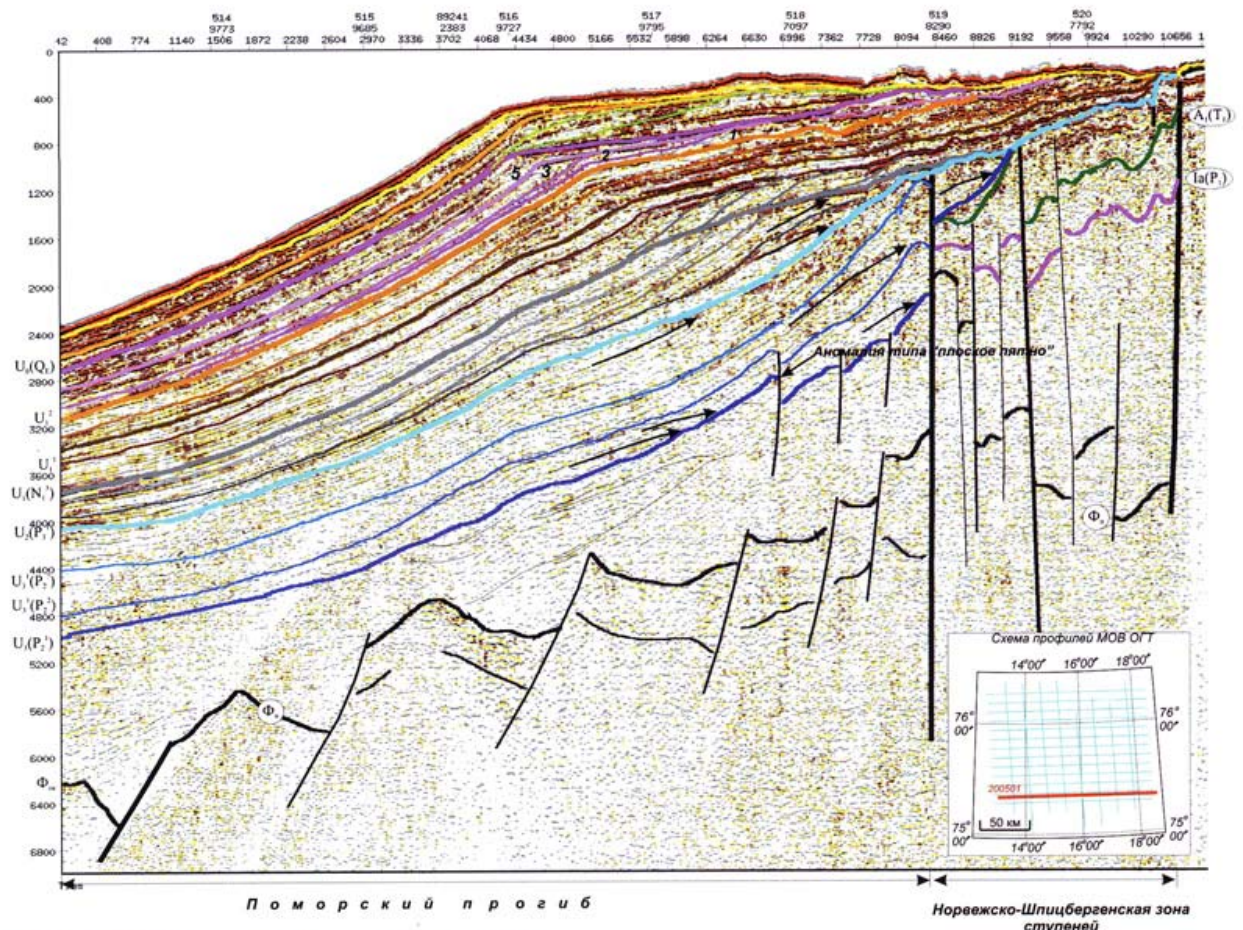


Рис. 3. Фрагмент временного разреза МОВ ОГТ 200501

по простиранию. В северной и центральной части площади, в пределах материкового склона, СФЕ-1 перекрывается СФЕ. В южной части площади, на профилях субширотного направления, отмечается клиноформное строение СФЕ-1. Вероятно, данная сейсмофациальная единица представляет осадки глубоководного конуса выноса. СФЕ-2 характеризуется хаотическим рисунком сейсмической записи, который, вероятно, отражает высокоэнергетическую седиментационную обстановку, характерную для оползневых процессов. СФЕ-3 обособливается на севере площади, вблизи Норвежско-Шпицбергенской зоны ступеней и представляет собой линзовидное тело, ограниченное в кровле ОГ $U_2(P_3^1)$, являющимся несогласием типа кровельного прилегания. Подобная сейсмофациальная единица, пространственно приуроченная к окраине континентального шельфа, может отражать накопление осадочного материала в условиях прибрежных равнин и связанных с ними речных дельт. По простиранию СФЕ-3, в его подошве выделяется эрозионный канал.

Средне-верхнеплиоценовый ССК ограничен отражающими горизонтами $U_2(P_3^1)$ в подошве и $U_1(N_1^3)$ в кровле ОГ $U_2(P_3)$ представляет собой ярко выраженную поверхность несогласия по схеме подошвенного прилегания. Отражения

вблизи кровли комплекса перестают проследиваться по схеме кровельного прилегания. В восточном направлении средне-верхнемиоценовый ССК выклинивается. В строении комплекса выделены косослоистые сейсмофациальные единицы, соответствующие отложениям, накопившимся в обстановке окраины шельфа и верхней части склона, и латерально наращивающих его. Ундаформные части клиновидных сейсмофаций редуцированы на уровне поверхности $U_1(N_1^3)$, где проявляются волновые аномалии «яркое пятно». Здесь, в шельфовой ундаформной подзоне, соответствующей условиям дельтовой равнины, и в верхней части клиноформной подзоны, соответствующей условиям авандельты, высока вероятность накопления песков (высокоэнергетическая обстановка). Максимальные мощности ССК приурочены к границе палеошельфа. Мощность комплекса увеличивается в южном направлении за пределы площади исследований.

Средне-верхнеплиоценовый ССК представляет собой мегаклиноформу, в строении которой выделяются три крупных клиноформных ССПК, являющихся результатом проградации ледниковых дельт в среднем-позднем плиоцене. Комплекс ограничен в подошве несогласием $U_1(N_1^3)$, а в кровле $U_0(Q_E)$. Несогласие

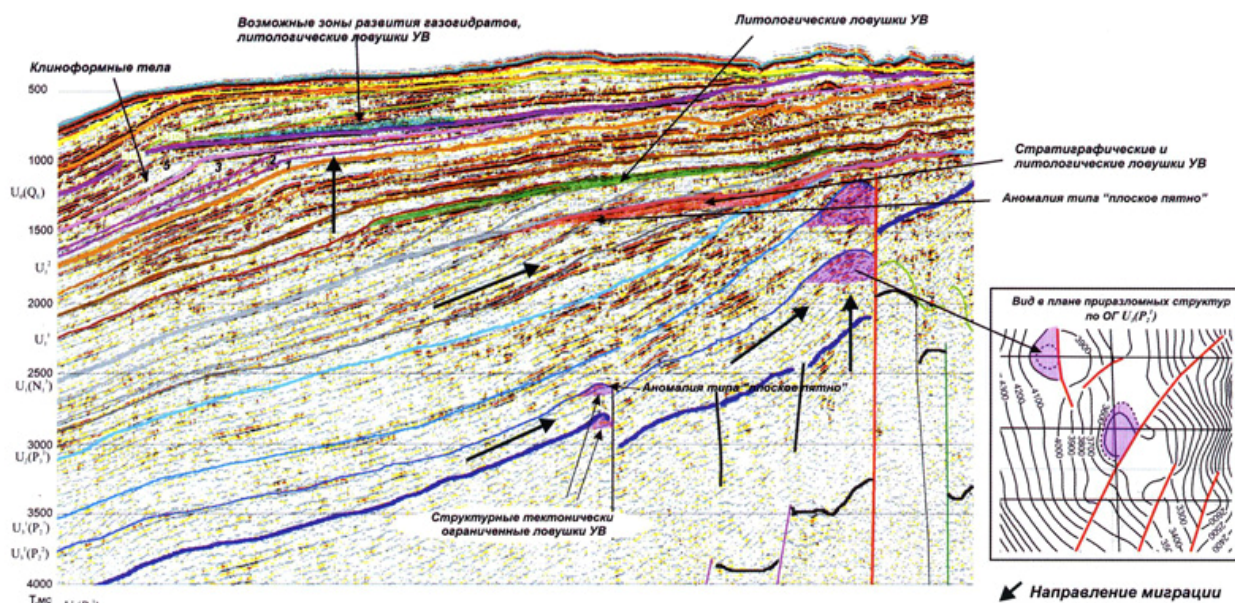


Рис. 4. Типы ловушек УВ в разрезе осадочного чехла Южно-Шпицбергенского шельфа

$U_0(Q_E)$ уверенно прослеживается по площади благодаря своим высоким динамическим характеристикам. Мощность ССК нарастает в направлении океанического бассейна и достигает максимума на границе палеошельфа.

В пределах комплекса выделено две поверхности несогласия U_1^1 и U_1^2 , разделяющие средне-верхнеплиоценовый разрез на три клиноформных подкомплекса: *среднеплиоценовый (?) ССПК (нижний)*, *средне-верхнеплиоценовый ССПК (средний)*, *верхнеплиоценовый (?) ССПК (верхний)*. Внутри клиноформ присутствуют эрозионные каналы, представляющие собой русла стока, прорезанные во время гляциоэвстатических колебаний уровня моря. С точки зрения перспектив на УВ наиболее интересными представляются нижний и верхний подкомплексы. Нижний подкомплекс на окраине палеошельфа представлен косослоистыми сейсмофациями, а в пределах материкового склона преимущественно субпараллельными. Ундаформы и фондоформы сигмовидных сейсмофаций проявляются как аномалии «яркое пятно». Волновое поле верхнего подкомплекса отличается разнообразием пакетов отражающих элементов - от сигмовидного до плоскопараллельного рисунка сейсмической записи. В ундаформных частях клиновидных сейсмофаций, ограниченных в кровле эрозионной поверхностью $U_0(Q_E)$ и характеризующихся сигмовидным рисунком сейсмической записи проявляются волновые аномалии типа «яркое» и «плоское пятно». Волновые аномалии трассируются от профиля к профилю.

Эоплейстоцен-голоценовый ССК ограничен в кровле дном моря. Дно моря является акустически жесткой границей. Данный комплекс характеризуется ярко выраженным клиноформ-

ным строением. На юге шельфовой части площади отмечены клиновидные сейсмофациальные единицы, сформировавшиеся в результате бокового наращивания шельфа с северо-востока на юго-запад. Фондоформные части сигмовидных отражений выделяются как аномалии типа «яркое пятно» и приурочены к областям перекрытия клиновидных тел. Аномалии коррелируются по профилям и имеют законченные очертания.

Перспективы нефтегазоносности. Нефтегазоносность кайнозойского разреза подтверждается лишь косвенно по сейсмическим данным и по нефтегазопроявлениям в глубоководных скважинах Северной Атлантики. Основные перспективы нефтегазоносности Южно-Шпицбергенского шельфа связываются с возможными зонами ловушек углеводородов (УВ) неструктурного типа (литологические, стратиграфические и тектонически-экранированные) в кайнозойских осадочных комплексах (рис. 4).

Изучение нефтегенерационного потенциала кайнозойских отложений по данным бурения морских скважин, расположенных в пределах континентальной окраины, позволяет предполагать генерацию как нефтяных, так и газовых УВ. Доля последних может быть больше. По данным бурения морских скважин, расположенных в пределах континентальной окраины и краевой части Баренцевоморского шельфа геохимические исследования показали, что палеоцен-эоценовые отложения еще не вошли в зону нефтеобразования. В пределах континентального склона эти отложения, залегающие на значительных глубинах (7-10 км), могут находиться в главной зоне нефтеобразования (ГЗН). В южной части Поморского прогиба, граничащей с вулканической провинцией Вестбаккен,

отложения палеогена могут находиться в «нефтяном окне», учитывая, что степень их катагенетической преобразованности значительно выше в связи с активностью вулканической деятельности, и, следовательно, повышенной тепловой обработкой отложений.

В составе кайнозойского стратиграфического интервала выделены три нефтегазоносных комплекса (НГК), которые могут содержать резервуары, перспективные для поиска нефти и газа:

Палеоцен-нижеолигоценый НГК.

Миоценовый НГК.

Плиоценовый НГК.

В пределах каждого НГК выделены объекты поиска - локальные зоны развития ловушек одного типа. Подобные объекты выделяются в различных стратиграфических интервалах кайнозойского разреза и могут быть связаны с резервуарами разного возраста.

Палеоцен-нижеолигоценый НГК. По данным бурения глубоководных скважин в бассейне Сервестнагет и вулканической провинции Вестбаккен палеоцен-нижеолигоценый НГК представлен преимущественно глинистыми глубоководными отложениями, выполняющими больше роль нефтематеринских толщ (НМТ), нежели резервуаров нефти и газа. Однако в глинистых толщах возможны песчаные интервалы, сформировавшиеся за счет деятельности турбидитных потоков. Подобные песчаные тела могут присутствовать как в среднеоценовых отложениях, так и в верхнеоценовых - нижеолигоценых отложениях. Причем, максимальная песчаность может быть отмечена или вблизи источника сноса (западный борт Норвежско-Шпицбергенской зоны ступеней), или у подножия склона. В пределах комплекса выделены возможные зоны нефтегазонакопления - тектонически-экранированные в приразломных зонах и литолого-стратиграфические ловушки УВ.

Миоценовый НГК. В пределах миоценового НГК распространены песчано-глинистые отложения, накапливавшиеся в условиях дельтовой и авандельтовой равнин. Выделены три цикла развития авандельты, каждый из которых состоит, по крайней мере, из одного выдержанного пласта песчаников. Песчаные пласты могут

иметь мощность от 5 до 20 м [Ryseth et al., 2003]. Клиноформное строение толщи обуславливает наличие литологических ловушек УВ, а региональное несогласие между миоценовым и плиоценовым комплексом осложняет литологические ловушки стратиграфическим несогласием. В результате в кровле миоценовой толщи, на западном склоне Норвежско-Шпицбергенской зоны ступеней, выделена зона литолого-стратиграфических ловушек миоценового возраста

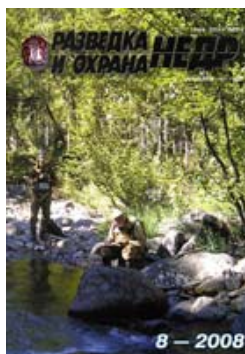
Плиоценовый НГК. В пределах плиоценового НГК распространены песчано-глинистые отложения, накапливавшиеся в гляциально-морских условиях. Резервуары могут быть связаны с клиноформными телами, образованными за счет размыва ледниковыми потоками отложений Свальбардской плиты и архипелага Шпицберген. Резервуары сложены грубообломочными породами в толще глин и известковых илов. Резервуары могут формироваться в русловых палеоврезах. Мощность грубообломочных пластов может варьировать от 10 до 60 м. Клиноформное строение толщи обуславливает наличие литологических ловушек нефти и газа, а многочисленные эрозионные поверхности и врезы обуславливают стратиграфическое срезание накапливающихся тел. В результате по всему разрезу плиоценового комплекса формируются литолого-стратиграфические ловушки.

Стратиграфическая привязка выделенных региональных несогласий в пределах Южно-Шпицбергенского шельфа осложнена отсутствием в непосредственной близости от участка исследований морских скважин. Региональные стратиграфические и структурные корреляции выполнялись на основе морских скважин, разбуренных в бассейне Сервестнагет, вулканической провинции Вестбаккен и скважин на арх. Шпицберген. Однако плотность наблюдений и качество фактических материалов позволили составить модель тектонического строения Южно-Шпицбергенского шельфа и выполнить детальное сейсмостратиграфическое расчленение осадочного чехла, и на основе всего комплекса данных выделить перспективные на углеводороды зоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лившиц Ю.Я.* Палеогеновые отложения и платформенная структура Шпицбергена / Тр. НИИГА, Т. 174. -Л.: Недра, 1973.
2. *Тальвани М., Эльдохольм О.* Континентальные окраины в Норвежско-Гренландском бассейне / Геология континентальных окраин. Под ред. А.М. Карасика, В.Е. Хаина. Т. 2. - С. 49-65.
3. *Шушилов Э.В., Тарасов Г.А.* Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа России. - Апатиты: Изд-во КНЦРАН, 1998.
4. *Шкарубо С.И.* Геодинамические аспекты эволюции северной части Норвежско-Гренландского бассейна / В сб. научн. тр., посвященном 25-летию производственной деятельности МАГЭ: «25 лет на Арктическом шельфе России». - Мурманск-СПб., 1999. - С. 71-79.
5. *Bergh S.G., Grogan P.* Tertiary structure of the Sorkapp-Hornsund Region, South Spitsbergen, and implications for the offshore southern extension of the fold-thrust Belt // Norwegian Journal of Geology. - 2003. -Vol. 83. - P. 43-60. - Trondheim, ISSN 029-196X.
6. *Dallmann W.K., Andresen A., Bergh S.G., Maher H. & Ohta Y.* 1993: [Tertiary fold-and-thrust belt of Spitsbergen, Svalbard](#) // NorskPolarinstitutt Meddelelser. - 1993. - No. 128.-Oslo.
7. *Larssen G.B., Elvebakk G., Henriksen L.B., Kristensen et al.* Upper Palaeozoic lithostratigraphy of the Southern part of the Norwegian Barents Sea // NGU Bulletin. - 2005. - 444.
8. *Seismic atlas of western Svalbard: a selection of regional seismic transects* / Editor Ola Eiken. Norsk Polarinstitut. - Oslo, 1994.
9. *Ryseth A., Augustson J.H., Charnock M. et al.* Cenozoic stratigraphy and evolution of the S rvestsnaget Basin, southwestern Barents Sea // Norwegian Journal of Geology. -2003. -Vol. 83. - P. 107-130. -Bergen ISSN02g-196X.

Ссылка на статью:



Шлыкова В.В., Казанин Г.С., Павлов С.П., Ступакова А.В., Голынчик П.О., Сафронова П.А. Сейсмостратиграфическая характеристика осадочного чехла Южно-Шпицбергенского шельфа и перспективы нефтегазоносности. Разведка и охрана недр. 2008, № 8, с. 39-44.