

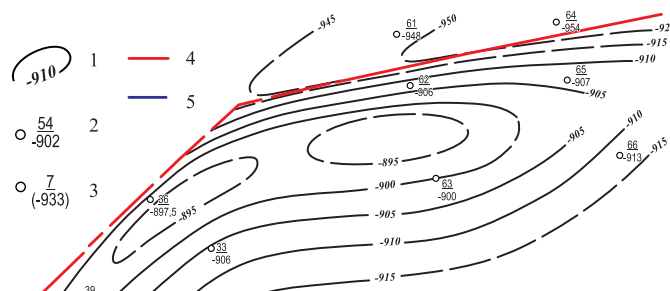
СОЗДАНИЕ МАТРИЦЫ НАПРЯЖЕНИЙ ГДОВСКОГО ГОРИЗОНТА НЕВСКОГО ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ МЕСТ ЗАЛОЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН

Эффективность эксплуатации газохранилища зависит от достоверности информации о его геологическом строении. Геодинамическая модель наряду с моделью седиментационной неоднородности позволяет прогнозировать зоны растяжения-уплотнения пород в пластовых условиях. Для обоснования мест оптимального заложения эксплуатационных скважин на примере Невского подземного хранилища газа рассмотрено применение методики уточнения строения ловушки на основе представления о геологической истории ее формирования (палеоструктурный анализ).

Ключевые слова: подземное хранение газа, палеоструктурный профиль, временное напряженно-деформационное состояние пород, кора выветривания фундамента, пласт-коллектор.

Невское подземное хранилище газа (ПХГ) находится на территории Новгородской области и является единственным крупным объектом хранения газа в Северо-Западном регионе, регулирующим неравномерность его газопотребления и покрывающим высокую суточную потребность в газе таких крупных потребителей, как Санкт-Петербург и Ленинградская область. Хранилище функционирует в газотранспортной системе ООО «Газпром ПХГ», эксплуатируется начиная с 1975 г. Объектом хранения газа является I песчаный пласт гдовского горизонта верхнего протерозоя толщиной 8 – 12 м, залегающий на глубине -1035 м.

Площадь Невского ПХГ в тектоническом плане приурочена к переходной зоне, которая является пограничной структурой отделяющей южный склон Балтийского щита от северного борта Московской синеклизы.



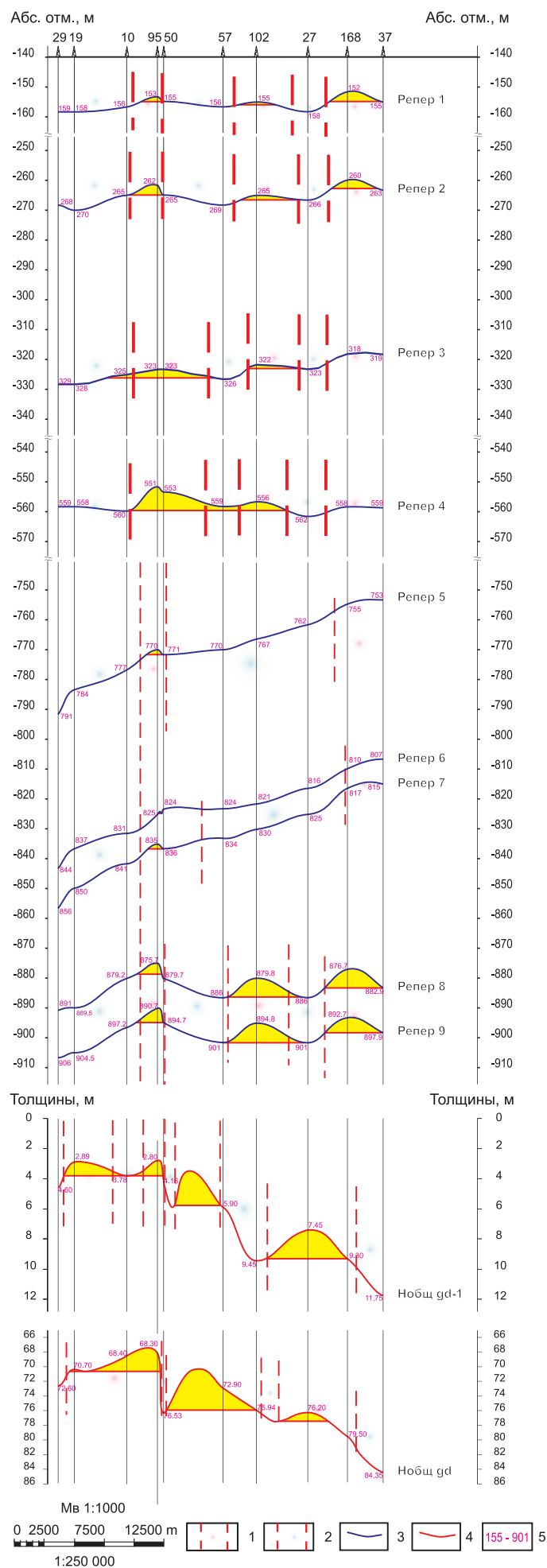
Переходная зона представляет сложную горст-грабеновую структуру по фундаменту, осложненную продольными и поперечными нарушениями.

Располагаясь на южном борту переходной зоны, Невское ПХГ в структурном отношении приурочено к валообразному поднятию протяженностью 50 км при ширине 3 – 3,5 км, оконтуренному изогипсой минус 975 м по кровле гдовского горизонта и осложненному пятью куполами амплитудой 3 – 8 м. Склон и борт переходной зоны контролируются разломами по фундаменту. В осадочном чехле осевая зона пограничной структуры прогнута; амплитуда прогибания ориентировочно не превышает 50 – 70 м при ширине 4 – 5 км. По аналогии с северным бортом, южный склон переходной зоны, вероятно, также осложнен куполовидными поднятиями в осадочном чехле и может представлять практический интерес в случае расширения хранилища.

Единого мнения о структуре фундамента переходной зоны не существует. Одни исследователи большое значение придают поперечным разломам по фундаменту. По их мнению, количество песчаных пластов в гдовском горизонте зависит от амплитуды превышения блоков фундамента относительно друг друга. Другие исследователи, рассматривая структуру гдовского горизонта, основное внимание уделяют нарушениям, затрагивающим гдовский горизонт.

Влияние структуры фундамента на распространение количества песчаных пластов в гдовском горизонте не рас-

Рис. 1. Структурная карта по кровле гдовского горизонта верхнего протерозоя (Геолого-технологическое обследование..., 2005). 1 – изогипсы кровли гдовского горизонта, 2 – номер скважины/абсолютная отметка кровли гдовского горизонта, 3 – номер скважины/пересчетная отметка кровли гдовского горизонта, 4 – тектонические нарушения, 5 – линии геологических профилей.



смагивалось. Также не рассматривалось участие коры выветривания фундамента как потенциально газомещающего горизонта.

По нашему мнению, там, где мощность коры выветривания «максимальная», возможно предположить распространение лишь верхнего (III) песчаного пласта гдовского горизонта. При «средней» мощности коры выветривания вероятно присутствие двух пластов (III и II), а при «минимальной» – трех (I, II и III).

Зависимость количества песчаных пластов от мощности коры выветривания подчеркивает связь их накопления с палеорельефом и вертикальными подвижками блоков фундамента. Изучение мощности коры выветривания и ее коллекторских свойств имеет принципиальное значение для выяснения блокового строения фундамента, его влияния на распространение песчаных пластов в гдовском горизонте, а также на увеличение диапазона газонасыщения за счет самой коры выветривания.

Завершая краткий обзор представлений о геологическом строении Невского ПХГ необходимо отметить, что разрешающая способность геофизических методов исследования не способна выявить погребенные структурные осложнения амплитудой 3 – 8 м. Можно предположить, что они были установлены буровыми работами при изучении предполагаемой тектонически экранированной ловушки, связанной с глубоким разломом, осложняющим моноκлираль Московской синеклизы. В дальнейшем выявленные структурные осложнения явились основными объектами изучения для целей хранения искусственной газовой залежи при создании Невского ПХГ.

При анализе истории развития Невского валообразного поднятия были использованы следующие материалы:

- структурная карта кровли пласта I гдовского горизонта, составленная А.Д. Поликарповой в 2005 г. (Рис. 1).
- стратиграфические разбивки скважин Невского ПХГ из отчета (ЗАО «Нефтегазконсалтинг», 2005).

В осадочном чехле нами выделены 9 реперных горизонтов и на время их накопления построены палеоструктурные профили гдовского горизонта по длинной и короткой оси поднятия. Анализ профилей позволил сделать вывод, что геологическое развитие Невского валообразного поднятия по основным структурообразующим этапам происходило унаследованно. Основной структурообразующий этап относится ко времени накопления воронежского горизонта (репер 8) и полностью совпадает с современным структурным планом по кровле гдовского горизонта (репер 9). Изменения структурных планов происходили при накоплении реперов 5, 6, 7 и выражались в общем подъеме гдовского горизонта в северо-восточном направлении, что привело к расформированию ранее образованных малоамплитудных осложнений. На палеострук-

Рис. 2. Палеоструктурный профиль кровли гдовского горизонта и его толщины по линии скважин №№ 29-19-10-95-50-57-102-27-168-37. Репер 1 – кровля ломоносовского горизонта, Репер 2 – кровля ижорского горизонта, Репер 3 – кровля волховского горизонта, Репер 4 – кровля пярнусско-наровского горизонта, Репер 5 – кровля псковских слоев, Репер 6 – кровля ильменских слоев, Репер 7 – кровля бурегского горизонта, Репер 8 – кровля воронежского горизонта, Репер 9 – кровля гдовского горизонта (современный этап). 1 – зоны сжатия, 2 – зоны растяжения, 3 – палеоструктурная поверхность гдовского горизонта по реперу, 4 – толщины гдовского горизонта и 1 гдовского пласта, 5 – абсолютные отметки кровли реперов по скважинам.

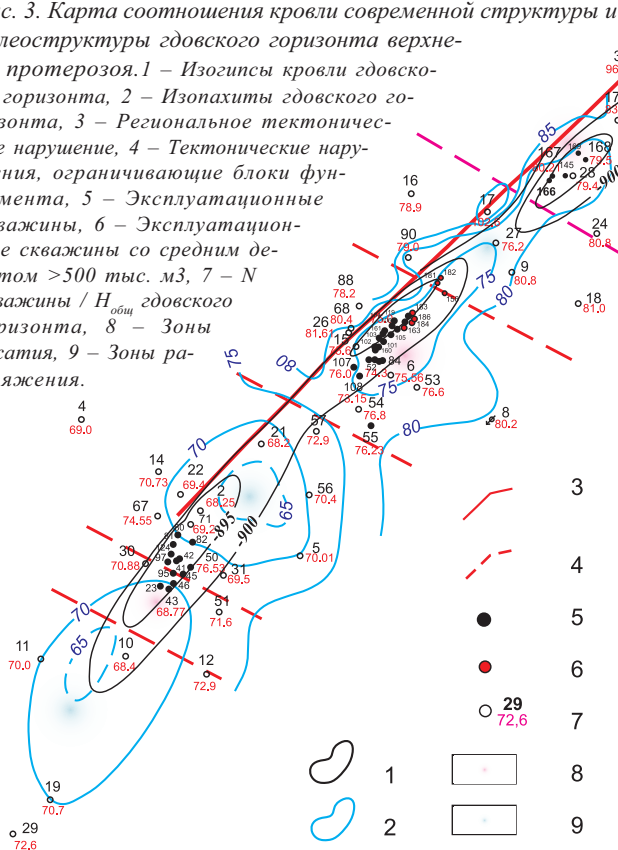
№№ скв.	№№ реперов	Палео-отметки по скв., м	Разница палео-отметок, м	Разница палеоотметок между реперами*, м	Возраст, млн. лет		Продолжительность между реперами, млн. лет.
25-2	P1	177-153	24	24 (-)	ломоносовская свита	580	70
25-2	P2	294-263	31	7 (-)	ижорские слои волховский горизонт	530	50
25-2	P3	350.5-321.5	29	2 (+)		480	50
25-2	P4	588-550	38	9 (-)	пянуусско-наровский горизонт	385	95
25-2	P5	807-769	38	0	псковские слои ильменские слои бурегский горизонт	370	15
25-2	P6	861-822	39	1 (-)			
25-2	P7	870-832.5	37.5	1.5 (+)			
22-2	P8	924-873	51	13.5 (-)	воронежский горизонт		15
22-2	P9	939-890	49	2 (+)	гдовский горизонт	650-680	-
			Итого	49			

Табл. 1. Палеоотметки кровли гдовского горизонта и амплитуды прогиба в зоне сочленения северо-западного борта Московской синеклизы и Балтийского щита по скважинам №№ 25, 2, 22. (* амплитуда прогиба (-) и воздымания (+)).

турных профилях «качественно» выделены участки напряженно-деформационного состояния пород гдовского горизонта. Участкам сжатия соответствуют локальные поднятия, участкам растяжения межкупольные зоны прогиба (Рис. 2). Построена карта толщин гдовского горизонта, где выделяются палеоподнятия ограниченные поперечными зонами сжатия. Границы поперечных зон сжатия могут интерпретироваться как разломы, ограничивающие блоки фундамента.

Анализ истории развития гдовского горизонта показал, что в пределах Невского валообразного поднятия его палеоструктура не совпадает с современным структурным планом (Рис. 2). Своды палеоструктуры гдовского горизон-

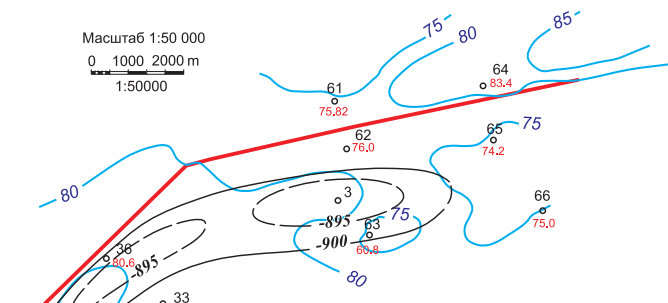
Рис. 3. Карта соотношения кровли современной структуры и палеоструктуры гдовского горизонта верхнего протерозоя. 1 – Изогипсы кровли гдовского горизонта, 2 – Изопахиты гдовского горизонта, 3 – Региональное тектоническое нарушение, 4 – Тектонические нарушения, ограничивающие блоки фундамента, 5 – Эксплуатационные скважины, 6 – Эксплуатационные скважины со средним дебитом >500 тыс. м3, 7 – N скважины / H_{общ} гдовского горизонта, 8 – Зоны сжатия, 9 – Зоны растяжения.



та располагаются в межкупольных зонах сжатия, т.е. в зонах растяжения или смещены относительно современного структурного плана. Современный структурный план охватывает лишь краевые части палеоструктуры и не освещает палеосводы, где коллекторские свойства горизонта должны быть выше, чем на крыльях или периклиналях. Это подтверждается положением эксплуатационных скважин с максимальными дебитами отбора газа (500 – 700 тыс.м³), расположенными на крыле современной структуры, а по отношению к палеоструктуре в сводовой части (Рис.3).

Основные запасы в пределах единого контура нефтегазоносности месторождений сосредоточены, как правило, в зонах растяжения. С этих позиций палеоструктура гдовского горизонта на Невском валообразном поднятии, располагаясь в зонах относительного растяжения, является наиболее благоприятным объектом для заложения эксплуатационных скважин, чем современные гипсометрические отметки горизонта, амплитуда которых не превышает 5 – 8 м.

I пласт гдовского горизонта, являющийся объектом за- качки газа, представлен продуктами разрушения и перетолжения коры выветривания фундамента, характер на-



копления которого определяется степенью эрозивной расчлененности коры выветривания, которая в свою очередь связана с подвижками блоков кристаллического фундамента. Для песчаников и гравелитов I пласта характерна средняя и плохая отсортированность, различное содержание глинистого и карбонатного цемента, невыдержанность глинистых прослоев, изменение мощностей в пределах площади структуры.

Особенности литологического состава I пласта позволяют говорить о его аллювиально-пролювиальном осадко-накоплении на эродированной поверхности коры выветривания и о сложном распределении коллекторов по разрезу.

В течение длительного времени эксплуатации Невского ПХГ выяснилось, что газ мигрирует из объекта его хранения – I гдовского пласта – в вышележащие II и III песчаные пласты. Одной из главных причин этого считается некачественная цементация скважин.

Поскольку Невское ПХГ располагается в осложненном тектоническими нарушениями районе – в зоне сочленения воздымающегося Балтийского щита и прогибающейся Московской синеклизы, то не исключены вертикальные перетоки по зонам трещиноватости и разуплотнения осадочного чехла над разломами фундамента. Однозначных доказательств, что разломы затрагивают отложения гдовского горизонта со смещением по разрезу (типа сброса) не име-

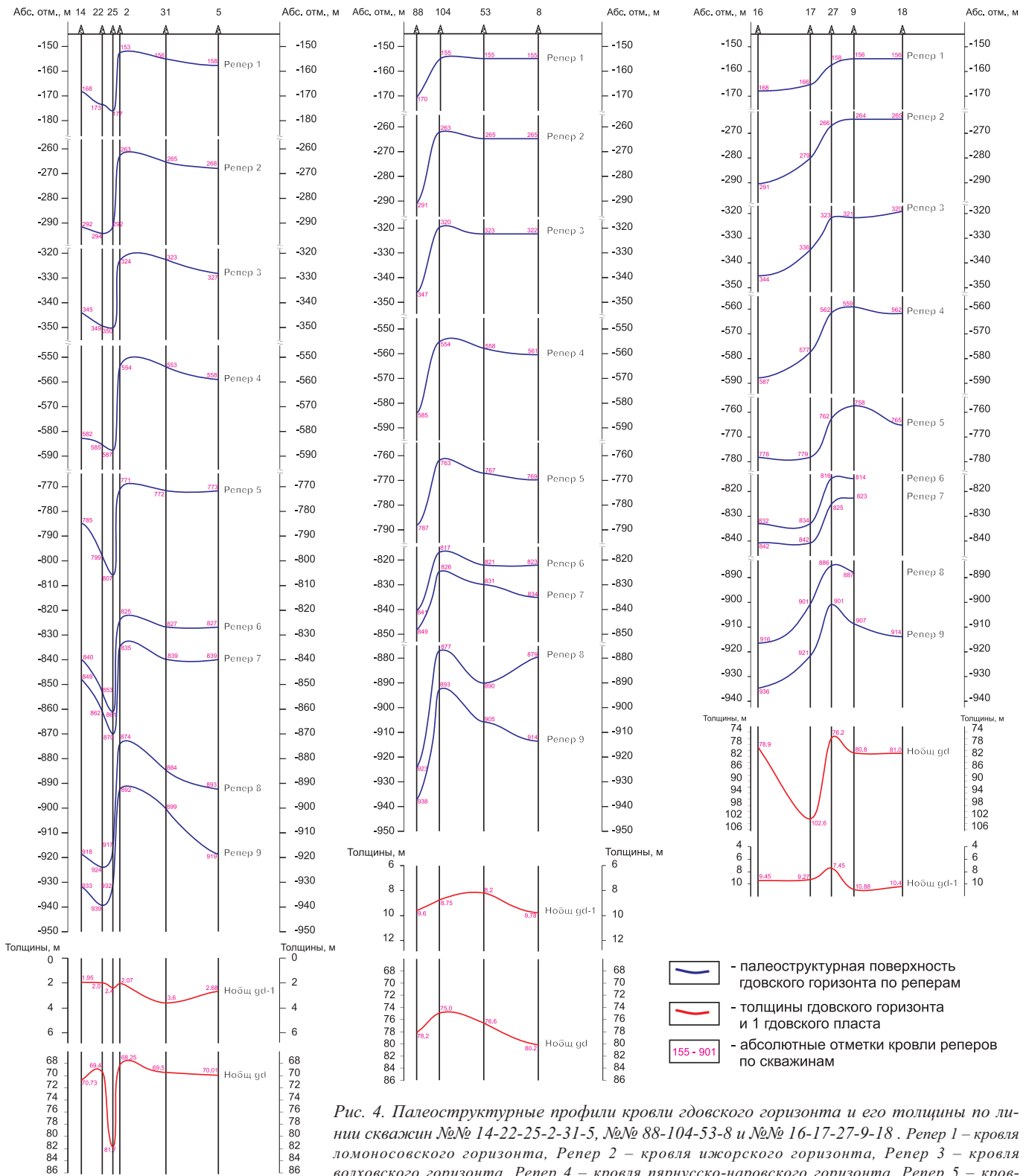


Рис. 4. Палеоструктурные профили кровли гдовского горизонта и его толщины по линии скважин №№ 14-22-25-2-31-5, №№ 88-104-53-8 и №№ 16-17-27-9-18. Репер 1 – кровля ломоносовского горизонта, Репер 2 – кровля ижорского горизонта, Репер 3 – кровля волховского горизонта, Репер 4 – кровля яранусско-наровского горизонта, Репер 5 – кровля псковских слоев, Репер 6 – кровля ильменских слоев, Репер 7 – кровля бурегского горизонта, Репер 8 – кровля воронежского горизонта, Репер 9 – кровля гдовского горизонта (современный этап).

ется. В работе (Кастрюлина и др., 1973) указывается, что впервые смещения по разлому затрагивающие отложения гдовского горизонта были зафиксированы в скважинах №№ 17 и 32 на основании увеличения толщины нижних частей разреза гдовского горизонта примерно вдвое.

Нами были проанализированы амплитуды движения гдовского горизонта в зоне влияния разлома в наиболее прогнутых частях на северо-западном крыле Невского поднятия. На палеоструктурных профилях (Рис. 2, 4) и в табл. 1 приведены амплитуды прогибания гдовского горизонта

по скважинам в промежутках между реперами. Наибольшие амплитуды прогибания были достигнуты за время накопления кровли ломоносовского горизонта – 24 м и в промежутке накопления бурегского (репер 7) и воронежского (репер 8) горизонтов – 13 м (Табл. 1).

Общая амплитуда прогибания гдовского горизонта за всю историю вплоть до современного этапа не превышает 49 м за 70 млн. лет. Учитывая, что катастрофических катаклизмов в данном регионе не зафиксировано, можно полагать, что скорость прогибания не превышала 0,007 см

Окончание статьи А.Н. Давыдова, Г.Н. Рубана, Г.А. Шерстобитовой, С.А. Хана, Д.С. Королева «Создание матрицы напряжений гдовского горизонта...»

в год. Толщина гдовского горизонта на северо-западе Невского поднятия составляет порядка 70 – 75 м и при скорости прогибания 0,007 см в год вряд ли могли образоваться разрывы со смещением в отложениях гдовского горизонта. Логично предположить образование флексур и связанных с ней зон разуплотнения и развитие микротрещиноватости по разрезу.

Из проведенных исследований вытекают следующие рекомендации:

1. Поиск благоприятных структур для хранения газа необходимо осуществлять в первую очередь на северо-западном борту переходной зоны. Для этих целей рекомендуется проведение высокоточной гравиразведки и сейсморазведочных работ 2Д, что также поможет установить блоковое строение фундамента и его отражения в осадочном чехле.

2. Необходимо уточнение палеоструктуры гдовского горизонта и I газомещающего пласта, коры выветривания фундамента (мощность, состав, коллекторские свойства). С этой целью рекомендуется проведение сейсморазведки 3Д в полосе 50×3,5 км, комплексная геолого-геофизическая интерпретация материалов бурения и сейсморазведочных работ.

3. Местозаложение эксплуатационных скважин целесообразно рассмотреть после получения результатов рекомендуемых геолого-геофизических работ.

Литература

Геолого-технологическое обследование скважин Невской СПХГ, пробуренных в период с 1978 – 2005 гг. Москва: ЗАО

«Нефтегазконсалтинг». 2005.

Кастрюлина Е.А. и др. Геологический отчет по результатам разведочного бурения на Невской площади (Новгородская обл.) с целью проведения опытной закачки и создания ПХГ. Москва. 1973.

A.N. Davydov, G.N. Ruban, G.A. Sherstobitova, S.A. Khan, D.S. Korolev. **Creation of the Gdov horizon stress-tension model of Nevskoye UGS for producing well spud-in place optimization.**

The UGS operational efficiency depends on consistency of geological data. The geodynamyc model along with sedimentation heterogeneity makes it possible to forecast zones of tension-compression in reservoir conditions. The application of geological structure detalization technique based on paleostructural analysis for producing well spud-in place optimization is illustrated by example of UGS Nevskoye.

Keywords: underground gas storage, paleostructural section, rock tension-compression zones, residual soil, reservoir bed.

Сергей Александрович Хан

к.т.н., ОАО «Газпром», заместитель начальника Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа; начальник Управления по подземному хранению газа. Научные интересы: новые технологии проектирования и эксплуатации ПХГ, развитие системы подземного хранения газа.

117997, РФ, Москва, ул. Новочеремушкинская, д. 65.
Тел.: (495)719-29-54.

