



ПОСТРОЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ МОДЕЛИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Н. В. Труфанова¹, И. П. Стрельченко^{1,2}, А. А. Пешкова^{1,3}, И. В. Гинзбург¹

¹Иркутское геофизическое подразделение АО «Росгеология», Иркутск, Россия; ²Institute of Tibetan Plateau Research Chinese Academy of Sciences, Beijing, China; ³Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Представлена технология объемного моделирования строения осадочного чехла юга Сибирской платформы с использованием программного обеспечения (ПО) GeoDepth (Paradigm Geophysical). В основе подхода – создание и согласование между собой трех компонентов: карт глубин основных литолого-стратиграфических границ, поверхностей сместителей разломов и моделей трапповых тел. На первом этапе все они рассматриваются в рамках 2D-моделирования, последующее согласование выполняется в 3D-пространстве. Модели компонентов построены по данным бурения глубоких скважин. Авторы предлагают свой подход к построению структурных карт методами геостатистики с последующими оценками вероятности прогноза. Предлагаемая модель используется при интерпретации сейсмических данных метода ОГТ специалистами предприятия ОП АО «Росгеология» «Иркутское геофизическое подразделение».

Ключевые слова: сейсморазведка МОГТ, трехмерное геологическое моделирование, твердая модель, геостатистический подход, региональные структурные карты, моделирование траппов.

3D MODELLING OF SEDIMENTARY COVER IN THE SOUTH OF THE SIBERIAN PLATFORM BASED ON DEEP WELL SURVEY DATA

N. V. Trufanova¹, I. P. Strelchenko^{1,2}, A. A. Peshkova^{1,3}, I. V. Ginzburg¹

¹Irkutsk Geophysical Branch of Rosgeologiya, Irkutsk, Russia; ²Institute of Tibetan Plateau Research Chinese Academy of Sciences, Beijing, China; ³National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia

The paper describes a technology of 3D modelling of the Siberian Platform sedimentary cover by applying the GeoDepth (Paradigm Geophysical) software. The approach is based on the creation and matching of three components: depth maps of major lithostratigraphic boundaries, fault planes, and traprock bodies. At the first stage, these three components are studied based on 2D modelling, and further are matched in 3D models. The components are modelled based on deep drilling data. The authors suggest their own approach of structure mapping by the methods of geostatistics, followed by probability estimate. The model proposed is used when interpreting CDP seismic data in the Irkutsk Geophysical Branch of Rosgeologiya.

Keywords: CDP seismic survey, 3D geological modelling, hard model, geostatistical approach, regional structure maps, traprock modelling.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-2-13-24

Развитие нефтегазовой отрасли в России сегодня связано с движением на восток. Большой интерес представляет юг Сибирской платформы.

Древняя Сибирская платформа имеет сложное геологическое строение, в значительной степени определяемое карбонатно-галогенным составом ее осадочных отложений, интенсивными тектоническими движениями и обширным распространением траппового магматизма. Известно, что оптимальные возможности для комплексного изучения подобного строения предоставляет пространственное моделирование [3]. 3D-визуализация является приоритетной для анализа и понимания строения осадочного чехла региона.

Априорная информация, изображенная на сечениях, слайсах, фрагментах куба, помогает увидеть и распознать «осложнения» при интерпретации сейсмического материала. В этом смысле решение геологических задач в рамках МОГТ можно рассматривать как уточнение (детализацию) априорных представлений [10].

Основная информация о геологическом строении осадочного чехла платформы базируется на материалах глубокого бурения и сейсморазведочных работ. Главный и самый надежный источник априорной информации – скважины и результаты их геофизических исследований.

На территории исследуемого региона скважины распространены крайне неравномерно. В условном пересчете на равномерную сеть наблюдений на 560 км² приходится всего одна скважина, а расстояние между ними меняется от сотен метров до сотен километров!

Около 10 лет назад специалистами в области сейсморазведки из Иркутскгеофизики (ныне – Иркутское геофизическое подразделение ОП АО «Росгеология», далее – ИГП) в рамках программного обеспечения системы GeoDepth (Paradigm Geophysical) была создана база результатов глубокого бурения, скважинной сейсморазведки (ВСП, СК) и ГИС (АК) в регионе [12]. В базу внесены времена, глубины, скорости и мощности основных литоло-

го-стратиграфических интервалов разреза осадочного чехла. Построены региональные трендовые модели этих параметров и локальные модели для 50 поисковых объектов. Региональные модели характеризуют устойчивые тенденции распределения характеристик, локальные являются уточненными проекциями региональных. Построенные модели практически используются при обработке и интерпретации данных МОГТ. Одно из основных направлений развития базы скважинных данных – учет тектонических особенностей при построении региональных и локальных моделей.

Исследования авторов включали следующие методические и технологические задачи:

1. Обновление существующей базы результатов исследований скважин и наращивание информации на север, запад и юго-восток региона.

2. Построение региональных структурных карт для целевых литолого-стратиграфических границ осадочного чехла по данным глубокого бурения в сопровождении вероятностно-статистических оценок рисков.

3. Изучение официальных источников тектонических карт юга Сибирской платформы. Подготовка данных с учетом масштаба работ и в соответствии с технологическими требованиями.

4. Моделирование морфологии траппов.

5. Построение базовой объемной модели юга Сибирской платформы, включающей литолого-стратиграфические границы, разрывную и трапповую тектонику.

Модель, при построении которой увязываются между собой модели всех целевых литолого-стратиграфических границ, трапповая и разрывная тектоника, называется твердой и может служить основой для заполнения кинематическими, динамическими, петрофизическими параметрами (атрибутами) и дальнейшего их анализа.

Площадь исследуемого региона составляет 500 000 км², масштаб работ 1:1 000 000. В базе данных бурения и скважинной сейсморазведки (ВСП, СК, АК) содержатся материалы по 883 глубоким скважинам.

Результаты работ на всех этапах оценивались специалистом по региональной геологии.

Особенности геологии исследуемого региона

Авторам известны работы о геологическом и тектоническом строении региона А. Э. Конторовича, М. Ю. Смирнова, В. А. Дубровина, а также А. В. Мигурского [5]. На протяжении многих лет производственные работы ИГП опираются на тектоническую карту, составленную в СНИИГГиМС под редакцией В. С. Старосельцева в 2005 г. Наши результаты не противоречат тем, которые приведены указанными авторами, но уточнены с помощью дополнительной информации, полученной по материалам новых скважин.

В современном структурном плане на юге Сибирской платформы в пределах Иркутского амфите-

атра выделяются надпорядковые структурные элементы: Непско-Ботуобинская антеклизы (ее южная часть; далее – НБА), Ангаро-Ленская ступень и обрамляющие их с востока – Предпатомский региональный прогиб, с запада – Присяяно-Енисейская и Курейская синеклизы, с юга – Саяно-Байкальское складчатое обрамление (рис. 1).

Поверхность кристаллического фундамента является одним из определяющих элементов структуры земной коры и рассматривается как эрозионно-тектонический контакт двух резко различающихся по своим характеристикам сред (кристаллический фундамент – осадочный чехол). Рельеф этой поверхности отражает специфику эволюционного развития разнородных по составу и возрасту блоков земной коры в рифейский и фанерозойский периоды.

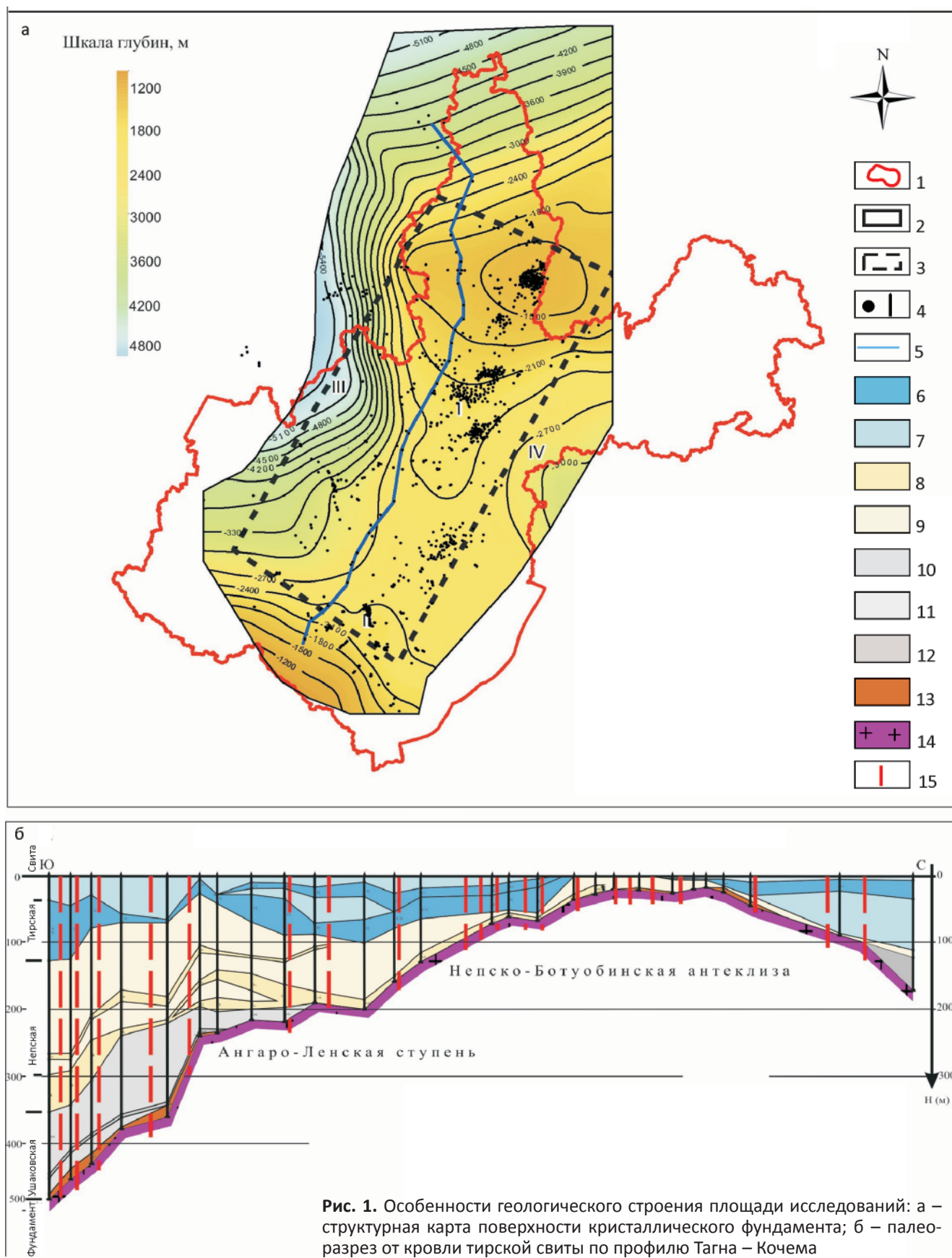
Соотношение структурных планов разновозрастных горизонтов платформенного чехла в значительной мере усложнено за счет постседиментационного перераспределения масс кембрийских солей и внедрения пермо-триасовых трапповых интрузий.

Абсолютная глубина залегания поверхности фундамента на своде антеклизы 1,2–1,5 км, на склонах более 3 км. Соответственно, толщина осадочного чехла в сводовой части антеклизы 1,6–1,7 км, а на склонах более 3,5 км.

Осадочный чехол платформы по структурно-литологическим особенностям делится на три комплекса: нижний (подсолевой) терригенно-карбонатный – от поверхности фундамента до кровли осинского горизонта усольской свиты; средний (соленосный) карбонатно-галогенный – от кровли осинского горизонта до кровли литвинцевской свиты; верхний (надсолевой) карбонатно-терригенный – от кровли литвинцевской свиты до дневной поверхности.

Подсолевой комплекс характеризуется пликативными структурными элементами. Вниз по склонам происходит наращивание толщин всех отложений, особенно значительное в нижней терригенной части. Толщина терригенных отложений 3–8 м на своде антеклизы, более 500 м в Присяянье. К этой части разреза приурочены почти все месторождения углеводородов в Иркутской области.

Структурный план соленосных отложений часто не соответствует таковому подсолевых отложений. В соленосном комплексе за счет постседиментационного перераспределения масс, в основном усольских и ангарских солей, образовались дислокации в виде серии субпараллельных валов северо-восточного направления протяженностью от нескольких десятков до первых сотен километров, шириной 5–30 км; амплитуда складок достигает 500–700 м. Эти валы хорошо выражены на геологических картах. В их сводах выходят на дневную поверхность осадки верхоленской и литвинцевской свит. Разделяющие их прогибы сложены породами ордовика. Склоны складок крутые, часто оборваны



1 – границы Иркутской области; площади построения: 2 – структурных карт, 3 – трехмерной модели юга Сибирской платформы; 4 – скважины глубокого бурения; 5 – палеоразрез от кровли тирской свиты по профилю Тагма – Кочема; свиты, горизонты: 6 – парфеновский, верхнетирский, ербогаченский, 7 – тирская, 8 – боханский, марковский, ярактинский, верхнечонский, 9 – непская, 10 – базальный, 11 – ушаковская; 12 – рифей; 13 – к. в. фундамента; 14 – фундамент; 15 – зоны глубинных разломов; I – Непско-Ботуобинская антеклиза, II – Ангаро-Ленская ступень, III – Присяяно-Енисейская антеклиза, IV – Предпатомский региональный прогиб



Таблица 1

Литолого-стратиграфические границы осадочного чехла юга Сибирской платформы, включенные в объемную модель

Литолого-стратиграфический горизонт	Обозначение	Комплекс осадочного чехла
Поверхность кристаллического фундамента	F (Ф)	Подсолевой
Кровля		
тирской подсвиты	M ₂	
тэтэрской свиты	B	
осинского пласта доломитов в низах усольской свиты	A	Соленосный
усольской свиты	Y (У)	
средне- и нижнебельской подсвит	K ₂	
булайской свиты	H ₄	
литвинцевской свиты	H ₁	
верхоленской свиты	V ₁	Надсолевой
Рельеф дневной поверхности	ALT	

продольными разломами. Эта складчатость хорошо выражена на временных разрезах, слабо – на структурных картах, построенных по данным бурения, так как в сводах антиклиналей пробурено очень мало скважин.

Трапповый магматизм не проявляется на юге и востоке территории. Магматические образования в форме силлов локализованы на различных стратиграфических уровнях. На западном склоне НБА они залегают в собинской и тэтэрской свитах, на большей части территории (в усольской свите) силл скачкообразно переходит на более высокий гипсометрический уровень. На севере территории они расположены в бельской и ангарской свитах. На северо-западе четко выражена Тунгусская наложенная синеклиза по терригенно-угленосным отложениям карбона и перми и туфогенно-эффузивным триасовым образованиям. Здесь траппы распространены в верхней части разреза. Толщина трапповых тел меняется от нескольких метров до 200 м на севере, в верхней части разреза достигает 300 м.

При подготовке тектонических компонентов для моделирования авторы использовали стратиграфическую привязку трапповых включений. В дальнейшем при построении объемной модели это позволило восстановить их гипсометрический уровень и толщину, в чем заключается преимущество 3D-визуализации.

В объемную модель осадочного чехла юга Сибирской платформы включено 10 литолого-стратиграфических границ осадочного чехла (включая рельеф дневной поверхности), соответствующих целевым отражающим сейсмическим горизонтам (табл. 1).

Построение региональных структурных карт

Региональные структурные карты для горизонтов осадочного чехла юга Сибирской платформы,

включенных в 3D-модель, построены с использованием алгоритмов геостатистики. Геостатистический подход базировался как на понятиях пространственно-распределенных данных, так в значительной степени и на геологическом априорном прогнозе и контроле построенных карт глубин и мощностей.

Структурные карты построены в м-бе 1:1 000 000; их сечение составляет 200 м. Учитывая амплитуды предполагаемых структур (при максимальных градиентах сдвиговых движений 10–30 м) и возможности визуализации этих элементов в данном масштабе, карты строились без учета тектоники.

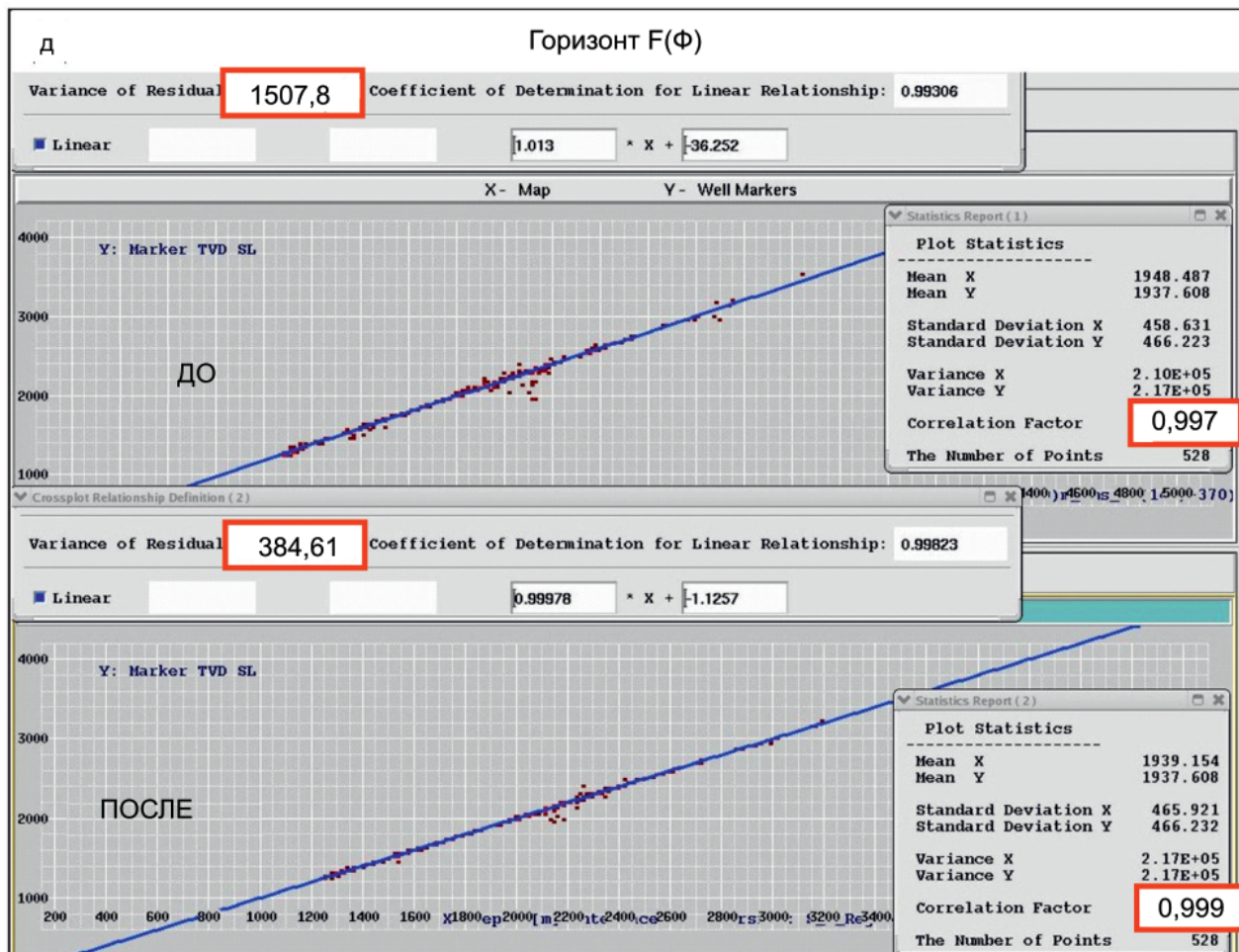
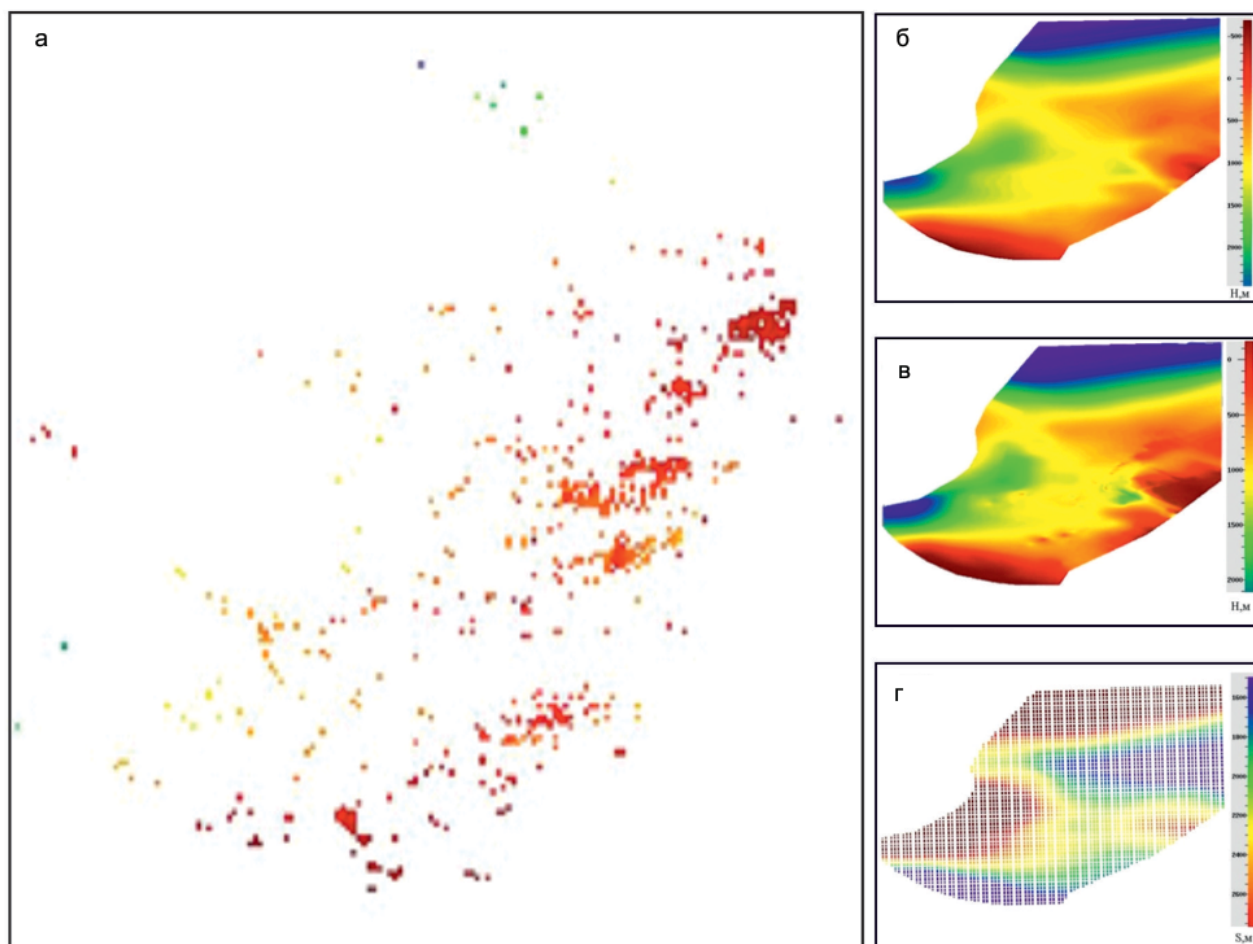
Для всех карт выполнена вероятностно-статистическая оценка рисков от порогового значения 70 %, определены среднеквадратические погрешности построения глубин в точках расположения скважин (ошибка интерпретации) и прогнозные погрешности в межскважинном пространстве.

Как известно, результаты анализа распределения параметров зависят от качества и количества исходных данных и выбранных методов и моделей их обработки [1].

В нашем случае сеть скважинных наблюдений крайне неравномерна. Сложная гипсометрия и региональный характер изменения глубин в скважинах характеризуются аномальными зонами и градиентами. Кроме того, в значениях глубин всех горизонтов присутствует палеотренд. Все это вынуждает авторов искать оптимальный алгоритм, направленный на уменьшение погрешности структурных построений.

Базовой интерполяционной моделью геостатистики является кригинг, который позволяет решить вопрос декластеризации исходных данных путем их весовой оценки. Авторами выбраны геостатистические модели кригинга, позволяющие оценивать данные в присутствии пространственного тренда.

Рис. 2. Построение региональных площадных моделей: а – поле распределения скважинных данных; б – построение карты методом универсального кригинга; в – уточнение карты кригингом с внешним дрейфом; г – расчет вероятностно-статистических оценок методом кокригинга; д – корреляционные оценки соответствия структурных карт данным бурения



Структурные построения для каждой литолого-стратиграфической границы выполнены в три итерации (рис. 2). В соответствии с задачами каждого этапа выбрана модель кригинга. В качестве основной переменной во всех итерациях использовались данные скважин, а именно значения глубин (см. рис. 2, а).

Как известно, ключевой инструмент кригинга при оценке степени пространственной корреляции данных и для моделирования структуры этой корреляции – вариограмма [2]. Качество модельной аппроксимации определялось методом кросс-валидации.

На первой итерации построения структурных карт применялся универсальный кригинг. Этот алгоритм имеет достаточно жесткую модель и выполняется для построения устойчивых структурных свойств (см. рис. 2, б). Результат определения глубин сглаживался двумерным фильтром. Интервал сглаживания подбирался в соответствии с геологическим прогнозом размеров структур.

На второй итерации – этапе уточнения структурных карт – использовался кригинг с внешним дрейфом (см. рис. 2, в). Этот алгоритм двумерного пространственного моделирования в качестве дополнительных данных использует модель тренда, полученного на первой итерации.

Вторая итерация направлена в первую очередь на повышение устойчивости (стационарности) карт. Уменьшение размера вариаций и увеличение коэффициента корреляции между выборками маркеров скважин и контрольными точками гридинга на этапе уточнения построений свидетельствует об эффективности технологии (см. рис. 2, д). Конечно, желаемой целью было и уменьшение ошибки построений (табл. 2).

На третьей итерации выполнено многомерное пространственное моделирование – кокригинг – для оценки точности и вероятности результата

(см. рис. 2, г). Предварительно по итоговой карте глубин рассчитывалось регулярное поле значений (контрольных точек) через 5–10 км. Эта процедура позволяет перейти от экстраполяции к интерполяции значений в зонах отсутствия скважин.

При построении вариограммы определялась кросс-корреляционная модель двух переменных: «дорогой» (данные скважин, которых мало) и «дешевой» (контрольные точки, которых много).

В итоге результаты трех итераций структурных построений представлены почти 70 картами. Это карты абсолютных глубин целевых литолого-стратиграфических границ осадочного чехла юга Сибирской платформы, карты мощностей и карты вероятностно-статистических оценок.

Все карты глубин сопровождаются оценками среднеквадратической погрешности интерполяции в точках расположения скважин.

Для всех горизонтов построены карты стандартных отклонений значений глубин в межскважинном пространстве, т.е. карты прогноза и карты вероятности прогноза (рис. 3).

Сечение карт изогипс составляет в основном 200 м. Это соответствует структурному градиенту 4–5 м на 1 км и м-бу 1:1 000 000.

Погрешности построения глубин для границ комплексов осадочного чехла составляют: подсолевого 20–40 м, соленосного комплекса 80–150 м, надсолевого 80 м.

Структурные карты целевых литолого-стратиграфических границ осадочного чехла юга Сибирской платформы в дальнейшем использовались при построении объемной модели.

Безусловно, карты абсолютных глубин имеют самостоятельное практическое значение при обработке и интерпретации сейсмических данных МОГТ. Вероятностно-статистический прогноз ошибки построений позволяет реально оценить достоверность площадных моделей.

Таблица 2

Погрешности построения структурных карт целевых литолого-стратиграфических границ осадочного чехла

Литолого- стратиграфическая граница	Сглаженная карта				Относительная ошибка по- строения глубин залегания горизонтов по комплексам оса- дочного чехла, %
	первой итерации		второй итерации (финальная)		
	RMS	K	RMS	K	
Ф	40	0,973	38	0,977	1,5–2
M ₂	50	0,998	27	0,998	
Б	26	0,998	25	0,998	
А	41	0,994	35	0,997	10–20
У	150	0,933	144	0,939	
K ₂	170	0,903	169	0,904	
H ₄	144	0,930	125	0,948	
H ₁	107	0,936	74	0,970	
V ₁	82	0,915	81	0,916	8

Примечание. RMS – среднеквадратическая ошибка структурных построений, ±м; K – коэффициент корреляции между картой и данными бурения.

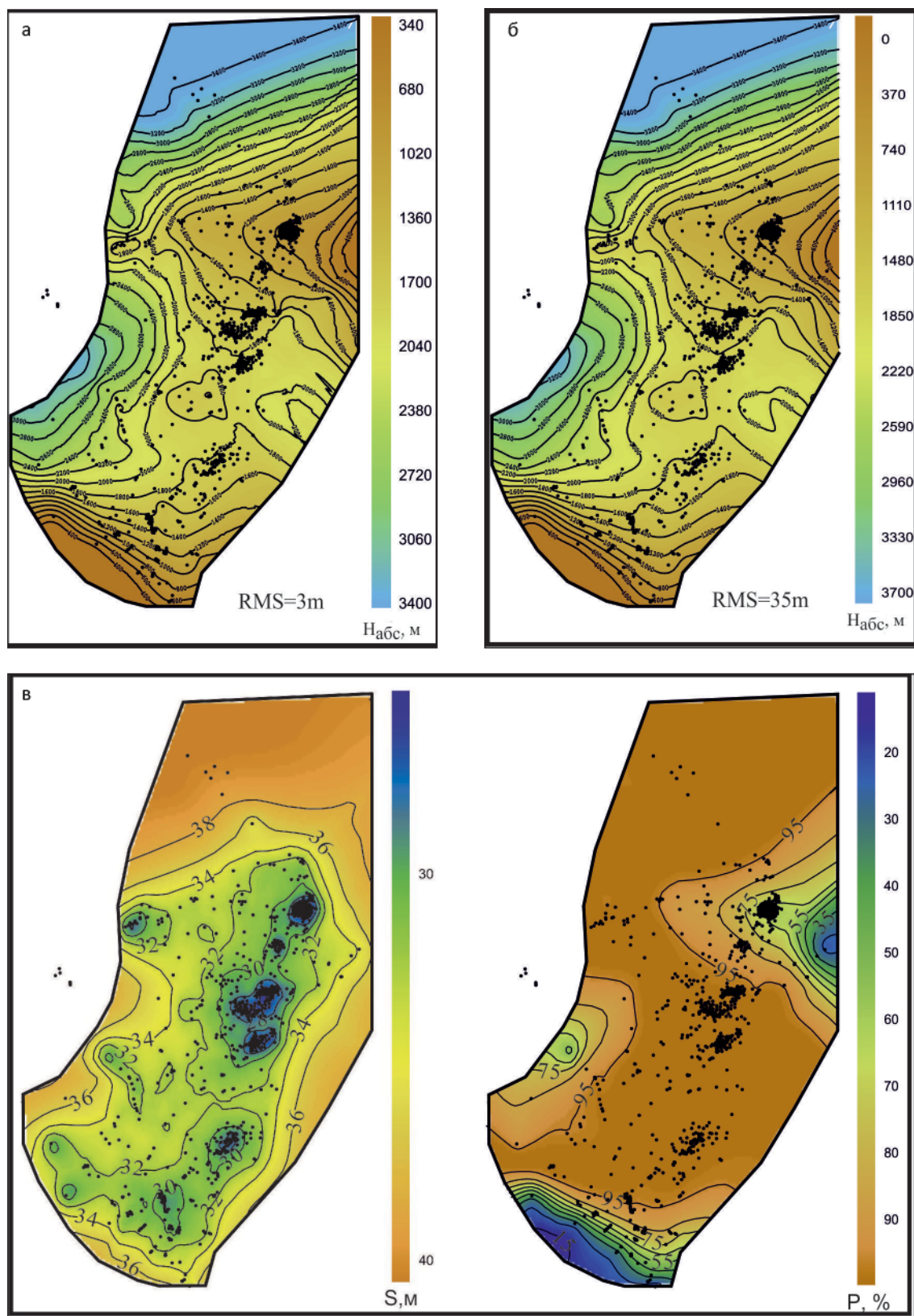


Рис. 3. Пример построения региональной карты глубин кровли осинского пласта доломитов, расположенного в низах усольской свиты (горизонт А): а – построение карты глубин; б – уточнение карты глубин; в – построение карты прогноза погрешностей определения глубин в межскважинном пространстве и карты вероятности этого прогноза ($H_{абс}$, м – абсолютные глубины кровли осинского пласта доломитов; S , м – стандартное отклонение значений глубин; P , % – вероятность определения глубин от порогового значения 70 %; RMS – среднеквадратическая погрешность в точках расположения скважин)

Результаты картопостроений могут уточняться в пределах геолого-тектонических блоков и на отдельных поисковых площадях, если разбуренность

этих объектов высокая. В дальнейшем есть смысл районировать карты вероятностно-статистических оценок в соответствии с плотностью сети наблю-

дений. Оптимизация результатов необходима и по мере поступления новой или дополнительной информации.

Формирование тектонических моделей

Разрывные нарушения оказывают большое, иногда определяющее влияние на поиски, разведку и разработку месторождений полезных ископаемых [6, 7, 13].

Одним из основных направлений развития базы скважинных данных является правильный учет тектонических особенностей юга Сибирской платформы при структурной интерпретации. При построении региональной объемной модели осадочного чехла учитывались разломы подсолевого комплекса осадочного чехла, связанные со строением кристаллического фундамента. Для подготовки моделей разломов использовалась карта разломов юга Восточной Сибири м-ба 1:1 500 000, опубликованная в 1982 г. под редакцией П. М. Хренова.

В соответствии с масштабом региональных работ анализировались и оцифровывались разломы I и II порядков. Морфология этих разломов определяется блоковым строением фундамента. Конфигурация осей разломов уточнялась согласно картам градиентов потенциальных полей под редакцией Б. М. Письменного и В. Ф. Давыдова. Выборка разломов определялась ведущим геологом ИГП И. В. Гинзбургом (рис. 4).

В отложениях осадочного чехла юга Сибирской платформы широко распространены также трапповые включения. На юго-западе НБА трапп находится в верхней части тэтэрской свиты. По мере продвижения на северо-восток к сводовой части НБА трапповый силл ступенчатообразно переходит в более высокие горизонты (усольскую свиту, бельскую свиту). Верхняя часть разреза также характеризуется присутствием трапповых интрузивных и эффузивных тел.

Сложная геометрия траппов создает множество проблем на этапе построения объемной модели, поэтому большие по объему и простираию интрузии, ундулирующие в нескольких свитах, разделялись по возрастному признаку (см. рис. 4).

Анализ морфологии траппов базировался на существующей в рамках предприятия схеме распространения траппов, построенной И. В. Гинзбургом, Д. О. Мамаковым, И. П. Стрельченко. Границы выклинивания траппов уточнялись по скважинным данным и соотносились с разломами (см. рис. 4).

Для каждого траппового тела по скважинным данным стро-

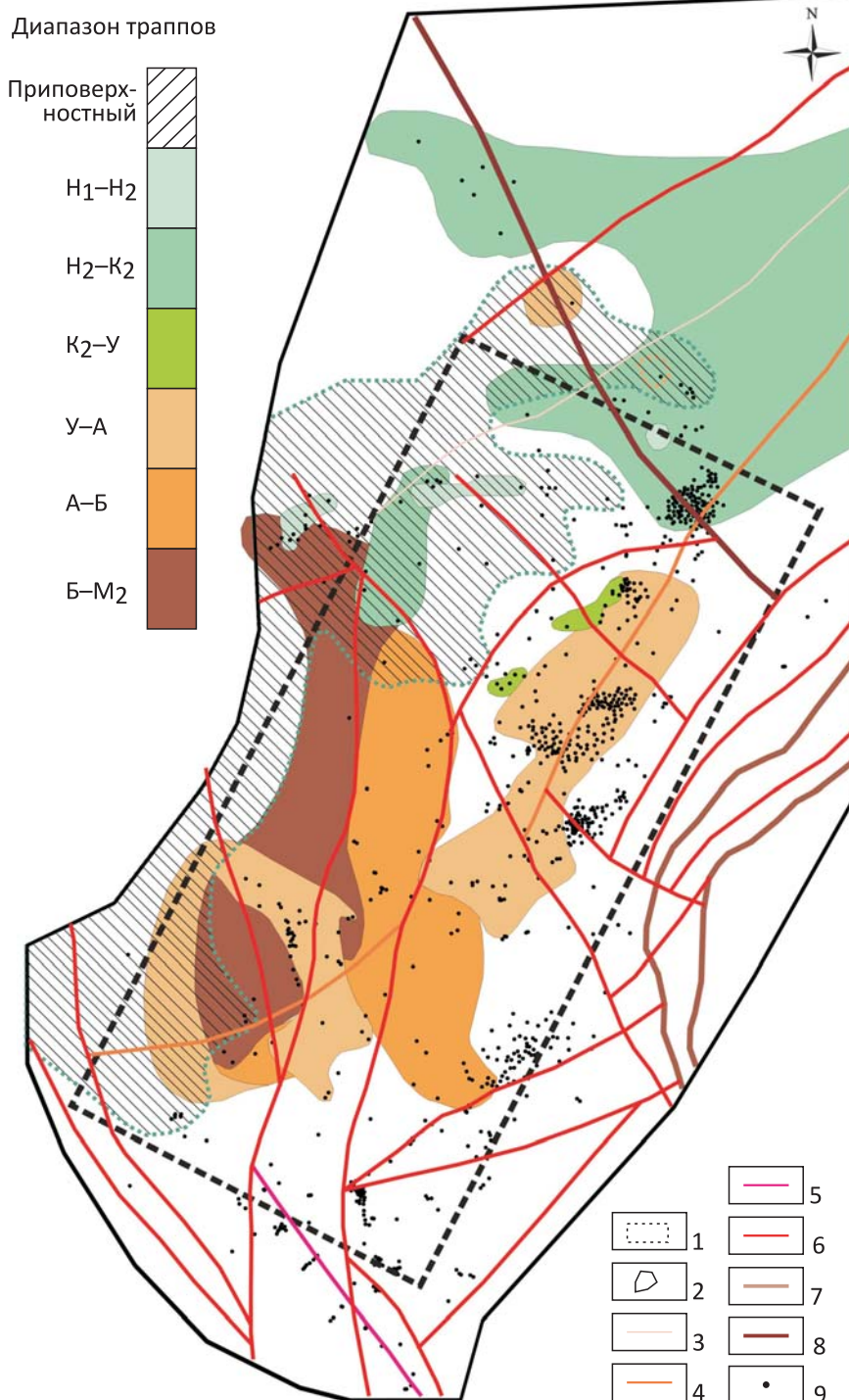


Рис. 4. Схема распространения дизъюнктивной и трапповой тектоники на юге Сибирской платформы

Области построения: 1 — трехмерной модели юга Сибирской платформы, 2 — структурных карт; разломы II порядка: 3 — ПЗ₂₋₃, 4 — ПЗ₁, 5 — PR₂, 6 — PR₁, 7 — AR, I порядка: 8 — PR₁; 9 — скважины глубокого бурения

ились карты кровли, толщин и математически операциями рассчитывались карты подошвы. В межскважинном пространстве при построении траппа учитывалась геологическая гипотеза о его внедрении и распространении. Построенные автоматически по данным бурения карты толщин траппов редактировались таким образом, чтобы добиться пересечения карт кровли и подошвы¹. Построены карты кровли и подошвы для семи трапповых тел. Среднеквадратические ошибки в скважинах не превысили 50 м.

Построение объемной региональной модели

Одной из тенденций развития нефтегазовой отрасли является построение объемных цифровых геологических моделей. Первый шаг при этом – формирование структурно-тектонического каркаса [11]. Для построения объемной модели региона использовано ПО GeoDepth, модуль Canvas (Paradigm Geophysical).

Пространственная региональная модель создана в границах, отличных от границ картопостроений. Это связано, во-первых, с возможностью использовать в текущей версии в качестве геометрического примитива только параллелепипед, а во-вторых, со стремлением использовать область карт, построенных с наименьшей ошибкой (т.е. с регулярной сетью наблюдений).

Входные данные для построения объемной модели, таким образом, можно разделить на три типа: карты целевых литолого-стратиграфических границ осадочного чехла юга Сибирской платфор-

Для построения объемных твердых моделей необходимо и обязательно преобразование всех типов данных в триангуляционные поверхности (далее Т-поверхности) и согласование, т.е. увязка их между собой. При этом такие элементы объемной модели, как карты целевых литолого-стратиграфических границ и модели траппов трансформируются в Т-поверхности кликом мыши с заданием параметров трансформации. В то же время такие элементы, как векторные слои разломов требуют предварительной подготовки: аппроксимации их отрезками (пикирования) на глубину проникновения разлома [4, 11] и соотнесения по интервалам осадочного чехла. Далее отрезки объединяются в Т-поверхности.

Физический смысл увязки готовых Т-поверхностей между собой заключается в удалении каких-либо пересечений элементов и заменой их зонами примыкания [4]. При построении пространственной региональной модели юга Сибирской платформы опробованы несколько вариантов согласования Т-поверхностей.

1. Следование принципам седиментации: объединение сначала элементов согласного залегания, а затем в процессе увязки добавление трапповых включений. При таком подходе твердая модель формируется без учета разрывной тектоники, разломы добавляются в уже построенную модель как секущие поверхности.

2. Согласование по тектонике: выбор основного типа данных, относительно которого будет происходить увязка всех Т-поверхностей. Могут быть

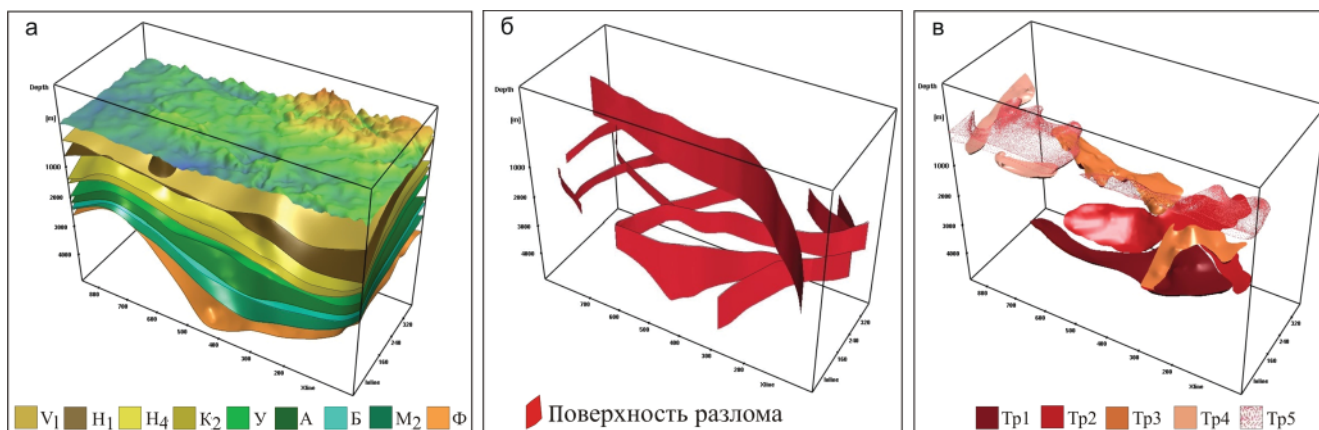


Рис. 5. Подготовка исходных данных для построения объемной региональной модели юга Сибирской платформы: а – триангуляционные поверхности целевых литолого-стратиграфических границ осадочного чехла; б – триангуляционные поверхности разломов I и II порядков; в – триангуляционные поверхности, моделирующие морфологию траппов

мы, сеть разломов I и II порядков, карты кровли и подошвы траппов (рис. 5).

¹ Редакция заключалась во введении изогипсы с нулевым значением толщины вблизи границы выклинивания траппа, что в целом сохраняло геологическую ситуацию для того, чтобы корректно построить модели выклинивающихся интрузий на этапе создания объемной региональной модели.

использованы либо разломы, либо траппы, но сначала следует увязать их между собой и уже затем добавлять другие элементы.

В соответствии с возможностями ПО, используемого в ИГП, построены две твердые модели исследуемого региона, включающие разные типы тектоники: модель с учетом трапповой (рис. 6, а) и разрывной (см. рис. 6, б) тектоники.

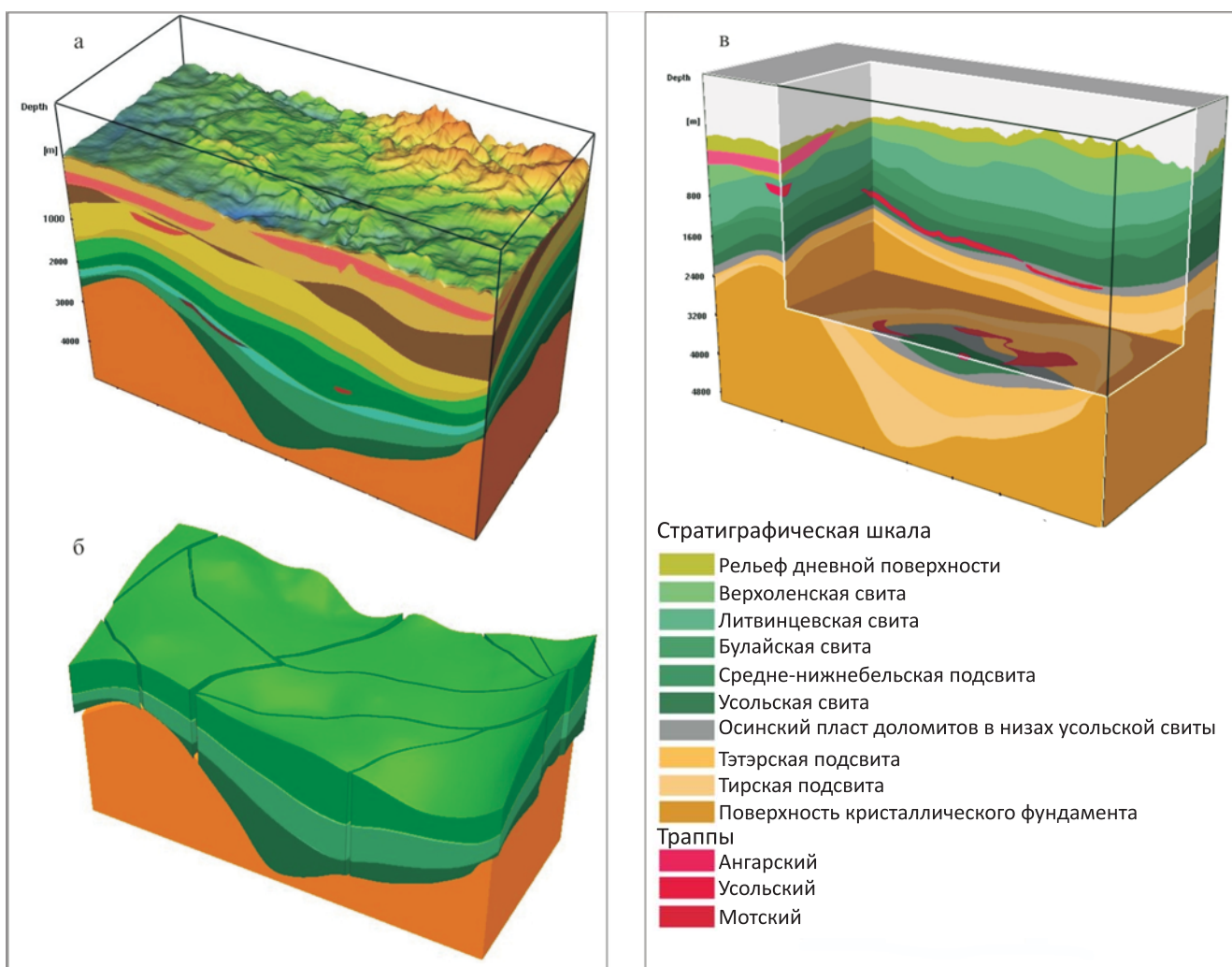


Рис. 6. Объемные региональные модели: а – твердая модель, построенная с учетом трапповой тектоники; б – твердая модель, построенная с учетом дизъюнктивной тектоники; в – куб формаций, построенный по модели а

На взгляд авторов, наибольшее практическое значение для геологов и геофизиков в настоящее время имеет модель, построенная с учетом распространения трапповых включений. Созданный по этой модели куб формаций (см. рис. 6, в) позволяет оперативно строить разрезы по любой траектории, слайсы на любую глубину, просмотреть интересные сечения. При этом результаты могут сопровождаться материалами по пликтивной тектонике.

В соответствии с поставленными задачами:

1. Обобщены и систематизированы результаты скважинной сейсморазведки (ВСП, СК) и ГИС (АК) для 883 глубоких скважин на юге Сибирской платформы.

2. Построены региональные площадные и объемные модели глубин и мощностей для устойчивых по возрасту и составу литолого-стратиграфических интервалов разреза.

3. Сделаны вероятностно-статистические оценки достоверности структурных построений. Априорные модели имеют самостоятельное значение при обработке и интерпретации данных МОГТ:

– в качестве эмпирических трендовых характеристик на всех этапах параметризации разреза;

– для интерпретации локальных объектов в рамках общих региональных представлений; такой подход обеспечивает увязку результатов работ на соседних площадях.

4. Построены согласованные 3D модели осадочного чехла юга Сибирской платформы, характеризующие распространение трапповой и разрывной тектоники.

Рекомендации

Объемные модели – основа для заполнения атрибуными характеристиками: формационными, литологическими, динамическими, петрофизическими и др. Ближайшей перспективой является создание региональной скоростной 3D-модели. Анализ скоростей в пределах тектонических блоков позволит учесть влияние горизонтальной анизотропии и, соответственно, повысить достоверность скоростных оценок, в том числе и при решении задач глубинной миграции.

Для получения качественных результатов структурной интерпретации данных МОГТ в сейсмогеологических условиях юга Сибирской платформы важно учитывать неоднородности приповерхностного разреза.

Даже самая совершенная технология не позволит сделать это без привлечения априорных данных. Поэтому перспективой для развития региональной базы скважинных данных является наполнение ее материалами бурения и ГИС колонковых скважин. Модель ВЧР, адекватная геологическому разрезу, даст возможность минимизировать погрешность построения глубин целевых отражающих горизонтов.

Выводы

Авторы считают, что единственно правильный подход к интерпретации сейсмических данных – реализация принципа «от устойчивых региональных закономерностей – к уточненным локальным особенностям». Этот подход касается анализа и построений не только гипсометрии литолого-стратиграфических границ и интервалов, но и тектонических характеристик геологического строения юга Сибирской платформы.

Полученные результаты регионального 2D-моделирования не противоречат предшествующим исследованиям и в то же время опираются исключительно на данные бурения глубоких скважин, количество которых на юге Сибирской платформы значительно выросло в последние годы.

Впервые региональные структурные карты сопровождаются оценкой результатов не только в точках расположения скважин, но и в межскважинном пространстве.

Авторам неизвестны прикладные работы по построению региональных объемных моделей по скважинным данным на юге Сибирской платформы.

Выполненная работа соответствует начальному приближению 3D-модели исследуемой территории.

Рекламной направленностью статьи может быть привлечение опытных специалистов по тектонике и молодых геологов-энтузиастов для создания в будущем более детальной картины тектонического строения юга Сибирской платформы.

Авторы благодарны специалистам ООО «Парадайм Геофизикал» за помощь и поддержку в процессе работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геостатистика. Теория и практика. – М.: Наука, 2010. – 327 с.
2. Дюбрюл О. Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных. – SEG/EAGE, 2002. – 296 с.
3. Левин С. Ф., Ольнева Т. В. Геологическое моделирование сложнопостроенных сред в программном обеспечении Paradigm SKUA // Науч. тр. SOCAR. – 2010. – № 3. – С. 56–59.
4. Лобацкая Р. М., Стрельченко И. П. Информационные технологии в оценке разломно-блоковых структур урбанизированных территорий (на примере г. Иркутска) // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. – 2014. – № 11(94). – С. 76–88.

5. Мигурский А. В. Дизъюнктивная тектоника и нефтегазоносность платформенных областей: на примере юга Сибирской платформы: автореф. дис. ... д.г.-м. н. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1997. – 26 с.

6. Ольнева Т. В. Современные технологии изучения тектонического строения геологической среды // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2011. – № 4. – С. 148–151.

7. Ольнева Т. В., Сапрыкин Э. В. Интерпретация тектонических нарушений на основе данных экспериментальной тектоники // Технологии сейсморазведки. – 2004. – № 2 – С. 38–41.

8. Оптимизация глубинно-скоростной модели и повышение точности миграционных преобразований на основе данных ВСП и ГИС / Н. В. Труфанова, Ю. А. Наумова, И. В. Гинзбург, В. А. Заравняев // Технологии сейсморазведки. – 2008. – № 3. – С. 29–34.

9. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / А. Э. Конторович, Н. В. Мельников, М. С. Яшкин, Б. Б. Шишкин. – Новосибирск: Гео, 2005. – 488 с.

10. Структурная интерпретация данных МОГТ в сложных сейсмогеологических условиях Восточной Сибири / Н. В. Труфанова, Е. В. Теменёва, И. П. Стрельченко, В. А. Заравняев // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014 – № 2(18). – С. 44–50.

11. Трехмерная геологическая модель – необходимый и обязательный этап изучения нефтегазового месторождения / С. И. Билибин, Т. Ф. Дьяконова, Т. Г. Исакова и др. // Недропользование – XXI век. – 2007. – № 4. – С. 38–42.

12. Труфанова Н. В., Казанцева Е. Е. Построение и оптимизация глубинно-скоростной модели в сейсмогеологических условиях юга Сибирской платформы // Технологии сейсморазведки. – 2005. – № 2. – С. 37–41.

13. Ярошевский В. Тектоника разрывов и складок / пер. с польск. – М.: Недра, 1981. – 245 с.

REFERENCES

1. Demyanov V.V., Savelyeva E.A. *Geostatistika. Teoriya i praktika* [Geostatistics. Theory and practice]. Moscow, Nauka Publ., 2010. 327 p. (In Russ.).
2. Dubrule O. *Ispol'zovanie geostatistiki dlya vklucheniya v geologicheskuyu model' seismicheskikh dannykh* [Geostatistics for Seismic Data Integration in Earth Models]. SEG, EAGE, 2002. 296 p. (In Russ.).
3. Levin S.F., Olneva T.V. [Geological modelling of complex environments in Paradigm SKUA]. *Nauch.tr. SOCAR – SOCAR Proceedings*, 2010, no. 3, pp. 56–59. (In Russ.).
4. Lobatskaya R.M., Strelchenko I.P. [Information technology in estimating fractured and block structures of urbanised territories. A case study from Irkutsk city]. *Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo tekhnicheskogo*

universiteta – *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, 2014, no. 11(94), pp. 76–88. (In Russ.).

5. Migursky A.V. *Diz'yunktivnaya tektonika i neftegazonosnost' platformennykh oblastey: na primere yuga Sibirskoy platformy* [Disjunctive tectonics and petroleum potential of platform regions. A case study from the southern Siberian Platform]. Author's abstract of DSc thesis. Novosibirsk, SNIIGiMS, 1997. 26 p. (In Russ.).

6. Olneva T.V. [Current technologies to study tectonic structure of a geoenvironment]. *Zbirnik naukovikh prats' UkrDGRI – UkrDGRI Collection*, 2011, no. 4, 148–151 pp. (In Russ.).

7. Olneva T.V., Saprykin E.V. [Interpretation of tectonic faults based on experimental tectonics data]. *Tekhnologii seysmorazvedki – Seismic Survey Technologies*, 2004, no. 2, pp. 38–41. (In Russ.).

8. Trufanova N.V., Naumova Yu.A., Ginzburg I.V., Zaravnyaev V.A. [Optimising of a depth-velocity model and improving accuracy of migrating alterations based on VSP and GIS data]. *Tekhnologii seysmorazvedki – Seismic Survey Technologies*, 2008, no. 3, pp. 29–34. (In Russ.).

9. Kontorovich A.E., Melnikov N.V., Yashkin M.S., Shishkin B.B. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Rifey i vend Sibirskoy platformy i ee skladchatogo*

obramleniya [Stratigraphy of petroleum basins of Siberia. The Riphean and Vendian of the Siberian Platform and its folded framing]. Novosibirsk, Geo Publ., 2005. 488 p. (In Russ.).

10. Trufanova N.V., Temeneva E.V., Strelchenko I.P., Zaravnyaev V.A. [CDP data structural interpretation in complex seismic conditions of East Siberia]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2014, no. 2(18), pp. 44–50. (In Russ.).

11. Bilibin S.I., Dyakonova T.F., Isakova T.G., Istomin S.B., Yukanova E.A. [3D geological modelling as a necessary and required stage of petroleum field exploration]. *Nedropol'zovanie – XXI vek – Subsoil Use in the 21st Century*, 2007, no. 4, pp. 38–42. (In Russ.).

12. Trufanova N.V., Kazantseva E.E. [Building and optimisation of a velocity-depth model under seismic conditions of the southern Siberian Platform]. *Tekhnologii seysmorazvedki – Seismic Survey Technologies*, 2005, no. 2, pp. 37–41. (In Russ.).

13. Yaroshevsky V. *Tektonika razryvov i skladok* [Tectonics of folds and fractures]. Translation from Polish by E. Fedak, edited by A.E. Mikhaylov. Moscow, Nedra Publ., 1981. 245 p. (In Russ.).

© Н. В. Труфанова, И. П. Стрельченко,
А. А. Пешкова, И. В. Гинзбург, 2017