

УДК 553, 982-047.58(571.121)

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ ОБЪЕМНОЙ
СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ БУРЕНИЯ
СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ СТРУКТУРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

IMPROVING THE EFFICIENCY OF FIELD DEVELOPMENT IN APPLYING
HIGH-RESOLUTION VOLUMETRIC SEISMIC AND GEOLOGICAL SUPPORT DRILLING
IN THE STRUCTURAL UNCERTAINTY THREE-DIMENSIONAL GEOLOGICAL MODEL

Р. М. Бембель, И. А. Щетинин

R. M. Bembel, I. A. Schetinin

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

*Ключевые слова: геонавигация; структурная неопределенность; геологическая модель;
субвертикальные зоны деструкции; геосолитоны*

Key words: geosteering; structural uncertainty; geological model; subvertical destruction zone; geosoliton

Снижение цен на нефть на мировом рынке поставило задачу существенного повышения геолого-экономической эффективности разработки месторождений в Западной Сибири. Главными направлениями успешного разрешения поставленной задачи, осно-

ванной на снижении структурной неопределенности трехмерных геологических моделей, является оптимальное размещение системы добычи в районе высокодебитных зон. При этом при разработке можно выделить два главных технологических направления: 1) детальная высокоразрешающая объемная сейсморазведка (ВОС) с построением карт в масштабе 1:10000; 2) геонавигация горизонтальных и боковых скважин;

Результаты ВОС на месторождениях в Среднем Приобье.

В период 1993–1996 гг. были проведены полевые детализационные работы по технологии кольцевой ВОС на участках Самотлорского, Западно-Варьёганского, Западно-Алехинского и Северо-Хохряковского месторождений. По результатам работ построены детальные карты локальных очагов высокодебитных зон добычи в масштабе 1:10000, сделаны рекомендации и выводы, изложенные в [1].

На первом куполе Западно-Варьёганского месторождения компания «Белые ночи» провела контрольную проверку результатов ВОС, которая показала подтверждение результатов в 76 % случаев.

Геосолитонная модель геологических процессов формирования локальных высокодебитных систем залежей углеводородов изложена в работах [2, 3].

По результатам ВОС на Приобском нефтегазовом месторождении были впервые определены основные закономерности геометрических параметров и пространственного распределения геосолитонных высокодебитных систем залежей, формирующихся в субвертикальных зонах деструкции (СЗД) горных пород, по которым из глубинных геосфер Земли поступают газы и углеводороды.

На рис. 1 представлена гистограмма поперечных размеров горизонтальных сечений СЗД, построенная по материалам ВОС на одном из участков Приобского месторождения. Из анализа данных ВОС и представленной гистограммы вытекают следующие практические выводы:

- суммарная площадь всех высокодебитных зон на месторождении составляет около 10 % от общей площади месторождения;
- абсолютно преобладают малоразмерные в плане высокопродуктивные зоны с диаметром менее 200 м (90 %) и менее 100 м (70 %);
- абсолютное большинство низкодебитных скважин на месторождении находится на территориях, удаленных от геосолитонных очагов на расстояние более 500 м;
- низкие показатели добычи на месторождениях Среднего Приобья в основном связаны с традиционной равномерной системой размещения добывающих скважин, из которых лишь десятая часть случайно попадает в геосолитонные высокодебитные зоны. Как правило, в этих зонах обеспечивается основная накопленная добыча на большинстве разрабатываемых месторождений Среднего Приобья.

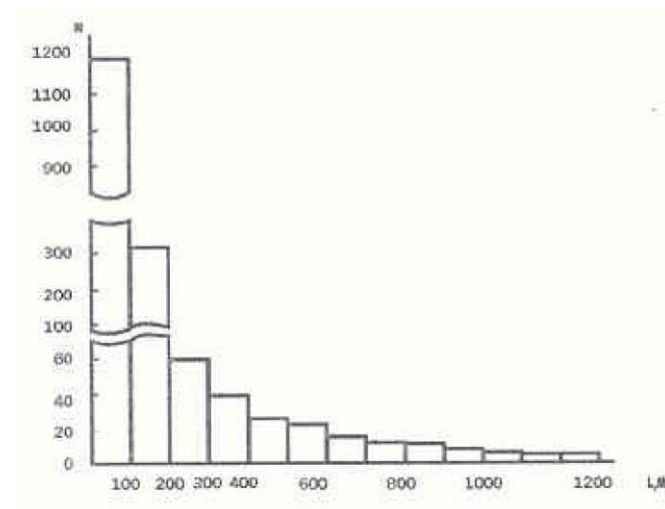


Рис. 1. Гистограмма поперечных размеров горизонтальных сечений СЗД

Важность положения ствола в районах высокодебитных зон может быть решена применением технологии геологического сопровождения бурения, используемой в первую очередь при бурении скважин с горизонтальным окончанием.

Основные задачи сопровождения бурения: привязка скважины и корректировка точки Т1 и самого планового профиля, определение положения ствола скважины на горизонтальном участке, прогноз поведения пласта, максимальная эффективность проходки по коллектору с наилучшими ФЕС и максимальным коэффициентом нефтегазонасыщенности, снижение возможных технических рисков. Для решения данных задач необходим комплексный подход с анализом геологической и геофизической информации.

Во многих случаях основой для сопровождения бурения является геологическая модель различной сложности, где представляется плановый профиль прохождения горизонтального участка скважины по наилучшему сценарию. Необходимость дальнейшего сопровождения бурения может объясняться допустимой ошибкой инклинометрии скважин окружения, некорректностью построения модели, низкой геолого-геофизической изученностью района бурения, сложностью строения объекта разработки.

При построении геологической модели в существующих программных пакетах в большинстве случаев используется представление геостатистики, при котором реальный объект — пласт (рис. 2 а) — упрощается посредством математического моделирования. При структурном моделировании поверхность представляется пространственной величиной «х», которая является непрерывной в пространстве, а ее значение величины в каждой точке пространства является реализацией случайной функции $F(x) = X$, где X — частное случайное значение величины x . Величина X всегда стремится к своему среднему значению X_0 , а среднеквадратичное отклонение $(f(X) - f(X_0))^2$ стремится к нулю. Данные математические свойства отражают простое положение — объекты, явления и процессы, которые расположены ближе в пространстве, являются более подобными между собой по сравнению с теми, которые более удалены друг от друга.

Следующим положением является определение стационарности или нестационарности данной величины (рис. 2 б). Нестационарной принимается величина, распределение в пространстве которой описывается выделением тренда $m(x)$ и случайного стационарного остатка $R(x)$, сумма которых в идеальном случае равна нулю. При стационарности переменной отсутствует тренд, и данная величина является флуктуацией.

В результате структурных построений получаемый структурный тренд является математическим ожиданием, наиболее вероятным для реальной среды (рис. 2 в). Для достоверности построения необходима репрезентативность (достоверность) выборки. Репрезентативность выборки означает, что с некоторой заранее заданной или вычисленной погрешностью можно отождествлять установленное на выборочной совокупности распределение изучаемых признаков с их действительным распределением в генеральной совокупности. Другими словами, репрезентативность выборки — это ее способность отражать наиболее значимые характеристики генеральной совокупности. В практическом аспекте это означает подтверждение «скважинного тренда».

На рис. 2 г приводится случай низкой разбуренности площади, при которой в процессе бурения возможно прогнозировать выход из целевого интервала в подошвенную часть, что приведет к значительной коррекции структуры. При недостоверности (нерепрезентативности) выборки модель и существующие скважинные наблюдения не отражают реального залегания области пласта, в котором прокладывается горизонтальный участок скважины. При построении структурной модели исходными данными могут являться скважинные отбивки (скважинные наблюдения), изолинии, полученные путем оцифровки, и различные виды информации сейсморазведки. Эти данные являются «входными» при построении геологической модели, и от их достоверности зависит качество прогноза поведения пласта при планировании скважины.

При уменьшении объема геолого-геофизической информации значимость ее достоверности кратко возрастает. Ошибка определения абсолютной отметки положения кровли пласта в несколько метров может привести к изменению скважинного тренда модели, а также приведет к дополнительному усилению структурной неопределенности (рис. 2 д).

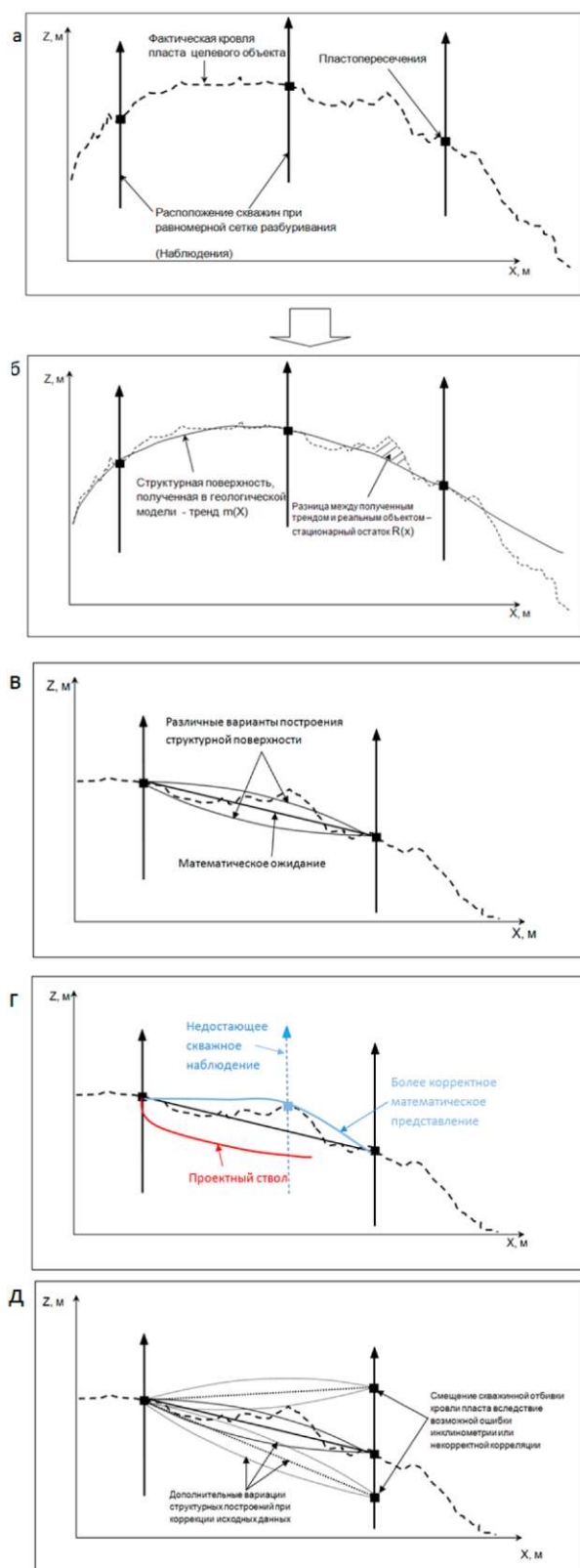


Рис. 2.
Геологическое моделирование схематического расположения скважин

а) по отношению к возможной реальной структуре кровли пласта;

б) с нанесением смоделированной структурной поверхности;

в) при различных вариантах структурных построений;

г) в случае коррекции модели при появлении дополнительного скважинного наблюдения;

д) с нанесением множества вариантов структурных построений при допущении ошибки в исходных данных

Пример сопровождения скважины при неподтверждении структурного тренда.

В процессе сопровождения бурения имеет значение именно частный случай для конкретной скважины. Сква. 555 сопровождалась при наличии пилота, удаленного от забоя горизонтальной части ствола на 200 м (рис. 3 а). На структурные построения оказывают влияние скв. 474, 869, 769 и 555, которые гипсометрически находятся выше, это означает, что в межскважинном пространстве, вероятно, будет наблюдаться постепенное погружение структуры в направлении бурения с углом падения 1,8–2,2 градуса. Структура по факту бурения скв. 555 имеет угол падения 3,2–4,1 градуса, что привело к потере порядка 120 м проходки при повторном вскрытии кровли пласта (рис. 3 б, рис 3 в).

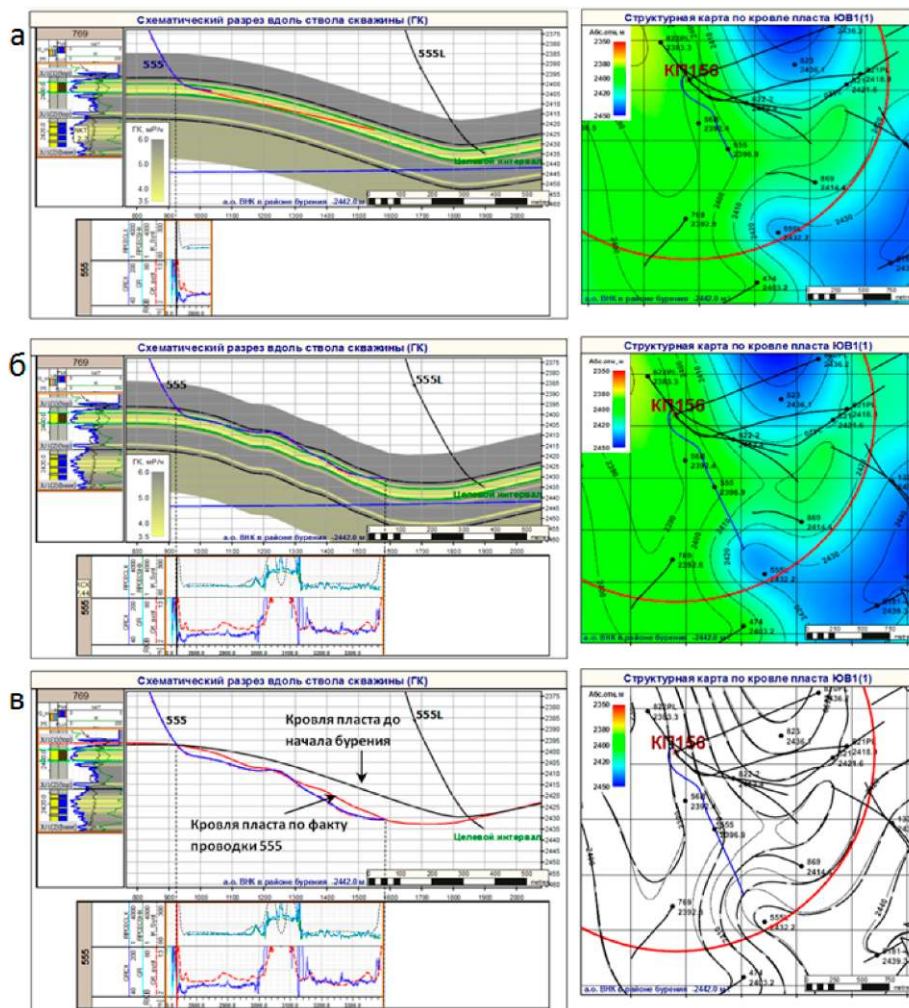


Рис. 3. Планиет сопровождения скв. 555: а) вход в пласт; б) окончательный забой; в) сопоставление поверхности кровли пласта «до» и «после» бурения

Пример сопровождения скважины в условиях недостаточной геолого-геофизической изученности. Примером недостаточной разбуренности района бурения горизонтальной скважины является случай сопровождения скв. 529. Первоначально предполагалась проходка горизонтальной секции по пологому участку склона (рис. 4 а). Изменение представления о районе бурения возникло в результате выхода из целевого пласта в кровельную часть (рис. 4 б). После корректировки на сбитие зенитного угла и настройки модели на точку возврата в целевой пласт было зафиксировано

падение пласта в направлении бурения. Фактический забой был расположен на абсолютной отметке $-2\ 379,6$ м при плановой абсолютной отметке забоя скважины на $-2\ 363,8$ м (рис. 4 в.) (коррекция забоя $15,8$ м «ниже»). Без геологического сопровождения потеря проходки по коллектору возросла бы на 30% , а также часть ствола пролегла по коллектору низкого качества. Но даже при сопровождении бурения потери ствола, по причине неподтверждения структурной модели, составили порядка 125 м.

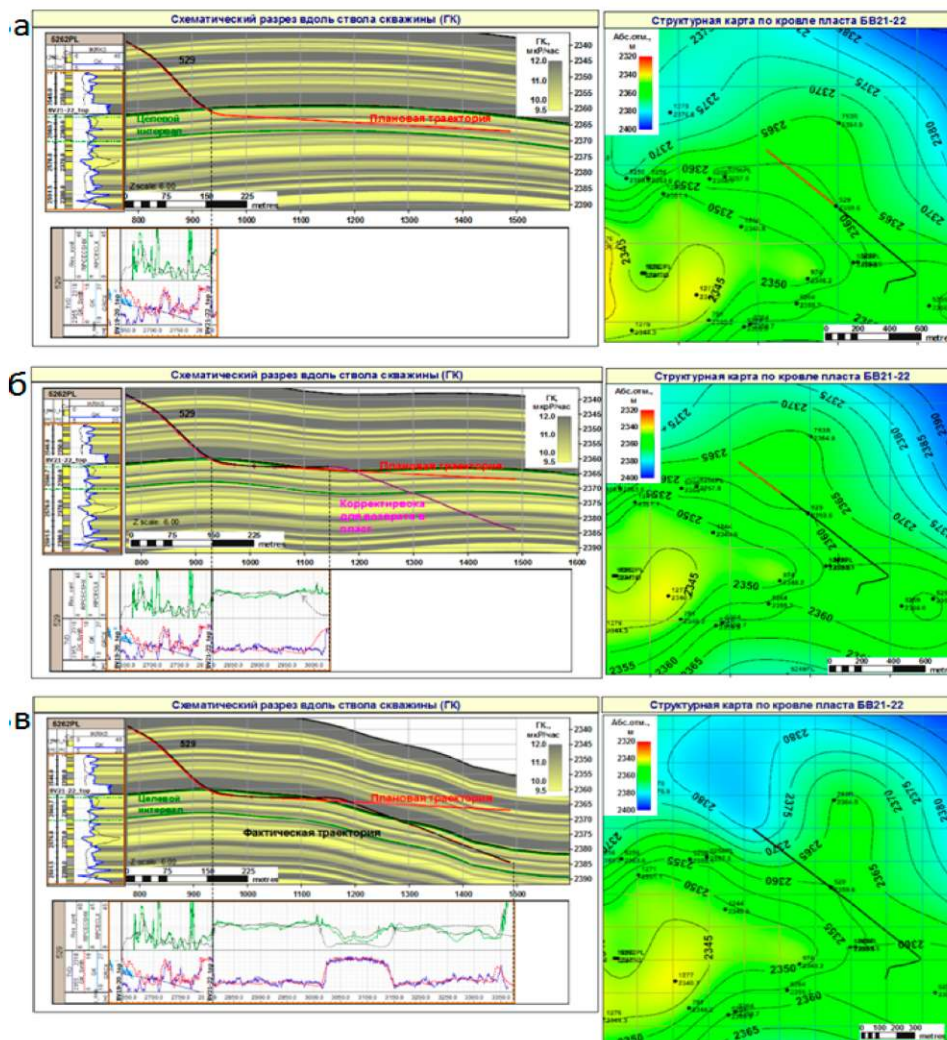


Рис. 4. Планшет сопровождения скв. 529: а) вход в пласт; б) выход из целевого интервала; в) окончательный забой

Пример сопровождения скважины при коррекции исходных данных.

При сопровождении горизонтального участка резки бокового ствола скв. 4756-2 предварительный гироскоп в «материнском» стволе привел к смещению ствола на $75\text{--}90$ м на юго-запад, а также «просадке» структуры на $6,2$ м «вниз» по абсолютным отметкам (рис. 5).

В принятой стратегии бурения отсутствие данной информации могло привести к потере части ствола при слишком раннем наборе зенитного угла или вскрытии подошвы целевого интервала при доверии «ложной» абсолютной отметки кровли пласта и развороту ниже коллектора.

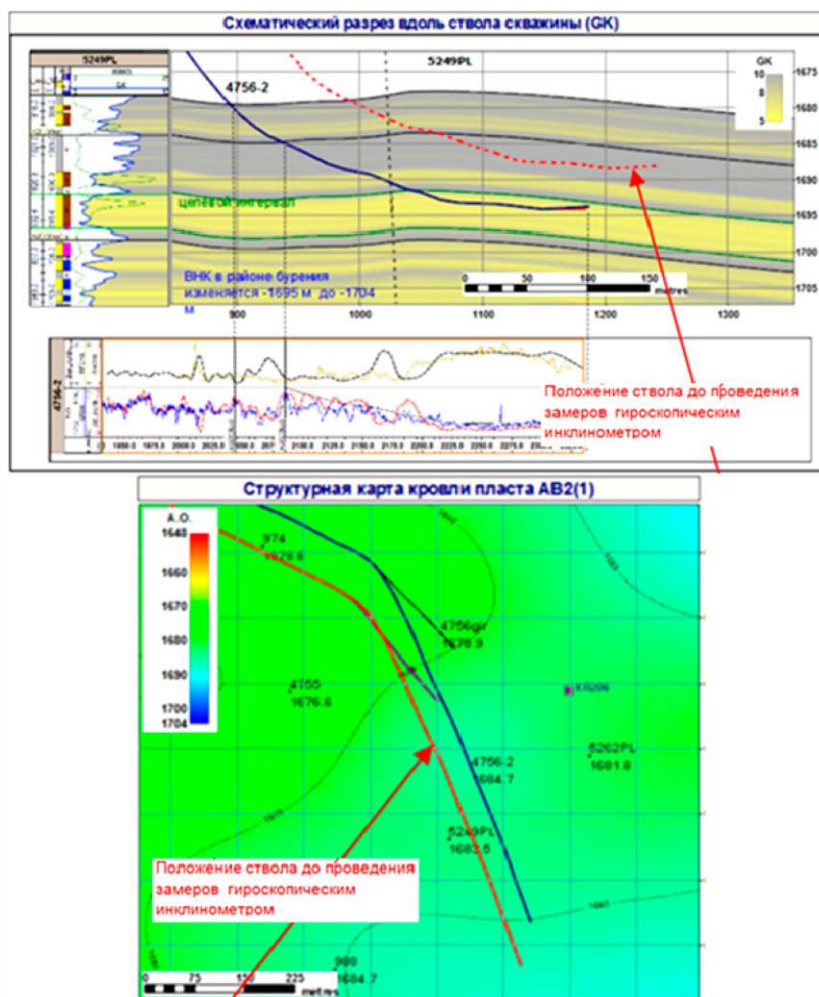


Рис. 5. Планшет сопровождения скв. 4756-2 с нанесением фактического ствола скважины (пунктирная красная линия — по данным магнитного инклинометра; сплошная линия — по данным повторного замера гироскопическим инклинометром)

Пример сопровождения скважины в случае латеральной изменчивости разреза.

Реальное геологическое строение среды не всегда возможно описать математическим упрощением. Всегда важно помнить о геологической концепции строения пласта и учитывать, что методы подстройки синтетической кривой, применяемые при сопровождении бурения, носят условный характер.

При сопровождении двухзбойной скв. 5 376 отмечалось противоречие между пилотным стволом и фактическими данными.

Противоречие заключалось в прохождении второй части ствола по коллектору со значительно лучшими свойствами, на что косвенно указывают пониженные значения гамма-каротажа и, главное, повышенные сопротивления (порядка 10–17 Ом*м). Пилотный ствол характеризовал целевой интервал как два пропластка с пониженным насыщением (рис. 6 а). Гипотеза о том, что показания методов ГИС второй части ствола скв. 5376-1 относятся к целевому интервалу, не подтвердилась, так как при преждевременном сбитии зенитного угла была «отбита» подошва, и полученная информация указывала на соответствие разреза пилотному стволу (рис. 6 б). Вторая часть ствола также характеризуется улучшением качества коллектора.

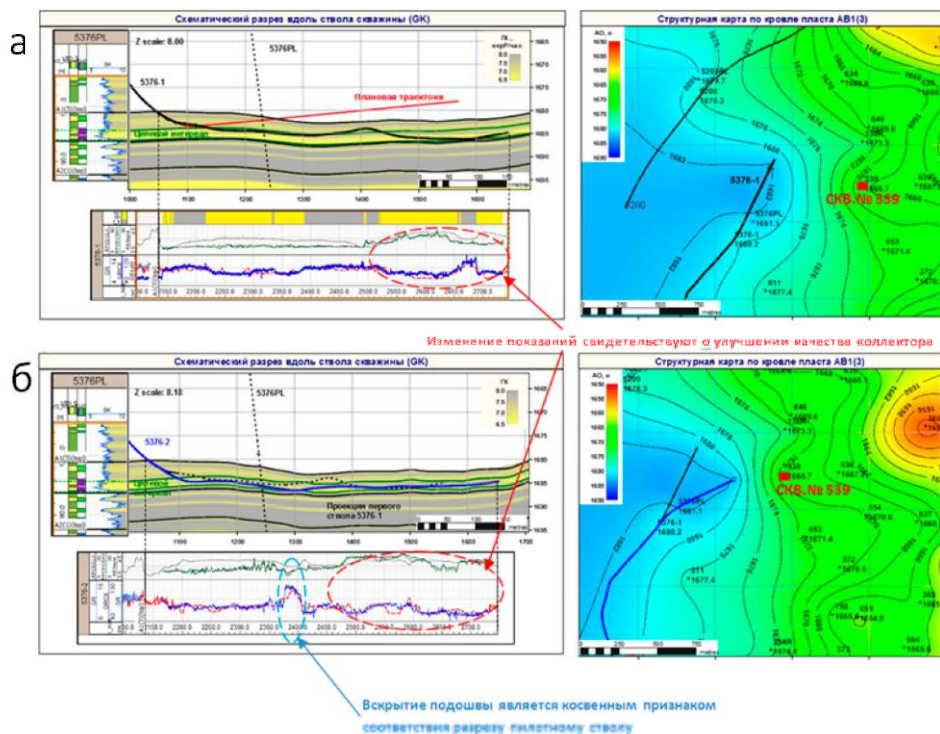


Рис. 6. Планшет сопровождения, окончательный забой:
а) скв. 5376-1; б) скв. 5376-2

Другим противоречием являлось резкое несогласие привязки показаний по структурному плану.

В результате наиболее вероятным объяснением является приобщение руслового тела, которое вскрыто рядом скважин в районе бурения. В том числе скв. 539, в направлении которой велось бурение (рис. 7). Обновление постоянно действующей геолого-гидродинамической модели также это подтверждает (рис. 8).

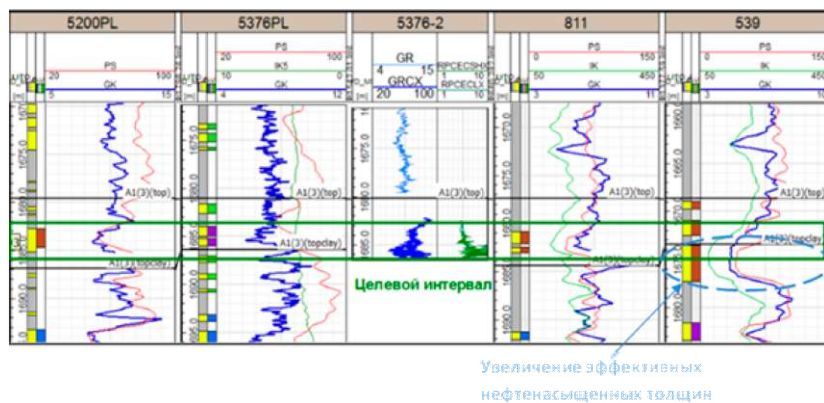


Рис. 7. Схема корреляции скважин окружения в районе бурения скв. 5376-2

Для скв. 5376 необходимо отметить, что в отсутствии сопровождения бурения пропласток с улучшенными ФЕС не был бы приобщен. Данная «проводка» горизонталь-

ного ствола обеспечивает максимальный потенциал при освоении скважины и потенциально способна дать максимальную накопленную добычу.

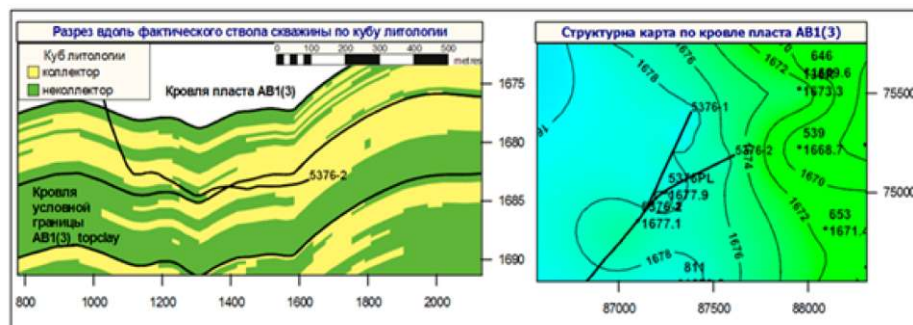


Рис. 8. Разрез вдоль фактического ствола скв. 5376-2 по кубу литологии и структурная карта кровли пласта AB1(3) после обновления геологической модели по результатам бурения

Несовершенство методов математического моделирования, погрешность методов измерения инклинометрии и недостаточная геолого-геофизическая изученность являются основными причинами возникновения структурной неопределенности в процессе геологического сопровождения бурения горизонтальных скважин. Для снижения возможных рисков и большей достоверности прогноза по геологической модели рекомендуется:

- предварительное проведение замеров инклинометрии гироскопическими инклинометрами в материнских стволах при реализации боковых зарезок горизонтальных стволов и скважинах окружения района бурения, а также пилотных и транспортных стволах;
- использование данных и результатов интерпретации сейсморазведки при построении геологической модели и анализа района бурения горизонтальной секции.

Но даже при наличии 3Д геологической модели остаются неопределенности в структурном плане и выдержанности коллекторов и их фильтрационно-емкостных свойств в межскважинном пространстве. Геологическая модель всегда является определенной степенью упрощения реального строения объекта и не способна отобразить той детальной неоднородности, которая наблюдается при горизонтальном бурении. В связи с этим, неотъемлемой частью при строительстве горизонтальных скважин является сопровождение бурения в режиме реального времени.

Список литературы

1. Бембель Р. М., Мегеря В. М., Бембель С. Р. Геосолитоны: функциональная система Земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. – Тюмень: Вектор Бук, 2003. – 344 с.
2. Бембель Р. М., Мегеря В. М., Бембель А. Р. Очаги генерации глубинных углеводородов в геосолитонной концепции Земли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://conference.deerpoil.ru/index.php/materials/abstracts>
3. Мегеря В. М. Поиск и разведка залежей углеводородов, контролируемых геосолитонной дегазацией Земли: Монография. – М.: Локус Станди, 2009. – 256 с.
4. Кульчицкий В. В. Проектирование специальных профилей и разработка технологии бурения наклонно-направленных скважин применительно к эксплуатации месторождений механизированными способами: автореферат диссертации на соискание ученой степени к. т. н. – Тюмень, 1984.
5. Кульчицкий В. В. История и перспектива геонавигации пологих и горизонтальных скважин в Западной Сибири // Технологии нефти и газа. – 2010. – № 5.
6. Кульчицкий В. В. Геонавтика — неременное условие развития нефтегазовых технологий будущего // Технологии нефти и газа. – 2005. – № 5-6. – С. 74-80.
7. Павлов Е. Ю. Технологии для бурения и заканчивания скважин в Западной Сибири. Преимущества направленного бурения с геонавигацией // Инженерная практика. – 2012 – № 5.

Сведения об авторах

Бембель Роберт Михайлович, д. г.-м. н., профессор кафедры «Прикладная геофизика», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)465822

Щетинин Иван Александрович, аспирант, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89125193885

Information about the authors

Bembel R. M., Doctor of Geology and Mineralogy, professor of the chair «Applied Geophysics», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)465822

Schetinin I. A., postgraduate of the Tyumen State Oil and Gas University, phone: 89125193885