

ОПЫТ КРОСС-ВАЛИДАЦИИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И ПРОМЫСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПОСТРОЕНИЯ 3D ГЕОЛОГО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ ОДНОГО ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д.И. Жигулина, С.Ш. Исхакова, В.Ю. Климов, М.В. Наугольнов

Научно-Технический Центр «Газпром нефти» (ООО «Газпромнефть НТЦ»)

Электронные адреса: Zhigulina.DI@gazpromneft-ntc.ru, Iskhakova.SSh@gazpromneft-ntc.ru

Традиционный подход, заключающийся в последовательном создании петрофизической, геологической, а затем гидродинамической моделей, приводит к росту временных и трудовых затрат и нередко к увеличению сроков выполнения задач из-за итеративности процесса агрегирования геолого-геофизической информации в единую концептуальную трехмерную модель месторождения. С целью сокращения административных ресурсов на создание 3D геолого-гидродинамических моделей предлагается кросс-валидационная схема взаимодействия, заключающаяся в построении упрощенных гидродинамических моделей (бокс-моделей) на этапе петрофизического и раннем этапе геологического моделирования. Применение данного подхода на исследуемом месторождении Западной Сибири позволило не только сократить время создания модели, но и качественно повысить уровень ее прогнозной способности, а также согласованности различных источников геолого-геофизической информации без потери данных между этапами работ. Предлагаемый кросс-валидационный подход может быть тиражирован на любые другие проекты по геолого-гидродинамическому моделированию.

Ключевые слова: 3D моделирование, бокс-модели, шельф, анализ неопределенностей, регионы ОФП

EXPERIENCE OF CROSS-VALIDATIONAL INTERACTION AT THE CONSTRUCTION OF 3D
GEOLOGICAL-HYDRODYNAMIC MODEL ON THE EXAMPLE OF THE WEST SIBERIA DEPOSIT

D.I. Zhigulina, S.Sh. Iskhakova, V.Yu. Klimov, M.V. Naugolnov

Gazpromneft NTC LLC, RF, Saint-Petersburg

The traditional approach of consistently creating a petrophysical, geological, and then a dynamic model leads to an increase in time and labor costs and, often, the disruption of time due to the iterative process of aggregating geological and geophysical information into a single conceptual three-dimensional model of the field. In order to reduce administrative resources for the creation of 3D geological and dynamic models, a cross-validation interaction scheme is proposed that consists in constructing simplified dynamic models (box models) at the petrophysical stage and early stage of geological modeling. The use of this approach to the field of Western Siberia has made it possible not only to shorten the time of the model creation, but also to improve its level of predictive ability and the consistency of various sources of geological and geophysical information without loss of data between the stages of work. The aim of the work was to improve the quality and level of thoroughness of 3D geological and dynamic models and reduce labor costs. The proposed cross-validation approach can be replicated to any other geological and dynamic modeling projects.

Keywords: 3D modeling, box models, shelf, uncertainty analysis, relative phase permeability regions, flow unit

DOI: 10.24887/2587-7399-2019-2-10-14

ВВЕДЕНИЕ

Традиционный подход, заключающийся в последовательном создании петрофизической, геологической и гидродинамической моделей [1], приводит к росту временных и трудовых затрат и нередко к увеличению сроков выполнения задач из-за итеративности процесса агрегирования геолого-геофизической информации в единую концептуаль-

ную трехмерную модель месторождения. С целью сокращения административных ресурсов на создание 3D геолого-гидродинамических моделей предлагается кросс-валидационная схема взаимодействия, заключающаяся в построении упрощенных гидродинамических моделей (бокс-моделей) на этапе петрофизического и раннем этапе геологического моделирования. Применение данного подхода на исследуемом месторождении Западной Си-

бири позволило не только сократить время построения модели, но и качественно повысить уровень ее прогнозной способности и согласованности различных источников геолого-геофизической информации без потери данных между этапами работ.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ

Отложения изучаемого объекта сформированы в ахское время в мелководно- и прибрежно-морских условиях [2] и представлены переслаиванием мелкозернистых и уплотненных песчаников, алевролитов и аргиллитов. Над кровлей пласта залегает сармановская глинистая пачка, которая, являясь региональным репером, позволяет уверенно выделять кровлю пласта по данным геофизических исследований скважин (ГИС) (толщина пласта по скважинам исследуемого участка составляет 10-25 м) [3]. При выделении подошвы пласта возникает большая неопределенность, поэтому подошва была установлена по смене фациальной обстановки осадконакопления на основе керновых данных – ниже данной границы вскрыты турбидиты ачимовской толщи [4].

Всего на объект пробурена 41 скважина, по 25 скважинам имеются данные эксплуатации, из двух скважин отобран керн. На керне были выполнены стандартные исследования, фильтрационные исследования не проводились, поэтому форма кривых относительных фазовых проницаемостей (ОФП) является неизученным параметром и используется для адаптации модели.

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗРЕЗА

Согласно результатам анализа керна пласт разделен на две пачки пород, соответствующих петротипам 1 и 2 [5, 6].

– Песчаники петротипа 1 (верхняя пачка) имеют лучшие фильтрационно-емкостные свойства по сравнению с песчаниками петротипа 2: размер зерен преимущественно 0,1–0,2 мм, характеризуются повышенной проницаемостью (средний коэффициент проницаемости $k_{пр} = 15 \cdot 10^{-3}$ мкм², максимальный $k_{пр} = 60 \cdot 10^{-3}$ мкм²) и пониженной остаточной водонасыщенностью.

– Песчаники петротипа 2 (нижняя пачка) имеют размер зерен преимущественно 0,063–0,125 мм, характеризуются меньшей проницаемостью (средний $k_{пр} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ мкм², максимальный $k_{пр} = 2 \cdot 10^{-3}$ мкм²) и более высокой остаточной водонасыщенностью по сравнению с песчаниками петротипа 1. Данная типизация разреза успешно применяется для двух скважин, из которых был ото-

бран керн, но при распространении этого подхода на другие скважины возникает большая неопределенность, так как четкие количественные и качественные критерии выделения петротипов по данным ГИС отсутствуют. В связи с этим положение промежуточной отбивки, разделяющей две пачки, является одной из ключевых неопределенностей геологической модели (ГМ). Для учета указанной неопределенности по каждой скважине были установлены три возможных положения, соответствующих минимальной, средней и максимальной толщине верхней пачки. Предыдущая итерация построения геологической и гидродинамической (ГДМ) моделей с использованием традиционного подхода (в частности, выделение неколлектора на этапе построения петрофизической модели) показывала низкий уровень адаптации ГДМ. В связи с этим было принято решение использовать отсечки по песчаности и пористости для каждого литотипа в качестве инструмента адаптации ГДМ.

ПРОВЕДЕНА АДАПТАЦИЯ ПОЛНОМАСШТАБНЫХ ГДМ ПО СЦЕНАРИЯМ P10-P50-P90, ОСНОВНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ АДАПТАЦИИ ЯВЛЯЛИСЬ КРИВЫЕ ОФП, ЕДИНЫЕ ДЛЯ КАЖДОГО FLOW UNIT, ГЕОМЕТРИЯ ТРЕЩИН ГРП И АВТОГРП. ТАКОЙ ПОДХОД К АДАПТАЦИИ ГДМ ПОЗВОЛЯЕТ БОЛЕЕ УВЕРЕННО ПРОГНОЗИРОВАТЬ ПОКАЗАТЕЛИ ДОБЫЧИ ПРОЕКТНЫХ СКВАЖИН

Для учета в ГМ слоистой глинистости по разрезу и последующего корректного распространения свойств, а также во избежание резких барьеров в ГДМ при построении ГМ использовалась непрерывная кривая песчаности, которая рассчитывалась по данным гамма-каротажа. При таком подходе каждый прослой, независимо от того, какой ему соответствует литотип, имеет ненулевые значения свойств пористости, проницаемости и насыщенности. Для корректного распространения литологии и свойств внутри каждого литотипа был применен подход, заключающийся в комбинации петротипа и соответствующей ему литологии, таким образом, было получено восемь литофаций (рис. 1).

Так как площадь моделирования (294 км²) характеризуется низким охватом керновыми данными (расстояние между двумя скважинами, из которых отобран керн, составляет 1,3 км), другой важной неопределенностью является насыщенность. Для учета этого параметра были построены две модели насыщенности:

– модель J-функции Леверетта по керновым данным;

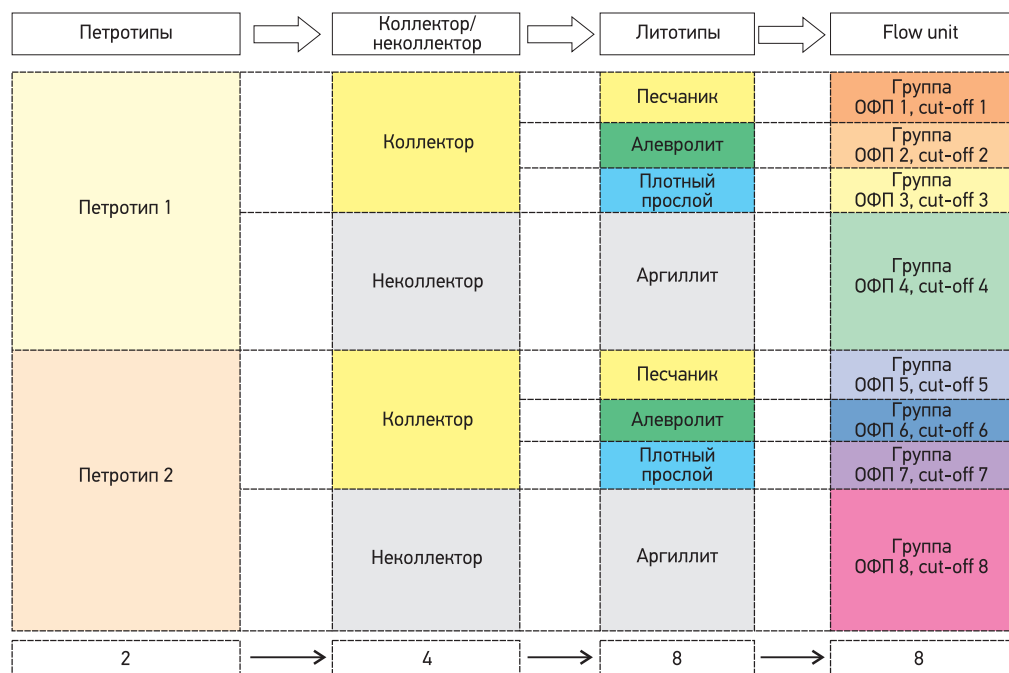


Рис. 1. Моделирование куба литологии и выбору отсечек по бокс-моделям

– модель J -функции Леверетта по данным каротажей насыщенности. Рассчитанные кривые насыщенности, а также распределения по разрезу значений пористости, песчаности и проницаемости были переданы в гидродинамические бокс-модели с целью настройки петрофизических параметров на величины стартовой обводненности и продуктивность скважин эксплуатационного фонда.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ БОКС-МОДЕЛИ

Значительным отличием предлагаемого метода является использование бокс-моделей на этапе анализа исходной информации. Традиционный подход предполагает расчет одной полномасштабной ГДМ с использованием стандартного программного обеспечения. В процессе адаптации ГДМ, как правило, выявляются ошибки в изучении исходной информации, построении петрофизической и геологической моделей. Использование бокс-моделей позволяет минимизировать риск возникновения неточностей на этапе создания полномасштабной ГДМ, так как петрофизические и геологические данные для построения моделей проверяются для каждой скважины, при этом бокс-модели формируются автоматически, что требует меньше времени, чем создание полномасштабной ГДМ. Время расчета также значительно меньше, что особенно важно для крупных месторождений со сложной структурой и большим числом скважин. Бокс-модели были построены для каждой скважины при помощи автоматической гене-

рации кубов из las-файлов [7]. Свойства распределались непрерывно в пределах одного слоя 3D модели без структурных вариаций. Для каждой скважины построены две модели, основанные на двух моделях насыщенности. Внешний вид бокс-модели представлен на рис. 2.

К основным задачам на этапе адаптации бокс-моделей относятся:

- валидация модели насыщенности и FWL (free water level);
- валидация проницаемости и настройка продуктивности и обводненности скважин на стартовые (первые 6 мес) режимы работы;
- первичная оценка концевых точек ОФП для определения стартовой продуктивности скважины;
- оценка величины отсечек по минимальным значениям песчаности и пористости.

Перед началом адаптации бокс-моделей на

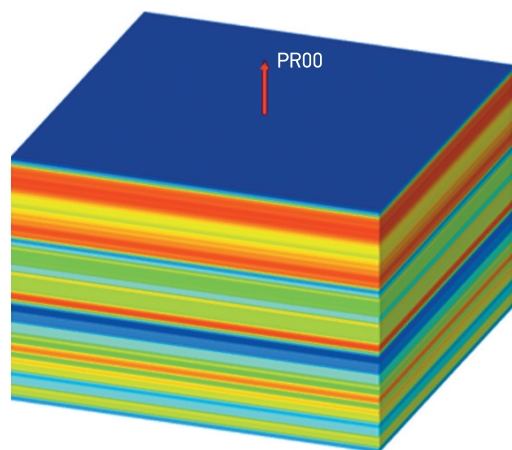


Рис. 2. Куб пористости в бокс-модели на основе результатов интерпретации ГИС

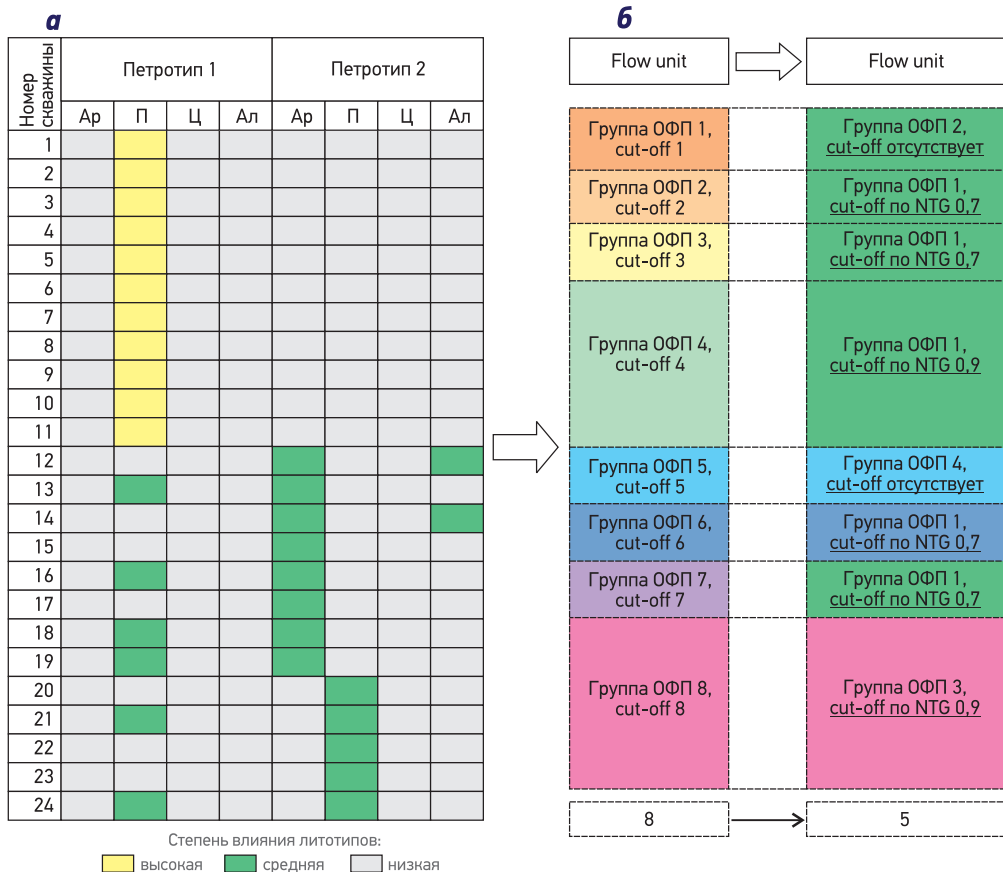


Рис. 3. Сводная таблица по анализу влияния литотипов (Ар – аргиллит, П –песчаник, Ц – цемент, Ал – алевролит) на работу скважин (а) и области ОФП, выделенные на основе результатов анализа влияния литофаций (б)

данные эксплуатации был проведен анализ влияния литофаций на работу скважин с учетом эффективного коэффициента нефтенасыщенности по разрезу (рис. 3). Таким образом, были выделены пять регионов ОФП, включающие основные литофации, влияющие на работу скважин. В процессе адаптации были выбраны единые для всех скважин концевые точки региона ОФП, а также проведена оценка параметров трещин гидроразрыва пласта (ГРП). Важно отметить, что результаты адаптации показали хорошую сходимость по обводненности и продуктивности для обеих моделей насыщенности.

ПОЛНОМАСШТАБНОЕ ГЕОЛОГО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Полученные в ходе адаптации бокс-моделей отсечки по песчаности и пористости были использованы при построении полномасштабной ГМ. Поскольку обе модели насыщенности показали удовлетворительную сходимость по продуктивности и накопленной добыче по скважинам, оба куба насыщенности участвовали в вероятностном моделировании. Для вероятностной оценки запасов использовались три сценария положения промежуточной отбивки. Для каждого сценария выполня-

лись вероятностные расчеты с учетом всех имеющихся неопределенностей. Выбор реализаций P10-P50-P90 осуществлялся по графику накопленной частоты распределения запасов в пределах области интереса на основе обобщения полученных данных по обеим моделям насыщенности (рис. 4).

Таким образом, были сформированы три реализации полномасштабной ГДМ. Следует отметить, что адаптация каждого сценария ГДМ проводилась без использования локальных модификаций величин абсолютной проницаемости, а также множителей на концевые точки кривых ОФП и множителей на продуктивность трещин ГРП. Единственным инструментом адаптации стали кривые ОФП, установленные по данным эксплуатации для каждого конкретного литотипа / flow unit. На рис. 5 показаны кросс-плоты расчетных и фактических данных по запусным параметрам для моделей, построенных согласно традиционному алгоритму проведения работ (первые 6 мес работы скважин без адаптации) (см. рис. 5, а) и алгоритму с применением гидродинамики на этапе петрофизического моделирования (данные по бокс-моделям без адаптации) (см. рис. 5, б).

Таким образом, до начала адаптации полномасштабной модели в первом варианте имеется существенное расхождение по 40 % скважин, тогда как этап бокс-моделей пока-

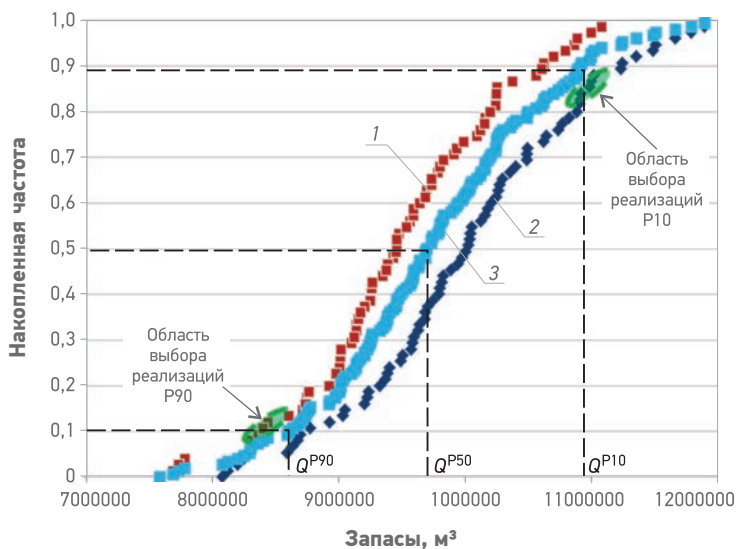


Рис. 4. Накопленная частота распределения запасов в области интереса: 1, 2 – распределение запасов с учетом насыщенности по J -функции соответственно по капиллярной модели и данным ГИС; 3 – интегральная кривая по всем реализациям

зывает расхождение по 15 % скважин, а отношение расчетной накопленной добычи нефти к фактической значительно снижается (с 50 до 20 %).

Проведена адаптация полномасштабных ГДМ по сценариям P10-P50-P90, основными инструментами адаптации являлись кривые ОФП, единые для каждого flow unit, геометрия трещин ГРП и автоГРП. Такой подход к адаптации ГДМ позволяет более уверенно прогнозировать показатели добычи проектных скважин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование кросс-валидационного взаимодействия позволило добиться более высокой сходимости расчетных и фактических данных до начала работ по адаптации ГДМ.

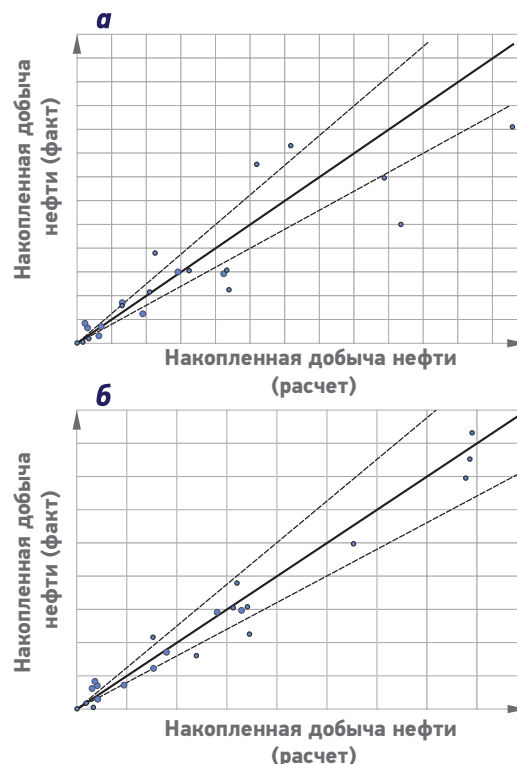


Рис. 5. Сравнение кросс-плотов накопленной добычи нефти: а – модель без использования кросс-валидационного подхода; б – текущая модель с использованием кросс-валидационного взаимодействия (отклонение составляет $\pm 10\%$)

Выделенные с использованием ГДМ отсеки по пористости и песчаности были перенесены в геологическую модель и качественно повысили ее проработанность. Применение данного подхода также позволило исключить множители на величины проницаемости, концевые точки ОФП, которые сложно спрогнозировать на неразбуренные части залежи. Данный подход может быть тиражирован на любые другие проекты по геолого-гидродинамическому моделированию.

Список литературы

1. *Strategic scope of alternative optimization methods in history matching and prediction workflows* / R. Schulze-Riegert, F. Chataigner, N. Kueck [et al.] // SPE 16433 – MS. – 2013.
2. *Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде* / А.Э. Конторович, С.В. Ершов, В.А. Казаненков [и др.] // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – № 5–6. – С. 745–776.
3. *Корочкина Н.С.* Особенности построения сейсмогеологической модели шельфового пласта БС₈ Верхнесалымского месторождения // Геофизика. – 2016. – № 4. – С. 15–21.
4. *Инюшкина А.А., Мерзлякова Д.В.* Комплексное применение результатов сейсморазведочных работ 3D и данных ГИС при изучении строения и моделировании клиновидных резервуаров Западной Сибири // Геофизика. – 2007. – № 4. – С. 195–200.
5. *Уточнение геолого-геофизической концепции строения шельфовых пластов* / Ю.Ю. Бушаева, А.С. Прохoshин, С.С. Шевелев, С.Г. Паняк // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2. – № 8. – С. 164–168.
6. *Integrated approach to the Correlation Polyfacies Objects Deposits* / A.S. Potapova, A.S. Finogenova, K.V. Zverev [et al.] // SPE 182013-MS. – 2016.

Reference

1. Schulze-Riegert R., Chataigner F., Kueck N. et al., *Strategic scope of alternative optimization methods in history matching and prediction workflows*, SPE 16433-MS, 2013.
2. Kontorovich A.E., Ershov S.V., Kazanenkova V.A. et al., *Cretaceous paleogeography of the West Siberian sedimentary basin* (In Russ.), *Paleogeografiya Zapadno-Sibirskogo osadochnogo basseyna v melovom periode*. Geologiya i geofizika, 2014, V. 55, no. 5-6, pp. 745-776.
3. Korochkina N.S., *Specialty of shelf layer bs8 seismic-geological subsurface model building of Upper-Salym field* (In Russ.), *Geofizika*, 2016, no. 4, pp. 15-21.
4. Inyushkina A.A., Merzlyakova D.V., *Integrated use of 3D seismic and well logging data while West Siberia reservoirs studies and modelling* (In Russ.), *Geofizika*, 2007, no. 4, pp. 195-200.
5. Bushaeva Yu.Yu., Prokhoshin A.S., Shevelev S.S., Panyak S.G., *Update of the concept of shelf reservoirs geological-geophysical structure* (In Russ.), *Uspekhi sovremennoy nauki*, 2017, V. 2, no. 8, pp. 164-168.
6. Potapova A.S., Finogenova A.S., Zverev K.V. et al., *Integrated approach to the correlation polyfacies objects deposits* (In Russ.), SPE 182013-MS, 2016.