

Подходы к построению полномасштабной гидродинамической модели верхнеюрских отложений Западной Сибири

Собаева Е.В.

ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия
ekaterina.sobaeva@lukoil.com

Аннотация

Верхнеюрские карбонатно-кремнистые низкопроницаемые отложения содержат в себе сложнопостроенные залежи углеводородов, широко распространенные в Западной Сибири. С вводом в промышленную разработку верхнеюрских отложений встает вопрос об инструментах прогнозирования и мониторинга разработки. В текущих реалиях гидродинамическое моделирование является одним из таких инструментов. Ввиду высокой изменчивости свойств верхнеюрских отложений построение геолого-гидродинамической модели является нетривиальной задачей. В данной работе представлены подходы к построению геолого-гидродинамической модели верхнеюрских отложений, подтверждаемой с достаточной точностью фактическими данными.

Материалы и методы

В данной работе применены как стандартные подходы к построению и оценке качества геолого-гидродинамической модели, так и нестандартные методы распределения свойств пород в геолого-гидродинамической модели на основе анализа фактических данных и интерпретации гидродинамических исследований.

Ключевые слова

гидродинамическая модель, верхнеюрские отложения, распределение свойств в модели, структурный фактор, подходы к моделированию

Для цитирования

Собаева Е.В. Подходы к построению полномасштабной гидродинамической модели верхнеюрских отложений Западной Сибири // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 8. С. 94–97. DOI: 10.24412/2076-6785-2024-8-94-97

Поступила в редакцию: 26.09.2024

OIL PRODUCTION

UDC 622.276.34 | Original Paper

Approaches to the construction of a full-scale hydrodynamic model of the Upper Jurassic deposits of Western Siberia

Sobaeva E.V.

“LUKOIL-Engineering” LLC, Moscow, Russia
ekaterina.sobaeva@lukoil.com

Abstract

The Upper Jurassic carbonate-siliceous low-permeable deposits contain complex hydrocarbon deposits widespread in Western Siberia. As the industrial development of the Upper Jurassic deposits begins, the question arises about tools for forecasting and monitoring development. In the current reality, hydrodynamic modeling is one of such tools. Due to the high variability of the properties of the Upper Jurassic deposits, the construction of a geological and hydrodynamic model is a non-trivial task. This paper presents approaches to the construction of a geological and hydrodynamic model of Upper Jurassic deposits, confirmed with sufficient accuracy by actual data.

Materials and methods

In this work, standard approaches to the construction and assessment of the quality of the geological and hydrodynamic model, methods for the distribution of rock properties in the geological and hydrodynamic model based on the analysis of evidence and interpretation of hydrodynamic studies are applied.

Keywords

hydrodynamic model, Upper Jurassic deposits, distribution of properties in the model, structural factor, approaches to modeling

For citation

Sobaeva E.V. Approaches to the construction of a full-scale hydrodynamic model of the Upper Jurassic deposits of Western Siberia. Exposition Oil Gas, 2024, issue 8, P. 94–97. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2024-8-94-97

Received: 26.09.2024

Верхнеюрские карбонатно-кремнистые низкопроницаемые отложения содержат в себе сложно построенные залежи углеводородов, широко распространенные в Западной Сибири. Коллектора верхнеюрских отложений представлены мало мощными протяженными пропластками толщиной 0,5–3 м и обладают высокой изменчивостью фильтрационно-емкостных свойств, что доказано разработкой данных отложений субвертикальными скважинами, продуктивность которых существенно меняется на небольших расстояниях.

Гидродинамические модели активно используются для решения задач, связанных с мониторингом, анализом и проектированием разработки продуктивных отложений. С вводом верхнеюрских отложений в промышленную разработку задача построения геолого-гидродинамических моделей, способных с достаточной степенью достоверности описывать процессы фильтрации флюидов в пласте, стала актуальной. Долгое время для решения задач мониторинга и проектирования разработки верхнеюрских отложений использовались аналитические методы расчета, такие как кривые падения добычи нефти. Однако данный метод расчета имеет ряд допущений и не учитывает интерференцию скважин. Ввиду сложности геологического строения верхнеюрских отложений и сильной изменчивости фильтрационно-емкостных свойств по площади существует необходимость в выработке подходов к их моделированию.

Подход к гидродинамическому моделированию верхнеюрских отложений, описанный в данной работе, базируется на основных принципах построения гидродинамических моделей. В ходе изучения верхнеюрских отложений и опытно-промышленных работ опробованы различные подходы к моделированию и выработаны особенности построения геолого-гидродинамических моделей, верифицированных на фактические данные эксплуатации скважин.

Основой для получения достоверной гидродинамической модели является геологическая модель, отражающая распространение коллекторов и их свойств по площади месторождения. Геологическое моделирование верхнеюрских отложений требует особого подхода: структурное моделирование с параллельным пропорциональным делением с использованием вспомогательных поверхностей, выделение коллекторов 1-го и 2-го типа, учет изменения фильтрационно-емкостных свойств коллекторов от палеовершин к палеовпадинам нисходящим трендом, связанный с особенностями осадконакопления [1, 2]. Данный подход позволяет при переходе от геологической к гидродинамической модели получить оптимальное для расчета количество ячеек при сохранении особенностей распространения коллекторов и их свойств.

Важно отметить, что в соответствии с результатами исследований установлен ряд особенностей верхнеюрских отложений, которые должны учитываться при построении гидродинамической модели. Одним из них является отсутствие флюидальных контактов в интервале верхнеюрских отложений и свободной пластовой воды, в связи с чем начальная нефтенасыщенность в модели задается константой.

Вторым осложняющим фактором является то, что коллектора верхнеюрских отложений имеют сложную морфологию емкостного

пространства, а их эффективная емкость представлена не только порами, но и трещинами и кавернами, часть пород приобщается к разработке только после проведения технологического воздействия на пласт (гидравлического разрыва пласта). Осложняющим фактором построения гидродинамической модели является то, что значения проницаемости,

полученные при стандартных исследованиях керны, не отражают свойств верхнеюрских отложений в условиях залегания и не могут быть получены расчетным путем. В разрезе верхнеюрских отложений выделяют коллектора двух типов: коллектора 1-го типа, представляющие собой поровые коллектора, сложенные кремнистыми и вторично-карбонатизированными

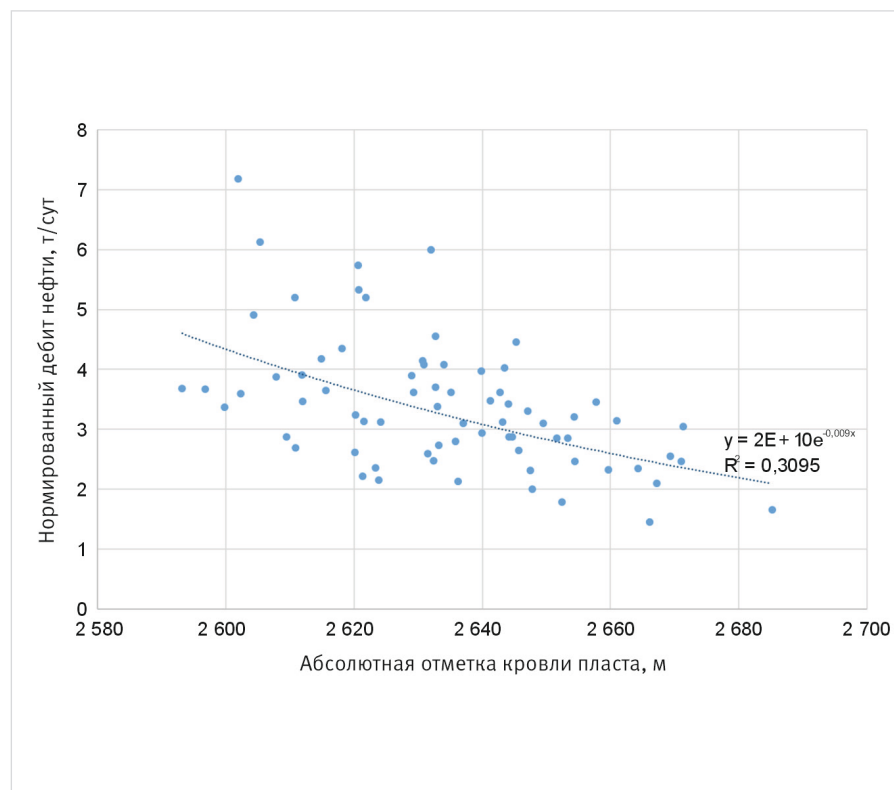


Рис. 1. Зависимость нормированного дебита нефти горизонтальной скважины от абсолютной отметки кровли пласта

Fig. 1. Dependence of the normalized oil flow rate of a horizontal well on the absolute elevation of the formation roof

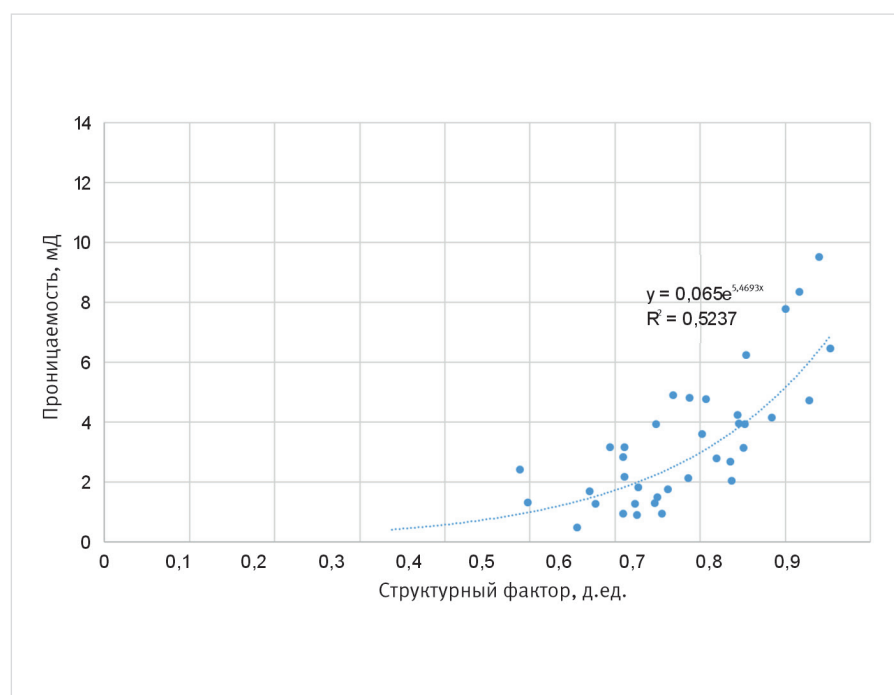


Рис. 2. Зависимость проницаемости от структурного фактора

Fig. 2. The dependence of permeability on the structural factor

радиоляритами, формирующими протяженные связанные маломощные тела (0,1...3 м); коллектора 2-го типа, сложенные фосфатно-карбонатными и карбонатными линзовидными породами, вторичными мелкокристаллическими известняками по радиоляритам, вовлекающимся в разработку только после ГРП.

Для решения задач мониторинга, анализа и проектирования разработки достаточно учесть особенности распространения фильтрационно-емкостных свойств, поскольку разработка верхнеюрских отложений горизонтальными скважинами протяженностью более 1 км с проведением многостадийного ГРП позволяет принять некоторые допущения

и нивелировать высокую изменчивость фильтрационно-емкостных свойств.

Использование классического подхода распределения проницаемости в модели невозможно из-за отсутствия корреляционной зависимости между проницаемостью и пористостью. Одним из способов распространения проницаемости в модели для верхнеюрских отложений является стохастическое моделирование. Данный подход к построению модели применим при низкой степени изученности объекта, однако не отражает реальной картины распределения свойств, так как по данным керновых исследований значение проницаемости варьируется от 0,001 до 106,7 мД.

На сегодняшний день накопленные знания и результаты многочисленных исследований, а также данные фактической эксплуатации верхнеюрских отложений делают возможным применение альтернативного подхода к заданию проницаемости. Предлагаемый подход основан на комплексировании геологической концепции с данными фактической эксплуатации скважин и результатами интерпретации гидродинамических исследований скважин.

В основу подхода к заданию проницаемости легли результаты работ [3, 5], в которых представлены обоснования зависимости продуктивности горизонтальных скважин в зависимости от палеорельефа. Верхнеюрские отложения характеризуются наибольшей продуктивностью в верхних частях склонов поднятий за счет высокой степени сортировки радиоляритов, низкой глинистости пород и тектонической трещиноватости склонов поднятий. Продуктивность отложений снижается по направлению к погруженным зонам за счет частичной глинизации радиоляритовых прослоев. Данная зависимость дебита нефти от абсолютной отметки кровли пласта выведена по результатам длительной эксплуатации месторождения Западной Сибири (рис. 1). Для анализа использованы средние дебиты нефти за полгода эксплуатации горизонтальных скважин, нормированные на длину горизонтального ствола.

Для отражения этой зависимости в модели введен параметр «структурный фактор», который позволяет нормировать значения абсолютных отметок кровли верхнеюрских отложений по площади месторождения. Под структурным фактором (1) понимается отношение разницы максимальной абсолютной отметки и абсолютной отметки рассматриваемой точки к разнице максимальной и минимальной абсолютных отметок (в качестве последних выступают наиболее крупные структурные элементы, выделяющиеся в пределах месторождения) [4].

$$f = \frac{H_{max} - H}{H_{max} - H_{min}}, \quad (1)$$

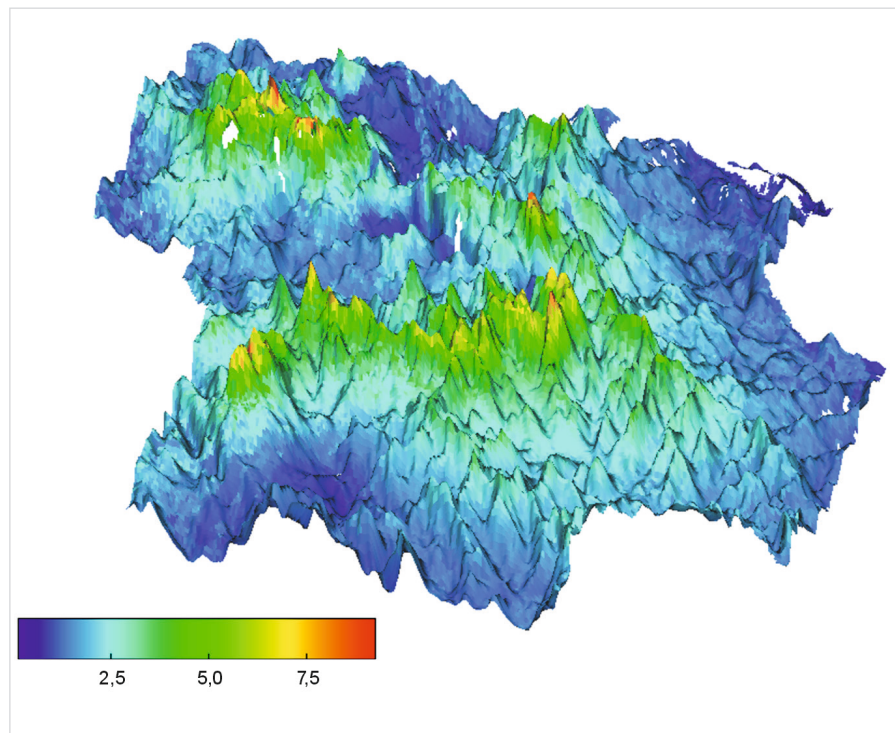


Рис. 3. Распределение средневзвешенной проницаемости в геолого-гидродинамической модели

Fig. 3. Distribution of the weighted average permeability in hydrodynamic model

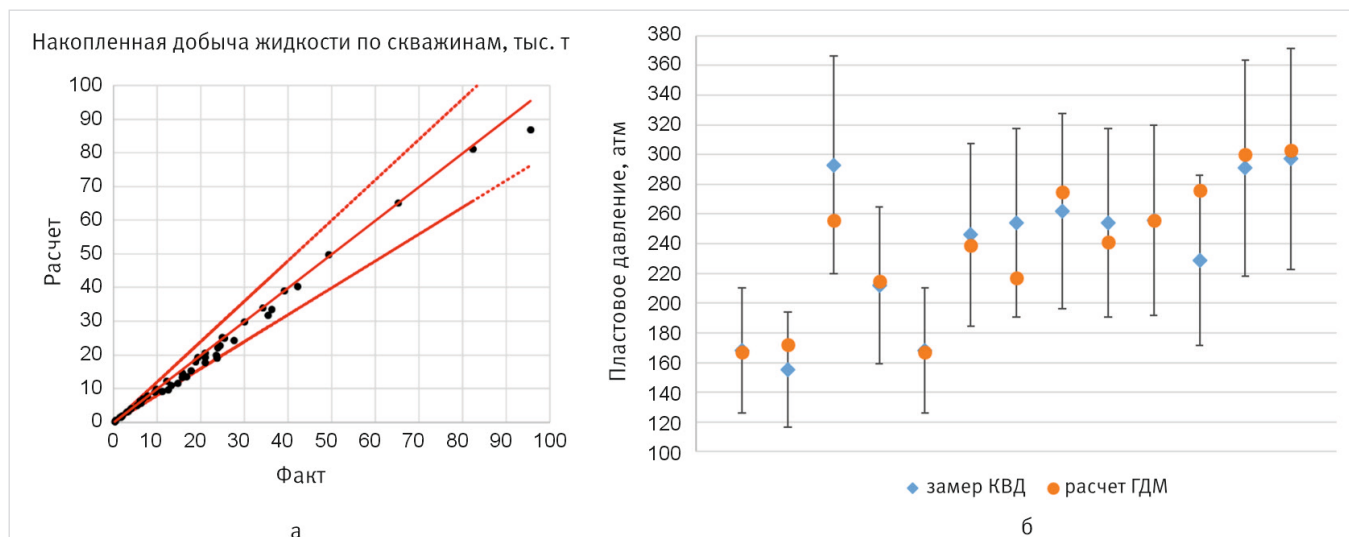


Рис. 4. Сопоставление расчетных и фактических технологических показателей разработки по результатам адаптации геолого-гидродинамической модели: а — накопленная добыча жидкости; б — пластовое давление

Fig. 4. Comparison of calculated and actual technological indicators of development based on the results of adaptation of the hydrodynamic model: а — accumulated liquid production; б — reservoir pressure

где H — абсолютная отметка рассматриваемой точки, м; H_{min} — абсолютная отметка минимальной точки структуры; H_{max} — абсолютная отметка максимальной точки структуры.

По результатам интерпретации комплексных гидродинамических исследований получена зависимость гидропроводности пласта от структурного фактора [4], на основе которой с учетом геолого-физических свойств построена зависимость проницаемости от структурного фактора (рис. 2). Использование данной зависимости при распределении проницаемости в геолого-гидродинамической модели учитывает особенности осадконакопления пород и распределения их фильтрационно-емкостных свойств. Пример распространения коэффициента проницаемости в геолого-гидродинамической модели с использованием комплексного подхода представлен на рисунке 3.

Использование описанного подхода к заданию проницаемости в геолого-гидродинамической модели позволяет минимизировать отклонения между расчетными и фактическими значениями дебитов жидкости и нефти, пластовых и забойных давлений на этапе адаптации геолого-гидродинамической модели. Сходимость расчетных и фактических параметров по результатам адаптации модели находится в допустимых отклонениях (рис. 4). Полученная геолого-гидродинамическая модель верхнеюрских отложений позволяет с достаточной степенью точности прогнозировать добычу новых скважин и применима для задач мониторинга и проектирования разработки месторождений.

Итоги

По результатам комплексного изучения верхнеюрских отложений выработана методика построения геолого-гидродинамических моделей, позволяющая отразить основные особенности геологического строения верхнеюрских отложений. Описанный подход прошел апробацию на трех месторождениях. Результаты расчетов на геолого-гидродинамической модели подтверждаются данными эксплуатации новых скважин, что доказывает ее прогнозную способность.

Выводы

Разработанный подход к заданию проницаемости в геолого-гидродинамической модели может быть применен для задач мониторинга, анализа и прогнозирования разработки для залежей углеводородов в верхнеюрских отложениях.

Литература

1. Ким О.О., Немова В.Д. Методика трехмерного геологического моделирования сложно построенных верхнеюрских отложений на примере Средне-Назымского месторождения нефти // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. № 12. С. 54–58.
2. Ким О.О., Немова В.Д., Матюхина Т.А., Погодаева А.М. Методология отражения геологической концепции строения тел в цифровой 3D модели верхнеюрских отложений Западной Сибири // Наука о сланцах: Новые вызовы. Совместный

семинар EAGE/SPE 2021. Москва, Россия, 5–6 апреля 2021 г. С. 18.

3. Ким О.О., Привознова А.Е., Немова В.Д. Анализ продуктивности скважин с горизонтальным окончанием в верхнеюрских отложениях Западной Сибири в зависимости от палеорельефа // Нефтепромысловое дело. 2022. № 7. С. 13–18.
4. Метт Д.А., Привознова А.Е., Николаева Т.Н., Собаева Е.В. Пример оптимизации размещения стволов скважин с горизонтальным окончанием в верхнеюрских отложениях Средне-Назымского месторождения Западной Сибири // Нефтепромысловое дело. 2021. № 11. С. 85–91.
5. Немова В.Д., Панченко И.В. Факторы продуктивности баженовского горизонта во Фроловской мегавпадине // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т. 12. № 4. URL: https://ngtp.ru/rub/4/46_2017.pdf (дата обращения: 25.08.2024).
6. РД 153–39.0-047-00 Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений, 2000. Москва: Минтопэнерго России, 130 с.
7. Немова В.Д. Литогенетическая классификация пород и техноморфизм отложений баженовской свиты Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Диссертация. М.: 2021.

ENGLISH

Results

A methodology has been developed for constructing geological and hydrodynamic models based on the results of a comprehensive study of Upper Jurassic deposits, which allows reflecting the main features of the geological structure of Upper Jurassic deposits. The described approach has been tested in three fields. The results of calculations are confirmed by the data from the operation of new wells, which proves its predictive ability.

References

1. Kim O.O., Nemova V.D. The method of three-dimensional geological modeling of complexly-built the upper jurassic deposits on the example of the Sredne-Nazymskoye oilfield. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2021, issue 12, P. 54–58. (In Russ).
2. Kim O.O., Nemova V.D., Matyukhina T.A., Pogodayeva A.M. Methodology for reflecting the geological concept of the structure of bodies in a digital 3D model of the upper jurassic sediments of Western Siberia. *Shale Science: New Challenges, EAGE/SPE 2021, Moscow, 5–6 April 2021*, P. 18. (In Russ).

3. Kim O.O., Privoznova A.E., Nemova V.D. Analysis of horizontal wells productivity in the upper jurassic deposits of the Western Siberia depending on the paleorelief. *Oilfield Engineering*, 2022, issue 7, P. 13–18. (In Russ).
4. Mett D.A., Privoznova A.E., Nikolaeva T.N., Sobaeve E.V. An example of optimization of location of boreholes in the Upper Jurassic sediments of the Sredne-Nazymskiy deposit in the Western Siberia. *Oilfield Engineering*, 2021, issue 11, P. 85–91. (In Russ).
5. Nemova V.D., Panchenko I.V. The productivity factors of Bazhenov formation in Frolov megadepression. *Neftgazovaya*

Conclusions

The developed approach to defining permeability in a geological and hydrodynamic model can be applied to the tasks of monitoring, analyzing and predicting development for hydrocarbon deposits in Upper Jurassic sediments.

6. RD 153–39.0-047-00 Regulations for the creation of permanent geological and technological models of oil and gas fields. 2000. Moscow: Ministry of Fuel and Energy of Russia, 130 p. (In Russ)
7. Nemova V.D. Lithogenetic classification of rocks and technomorphism of deposits of the Bazhenov formation of the West Siberian oil and gas province. *Dissertation*. Moscow, 2021. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Собаева Екатерина Владимировна, инженер 1-й категории, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия
Для контактов: ekaterina.sobaeva@lukoil.com

Sobaeva Ekaterina Vladimirovna, engineer of the first category, "LUKOIL-Engineering" LLC, Moscow, Russia
Corresponding author: ekaterina.sobaeva@lukoil.com