

## РАЗРАБОТКА ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОРИСТОСТИ И ФАЗОВЫХ ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ КОЛЛЕКТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ БИНАГАДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Пашаев Н.В.

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и  
Промышленности, Азербайджан  
AZ1010, Баку, просп. Азадлыг, 34: [namat.pashayev@mail.ru](mailto:namat.pashayev@mail.ru)

### DEVELOPMENT OF PETROPHYSICAL MODELING BASED ON EFFECTIVE POROSITY AND PHASE PERMEABILITIES OF RESERVOIRS (BINAGADI OIL FIELD AS A CASE STUDY)

Pashayev N.V.

Azerbaijan State Oil and Industry University, Azerbaijan  
34, Azadlig ave., Baku, AZ1010: [namat.pashayev@mail.ru](mailto:namat.pashayev@mail.ru)

**Keywords:** logging, well, porosity, permeability, electrical resistivity

**Summary.** The paper presents the results of studying the change in the oil saturation and porosity coefficients of the productive strata of the Underkirmaki suite (UKS) of the Binagadi field one hundred and ten years after the start of its development. Considering that practical methods for quantifying the current oil saturation factor in cased wells have not yet been developed, in the determinations, logging data and core data were mainly used for wells during their operation. Based on new data from correlated well sections the dependence of  $K_{per}$  on  $K_p$  was plotted for all reservoir intervals identified in the well sections. It has been established that there are no initial contours of oil content in the study area. To assess the influence of lithological features on the porosity and permeability properties of reservoirs, paired dependencies between  $K_{per}$  and  $K_p$  for the studied horizon were established. The resulting dependence is characterized by a high closeness of the relationship ( $R=0.85$ ). In order to study the spatial distribution of reservoirs over the area (wells), as well as porosity, permeability and oil saturation, three-dimensional grids of the geomodel were created. As a result, a practical use of a petrophysical model is shown, the effectiveness of which lies in the fact that it is comparable with well log data, which makes it possible to dissect intervals where there are no well logs with great certainty.

© 2024 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

### Введение

**Актуальность проблемы.** Перспективы увеличения нефтедобычи в Республике связаны с разработкой залежей в море и суше, а также с повышением эффективности доработки эксплуатируемых в настоящее время месторождений нефти и газа, находящихся в различной стадии их освоения. Характерной особенностью разработки нефтяных месторождений является то, что этот процесс происходит в большинстве случаев в условиях некомпенсированного отбора углеводородов. Важно учитывать указанный процесс при оценке начальных и текущих запасов нефти и газа, геомоделировании разрабатываемого объекта и анализа разработки на различных ее этапах.

Изучению этого вопроса посвящены многочисленные исследования, из которых можно от-

метить работы М.Т.Абасова (2007), Л.А.Буряковского (1990), Р.Ю.Алиярова (2010), Р.А.Рамазанова (2011) и др.

Это задача имеет особое значение для отложений продуктивной толщи (ПТ) месторождения Бинагади. Месторождение Бинагади как уникальная нефтеносная залежь расположено на Абшеронском полуострове и более 110 лет находится в эксплуатации. Углеводороды (УВ) добывают из отложений ПТ. Основным объектом разработки в разрезе ПТ является подкирмакинская свита (ПК), содержащая более 34% геологического балансового запаса УВ.

Литологическая характеристика месторождения довольно разнообразна. Пласты песчаников средних, мелко и тонкозернистых, иногда слабоцементированных, мощностью в основном 5-8 м переслаиваются с глинами темно-серыми,

плотными, а также песчанистыми, карбонатными. Пачки часто чередующихся пластов песчаников и глин расчленены мощными глинистыми разделами (Пашаев и др., 2017).

### Методика и результаты

С целью уточнения процесса разработки в свете новых геолого-промысловых и геофизических данных для определения характера насыщения коллекторов и остаточной нефтенасыщенности в стволе действующих и нагнетательных скважин проводился определенный объем исследований петрофизическими, промыслово-геофизическими и гидродинамическими методами. Во время изучения данного вопроса были использованы материалы геофизических исследований скважин (ГИС), геолого-промысловая информация по скважинам, накопленная в период эксплуатации, а также керновые данные, охватывающие все отложения свиты ПК.

### Корреляция разрезов скважин по данным ГИС

Изучение геологического строения залежей начинается с корреляции разрезов скважин.

Детальная корреляция необходима для выделения одноименных пластов или пачек внутри зоны или свиты, что имеет первостепенное значение при рациональной разработке месторождений. Продуктивные зоны месторождения Бинагади сложены пропластками, весьма изменчивыми по разрезу и площади месторождения. Это достаточно наглядно подтверждается керновыми, геофизическими и гидродинамическими данными.

Такая сложная картина строения продуктивных пластов сильно затрудняет корреляцию разрезов скважин. Фациальная неоднородность зон по разрезу и площади, являющаяся, вероятно, следствием локальных геологических причин, настолько сильна, что в значительной мере затушевывает существенные черты геологического строения, обусловленные явлениями региональными, более высокого порядка и, в первую очередь, ритмичностью процесса осадконакопления.

Таким образом, продуктивные отложения подкирмакинской свиты обычно четких и выдержанных реперов по площади не имеют. В разрезе продуктивных отложений на каротажных диаграммах можно выделить так называемые реперы местного значения, которые прослеживаются лишь по группам скважин (рис. 1).

На рис. 1а,б,с показаны схемы корреляции разрезов скважин по линии скв. 2812-2727-2841-2843-2840-2772-2854-2852. Корреляция проведена с использованием методов Гамма каротажа (ГК) и Индукционного каротажа (ИК). Линией выравнивания при корреляции разрезов скважин являлась кровля отложений свиты ПК (максимальное значение ГК). Представлены результаты интерпретации геофизических исследований этих скважин (коллектор-неколлектор).

Зеленым цветом отмечены интервалы разреза с коллекторами, серым – неколлекторами.

При этом предполагается, что один и тот же интервал в разрезах разных скважин примерно одинаково отражается на каротажных диаграммах, поскольку его состав и мощность остаются мало измененными.

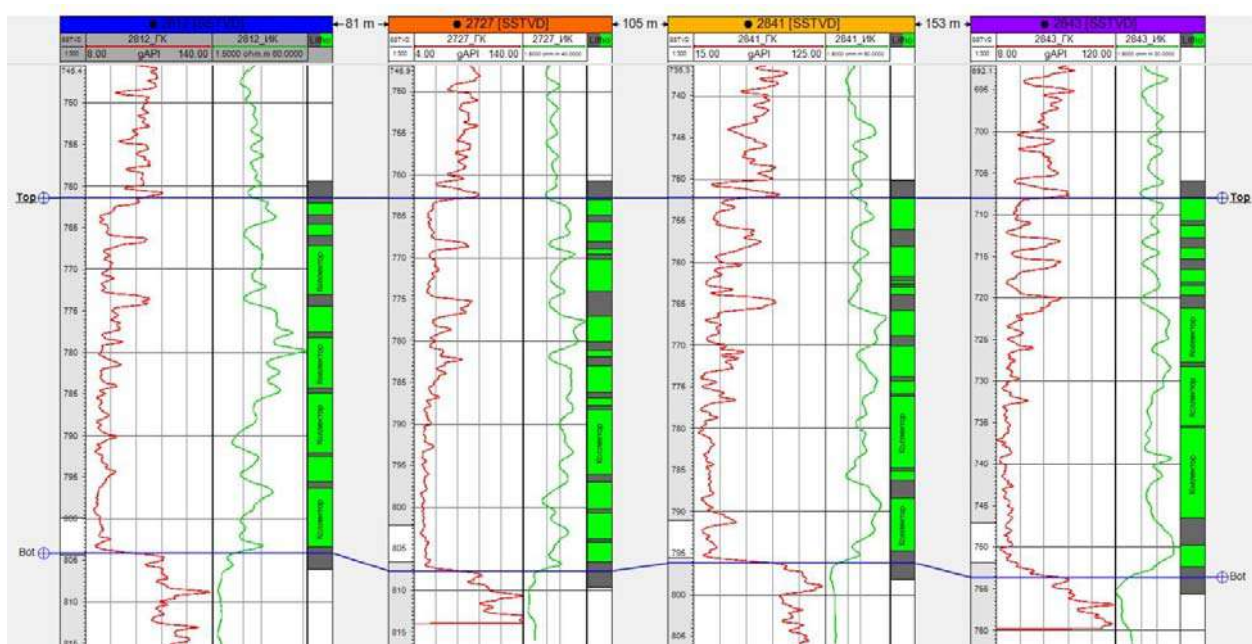


Рис. 1а. Схема корреляции скв. 2812-2727-2841-2843

Схема корреляции скв. 2843-2840-2772

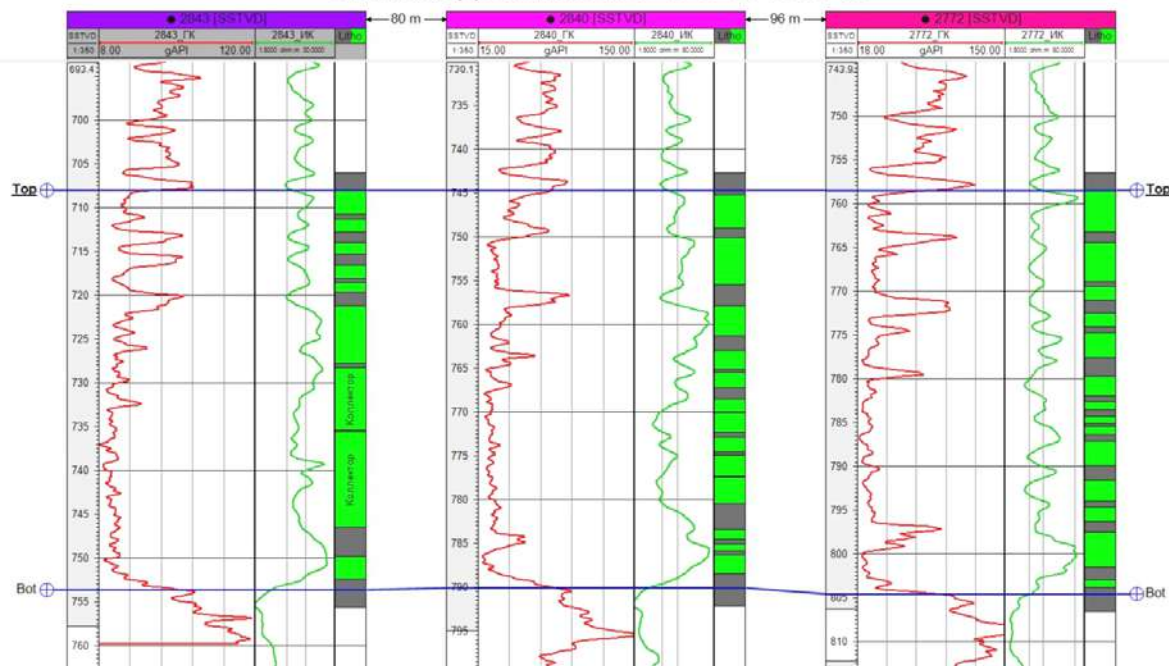


Рис. 16. Схема корреляции скв. 2843-2840-2772

Схема корреляции скв. 2772-2854-2852-2812

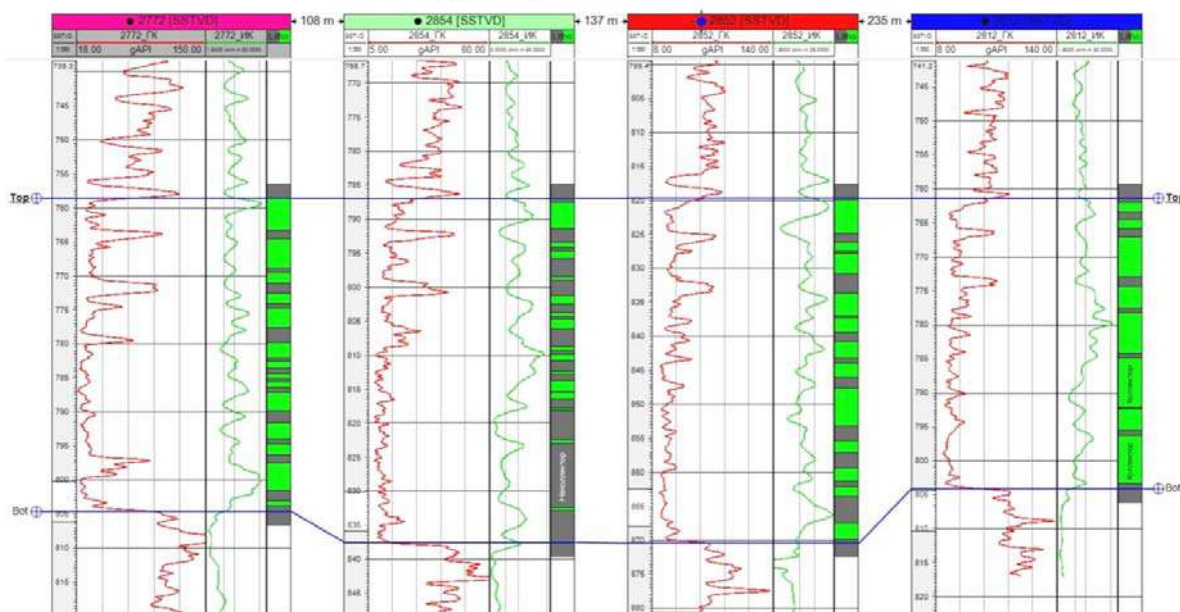


Рис. 17. Схема корреляции скв. 2772-2854-2852-2812

Рассматриваемые скважины пробурены в период 2008-2019 гг. К этому времени в отложениях свиты ПК был закачен большой объем воды для поддержания пластового давления, что привело к значительному обводнению продукции.

Используя данные рис. 2, вычислены текущие нефтенасыщенности всех интервалов коллекторов, выделенных в разрезах исследуемых скважин.

Для определения текущих запасов нефти в отложениях свиты ПК в зоне исследований для

необходимых интервалов разреза выявлена петрофизическая зависимость между пористостью и текущей нефтенасыщенностью (рис. 2).

Для оценки влияния литологических особенностей на основные параметры коллекторов – проницаемость и пористость установлены парные зависимости между коллекторскими свойствами пород свиты ПК Бинагадинского месторождения (рис. 3).

Корреляционные зависимости между проницаемостью ( $K_{пр}$ ) и пористостью ( $K_p$ ) были вве-

дены на основе комплексного исследования керна скважин данного месторождения.

Сопоставление величин  $K_{пр}$  и  $K_p$ , приведенное на рис.3, показывает, что систематические расхождения в сопоставляемых параметрах отсутствуют, случайные же расхождения можно объяснить изменчивостью свойств пород по разрезу и залежи, а также различными выборками образцов. Распределение точек на корреляционном поле свидетельствует о том, что в пределах Бинагадинского нефтеносного района имеется единая закономерность в изменении фильтрационно-емкостных свойств пород.

Данные зависимости были использованы для изучения фильтрационно-емкостных свойств отложений свиты ПК (Зинченко, 2005; Mohammad, 2019).

### Обоснование положения водонефтяного контакта (ВНК)

Зона исследований находится на площади блока 5b. Этот блок на месторождении Бинагади является изолированным и не имеет первоначального водонефтяного контакта. Поэтому все коллекторы, вскрытые пробуренными скважинами, первоначально были нефтенасыщенными.

На исследуемой площади нет начальных контуров нефтеносности.

### Построение трехмерной сетки модели и контроль качества

После выполнения структурного моделирования создается трехмерная сетка модели, на которую переносятся данные каротажа скважин и построенные поверхности.

Эта сетка необходима для пространственного распределения коллекторов, а также таких параметров, как пористость и нефтенасыщенность.

Исходя из размеров изучаемой структуры, размер ячеек сетки (по горизонтали) составляет 50x50 м.

Вся мощность пласта разбивается на 3 зоны:

- зона 1 – кровля пласта - кровля коллекторов;
- зона 2 – кровля коллекторов - подошва коллекторов;
- зона 3 – подошва коллекторов - подошва пласта.

В зонах 1 и 3 выделен 1 слой (в каждой зоне), так как в этих зонах отсутствует коллекторы, и модель в этих зонах будет состоять из неколекторов.

Разрез зоны 2 разделен на несколько слоев. Количество слоев выбиралось, исходя из минимальной толщины пропластка коллектора. В нашем случае это составляет 0.3 м. На основании схем корреляции разрезов скважин (рис. 1а,б,с) нарезка слоев производилась параллельно поверхности кровли свиты ПК с толщиной слоя, равной 0.2 м.

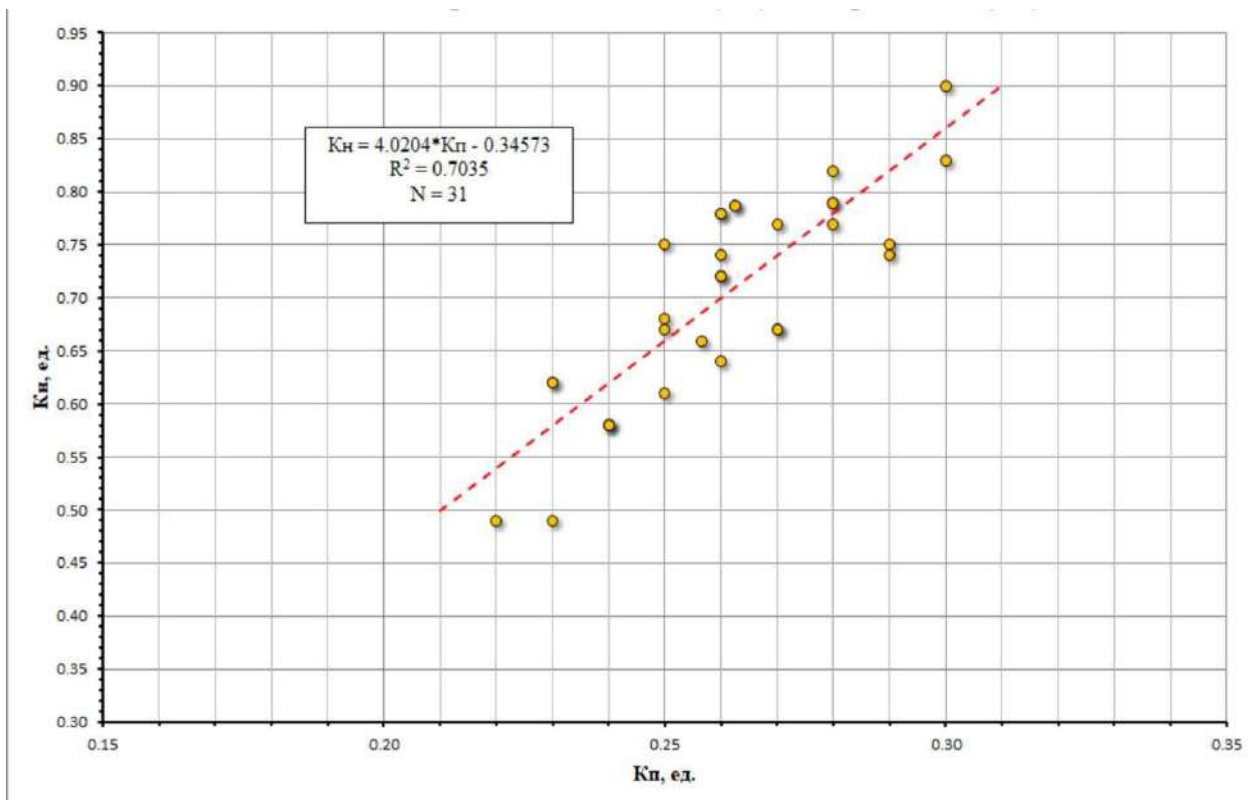


Рис. 2. Зависимость текущей нефтенасыщенности ( $K_n$ ) от пористости ( $K_p$ )



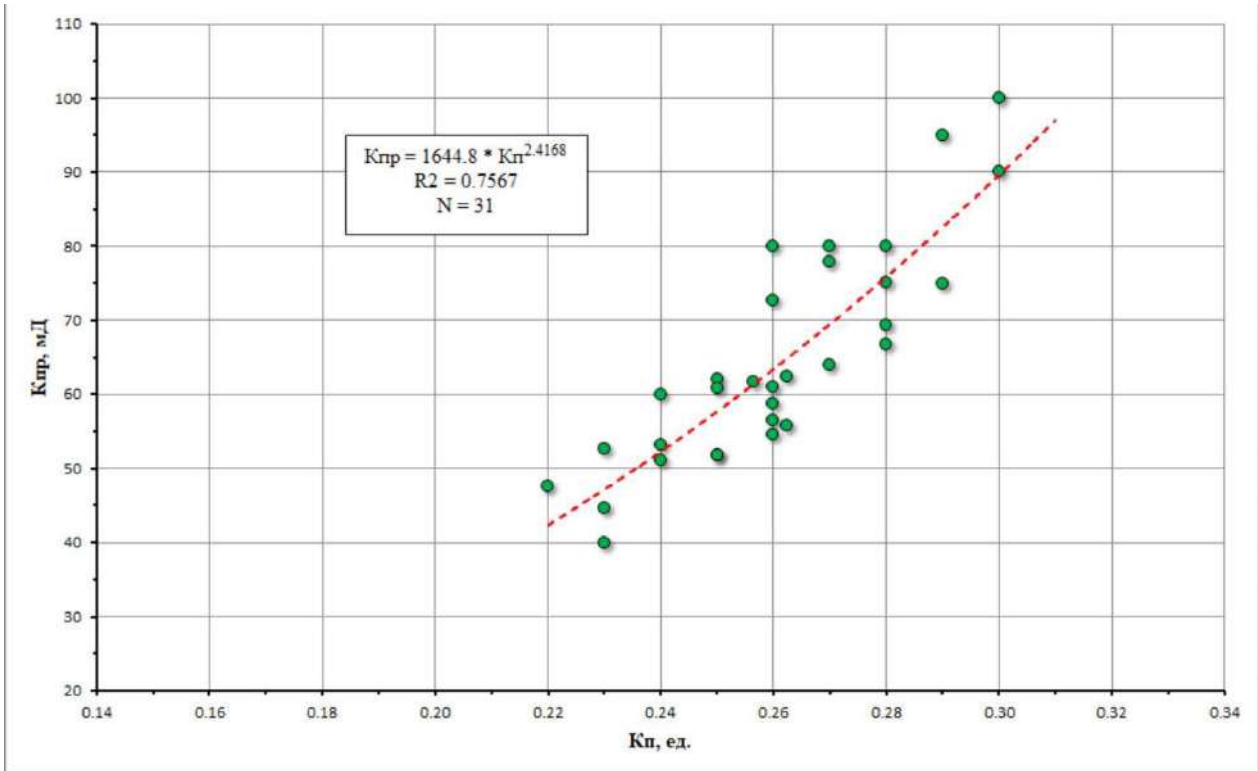


Рис. 3. Зависимость проницаемости ( $K_{пр}$ ) от пористости ( $K_{п}$ )

Такой подход гарантирует, что вся информация по данным ГИС будет учтена в трехмерной модели.

На рис. 4 показано сопоставление данных ГИС и перемасштабированного каротажа на сетке модели. Видно, что каждый пропласток, вы-

деленный по каротажу в разрезе скважин (левый столбец), отражен на перемасштабированном каротаже на сетке модели (правый столбец).

Параметры трехмерной сетки представлены в таблице.

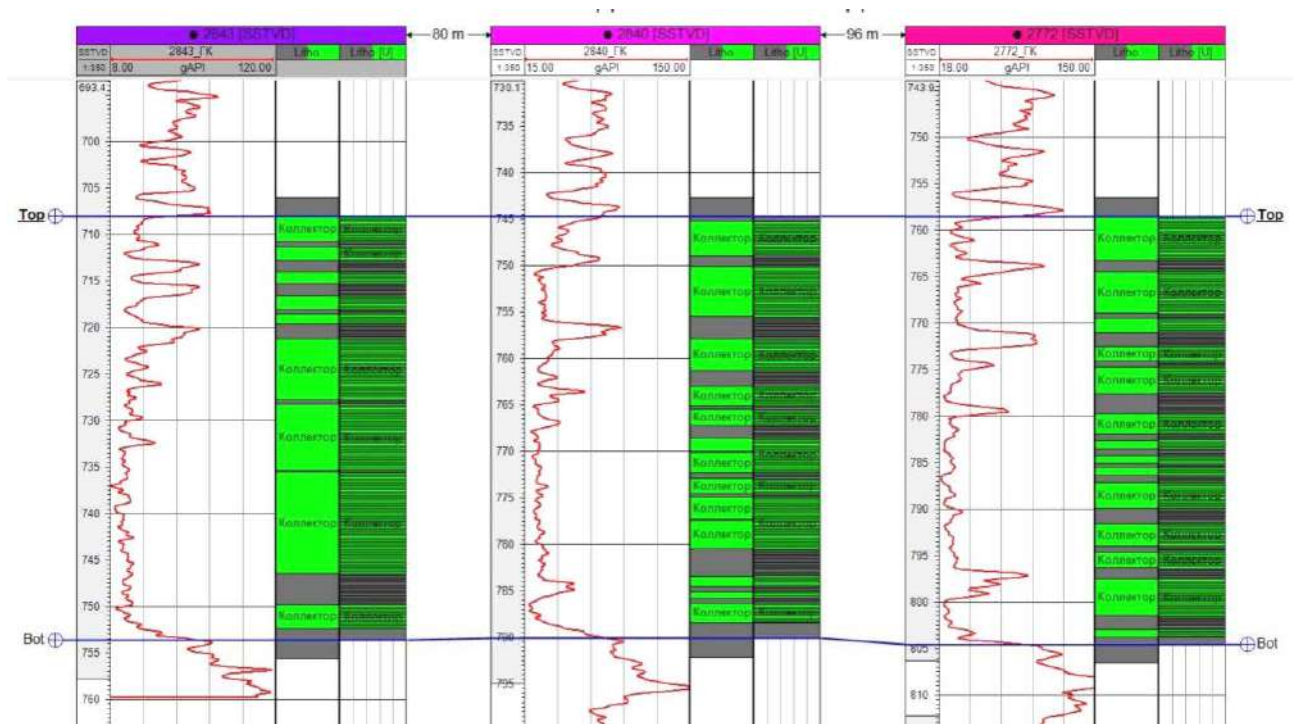


Рис. 4. Сопоставление данных ГИС и модели

Параметры трехмерной сетки

Количество зон	3
Количество ячеек	11568840
Количество слоев (Z)	255
Параметры 3D сетки (ячейки сетки)	214x212x255 (nIxnJxnGridLaers)
Размер ячейки (мм)	2x2

**Петрофизическое моделирование**

При использовании стохастического метода можно добиться, чтобы распространяемый параметр (в нашем случае "Литология") имел в объеме модели такое же распределение, как и в скважине. В связи с этим на рис. 5 представлен геологический профиль, построенный с использованием стохастического распределения (SIS - Sequential Indicator Simulation), а на рис. 6 – гистограмма сопоставления свойства "Литология" для данных ГИС в скважине, перемасштабированного каротажа и для модели (Гасанов и др., 2008).

Из рис. 6 видно, что у модели доли коллекторов (66.8%) и неколлекторов (33.2%) примерно соответствуют соотношениям по данным ГИС (67.0% и 33.0%).

Петрофизическое моделирование происходит посредством переноса данных ГИС, таких как пористость и нефтенасыщенность, с разрезов скважин на сетку модели и распространение этих данных по площади и по объему (Абасов и др., 2007; Гутман, 2017; Коваленко, 2015).

Петрофизическое моделирование проводилось стохастическим методом Sequential Gaussian Simulation (SGS) с учетом свойства "Литология".

Распределение свойства "Пористость" представлено на рис. 7.

Геологический профиль по линии скв. 2812-2727-2841-2843-2840-2772-2854-2852 (коллектор-неколлектор) стохастическое распределение (SIS)

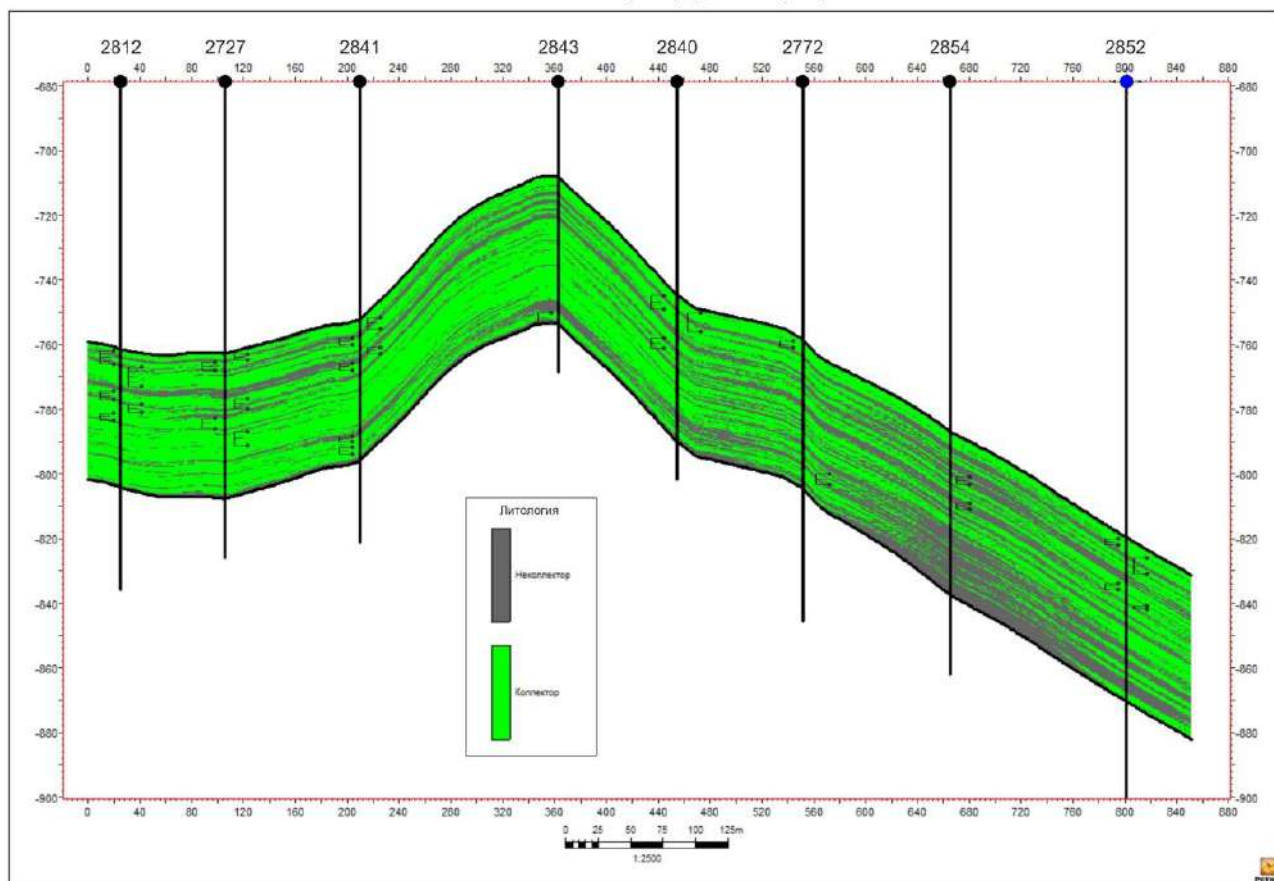


Рис. 5. Геологический профиль по линии скважин 2812-2843-2852 (литология)

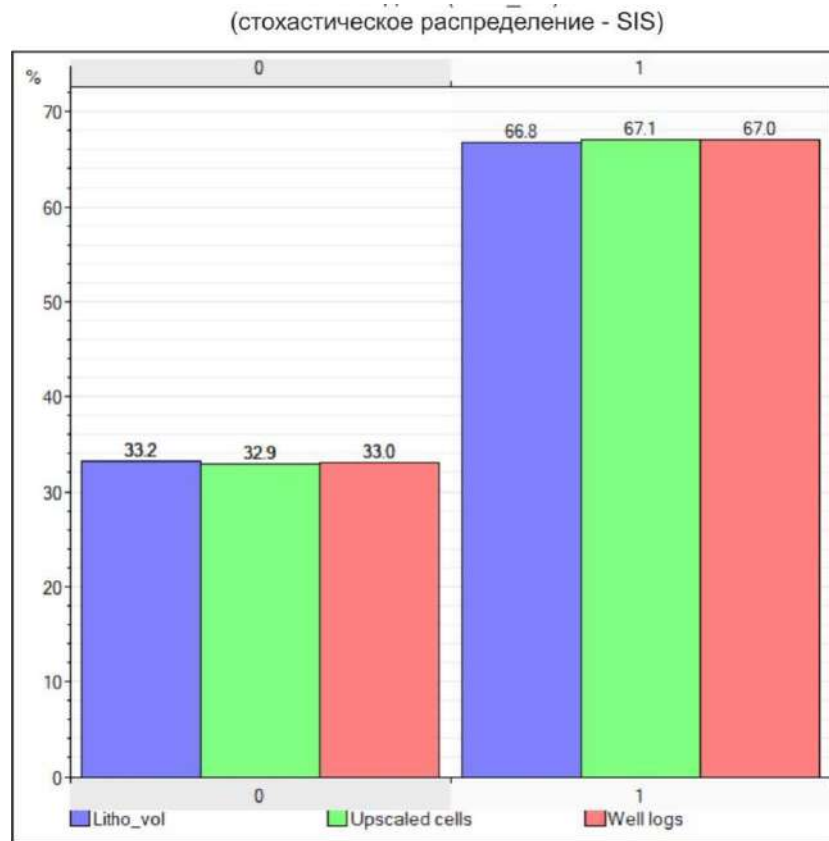


Рис. 6. Гистограмма сопоставления данных ГИС (Well logs), перемасштабированного каротажа (Upscaled cells) и модели (Litho\_vol)

Геологический профиль по линии скв. 2812-2727-2841-2843-2840-2772-2854-2852 (пористость)

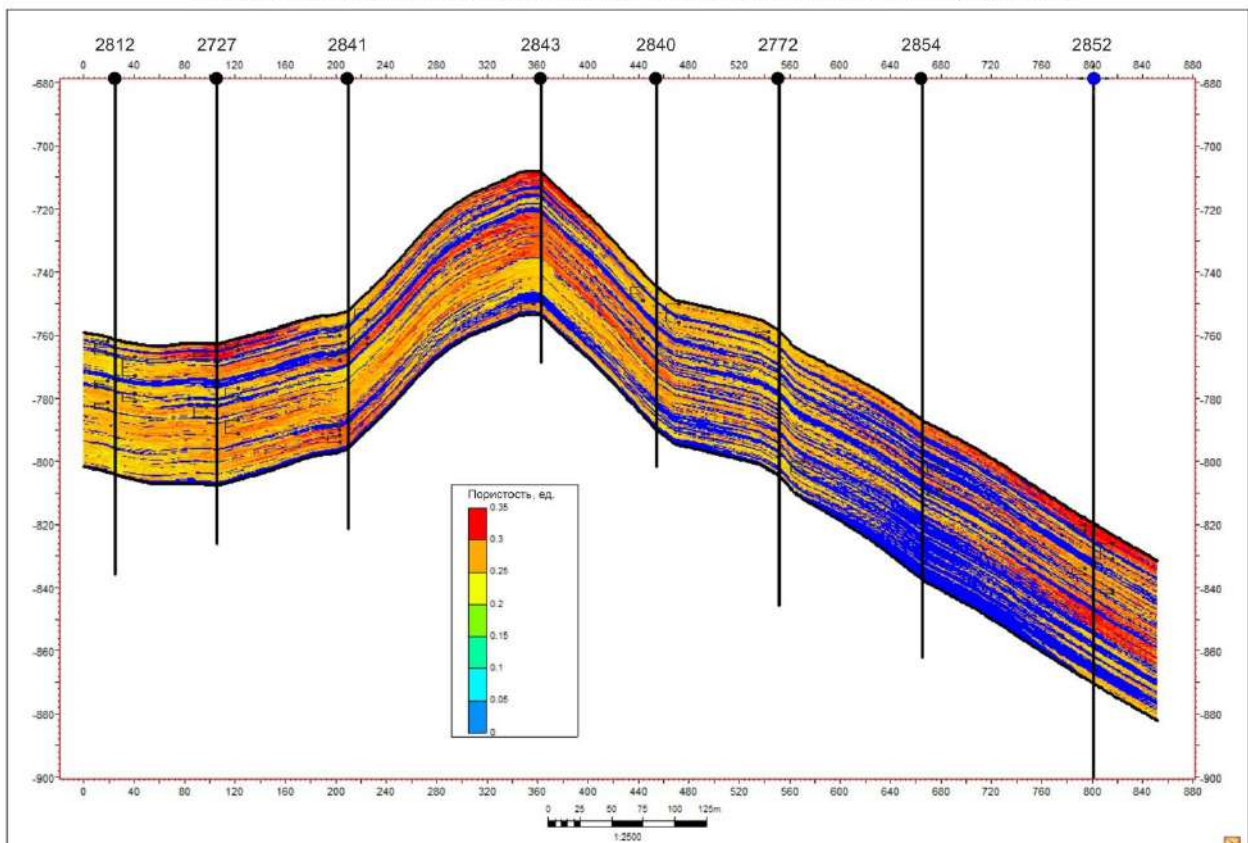


Рис. 7. Геологический профиль по линии скважин 2812-2843-2852 (пористость)

## Выводы

Выполненные оценки и множество практических примеров интерпретации позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

- впервые по горизонту ПК построена трехмерная геомодель для пространственного распределения коллекторов подкирмакинской свиты ПТ нефтеносного месторождения Бинагади;
- эта модель также позволяет более правильно подбирать методы по доизвлечению остаточных запасов. В перспективе эти сведения могут быть использованы при прогнозировании нефтеотдачи и при составлении рекомендаций по управлению технологическими процессами разработки месторождений;

– распределение точек на корреляционном поле свидетельствует о том, что в пределах Бинагадинского нефтеносного района имеется единая закономерность изменения фильтрационно-емкостных свойств пород;

– несмотря на более чем сто десятилетнюю разработку объекта, еще не достигнуто значение конечного коэффициента нефтеотдачи. На сегодняшний день по ПК она составляет  $\approx 0.7$ .

– построенная петрофизическая модель позволяет с большой достоверностью расчленивать интервалы, где отсутствуют каротажные материалы.

## ЛИТЕРАТУРА

- Абасов М.Т., Кондрушкин Ю.М., Алиyarov P.Ю., Крутых Л.Г. Изучение и прогнозирование параметров сложных природных резервуаров нефти и газа Южно-Каспийской впадины. Нафта-Пресс. Баку, 2007, 217 с.
- Абасов М.Т., Алиyarov P.Ю., Джалалов Г.И., Рамазанов P.A. О методе оценки изменения относительной фазовой проницаемости пород-коллекторов в процессе разработки. ВНИИОЭНГ. Москва, Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, No. 4, 2010, с. 51-57.
- Буряковский Л.А., Джафаров И.С., Джеваншир P.Д. Моделирование систем нефтегазовой геологии. Недра. Москва, 1990, 295 с.
- Гасанов А.Б., Меликов Х.Ф., Сеидов В.М. Оценка распределения коллекторов в пространстве по комплексу геофизических и петрофизических данных. НТВ “Каротажник”, Тверь, No. 7(172), 2008, с. 50-57.
- Гутман И.С. Методы подсчета запасов и оценки ресурсов нефти и газа. Издательский дом Недра. Москва, 2017, 363 с.
- Зинченко В.С. Петрофизические основы гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации геофизических данных. Издательство АИС. Москва, 2005, 387 с.
- Коваленко К.В. Система петрофизического обеспечения моделирования залежей нефти и газа на основе эффективной пористости гранулярных коллекторов. Москва, 2015, 49 с.
- Пашаев Н.В., Халилова Л.Н., Пашаева Ш.В. Геологическая оценка кирмакинской и подкирмакинской свит месторождения Бинагади по данным ГИС и петрофизики. Геофизические новости в Азербайджане, No. 1-2, Баку, 2017, с. 22-26.
- Nooraiepour M., Mondol N.H., Hellevang H. Permeability and physical properties of semi-compacted fine-grained sediments – A laboratory study to constrain mudstone compaction trends. Marine and Petroleum Geology, Vol. 102, No. B12, 2019, pp. 590-603.

## REFERENCES

- Abasov M.T., Kondrushkin Yu.M., Aliyarov R.Yu., Krutix L.G. Study and forecasting of the parameters of complex natural oil and gas reservoirs in the South Caspian depression. Baku, “Nafta-Press”, 2007, 217 p.
- Abasov M.T. Aliyarov R.Yu., Jalalov G.I., Ramazanov R.A. Method of evaluation of relative phase permeability change of rocks-collectors during their development. Moscow, Geology, geophysics and development of oil and gas fields, No. 4, 2010, pp. 51-57.
- Buryakovskiy L.A., Jafarov I.S., Janavanshir R.D. Modeling of petroleum geology systems. Nedra. Moscow, 1990, 295 p.
- Hasanov A.B., Melikov Kh.F., Seyidov V.M. Estimation of distribution in space by a complex of geophysical and petrophysical data. Karotajnik, Tver, No. 7(172), 2008, pp. 50-57.
- Gutman I.S. Methods for calculating reserves and estimating oil and gas resources. Nedra. Moscow, 2017, 363 p.
- Zinchenko V.S. Petrophysical foundations of hydrogeological and engineering-geological interpretation of geophysical data. AIS. Moscow, 2005, 387 p.
- Kovalenko K.V. Petrophysical support system for modeling oil and gas deposits based on the effective porosity of granular reservoirs. Moscow, 2015, 49 p.
- Pashayev N.V., Khalilova L.N., Pashayeva Sh.V. Geological assessment of the Kirmaki and Underkirmaki suites of the Binagadi field according to well logging and petrophysical data. Geophysical news in Azerbaijan, No. 1-2, 2017, Baku, pp. 22-26.
- Nooraiepour M., Mondol N.H., Hellevang H. Permeability and physical properties of semi-compacted fine-grained sediments – A laboratory study to constrain mudstone compaction trends. Marine and Petroleum Geology, Vol. 102, No. B12, 2019, pp. 590-603.

## РАЗРАБОТКА ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОРИСТОСТИ И ФАЗОВЫХ ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ КОЛЛЕКТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ БИНАГАДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Пашаев Н.В.

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, Азербайджан  
AZ1010, Баку, просп. Азадлыг, 34: [namat.pashayev@mail.ru](mailto:namat.pashayev@mail.ru)

**Резюме.** В статье приводятся результаты изучения изменения коэффициентов нефтенасыщенности и пористости продуктивных пластов подкирмакинской свиты (ПК) Бинагадинского месторождения спустя сто десять лет после начала его разработки.

Учитывая что, в настоящее время еще не разработаны практические методы количественной оценки текущего коэффициента нефтенасыщенности в обсаженных скважинах, при определениях были использованы в основном материалы ГИС и керновые данные – по скважинам в период их эксплуатации. В результате лучшего разделения коллекторов на продуктив-



ные и водоносные пласты, на основании корреляции разрезов скважин выделены одноименные продуктивные пласты внутри ПК, имеющие первостепенное значение при рациональной разработке месторождений. На основе новых данных построена зависимость  $K_{пр}$  от  $K_{п}$  для всех интервалов коллекторов, выделенных в разрезах скважин. Установлено, что на исследуемой площади нет начальных контуров нефтеносности. Кроме того, в целях оценки влияния литологических особенностей на фильтрационно-емкостные свойства коллекторов, установлены парные зависимости между  $K_{пр}$  и  $K_{п}$  по исследуемому горизонту. Полученная зависимость характеризуется высокой теснотой связи ( $R=0.85$ ). В перспективе эти сведения могут быть использованы при прогнозировании нефтеотдачи и при составлении рекомендаций по управлению технологическими процессами разработки месторождений. С целью изучения пространственного распределения коллекторов по площади (скважинам), а также пористости, проницаемости и нефтенасыщенности созданы трехмерные сетки геомодели. В результате, показана практическая возможность использования петрофизической модели, построенной с помощью стохастического метода, для изучения литологии разреза. Эффективность модели заключается в том, что она сравнима с каротажными данными, позволяющими с большой достоверностью расчленить интервалы, где отсутствуют каротажные материалы.

**Ключевые слова:** каротаж, скважина, пористость, проницаемость, электрическое сопротивление

## KOLLEKTORLARIN EFFEKTİV MƏSAMƏLİLİYİ VƏ FAZA KEÇİRİCİLİYİ ƏSASINDA PETROFİZİKİ MODELƏŞDİRMƏNİN İŞLƏNİLMƏSİ (BİNƏQƏDİ YATAĞININ TİMSALINDA)

**Paşayev N.V.**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti  
AZ1010, Bakı, Azadlıq prosf., 34: namat.pashayev@mail.ru*

**Xülasə.** Məqalədə yüz on ildən çox müddətdə işlənmədə olan Binəqədi yatağının Məhsuldar Qatın (MQ) Qırməkiəltı lay dəstəsinin (QAD) məhsuldar kollektorlarının və neftdoymululuğunun dəyişməsinin tədqiqi nəticələri verilir.

Hazırda istismar quyularında qalıq neftdoymululuğunun praktik cəhətdən kəmiyyətə qiymətləndirilmə metodikasını işlənilmədiyindən təyin etmədə əsasən quyuların istismar müddətində əldə edilmiş QGT materiallarından və kern məlumatlarından istifadə edilmişdir.

Kollektorların məhsuldar və sulu kimi sinifləşdirilməsində daha önəmli yanaşmalardan sayılan quyu kəsilişlərinin korrelyasiyası əsasında yatağın rəasional işlənməsində son dərəcə əhəmiyyət kəsb edən QAD-ın eyniadlı məhsuldar layları seçilmişdir.

Korrelyasiya ilə seçilmiş bütün kollektorlar üçün yeni məlumatlar bazasında kollektorların cari neftdoymululuğu ilə məsaməliliyi arasında asılılıq qurulmuşdur. Tədqiqat obyektində olan neft konturunun mövcudluğu təsdiq edilməmişdir.

Əlavə olaraq, kəsilişin litoloji xüsusiyyətlərinin məhsuldar kollektorların filtrasiya-tutma xassələrinə təsirinin qiymətləndirilməsi üçün tədqiqat horizonu üzrə qurulmuş  $K_{keç}=f(K_m)$  asılılığı yüksək əlaqəliliklə səciyyələnir ( $R=0.85$ ).

Bu məlumatlar gələcək perspektivlikdə neftvermənin proqnozlaşdırılmasında, eləcə də yatağın işlənmə prosesinin texnoloji idarəedilməsinə təkliflərin verilməsində istifadə edilə bilər.

Kollektorların sahə üzrə paylanma məkanının öyrənilməsi üçün eləcə də məsaməliliyin, keçiriciliyin, neftdoymululuğun dəyişmə xüsusiyyətlərini özündə ehtiva edən üçölçülü geomodel şəbəkəsi qurulmuşdur.

Nəhayət, kəsilişin litologiyasını öyrənmək məqsədi ilə stoxastik üsuldən istifadə etməklə petrofiziki model qurulmuşdur. Modelin əhəmiyyəti karotaj aparılmayan intervallarda litologiyanın səhih təyininəndən ibarətdir.

**Açar sözlər:** karotaj, quyu, qışqırmaq, keçiricilik, elektrik müqaviməti