



УДК (552.5:004.9):551.762.2(571.16)

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОРИИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ТЕЛ СРЕДНЕЮРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО КОМПЛЕКСА (НА ПРИМЕРЕ ГЕРАСИМОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

М. О. Федорович, А. Ю. Космачева

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

В программном комплексе DIONISOS (Beicip-Технологии) проведены реконструкция условий накопления и фацимальное моделирование песчаных пластов-коллекторов Ю<sub>6</sub>–Ю<sub>10</sub> тюменской свиты и углисто-глинистых пачек, играющих роль флюидоупоров, в пределах Герасимовского нефтегазоконденсатного месторождения, которое расположено на юге Парабельского района Томской области. Реконструкции фацимальных обстановок позволяют последовательно восстановить условия и создать общую принципиальную модель накопления песчано-глинистых отложений среднеюрского НГК на данной территории. Полифацимальные отложения байоса представлены песками дельтовых рукавов и устьевых баров, подводного склона дельты, надводной и подводной дельтовых равнин, глинисто-углистыми осадками пойменных озер, болот, маршей и лагун, глин, образующихся на границе надводной и подводной дельтовых равнин, алевритовыми отложениями надводной и подводной дельтовых равнин, глинами продельты. В результате построения фацимальной модели 3D показано, что субконтинентальные обстановки накопления песчаных пластов Ю<sub>8</sub>–Ю<sub>10</sub> сменяются дельтовыми и пойменно-озерно-болотными, и формирование пластов Ю<sub>6</sub>–Ю<sub>7</sub> происходит в условиях прибрежной равнины, периодически заливаемой морем. Всего выделено пять литотипов песчаных отложений: один – глинисто-углистых, два – глинистых и один – алевритовых. Выполнено компьютерное фацимальное 3D моделирование комплекса песчаных тел – коллекторов УВ байосского возраста для Герасимовского нефтегазоконденсатного месторождения.

**Ключевые слова:** фацимальное моделирование, литофацции, литотипы, среднеюрский нефтегазоносный комплекс, тюменская свита, Герасимовское месторождение, Западно-Сибирский осадочный бассейн.

## COMPUTER MODELING OF THE SAND BODIES DEPOSITIONAL HISTORY OF THE MIDDLE JURASSIC PETROLEUM PLAY (BY THE EXAMPLE OF THE GERASIMOVSKOE FIELD, WESTERN SIBERIA)

М. О. Fedorovich, A. Yu. Kosmacheva

A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

The present paper describes the DIONISOS software package (Beicip-Technologies), where the reconstruction of the accumulation conditions and facies modeling of sand reservoirs Yu<sub>10</sub>, Yu<sub>9</sub>, Yu<sub>8</sub>, Yu<sub>7</sub> and Yu<sub>6</sub> of the Tyumenskaya Formation and carbonaceous-clay members acting as fluid seals within the Gerasimovskoye oil and gas condensate field located in the south of the Parabel district of the Tomsk region. Reconstructions of facies environments make it possible to consistently restore conditions and create a general principled model of the accumulation of sandy-argillaceous deposits of the Middle Jurassic PP in a given territory. Polyfacies deposits of the Bajocian are represented by sands of distributaries and stream-mouth bars, underwater slope of delta, above-water and underwater delta plains, argillaceous-carbonaceous sediments of floodplain lakes, bogs, marshes and lagoons, clays formed at the border of the above-water and underwater delta plains, silt deposits of above-water and underwater delta plains, prodelta clays. As a result of the 3D facies model construction, it is shown that the subcontinental sedimentary environments of sand reservoirs Yu<sub>10</sub>–Yu<sub>8</sub> are replaced by deltaic and floodplain-lacustrine-boggy ones, and the formation of Yu<sub>7</sub>–Yu<sub>6</sub> reservoirs occurs in conditions of coastal plain, periodically flooded by the sea. In total, 5 lithotypes of sand deposits have been identified, 1 – argillaceous-carbonaceous, 2 – argillaceous and 1 – silty. Computer facies 3D modeling of the sand bodies assemblage (hydrocarbon reservoirs) of the Bajocian age for the Gerasimovskoye oil and gas condensate field has been performed.

**Keywords:** facies modeling, lithofacies, lithotypes, Middle Jurassic petroleum play, Tyumenskaya Formation, Gerasimovskoye field, West-Siberian sedimentary basin.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-4-8-13

Значение трудноизвлекаемых запасов углеводородов из сложно построенных и глубокозалегающих залежей для нефтегазовой отрасли России стремительно возрастает. Существенная доля трудноизвлекаемой нефти сосредоточена в среднеюрских отложениях тюменской свиты, разработка которых активизировалась к настоящему времени [10].

Основной целью данной работы является компьютерное 3D моделирование строения и реконструкция условий накопления нефтеносных песчаных пластов-коллекторов тюменской свиты в пределах Герасимовского месторождения.

По величине начальных извлекаемых запасов нефти и газа Герасимовское месторождение отно-



сится к категории мелких, продуктивные пласты байосского возраста имеют сложное полифациальное строение, не выдержаны по простиранию. Месторождение находится в разработке, но требуется его доразведка и переоценка запасов углеводородов (УВ) в связи с истощением фонда залежей антиклинального типа как в районе исследований, так и в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП) в целом [10]. В данной работе использованные авторами современные методы исследований и разработанные крупнейшими нефтесервисными компаниями программные средства

исследования модель основана на представлениях, принятых в ИНГГ СО РАН [5]. По мнению А. Э. Конторовича с соавторами, в юго-восточной части Западно-Сибирского бассейна низкое положение базиса эрозии послужило причиной возникновения обширных озерных водоемов и формирования значительных по площади пойм в речных долинах; увеличилось содержание алеврито-глинистого материала, начались интенсивные процессы торфонакопления. В байосский век происходило постепенное превращение аллювиальной аккумулятивной равнины с типичным режимом континентальной

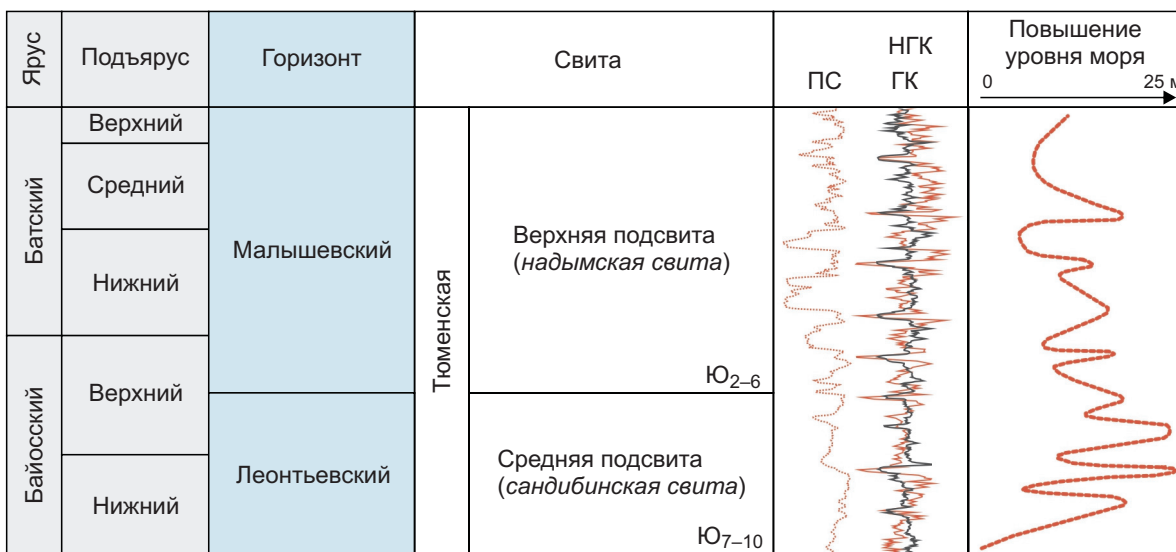


Рис. 1. Изменение относительного уровня моря во время накопления леонтьевского и малышевского горизонтов

позволяют принципиально уточнить геологические модели продуктивных пластов-коллекторов, повышая их детальность и достоверность.

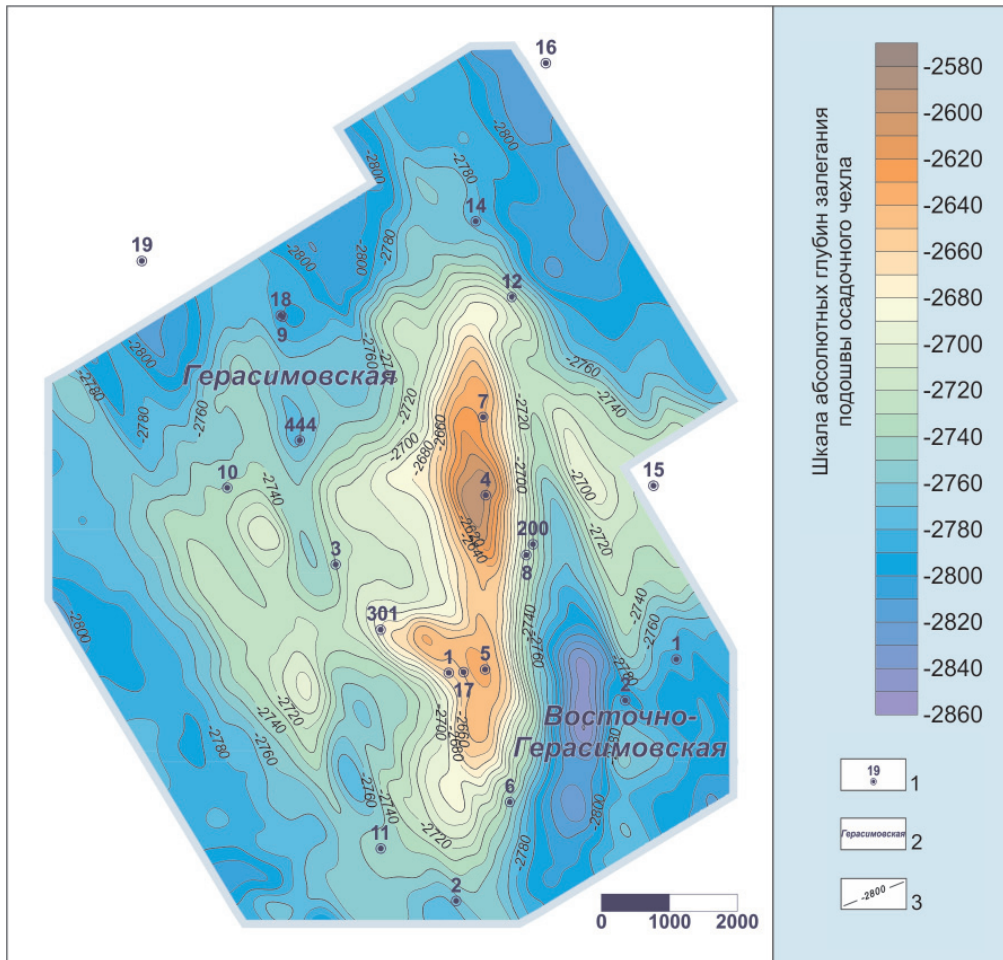
Герасимовское нефтегазоконденсатное месторождение, расположенное на юге Парабельского района Томской области, в соответствии с тектонической картой юрского структурного яруса юго-востока Западной Сибири приурочено к одноименному локальному поднятию, осложняющему юго-западную часть Пудинского мезоподнятия [2]. Согласно нефтегазогеологическому районированию юго-восточных районов Западной Сибири территория исследования принадлежит к Пудинскому нефтегазоносному району. Сложно построенные залежи жидких углеводородов тюменской свиты Герасимовского месторождения, в различной степени контролирующиеся структурным, литологическим и тектоническим факторами, сосредоточены в песчаных пластах Ю<sub>6</sub>–Ю<sub>10</sub>, для которых роль флюидоупоров играют углистоглинистые пачки [3].

Рассматриваемые отложения накапливались в течение байосского времени (леонтьевский горизонт – нижняя часть малышевского) [7]. Существуют различные точки зрения на обстановки их осадконакопления [1, 4, 5]. Построенная в рамках данного

седиментации в прибрежную равнину, часто затопляемую водами ингрессировавшего морского бассейна (рис. 1).

Песчаные пласты Ю<sub>7</sub>–Ю<sub>10</sub> относятся к средней подсвите тюменской свиты (сандибинская свита), которая сложена песчаниками серыми, чередующимися с алевролитами и углистыми глинами. Песчаный пласт Ю<sub>6</sub> залегает в подошве верхней подсвиты тюменской свиты (надымская свита), которая представлена глинами серыми алевритистыми, чередующимися с глинистыми песчаниками, алевролитами и пропластками углей [7].

Создание геологических моделей в настоящее время является необходимым элементом при разведке и разработке месторождений углеводородов. Новейшие программные пакеты дают возможность интегрировать различные источники данных в рамках одной модели. Построение фациальной модели Герасимовского месторождения выполнено в программном продукте DIONISOS, который позволяет реконструировать архитектуру фаций, изменяющуюся с течением геологического времени; определять характер распределения вещественного состава пород, палеобатиметрию бассейна и роль источников сноса при транспортировке и распределении осадочного материала [6].



**Рис. 2.** Структурная карта по подошве осадочного чехла (отражающий горизонт  $\Phi_2$ )  
1 – скважины; 2 – площади;  
3 – изогипсы, м

В основу фациальной модели были положены следующие входные параметры:

- данные бурения 23 скважин (рис. 2), которые включали стратиграфические разбивки основных реперных поверхностей, описание керна и комплекс геофизических исследований;
- структурные карты по кровлям пластов  $Ю_6$ – $Ю_{10}$ ;
- глубины бассейна на время накопления песчано-алевролитовых и углисто-глинистых отложений, определенные по литературным данным [5];
- изменение эвстатических колебаний уровня Мирового океана в среднеюрское время (см. рис. 1) [5, 11].

В результате получен набор карт на время формирования каждого песчаного пласта, характеризующих обстановки осадконакопления среднеюрского нефтегазоносного комплекса Герасимовского месторождения. Посредством комбинации параметров, описывающих условия осадконакопления, историю тектонического развития и гидродинамику водной среды бассейна, были определены литофации [8, 9], которые характеризуют постепенное превращение аккумулятивной равнины с типичным режимом континентальной седиментации в прибрежную равнину, часто затопляемую водами морского бассейна, где преобладали лагунные (временами ингрессионно-морские), пойменно-озерные, болотные, речные

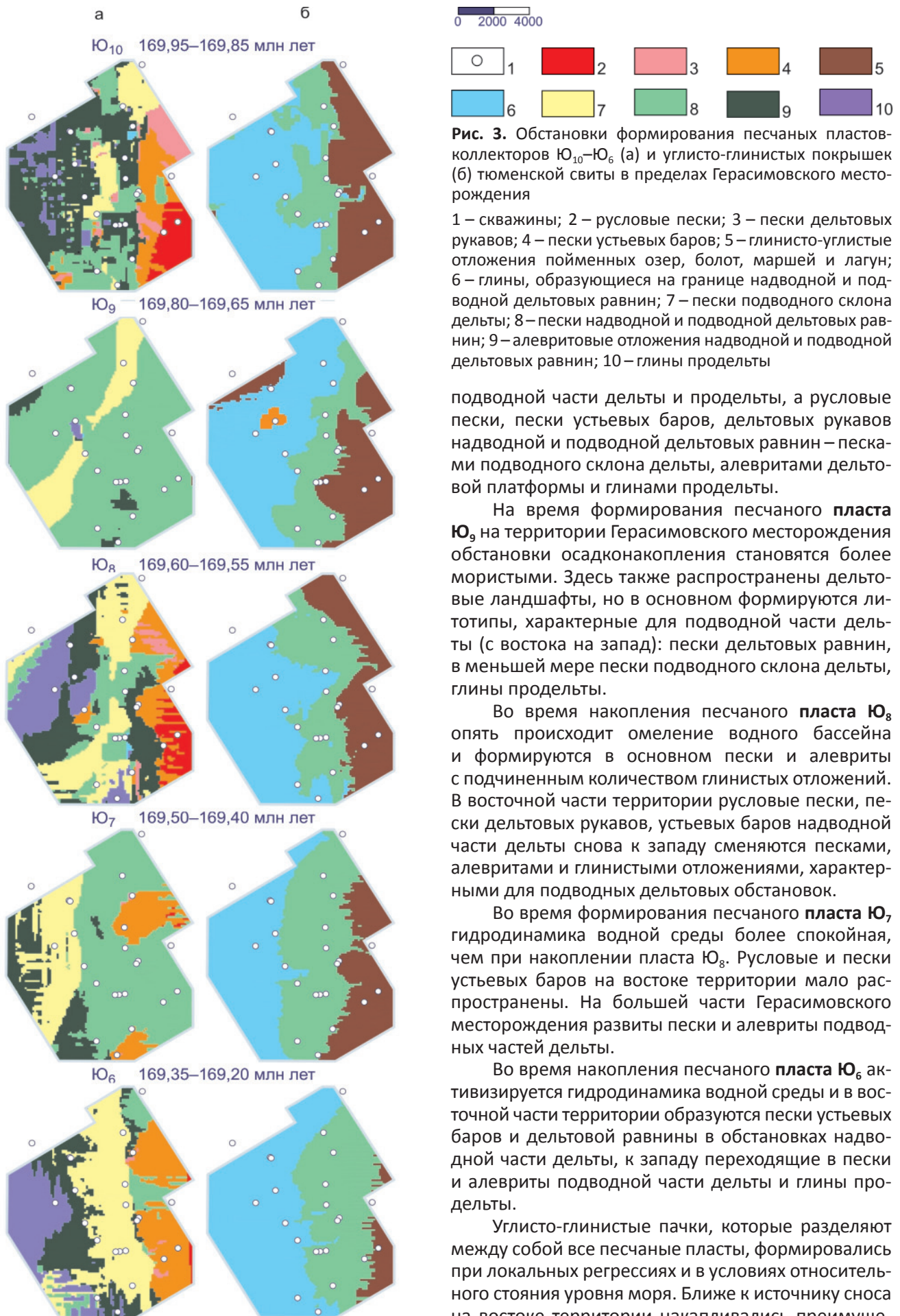
и дельтовые ландшафты, и формировались следующие отложения [5, 8, 9]:

- глинисто-углистые осадки пойменных озер, болот, маршей и лагун;
- русловые пески;
- пески дельтовых рукавов;
- пески устьевых баров;
- пески подводного склона дельты;
- пески надводной и подводной дельтовых равнин;
- алевриты надводной и подводной дельтовых равнин;
- глины на границе надводной и подводной дельтовых равнин;
- глины продельты.

### Результаты фациального моделирования

На время накопления песчаного пласта  $Ю_{10}$  в пределах Герасимовского месторождения формировались русловые пески, пески дельтовых рукавов и устьевых баров, пески подводного склона дельты, надводной и подводной дельтовых равнин, алевриты надводной и подводной дельтовых равнин, глины, образующиеся на границе надводной и подводной дельтовых равнин, и глины продельты (рис. 3). С востока на запад исследуемой территории обстановки осадконакопления, способствующие формированию литотипов, характерных для надводной части дельты, сменяются обстановками





подводной части дельты и продельты, а русловые пески, пески устьевых баров, дельтовых рукавов надводной и подводной дельтовых равнин – песками подводного склона дельты, алевритами дельтовой платформы и глинами продельты.

На время формирования песчаного **пласта Ю<sub>9</sub>** на территории Герасимовского месторождения обстановки осадконакопления становятся более мористыми. Здесь также распространены дельтовые ландшафты, но в основном формируются литотипы, характерные для подводной части дельты (с востока на запад): пески дельтовых равнин, в меньшей мере пески подводного склона дельты, глины продельты.

Во время накопления песчаного **пласта Ю<sub>8</sub>** опять происходит омеление водного бассейна и формируются в основном пески и алевриты с подчиненным количеством глинистых отложений. В восточной части территории русловые пески, пески дельтовых рукавов, устьевых баров надводной части дельты снова к западу сменяются песками, алевритами и глинистыми отложениями, характерными для подводных дельтовых обстановок.

Во время формирования песчаного **пласта Ю<sub>7</sub>** гидродинамика водной среды более спокойная, чем при накоплении пласта Ю<sub>8</sub>. Русловые и пески устьевых баров на востоке территории мало распространены. На большей части Герасимовского месторождения развиты пески и алевриты подводных частей дельты.

Во время накопления песчаного **пласта Ю<sub>6</sub>** активизируется гидродинамика водной среды и в восточной части территории образуются пески устьевых баров и дельтовой равнины в обстановках надводной части дельты, к западу переходящие в пески и алевриты подводной части дельты и глины продельты.

Углисто-глинистые пачки, которые разделяют между собой все песчаные пласты, формировались при локальных регрессиях и в условиях относительного стояния уровня моря. Ближе к источнику сноса на востоке территории накапливались преимуще-

ственно глинисто-углистые отложения пойменных озер, болот, маршей и лагун, к западу сменяясь песками надводной дельтовой равнины и глинами, образующимися на границе надводной и подводной дельтовых равнин.

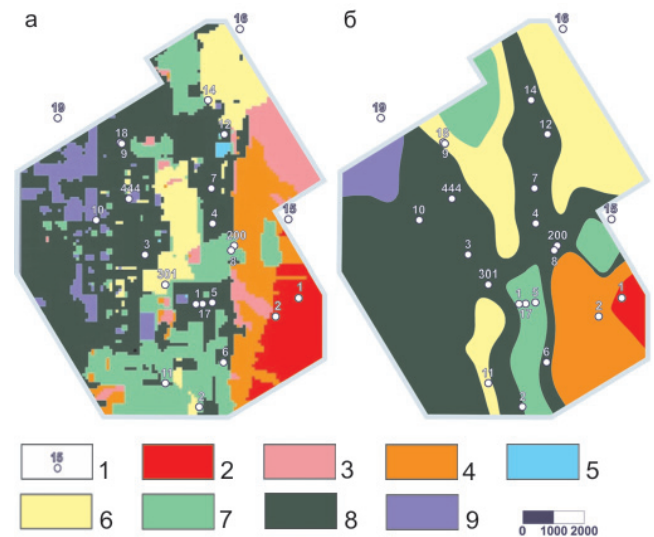
### Выводы

Таким образом, результаты компьютерного моделирования фациальных обстановок в байосский век на территории Герасимовского месторождения отражают положение палеогеографических областей, характерных для всей Западно-Сибирской низменности [5]. На рис. 3 в последовательности накопления песчаных пластов и разделяющих их углисто-глинистых отложений четко отражаются кратковременные понижения и повышения уровня моря и связанные с ним регрессия и трансгрессия в начале и конце века. Ближе к источнику сноса, в восточной части территории исследования, при накоплении песчаных пачек формировались в основном русловые пески, пески дельтовых рукавов и устьевых баров. В соответствии с особенностями рельефа (см. рис. 2) на унаследованных приподнятых участках дна бассейна седиментации накапливались пески, характерные для дельтовых фациальных обстановок, тогда как в более погруженных участках территории – алевритовые отложения надводной и подводной дельтовых равнин и глин продельты. С течением времени субконтинентальные обстановки формирования пластов Ю<sub>10</sub>–Ю<sub>6</sub> сменились дельтовыми и пойменно-озерно-болотными в связи с трансгрессией моря и продвижением береговой линии к востоку. Таким образом, пласты Ю<sub>7</sub>–Ю<sub>6</sub> накапливались в условиях прибрежной равнины, периодически заливаемой морем.

Данные фациального моделирования были сопоставлены со структурными и палеогеографическими построениями по материалам 3D сейсморазведки и глубокого бурения [3], что показало удовлетворительное совпадение основных тенденций распределения фаций на момент накопления соответствующих песчаных пластов-коллекторов. Карты обстановок формирования песчаного пласта Ю<sub>6</sub> показаны на рис. 4.

Создание фациальной модели среднеюрского нефтегазоносного комплекса Герасимовского месторождения позволяет принципиально уточнить обстановки осадконакопления и детализировать архитектуру фаций по площади исследования в течение байосского времени. Характер распределения песчаных, алевритовых и глинистых пород в межскважинном пространстве может служить показателем коллекторских свойств продуктивных отложений и имеет определяющее значение для выполнения достоверного прогноза нефтегазоносности территорий.

Авторы выражают благодарность к.г.-м.н. Л. Г. Вакуленко за советы и ценные замечания при работе над данной статьей, а также чл.-кор. РАН



**Рис. 4.** Карты обстановок формирования песчаного пласта Ю<sub>6</sub> тюменской свиты в пределах Герасимовского месторождения по результатам фациального моделирования (а) и структурных и палеогеографических построений по материалам 3D сейсморазведки и глубокого бурения (б)

1 – скважина; 2 – русловые пески; 3 – пески дельтовых рукавов; 4 – пески устьевых баров; 5 – глины, образующиеся на границе надводной и подводной дельтовых равнин; 6 – пески подводного склона дельты; 7 – пески надводной и подводной дельтовых равнин; 8 – алевритовые отложения надводной и подводной дельтовых равнин; 9 – глины продельты

В. А. Конторовичу за предоставленную возможность использовать сейсмогеологические данные.

*Исследование выполнено в рамках проекта 0266–2019–0006 «Разработка методик оценки ресурсов, разведки и подсчета запасов залежей трудноизвлекаемой нефти в углеродистых карбонатно-глинисто-кремнистых, карбонатных и засоленных песчаных коллекторах».*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геологическое** строение и нефтегазоносность нижней – средней юры Западно-Сибирской провинции / Ф. Г. Гурари, В. П. Девятов, В. И. Демин и др. – Новосибирск: Наука, 2005. – 156 с.
2. **Конторович В. А.** Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. – 253 с.
3. **Космачева А. Ю., Федорович М. О.** Нефтегазоносность Герасимовского месторождения по результатам комплексной интерпретации сейсморазведки 3D и данных глубокого бурения // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2019. – Т. 14, № 3. – Точка доступа: [http://www.ngtp.ru/rub/2019/29\\_2019.html](http://www.ngtp.ru/rub/2019/29_2019.html).
4. **Недоливко Н. М.** Влияние условий осадконакопления и постседиментационных преобразований на коллекторские свойства средневерхнеюрских отложений зоны сочленения Нюрольской



впадины и Пудинского мегавала (Томская область): автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Новосибирск: ОИГИМ СО РАН, 2003. – 22 с.

5. **Палеогеография** Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде / А. Э. Конторович, В. А. Конторович, С. В. Рыжкова и др. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 972–1012.

6. **Результаты** моделирования обстановок осадконакопления Усть-Енисейского района в ПО DIONISOS / М. О. Федорович, Л. М. Бурштейн, О. А. Емельяненко и др. // Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: сб. матер. XIV Междунар. науч. конгр. «Интерэкспо GEO-Сибирь-2018». Т. 2. – Новосибирск: СГУГИТ, 2018. – С. 78–83.

7. **Решение** 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири / под ред. Ф. Г. Гурари и др. – Новосибирск: СНИИГИМС, 2004. – 114 с.

8. **Селли Р. Ч.** Древние обстановки осадконакопления. – М.: Недра, 1989. – 294 с.

9. **Условия** формирования средневерхнеюрских отложений восточной части Нюрольского осадочного бассейна / А. В. Ежова, Н. М. Недоливко, Т. Г. Тен и др. // Изв. ТПУ. – 2001. – Т. 304, № 1. – С. 13–49.

10. **Шмелев П. В.** ТРИЗ как объективная реальность. Особенности классификации и разработки трудноизвлекаемых запасов // Сибирская нефть. – 2018. – № 2. – С. 16–23.

11. **Эвстатические** сигналы в юрских и нижнемеловых (неокомских) отложениях Западно-Сибирского осадочного бассейна / В. А. Захаров, Б. Н. Шурыгин, М. А. Левчук и др. // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 11. – С. 1492–1504.

## REFERENCES

1. Gurari F.G., Devyatov V.P., Demin V.I. *Geologicheskoye stroeniye i neftegazonosnost nizhney – sredney yury Zapadno-Sibirskoy provintsii* [Geological structure and petroleum potential of the Lower-Middle Jurassic of the West Siberian Province]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005. 156 p. (In Russ.).

2. Kontorovich V.A. *Tektonika i neftegazonosnost mezozoysko-kaynozoykskikh otlozheniy yugo-vostochnykh rayonov Zapadnoy Sibiri* [Tectonics and petroleum potential of Mesozoic-Cenozoic deposits in southeastern Western Siberia]. Novosibirsk, SB RAS Publ., GEO Branch, 2002. 253 p. (In Russ.).

3. Kosmacheva A.Yu., Fedorovich M.O. [Petroleum potential of the Gerasimovskoye field by the results of integrated interpretation of 3D seismic survey and deep drilling data]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2019, vol. 14, no. 3. Available at: [http://www.ngtp.ru/rub/2019/29\\_2019.html](http://www.ngtp.ru/rub/2019/29_2019.html). (In Russ.).

4. Nedolivko N.M. *Vliyaniye usloviy osadkonakopleniya i postsedimentatsionnykh preobrazovaniy na kollektorskiye svoystva sredne-verkhneyurskikh otlozheniy zony sochleneniya Nyurolskoy depressii i Pudinskogo megavala (Tomskaya oblast)*. Avtoref. kand. dis. [Influence of sedimentation conditions and post-sedimentary transformations on the reservoir properties of the Middle – Upper Jurassic deposits of the junction zone of the Nyurolskaya depression and the Pudinsky megalithic bar (Tomsk region). Author's abstract of PhD thesis]. Novosibirsk, 2003. 22 p. (In Russ.).

5. Kontorovich A.E., Kontorovich V.A., Ryzhkova S.V., et al. Jurassic Paleogeography of the West Siberian sedimentary basin. *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 747–779.

6. Fedorovich M.O., Burshteyn L.M., Yemelyanenko O.A., et al. [Results of conditions of sedimentation of the Ust-Yenisey area in the DIONISOS software]. *Nedropolzovaniye. Gornoye delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh. Ekonomika. Geoekologiya. Sb. materialov XIV Mezhdunar. nauch. kongr. "Interekspo GEO-Sibir-2018. T. 2* [Subsoil use. Mining. Directions and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Economy. Geoecology. Collection of materials of 14<sup>th</sup> International Scientific Conference "Interekspo GEO-Sibir-2018". Vol. 2]. Novosibirsk, SSUGT Publ., 2018, pp. 78–83. (In Russ.).

7. *Resheniya 6-go Mezhdomstvennogo stratigraficheskogo soveshchaniya po rassmotreniyu i prinyatiyu utochnennykh stratigraficheskikh skhem mezozoyskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri* [Decisions of the 6<sup>th</sup> Interdepartmental Stratigraphical Committee for considering and acceptance of the specified stratigraphical schemes of the Mesozoic of Western Siberia. F.G.Gurari ed.]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2004. 114 p. (In Russ.).

8. Selli R.Ch. *Drevniye obstanovki osadkonakopleniya* [Ancient sedimentation]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 294 p. (In Russ.).

9. Yezhova A.V., Nedolivko N.M., Ten T.G., et al. [Middle Jurassic deposits formation conditions in the eastern part of the Nyuroka sedimentary basin]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2001, vol. 304, no. 1, pp. 13–49. (In Russ.).

10. Shmelev P.V. [Hard-to-recover reserves as an objective reality. Features of classification and development of hard-to-recover reserves]. *Sibirskaya nefte*, 2018, no. 2, pp. 16–23 (In Russ.).

11. Zakharov V.A., Shurygin B.N., Levchuk M.A. [Eustatic signals in the Jurassic and Lower Cretaceous (Neocomian) deposits of the West Siberian sedimentary basin]. *Geologiya i geofizika*, 1998, vol. 39, no. 11, pp. 1492–1504. (In Russ.).

© М. О. Федорович, А. Ю. Космачева, 2020