

УДК 552.143

ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОДНОГО ИЗ ПЛАСТОВ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ Т LITOLOGICAL CHARACTERISTIC OF ONE OF LAYERS OF UPPER JURASSIC SEDIMENTS OF THE T FIELD

Д. С. Бегма, В. А. Белкина
D. S. Begma, V. A. Belkina

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: литотип; седиментологическая модель; верхнеюрские отложения
Key words: lithotype; sedimentological model; Upper Jurassic sediments

Седиментологические факторы определяют закономерности геологического строения, условия формирования и качество резервуаров и покрышек, что является информационной основой прогноза размеров и форм природных резервуаров нефти и газа. Детализация геологического строения продуктивных пластов имеет не меньшую значимость и на этапах проектирования и управления разработкой месторождений. В последние годы появились работы, в которых геологические объекты рассматриваются не как единое целое, а разбиваются на ряд составных частей, как правило, значимо различающихся по каким-либо геологическим характеристикам, чаще всего по фильтрационно-емкостным свойствам (ФЕС). Такой подход позволяет более четко обосновать выбор приоритетных объектов и стратегию разработки, дает возможность, например, определить оптимальное количество скважин (в том числе их размещение) для наиболее эффективной выработки запасов, уменьшить неопределенности, связанные с геологическим строением, а также спрогнозировать зоны с наиболее высокими с ФЕС. Детальные трехмерные геологические модели на основании комплекса геолого-геофизической информации являются надежным инструментом для решения этих задач.

Базис построения корректной цифровой трехмерной геологической модели — концептуальная модель (КМ). КМ дает формализованные представления о геологическом строении объекта (стратиграфия, тектоника, генезис отложений, морфология и закономерности изменения ФЕС), положенные в основу геологической модели [1].

Построение концептуальной модели предваряет литологический анализ, который требует проведения:

- детального анализа структурных и текстурных особенностей;
- анализа гранулометрического состава осадков: размера зерен, их формы и окатанности, структуры поверхности.

Объект исследования — песчаники верхнеюрских отложений лицензионного участка Т. Газоконденсатное месторождение Т расположено в Ямало-Ненецком автономном округе в пределах крупной антиклинальной структуры. Оно приурочено к одноименному локальному поднятию Пур-Тазовской нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, является многопластовым: продуктивными и потенциально продуктивными здесь являются горизонты, начиная с тюменской свиты и стратиграфически выше вплоть до отложений нижнемелового возраста. В тектоническом отношении лицензионный участок Т расположен в На-

дым-Тазовской синеклизе (структура I порядка) в зоне сочленения структур II порядка: Нижнехудосейской малой впадины и Западно-Красноселькупского крупного вала. Термокарстовое поднятие осложняет Тычельско-Западно-Красноселькупский малый вал. В пределах участка выделяется также Восточно-Термокарстовое поднятие, осложняющее Нижнехудосейскую малую впадину.

Седиментологическое изучение верхнеюрских отложений проведено по керну скв. 211 (вынос керна 97,3 %) и скв. 207 (вынос керна 100 %) месторождения Т. Обе скважины пробурены в куполе залежи. В скв. 207, с высоким процентом выноса керна, вскрыты алевроито-песчаные отложения пласта Ю₁^{а-1}. Суммарная толщина разреза, изученного по керну скв. 207, составляет 61,09 м (99,57 %). В скв. 211 с отбором керна вскрыты алевроито-песчаные отложения стратиграфического разреза в объеме продуктивных пачек Ю₁^а, Ю₁^{а-1}, Ю₁¹, Ю₁², Ю₂⁰. Суммарная толщина разреза, изученного по керну из скв. 211, составляет 116,8 м (97,4 %).

Согласно региональным исследованиям А. Э. Конторовича, М. Я. Рудкевича, И. И. Нестерова и др., формирование верхнеюрских отложений происходило в прибрежно-морской обстановке в условиях сноса материала с запада на восток [2].

На основе полученных данных, керновый материал систематизирован по фациальным признакам с выделением 6 литотипов и 6 обстановок осадконакопления (фаций). Седиментологическое описание керна по скважинам 207 и 211 выполнено А. Лопатиным, К. Зверевым и др. (2014 г.). В настоящей работе изложены результаты седиментологического анализа пород пачки Ю₁^{а-1}. На Т площади кровля пласта Ю₁^{а-1} совпадает с кровлей сиговской свиты. В целом породы-коллекторы представлены песчаниками зеленовато-серыми и алевролитами, содержащими прослой глауконитовых глин и остатки морской фауны: следы аммонитов, ядра двустворок, ростры белемнитов.

Литотип 1 представлен темно-серыми слабо биотурбированными массивными глинистыми алевролитами с немногочисленными линзами и тонкими прослоями светло-серого тонкозернистого песчаника (рис. а). Толщина песчаных линз и прослоев от 1–3 см. Большинство линз имеет хорошо выраженное мелкокосослойчатое строение и представлено мелкой косой слойчатостью симметричной волновой и комбинированной ряби. Отмечаются тонкие градационные прослой крупнозернистого алевролита. Биотурбационные текстуры имеют небольшое видовое разнообразие и представлены горизонтально и наклонно ориентированными мелкими ходами червей (*Chondrites*, *Phycosiphon*). В песчаных прослоях отмечаются следы бегства (*Fugichnia*).

Согласно гранулометрии преобладающими являются мелкозернистая алевроитовая и мелкозернистая песчаная фракции, что обусловлено переслаиванием литотипов. Среди глинистых минералов цемента преобладают хлорит (56 %) и каолинит (36 %). Открытая пористость (k_n) изменяется в широком диапазоне, вследствие присутствия линзочек и прослоев песчаника в глинистом алевролите, от 7 до 12,9 %, в среднем составляет 10,9 %. Коэффициент проницаемости (k_{np}) колеблется от 0,07 до 1,0 мД, в среднем равен 0,4 мД.

Образование линзовидно-слоистых глинистых аргиллитов литотипа 1 происходило в относительно глубоководной зоне моря, ниже или на уровне среднего базиса штормовых волн, в обстановках дистальной и проксимальной частей продельтового склона, а также дистальной части фронта дельты, в относительно спокойных условиях седиментации, способствовавших осаждению взвешенных тонкозернистых фракций осадков, с неустойчивым гидродинамическим режимом. Нестабильность условий осадконакопления выражалась в периодическом усилении гидродинамической активности среды, связанной с воздействием на дно волновых процессов. На возможное участие гипопикнальных тонкозернистых потоков в транспортировке глинисто-алевровитового материала указывает присутствие в разрезе прослоев массивных аргиллитов, не содержащих следы биотурбации.

Литотип 2 представлен равномерным переслаиванием темно-серых массивных до тонкослоистых глинистых алевролитов и светло-серых тонко- и мелкозернистых песчаников (рис. б). Толщина песчаных и глинистых прослоев от 2–5 см до 7–10 см. Строение песчаников представлено мелкой косой слойчатостью низкоамплитудной волновой ряби и комбинированной ряби. В наиболее толстых песчаных прослоях отмечается бугорчатая косая слоистость. Биотурбационная переработка пород от слабой до умеренной, с низким видовым разнообразием (*Asterosoma*, *Fugichina*, *Phycosiphon*, *Planolites*). Прослои песчаников и глинистых алевролитов в отдельных интервалах разреза сильно деформированы оползанием и смяты в мелкие складки.

По результатам гранулометрического анализа в пласте Ю₁^{а-1} преобладающим минералом глинистого цемента является хлорит (в среднем 54 %), в подчиненном количестве присутствует каолинит (14 %). Значения k_n изменяются от 2 до 23 %, среднее значение равно 15 %, k_{np} изменяется от 0,07 до 359 мД, среднее равно 26,2 мД. Большой диапазон изменений ФЕС обусловлен тем, что литотип представлен переслаиванием тонкозернистых песчаников и глинистых алевролитов.

Неоднородное строение разреза литотипа 2, обусловленное переслаиванием алевроито-глинистых и песчаных пород, присутствием в песчаниках волновых и штормовых текстур, слабая степень биотурбационной переработки пород и обедненный видовой состав биотурбационных текстур, а также широкое развитие в породах литотипа текстур конседиментационных деформаций, связанных с оползневыми процессами, свидетельствуют об отложении выше среднего базиса штормовых волн пород в обстановках различных частей подводного склона как дельтовой, так и недельтовой береговой линии, а также эстуариев. На относительно высокую динамику волновых процессов при накоплении пород литотипа указывает присутствие в строении песчаников серий бугорчатой косой слойчатости и волновой ряби.

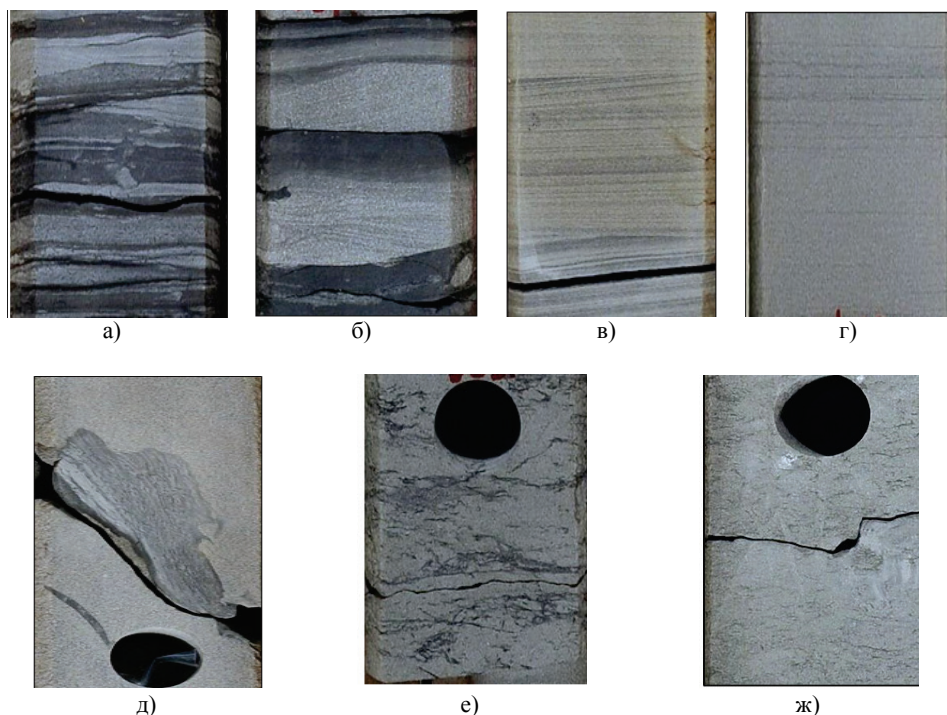


Рисунок. Фотографии образцов керна, отобранных из скв. 207, 211 месторождения Т.
Литотипы: а — 1, б — 2, в — 3, г — 4, д — 5, е — 6, ж — 7

Литотип 3 представлен небитурбированными и слабобитурбированными светло-серыми мелко-тонкозернистыми песчаниками с бугорчатой косой слоистостью и пологовогнутой косой слоистостью (рис. в). Косослоистое строение песчаников подчеркивается сериями тонких пологонаклонных параллельных слоев, обогащенных углисто-слюдистым детритом, срезающих друг друга под пологим углом. Толщина серий изменяется от 0,1 до 0,5 м.

По данным гранулометрического анализа отложения литотипа 3 представлены тонкозернистыми песчаниками, алевритовыми, пелитистыми. Сортировка отложений преимущественно средняя. По минеральному составу породообразующих компонентов породы относятся к граувакковым аркозам (кварц — 57,6 %, полевые шпаты — 23,8 %, обломки пород — 18,6 %). В качестве акцессорных минералов наиболее часто встречаются гранат, циркон, сфен. По результатам анализа в пласте Ю₁^{а-1} преобладающим минералом глинистого цемента является хлорит (в среднем 66 %), в подчиненном количестве присутствует каолинит (~14 %). Среди вторичных преобразований пород следует отметить локальное коррозионное расширение открытых пор за счет растворения неустойчивых обломочных компонентов и наложенную карбонатизацию пород. Значения k_n изменяются от 1,48 до 23,3 %, k_{np} — от 0,04 до 936,98 мД. Минимальные значения k_{np} приурочены к образцам с карбонатным цементом, максимальные значения k_{np} наблюдаются в мелкозернистых песчаниках проксимального фронта дельты.

Образование песчаных осадков с бугорчатой косой и пологовогнутой косой слоистостью происходило в мелководно-морских обстановках, расположенных выше базиса регулярных волн, в пределах дельтовой и недельтовой береговой линии. Накопление песчаников литотипа 3 было связано с переработкой и транспортировкой песчаного материала штормовыми процессами. Отсутствие среди песчаников литотипа алеврито-глинистых прослоев косвенно свидетельствует об их формировании в условиях достаточно постоянной активности гидродинамики среды, препятствовавшей накоплению и сохранности алеврито-глинистых осадков. На высокую динамику волновых процессов при накоплении песчаников указывает также отсутствие в них биотурбационных текстур, за исключением единичных следов бегства (*Fugichnia*).

Литотип 4 представлен однородными массивными прослоями, тонкогоризонтально-слоистыми, мелко-среднезернистыми песчаниками (рис. г). Горизонтальная слоистость в песчаниках подчеркивается темноокрашенными слоями, обогащенными углисто-слюдистым и алевритистым материалами.

Литотип 4 по результатам гранулометрического анализа представлен преимущественно мелкозернистыми песчаниками. Сортировка обломочного материала хорошая, по минеральному составу породообразующих компонентов относится к граувакковым аркозам. Содержание кварца 32,5 %, полевых шпатов — 47 %, обломков пород — 15 %. Среди акцессорных минералов присутствуют сфен, гранат, анатаз.

Цемент пленочно-порового типа, фрагментами до базально-порового. По составу глинистый, часто глинисто-карбонатный. Основным минералом глинистого цемента является хлорит (56 %), в подчиненном количестве присутствует каолинит (19 %) и гидрослюда (11 %).

Песчаная размерность и хорошая отсортированность обломочного материала предопределили достаточно высокие фильтрационно-емкостные свойства пород. Значение k_n в среднем равно 24 %, k_{np} — 263 мД, что соответствует коллектору III–IV класса по А. А. Ханину.

Интерпретация массивных песчаников часто вызывает существенные затруднения, поскольку их образование может быть связано с разнообразными факторами: высокой скоростью седиментации, интенсивной биотурбационной переработкой осадка (скрытая биотурбация), а также конседиментационным разжижением или обезвоживанием еще рыхлого неконсолидированного песчаного осадка. От-

сутствие в массивных песчаниках признаков обширной биотурбационной переработки или интенсивного проявления процессов разжижения или обезвоживания осадков позволяют предположить, что их формирование было обусловлено, скорее всего, высокой скоростью осаждения транспортируемых потоком осадков, препятствовавшей формированию равновесных динамике потока осадочных форм ложа. В прибрежных условиях такие условия седиментации характерны для устьевых баров распределительных каналов.

Образование горизонтально-слоистых песчаников также возможно в разнообразных обстановках осадконакопления, где могут развиваться условия верхнего режима течения, начиная от пляжевых зон и заканчивая речными фациями. Присутствие в пласте Ю₁^{a-1} прослоев горизонтально-слоистых песчаников литотипа 4 среди косослоистых песчаников со сдвоенными глинистыми слойками позволяет предположить их накопление в пределах высокодинамичной песчаной приливно-отливной отмели, развивавшейся на мелководной поверхности приливно-отливных баров эстуариевого залива (*Dalrimple, 1992*).

Литотип 5 сложен массивными мелко-среднезернистыми песчаниками с крупными, неотсортированными по размеру, неокатанными и полуокатанными интракластами глинистого алевролита и аргиллита (рис. д).

По литологическим характеристикам данный литотип идентичен с литотипом 4 и отличается от него лишь наличием глинистых интракластов.

Образование массивных песчаников с глинистыми интракластами может быть связано с интенсивным размывом подстилающих осадков высоко динамичным водным потоком в русловой или баровой (устьевые бары) обстановках осадконакопления. Песчаники с глинистыми интракластами могут залегать в подошве баровых и русловых отложений в виде лагового слоя. Тонкие прослои массивных песчаников с глинистыми интракластами могут присутствовать также внутри крупно-косослоистых песчаников руслового и барового генезиса. Хорошая отсортированность и песчаная размерность обломочного материала обусловили неплохие ФЕС пород. Значение коэффициента открытой пористости (k_n) в среднем составляет 15 %, коэффициента проницаемости (k_{np}) — 112,6 мД.

Литотип 6 сложен биотурбированным светло-серым алевроитоглинистым тонко-мелкозернистым песчаником. Он участками имеет полосчатое строение за счет присутствия тонких (1–3 см) прослоев серого опесчаненного (за счет биотурбации) алевролита (рис. е).

В песчанике местами отмечаются реликты мелкой косой слойчатости волновой ряби. Строение литотипа 6 сильно нарушено биотурбационной переработкой первичного осадка. Концентрация глинистого вещества по ходам бентоса приводит к сильной глинизации. Биотурбационные текстуры в породе представлены горизонтально и наклонно ориентированными ходами морских червей, мелких ракообразных ихнофагий *Cruziana* (*Asterosoma*, *Cylindrihnus*, *Helminthopsis*, *Teichichnus*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Rosselia*, *Thalassinoides*).

По результатам гранулометрического анализа породы сложены преимущественно песчаниками мелко-тонкозернистыми. Отсортированность обломочного материала от хорошей до средней. Преобладающий тип цемента пленочно-поровый, участками до базально-порового. По составу преимущественно глинистый, реже карбонатный. Существенное влияние на снижение ФЕС пород оказывает скопление глинистого материала в стенках ходов бентосных организмов. Наилучшие ФЕС для данного литотипа приурочены к обстановке нижней префронтальной зоны пляжа с влиянием приливных процессов.

Интенсивная биотурбационная переработка песчаников, присутствие глинистых слойков и прослоев, а также следов волновой ряби свидетельствуют о накоплении в мелководно-морских обстановках переходной зоны подводного берегового склона и нижней части префронтальной зоны пляжа, расположенных выше

среднего базиса штормовых волн. Условия седиментации в зоне подводного берегового склона характеризовались неустойчивым гидродинамическим режимом — чередованием периодов спокойного гравитационного осаждения тонкозернистых фракций осадков из столба воды с периодами повышенной активности гидродинамики среды, связанными с проявлением штормовых процессов. Присутствие в песчанике текстур волновой ряби указывает на их образование волновыми процессами [3, 4]. Интенсивное развитие биотурбационных текстур в песчаниках связано с невысокой частотой периодов высокой активности гидродинамики среды или их небольшой продолжительностью и интенсивностью, что благоприятствовало заселению субстрата бентосными организмами и практически полному разрушению первичных текстурных особенностей строения осадков.

Литотип 7 сложен интенсивно биотурбированным однородным тонко-мелкозернистым песчаником (рис. ж). Биотурбация относительно равномерно распределена в массе породы. Концентрация глинистого вещества на стенках и внутри (заполнение) ходов бентосных организмов обусловила глинизацию песчаника.

Биотурбационные текстуры представлены в песчаниках комплексом горизонтально и наклонно ориентированных ходов морских червей и мелких ракообразных ихнофагий *Cruziana* (проксимальная часть) и *Scolites* (*Asterosoma*, *Chondrites*, *Cylindrichnus*, *Helminthopsis*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Phicosiphon*, *Terebellina*).

По результатам гранулометрического анализа отложения представлены преимущественно песчаниками тонко-мелкозернистыми с примесью мелкозернистой алевроитовой фракции. Отсортированность обломочного материала преимущественно средняя.

Среди вторичных преобразований наибольшее влияние на ФЕС оказывают регенерация кварца, карбонатизация, локальное расширение открытых пор за счет растворения неустойчивых обломочных компонентов. Вторичная микропористость обусловлена выщелачиванием полевых шпатов, а структура порового пространства коллектора по А. А. Ханину соответствует IV классу.

ФЕС пород данного литотипа контролируются преимущественно гранулометрическим составом пород. Для тонкозернистых песчаников значения k_n варьируют в пределах 7–25 %, в среднем составляет 17 %, k_{np} колеблется в пределах от 0,06 до 36 мД, среднее значение составляет 3 мД. Для мелкозернистых песчаников k_n фиксируется в интервале 8–18 %, при среднем значении 16 %, k_{np} варьирует от 2 до 68 мД, при среднем значении 23 мД. Основные литологические факторы, снижающие ФЕС пород: плотная упаковка обломочных зерен в тонкозернистых песчаниках, наличие микролинзочек мелкоалевритово-глинистого материала (глинизация стенок ходов бентосных организмов) [5].

Образование интенсивно биотурбированных песчаников связано с мелководно-морскими условиями седиментации, характеризовавшимися постоянно умеренной активностью волновых/штормовых процессов, способствовавшими накоплению осадков преимущественно песчаной размерности [6, 7]. Невысокая интенсивность проявления волновых процессов способствовала заселению субстрата морскими формами бентосных организмов, в результате чего происходила сильная биотурбационная переработка осадка с полным разрушением его первичных текстурных особенностей. В морских обстановках условия, благоприятные для накопления интенсивно биотурбированных песчаных осадков, могут создаваться в пределах переходной зоны подводного берегового склона и дистальной части нижней префронтальной зоны пляжа [8, 9].

Литологическая характеристика кернa, текстурно-структурные особенности и состав ихнофоссилий (биоты) позволяют сделать вывод о преобладающих обстановках осадконакопления в каждой части разреза и разделить его на группы по преобладающим процессам, влияющим на тип формирующихся отложений.

Таким образом, в результате комплексного исследования литологических, тектурно-структурных и гранулометрических характеристик пород ластва Ю₁^{a-1} выделено 7 литотипов, указывающих на преимущественно дельтовые и барьерно-островные обстановки осадконакопления. Выделенные литотипы заметно различаются по своим фильтрационно-емкостным характеристикам, что позволяет ранжировать их по промышленной значимости.

Понимание процессов формирования осадков позволяет уточнять седиментологические модели продуктивных отложений, а их применение существенно повышает прогнозные свойства геологических моделей.

Список литературы

1. Чернова Л. С. Генетические модели микрофаций континентальных и прибрежно-морских отложений Сибирской платформы // Коллекторы и экраны нефти и газа в мезозойских и палеозойских отложениях Сибирской платформы. Труды СНИИГГИСа. – 2007. – Вып. 280. – С. 5–26.
2. Сакс В. Н., Крымгольц Г. Я., Тазикин Н. Н. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. III. Триасовый, юрский и меловой периоды. – М.: ГУГК, 1968. – 53 л.
3. Характеристика тектурных особенностей пород ачимовской толщи Западной Сибири в связи с моделью ее седиментации / В. Н. Бородкин [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – № 8. – С. 4–10.
4. Александров В. М., Казанская Д. А., Белкина В. А. Особенности формирования темпеститов в отложениях викуловской свиты // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – № 5. – С. 10–15.
5. Обстановки осадконакопления и фации. В 2 т. / Х. Г. Рединг [и др.]; пер. с англ.; под ред. Х. Рединга. – Т. 1. – М.: Мир, 1990. – 352 с.
6. Костенев К. А., Федорцов И. В. Обоснование литолого-фациальных закономерностей распространения коллекторов в отложениях сложного строения // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 26–29.
7. Пракойо Ф. С., Лобова Г. А. Прогнозирование фаций и продуктивности юрско-меловых пород-коллекторов юго-востока Западной Сибири [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/33_2015.pdf (дата обращения 25.11.2016).
8. Палеогеографические критерии распределения коллекторов в средне-верхнеюрских отложениях Западно-Сибирского нефтегазового бассейна / Е. М. Хабаров [и др.] // Геология нефти и газа. – 2009. – № 1. – С. 26–33.
9. Dalrymple R. W., Zaitlin B. A., Boyd R. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications // Journal of Sedimentary Petrology. – 1992. – Vol. 62, № 6. – P. 1130–1146.

Сведения об авторах

Бегма Дмитрий Сергеевич, аспирант кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)283963, e-mail: dsbegma@mail.ru

Белкина Валентина Александровна, к. ф.-м. н., доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)283963, e-mail: belkina@tsogu.ru

Information about the authors

Begma D. S., Postgraduate at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)283963, e-mail: dsbegma@mail.ru

Belkina V. A., Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)283963, e-mail: belkina@tsogu.ru

УДК 550.8

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ПРОГНОЗА 3D-МОДЕЛИ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СЕКЦИИ СКВАЖИН

RESULTS OF APPLYING THE METHODOLOGY FOR THE QUANTITATIVE ASSESSMENT CONFIRM THE PREDICTION OF THE 3D MODEL FOR HORIZONTAL SECTION OF WELLS

Р. М. Бембель, И. А. Щетинин

R. M. Bembel, I. A. Schetinin

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: трехмерная геологическая модель; погрешность; оценка качества геологической модели; скважины с горизонтальным окончанием

Key words: 3D geological model; uncertainty; quality assessment of the geological model; wells with horizontal completion

В данной статье рассматривается результат применения изложенной ранее [1] методики количественной оценки подтверждения прогноза 3D-модели для гори-