

УДК 550.834

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ СКВАЖИННЫХ ДАННЫХ В СТРУКТУРНЫХ ПОСТРОЕНИЯХ

И.С. Пермякова¹, О.В. Тюкавкина²¹ ООО «СЖЖ ВОСТОК». 115162, г. Москва, ул. Шаболовка, д. 31Б; e-mail: irina.permyakova@cgg.com² ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина». 119991, г. Москва, пр-т Ленинский, д. 65, корп. 1; e-mail: kpgng@gubkin.ru.

Аннотация. Для выполнения структурных построений, в данной работе предложен метод оптимальной декластеризации скважинных данных для месторождений с плотной неравномерной сеткой бурения. Использование всего множества имеющейся скважинной информации, собранной на нерегулярной сетке скважин, в отдельных случаях, дает смещенную оценку в структурных построениях, при интегрировании скважинной и сейсмической информации. Геостатистическое моделирование залежей с использованием декластеризованного списка скважин, позволяет получить модель продуктивной залежи, контролируемой сейсмическими данными, в комплексе с геолого-геофизическими исследованиями и бурением, с целью устранения ложного искажения структурного плана. Предлагается использовать сейсмические данные для контроля скважинных, а скважинные данные, для уменьшения неточностей сейсмической информации.

Ключевые слова. Геостатистика, декластеризация; дисперсия; окно анализа; стандартное отклонение; стратиграфическая отметка глубины.

GEOSTATISTICAL ALGORITHM FOR WELL LOG DATA FILTERING IN THE STRUCTURAL MAPPING

I.S. Permyakova¹, O.V. Tyukavkina²¹ CGG VOSTOK1. 115162, Moscow, 31 build.B, Shabolovka St. Russia; e-mail: irina.permyakova@cgg.com² National University of Oil and Gas «Gubkin University»2. 119991, Moscow, Leninskiy prospect, 65, k. 1; e-mail: kpgng@gubkin.ru.

Abstract. For estimate resource base of the studied reservoir, the paper presents a method of optimal declustering of well data for fields with a relatively high degree of drilling. Using of the whole set of available information collected on the irregular grid, in some cases, gives a displaced estimate for the structural constructions controlled by seismic data. Geostatistical modeling of deposits using a declustered list of wells allows you can obtain the model of the interest object does not distort the seismic information using the geometrization natural reservoir of oil on the basis of the analysis of the data. The authors suggest using seismic data to control wells data, and using wells data, to reduce inaccuracies of seismic information.

Key words. Geostatistics, declustering; dispersion; analysis window; standard deviation; stratigraphic depth mark.

Практика международного аудирования добывающих компаний признает резервы зрелых месторождений для определения их рыночной стоимости, а ресурсная база перспективных объектов при этом выступает, как потенциальная возможность компании увеличить свою капитализацию в будущем. При нестабильных ценах на нефть основные инвестиции идут на доизучение и разработку месторождений с относительно высокой степенью разбуренности, для максимально эффективного извлечения оставшихся запасов без значительных затрат, т.е. наибольшую актуальность имеют наименее рискованные инвестиции. Риск инвестиций, в конечном счете, обратно пропорционален достоверности моделей, используемых при планировании геолого-разведочных работ (ГРП) и проектировании разработки. Модельные построения включают формирование структурного каркаса, основой которого являются комплексная интерпретация данных сейморазведки МОГТ ЗД, геофизические исследования скважин (ГИС) и бурения. Особое внимание следует уделять скважинным данным: равномерности распределения по площади исследуемого участка, их полноте и качеству. Наличие случайной ошибки при измерениях инклинометрии неизбежно [2].

Возникающие неточности промысловых данных могут включать: ошибки регистрации сигналов в зондах, неоптимальный выбор условий регистрации, ошибки в определении отбивок и др.

Использование всего множества имеющейся информации, собранной на нерегулярной сети наблюдений, дает смещенную оценку стратиграфической отметки глубины при структурных построениях на основании сейсмических данных в комплексе со скважинной стратиграфической информацией – в частности, к появлению локальных зон резкого перепада структурной поверхности пластов. Геостатистическое моделирование залежей, с использованием декластеризации отметок глубины в скважинных данных, позволяет снизить этот эффект, выявляя базовые закономерности и наличие ошибок в исходных данных, отклоняющихся от оценки среднего значения глубины в ячейке заданного размера на значение, большее заданного порога.

В настоящее время известно два подхода к декластеризации данных: метод ячейковой и полигонной декластеризации, которые позволяют придавать вес известным точкам, обратно пропорциональный числу точек, попавших в ту же ячейку или полигон [1].

В данной работе, при решении задач подсчета запасов углеводородного сырья, предложен метод «скользящего окна» для декластеризации данных, позволяющий уменьшить влияние погрешностей исходных данных.

Для повышения надежности построений и устранения ложных изменений сейсмического плана, предлагается не придавать веса известным точкам, а взять для построения не все имеющиеся точки (отметки глубины в скважинах), т.е. варьируемое число точек, контролируя процесс декластеризации сейсмическими данными, которые учитываются как «вес структуры». Таким образом, обеспечивается получение статистически выверенного структурного плана горизонта с согласованным комплексом сейсмической и скважинной информации, что позволяет достаточно точно оценить ресурсную базу исследуемого резервуара. Пренебрежение декластеризацией может привести, в частности, к структурным построениям, содержащим систематическую ошибку в целевом горизонте, а если применён метод схождения для построения геометрии выше или ниже лежащих отложений – то и в них.

Метод

Декластеризация была опробована авторами на одном из месторождений Западной Сибири. В пределах площади сейсмических работ (порядка 300 км², рис. 1), пробурено более 1500 скважин, характеризующихся различным качеством геолого-промысловой информации. Несмотря на такую высокую разбуренность объектов мелового возраста, возникла необходимость проведения более детальных исследований строения пластов-коллекторов изучаемого месторождения, уточнения границ ранее выявленных поднятий, определение и оконтуривание ловушек, выявления новых структур для постановки поискового бурения на нижележащих

целевых сложнопостроенных объектах юрского возраста. Также решалась задача оценки ресурсной базы основных продуктивных пластов.

По результатам сейсмической корреляции были построены карты изохрон (рис. 2, а). Далее предусматривалось проведение структурных построений и создание глубинно-скоростной модели (ГСМ) месторождения. Построение итоговых карт (рис. 2, б) осуществлялось на базе 40 разведочных опорных скважинах, распределенных по всей площади работ. Для повышения точности и надежности окончательных карт необходима консолидация всей скважинной и сейсмической информации. Трехмерная сейсморазведка отличается высокой разрешающей способностью по латерали, а бурение – по вертикали. И здесь возникают проблемы комплексирования имеющихся данных [6].

После привязки созданных горизонтов к отбивкам всего набора скважин, на карте обнаруживаются артефакты типа «бычий глаз» [3], т.е. изолинии, сгущающиеся вокруг экстремумов, в точках ощутимых отклонений от тренда (рис. 2, в). Наличие скважин с плохим качеством инклинометрии, приводит к искажению исходного структурного плана по отражающим горизонтам (ОГ). Набор исходных данных за счет некачественных измерений, выполненных в скважинах, может иметь существенные внутренние противоречия, характерные для мест повышенной плотности бурения, т.е. для наиболее продуктивной зоны. Возникает необходимость фильтрации данных скважин, которые приводят к искажению исходного сейсмического плана.

С целью устранения ложных изменений структурного плана, исключая возможность систематических ошибок, при структурных построениях ОГ, была проведена декластеризация скважинной информации. В исходном списке скважин использовались данные всего фонда, за исключением скважин,

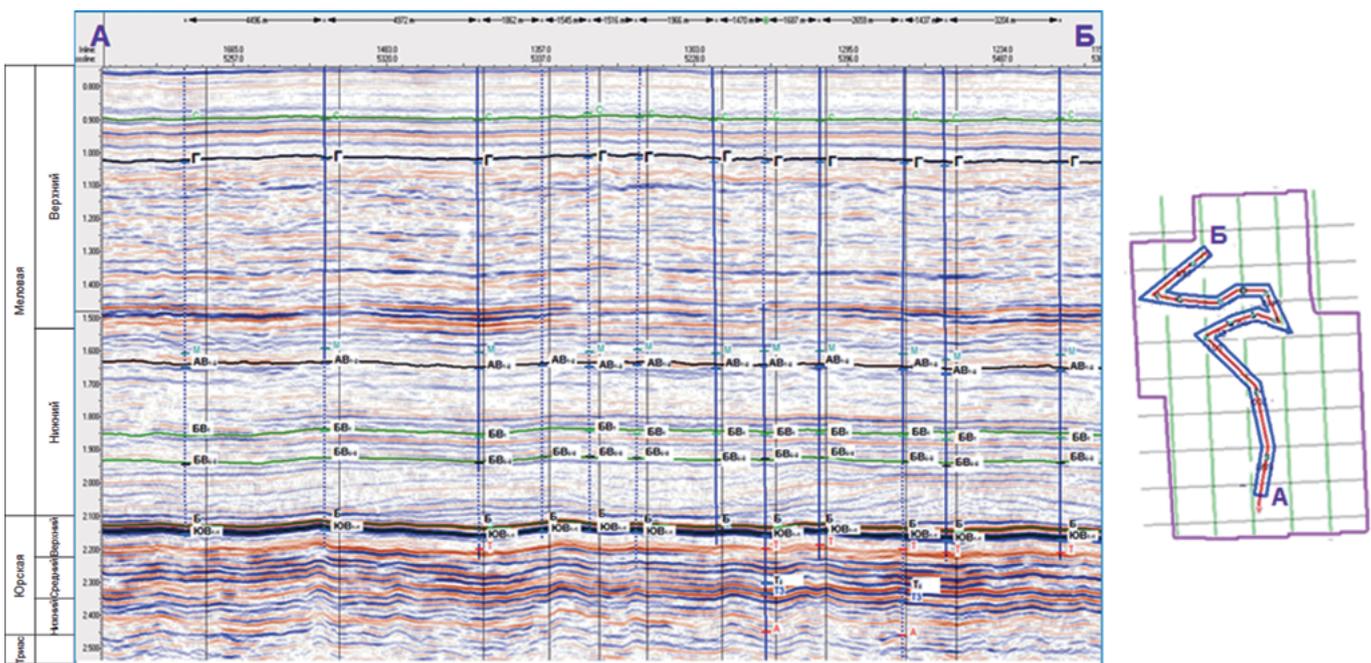


Рис. 1
Сейсмический разрез по линии АБ

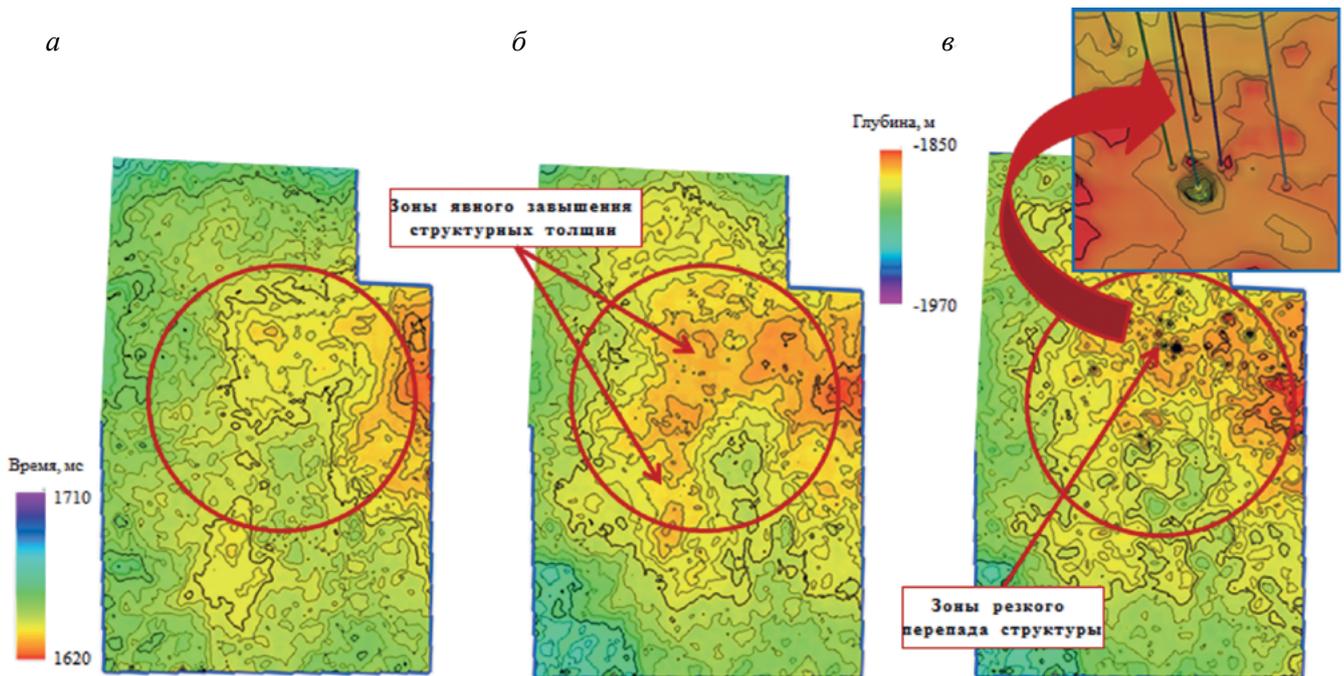


Рис. 2

Комплексирование структурной сейсмической и скважинной информации.

а – карта изохрон, *б* – структурная карта, построенная с учетом ГСМ опорных скважин, *в* – структурная карта, построенная с учетом полного списка скважин

не имеющих замеренной инклинометрии. Формируя единый список скважин, который будет использоваться для дальнейших построений по всем ОГ, провели декластеризацию скважин эксплуатирующего продуктивный объект мелового возраста, т.к. данная граница максимально разбурена сеткой скважин. Рассматриваемый продуктивный объект разрабатывается более 30 лет и является одним из основных по запасам УВ. Полученный список скважин после процесса декластеризации распространялся на построения по остальным нижележащим пластам, в том числе для структурных построений границ отложений юрского возраста.

Процедура декластеризации была разбита на несколько этапов, включая фильтрацию скважин по удлинению и выборку по статистике глубин, с учетом априорного структурного плана, уточняющего геометрию границ (рис. 3).

Несколько лет назад моделирование осуществлялось с помощью приема «все скважины вертикальные», т.е. использовали при моделировании только вертикальные скважины [5]. Но сейчас при разработке месторождений активно ведется наклонно-направленное и горизонтальное бурение. Скважинную информацию получают более надежную, чем десятилетие назад, которую необходимо учитывать при моделировании.

Но вовремя структурных построений в условиях плотной неравномерной сетки бурения, приняли решение использовать данные тех скважин, которые считаются наиболее достоверными, исключив горизонтальные скважины и боковые стволы, оставив наклонные. По результатам проведенной процедуры получили измененную карту, на которой еще остались локальные зоны резкого перепада структу-

ры (рис. 5, б). Наличие таких аномалий показывает, что в оставшемся фонде есть скважины, довольно сильно отличающиеся по своим значениям стратиграфических отметок глубин от среднего значения глубин трендовой сейсмической поверхности. Поэтому на втором этапе применили дополнительную селекцию по полученному списку, основанную на выборке скважин по статистике глубин.

Механизм данной процедуры заключается в следующем: площадь работ разбивалась на ячейки, и задавалось окно определённого размера. В пределах окна проанализировано, насколько широко отличаются значения в заданном интервале относительно среднего, и исключались скважины, в которых стратиграфические отметки глубины Z отличаются от их среднего значения μ (рис. 3, в) в окне анализа L (рис. 3, а) на величину $\pm N\sigma$, где σ – стандартное отклонение (формула 1) [7]. Таким образом, дисперсия выборки, характеризует разброс значений стратиграфических отметок глубин в окне фильтрации и учитывает степень рассеивания значений вокруг среднего (рис. 3, з).

Размер «скользящего окна» принят методом подбора: 1 – $L = 500$ и 2 – $L = 1000$ м (рис. 3, а и б). Вес учета сейсмической поверхности проводился путем добавления в исследуемый полигон L – точек стратиграфических значений глубин с различной плотностью рассеивания, взятых с опорной сейсмической поверхности. Для достижения поставленной задачи количество таких точек варьировали.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z - \mu)^2}{n - 1}}, \quad (1)$$

где, σ – это стандартное отклонение; Z – стратиграфическая отметка глубины; μ – среднеарифметиче-

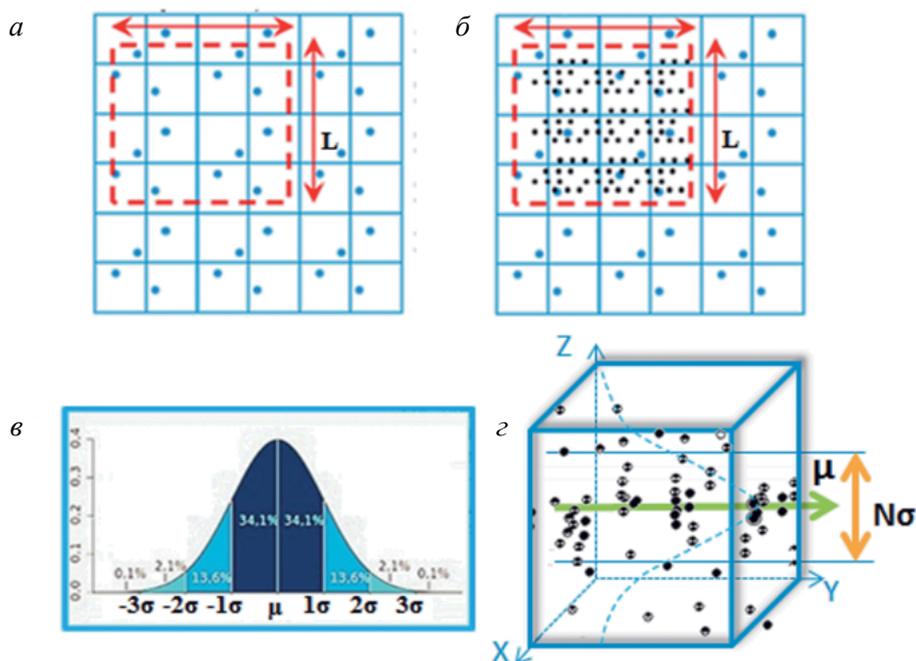


Рис. 3

Схемы декластеризации.

- a* – декластеризация по статистике структурного плана с использованием только скважинной информации,
- б* – декластеризация по статистике структурного плана с учетом сейсмических и скважинных данных,
- в* – дисперсия,
- z* – пространственное изображение алгоритма

ское значение Z в окне анализа L ; n – количество используемых значений Z в окне анализа L

Результаты некоторых тестов представлены в таблице 1 и на рис. 4. Построены гистограммы ошибок определения глубин по полученной декластеризации и кросс-плоты между полученной сейсмической структурой кровли пласта, используемой в качестве трендовой поверхности и структурой, полученной после декластеризации. На рис. 4 отражены наилучшие результаты декластеризации, которые были достигнуты при выборке скважин, с использованием декластеризации по статистике глубин структурного плана с учетом сейсмических и скважинных данных.

По итогам эксперимента сформирован единый список, в который вошли 639 скважин со следующими параметрами: $L = 1000$ м, $N = 1,5$, вес структу-

ры 2. Окончательные структурные карты по всем изучаемым горизонтам были построены на основании сейсмических данных, методом посадки на стратиграфические отметки глубин пластов декластеризованного списка скважин. Всего на этапе декластеризации было отфильтровано около 30% фонда по всему объему скважинной информации. При этом важно изучить причины, по которым скважины не вошли в декластеризованный список, необходимо выяснить причины, по которым исходные данные скважин искажают структурный план.

При использовании указанных фильтров итоговый структурный план не имеет локальных зон резкого перепада структуры и областей, характеризующихся сильным изменением сейсмической геометрии границ (рис. 5, в).

Таблица 1

Результаты декластеризации, полученные по различным параметрам

Входные параметры			Выходные параметры				
$L, м$	N	Вес структуры	Кол-во скважин, всего	Кол-во скважин выбрано	Кол-во скважин, брак	Среднее отклонение от структуры сред/ мин/макс	Коэфф. корреляции, K
500x500	1	–	1017	846	171	3,97/-11,3/12,52	0,976
500x500	1,5	–	1017	914	103	4,28/-13,41/12,51	0,974
500x500	1,5	2	1017	531	486	2,58/-10,67/7,41	0,992
500x500	1,5	5	1017	685	332	3,37/-13,61/11,81	0,988
1000x1000	1	–	1017	738	279	4,37/-15,3/14,52	0,975
1000x1000	1,5	–	1017	900	117	4,68/-19,51/14,52	0,972
1000x1000	1	2	1017	487	530	2,77/-10,67/8,37	0,988
1000x1000	1,5	2	1017	639	378	3,05/-10,67/8,36	0,988

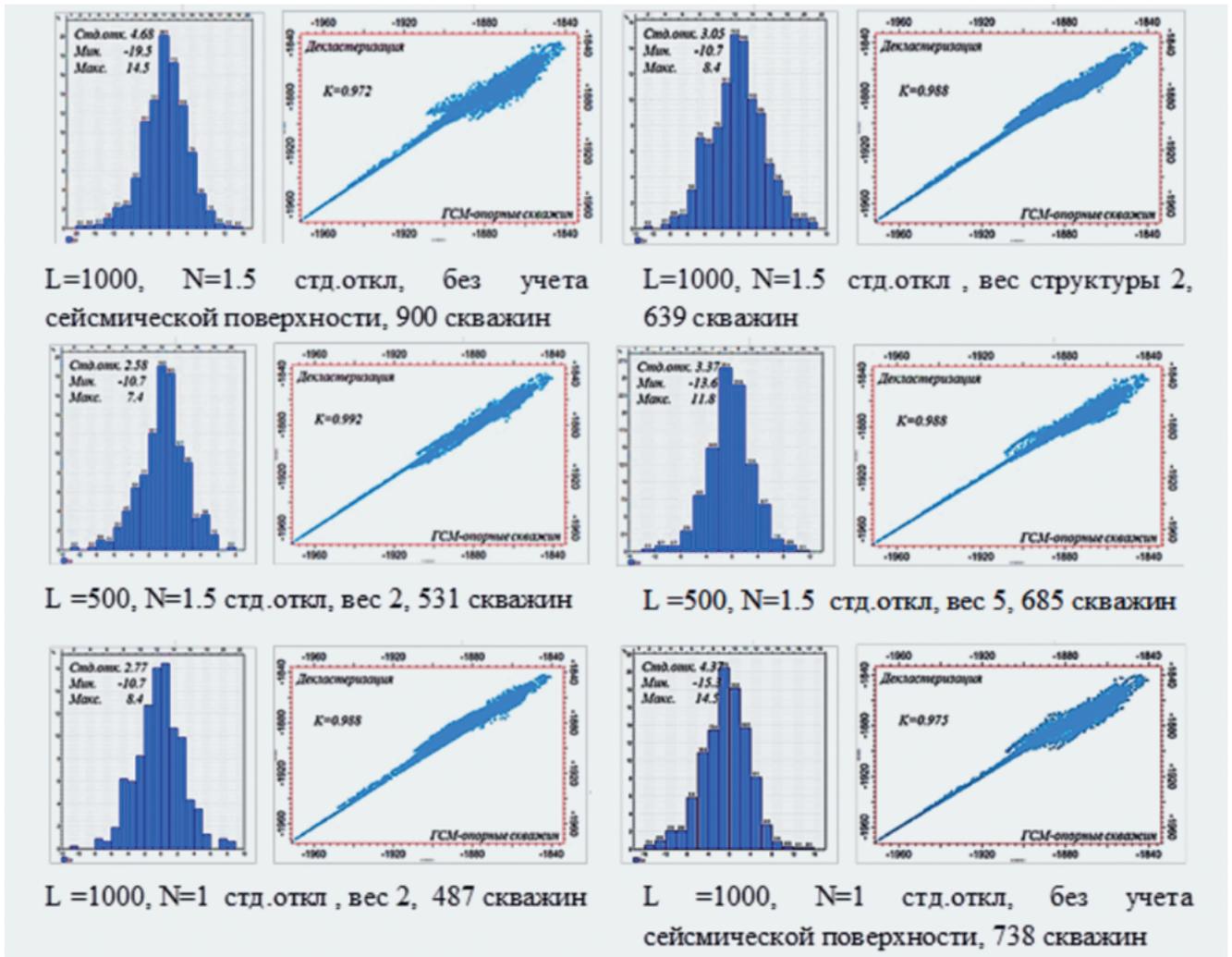


Рис. 4
Результаты декластеризации по статистике структурного плана

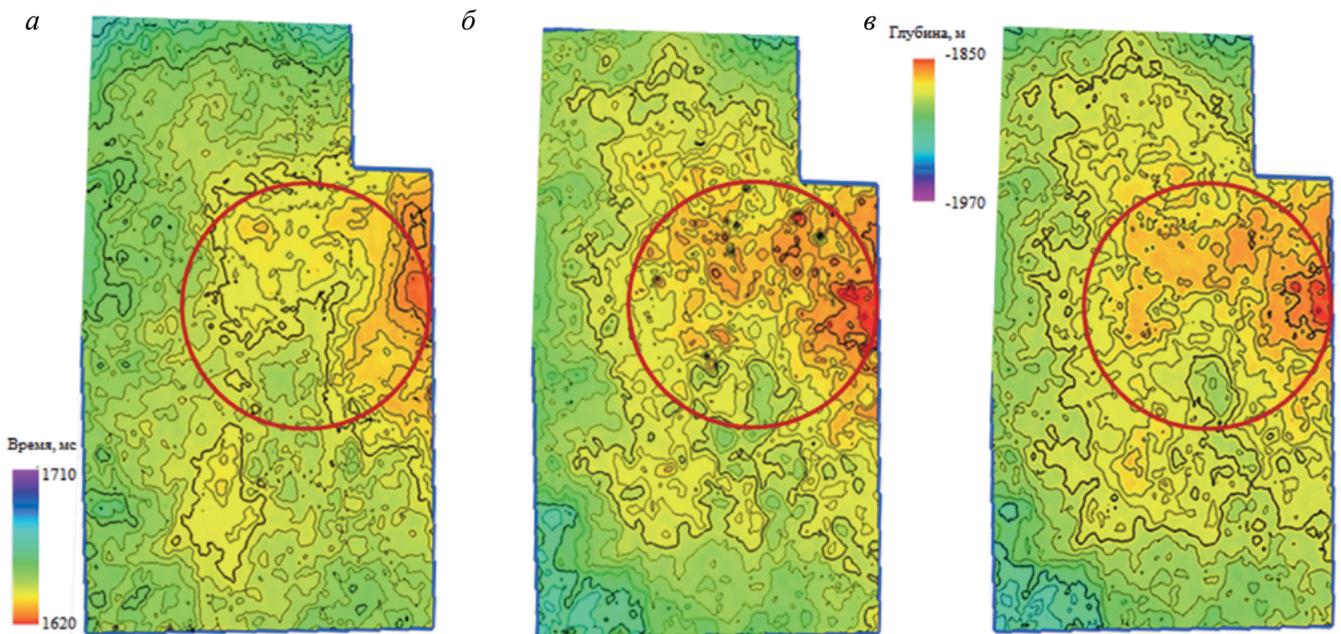


Рис. 5
Результаты декластеризации.
 а – карта изохрон, б – декластеризация по удлинению, в – декластеризация по статистике глубин структурного плана с использованием сейсмической и скважинной информации

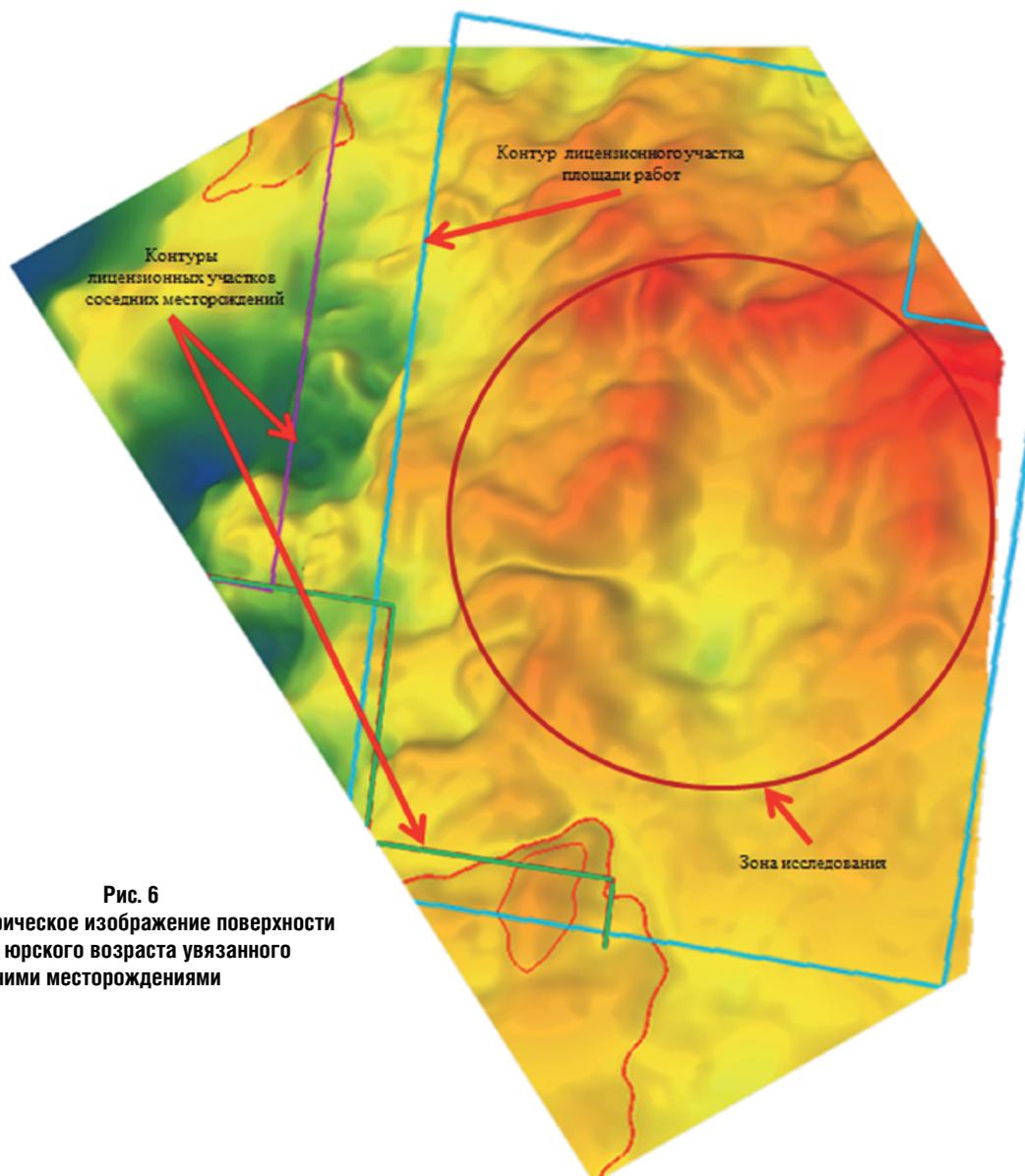


Рис. 6
Изометрическое изображение поверхности объекта юрского возраста увязанного с соседними месторождениями

По целевым пластам юрского возраста был выделен ряд объектов наиболее интересных для постановки поискового бурения с сопутствующими задачами изучения характера насыщения по вышележащим продуктивным меловым отложениям.

Полученные структурные планы были увязаны с картами по ранее выполненным работам на соседних месторождениях (рис. 6). Оценена комплексная ресурсная база.

Этот методический подход – декластеризации промысловых данных, позволяет получать корректные результаты при структурных построениях, где

интегрирована скважинная и сейсмическая информация с целью устранения ложного искажения исходного сейсмического структурного плана.

Выводы. Разработан метод оптимальной декластеризации скважинной информации, контролируемой сейсмическими данными, для месторождений на поздних сроках разработки с плотной неравномерной сеткой бурения и показана его эффективность на примере одного из месторождений Западной Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика, М.: «Наука», 2010. 329 с.
2. Демьянов В.В. Прогнозирование неопределенности на основе множества адаптированных моделей, геологический реализм и принятие решений. Курс лекций EAGE «Образовательные дни Москва 2018». 2018. 232 с.
3. Дюбрул О. Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных. EAGE, SEG, декабрь 2002. 296 с.
4. Закревский К.Е., Аксарин В.А., Анохина М.С. и др. Геологическое моделирование прибрежно-морских отложений

- (на примере пласта AB_1 ($AB_1^{1+2}+AB_1^3$) Самотлорского месторождения)/под ред. Закревского К.Е. Тюмень: Вектор Бук, 2017. 314 с.
5. Закревский К.Е., Майсюк Д.М., Сыртланов В.Р. Оценка качества 3D моделей. М.: ООО «ИПЦ «Маска»», 2008. 272 с.
6. Ковалевский Е. Геологическое моделирование на основе геостатистики. Курс лекций EAGE. 2011–2012. 122 с.
7. Савельев А.А., Мухарамова С.С., Пилюгин А.Г., Чижикова Н.А. Геостатистический анализ данных в экологии и природопользовании (с применением пакета R): Учебное пособие / Казань: Казанский университет, 2012. 120 с.

REFERENCES

1. *Demyanov VV, Savel'ieva EA.* Geostatistica: teoriya i practica [Geostatistica: theory and practice], M.: «Nauka». 2010. – 329 p. (in Russian).
2. *Demyanov V.* Uncertainty prediction based on a variety of adapted models, geological realism and decision making. EAGE Education days Moscow. 2018. –232 p.
3. *Dubrulle O.* Ispol'zovanie geostatistici dlya vklucheniya v geologicheskuyu model' seismicheskikh dannykh. [Geostatistics for Seismic Data Integration in Earth Models]. EAGE, SEG. 2002. – 296 p.
4. *Zakrevsky KE, Aksarin VA, Anokhina MS, etc.* The geological modeling of coastal-marine sediments (on the example of reservoir AV₁ (AB₁¹⁺²+AB₁³) Samotlor field)/under the edit. of K.E. Zakrevsky.- Tyumen: Vector Buk, 2017. 314 p.
5. *Zakrevsky KE, Maysyuk DM, Syrtlanov VR.* Otsenka kachestva 3D modeley. M.: ООО «IPC “Mask”». 2008. 272 p.
6. *Kovalevskiy E.* Geologicheskoe modelirovanie na osnove geostatistiki. [Geological Modelling on the Base of Geostatistics]. SLT Russia & CIS, EAGE 2011–2012. 122 p.
7. *Savel'yev AA, Mukharamova SS, Pilyugin AG, Chizhikova NA.* Geostatisticheskii analiz dannykh v ecologii i prirodopol'zovanii. [Geostatistical analysis of data in ecology and environmental management (using the R package)]: Educational manual. 2012. 120 p.

Положительная рецензия от
Решение редколлегии о публикации от

ОБ АВТОРАХ



ТЮКАВКИНА
Ольга Валерьевна

Окончила Томский государственный университет в 1997 г. Кандидат геолого-минералогических наук, Доцент кафедры общей геологии и нефтегазпромышленной геологии, ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина». Награждена благодарностью за долголетний добросовестный труд (ТюмГНГУ), почетной грамотой ОАО «Сургутнефтегаз» за профессиональные достижения в сфере подготовки специалистов для нефтегазового комплекса Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Опубликовано более 70 научных статей, монографий. Изданы (в соавторстве): справочники, учебники, словарь специальных терминов и понятий (к курсу «Техника разведки месторождений полезных ископаемых»). Разработано 7 патентов на полезные модели (в соавторстве). По заказу Департамента науки и инвестиций ХМАО-Югра, участвовала в научно-исследовательской программе «Интенсификация и идентификация притока углеводородов в залежь». Член сообщества SPE; автор докладов на международных научно-практических конференциях, в т.ч. EAGE.



ПЕРМЯКОВА
Ирина Сергеевна

Окончила ТюмГНГУ в 2000 г. Резервуарный инженер ООО «СЖЖ Восток». Опыт в области резервуарного инжиниринга более 10 лет. Ответственный исполнитель проектов ведущих российских и зарубежных нефтегазовых компаний. Автор 2 научных статей, автор докладов на международных научно-практических конференциях EAGE, EAGO и др. Член сообществ EAGE, SPE.