

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОСТАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗАЛЕЖЕЙ В АКШАБУЛАКСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ АРЫСКУМСКОГО ПРОГИБА



А.М.ЖУМАДИЛ¹,
директор департамента
геологии и разработки



Д.М. АМРЕЕВ^{2*},
старший специалист по
геологии и геофизике



А.Ж. БАЛГЫМБЕКОВА²
главный геолог-
седиментолог



А.С. ПРИВАЛОВ¹,
главный геолог



Г. ЕСЕТОВ¹,
начальник отдела геологии



В. ШИН¹
ведущий геолог

^{2*} Автор для переписки. E-mail: d.amreyev@gmail.com

¹ТОО «KAZPETROL GROUP (КАЗПЕТРОЛ ГРУП)»
Республика Казахстан, 120014, г. Кызылорда, ул. Желтоқсан, 12

²ТОО «RESERVOIR EVALUATION SERVICES»
Республика Казахстан, 050044, г. Алматы, ул. Ахмедиярова, 24

Рассмотрены особенности построения геостатической модели (ГСМ) акшабулакского продуктивного горизонта в составе нефтенасыщенных пластов Ю-0-0, Ю-0-1, Ю-0-2 и Ю-0-3. Современные подходы к интеграции накопленных геолого-геофизических данных в ГСМ требуют выполнения необходимых работ, в первую очередь, таких как седиментологическое изучение керн и его интеграции с результатами каротажа и сейсмоки. Правильная постановка задачи, ее сопровождение заказчиком на всех этапах, благодаря чему обеспечивалась тесная связь выполненных исследований с запросами производства, явились залогом получения качественного результата при решении, казалось бы, обычной задачи моделирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геостатическая модель, акшабулакский горизонт, спектральная декомпозиция, флювиальная система, палеорула, коллекторы.

АРЫСҚҰМ ІНІНІҢ АҚШАБҰЛАК ШӨГІНДІЛЕРІНДЕГІ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ГЕОСТАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

А.М.ЖУМАДИЛ¹, «KAZPETROL GROUP» ЖШС, геология және даму департаментінің директоры;
Д.М. АМРЕЕВ², RES» ЖШС, геология және геофизика бойынша аға маман;
А.Ж.БАЛҒЫМБЕКОВА², «RES» ЖШС, бас геолог-седиментолог;
А.С.ПРИВАЛОВ¹, «KAZPETROL GROUP» ЖШС, бас геолог;
Г.ЕСЕТОВ¹, «KAZPETROL GROUP» ЖШС, геология бөлімінің бастығы;
В.ШИН¹, «KAZPETROL GROUP» ЖШС, жетекші геолог

¹ЖШС «KAZPETROL GROUP (КАЗПЕТРОЛ ГРУП)»
Қазақстан Республикасы, 120014, Кызылорда қаласы., Желтоқсан көшесі, 12

²ЖШС «RESERVOIR EVALUATION SERVICES»
Қазақстан Республикасы, 050044, Алматы қаласы., Ахмедияров көшесі, 24

Мұнайға қаныққан Ю-0-0, Ю-0-1, Ю-0-2 және Ю-0-3 коллекторларының құрамындағы Ақшабұлақ өнімді горизонтының геостатикалық моделінің (ГСМ) құрылым ерекшеліктері қарастырылды. Жағармай алқабы бойынша жинақталған геологиялық-геофизикалық деректерді біріктіруде заманауи тәсілдерді қолдану, бірінші кезекте жынысөзекті седиментологиялық зерттеулер өткізумен қатар оның нәтижелерін каротаж және сейсмикалық зерттеулер нәтижелерімен біріктіру жұмыстарын талап етеді. Мәселені дұрыс тұжырымдау және тапсырыс берушінің барлық кезеңдерде оны қолдауының арқасында жүргізілген зерттеулер мен өндірістік сұраныстардың тығыз байланысының қамтамасыз етілуі қарапайым көрінген модельдеу мәселесін шешуде сапалы нәтижелерге қол жеткізуге кепіл болды.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: Геостатикалық модель, Ақшабұлақ горизонты, спектрлік ыдырау, флювиалды жүйе, палеоарналар, мұнай қоймалары.

FEATURES OF CONSTRUCTION OF GEOSTATIC MODELS OF DEPOSITS IN AKSHABULAK SEDIMENTS OF ARYSKUM TROUGH

A.M.ZHUMADIL¹, KAZPETROL GROUP LLP, Director of the Department of Geology and Development;
D.M.AMREYEV², RES LLP, Senior Geoscientist;
A.Z.BALGYMBEKOVA², RES LLP, Chief Geologist-Sedimentologist;
A.S.PRIVALOV¹, KAZPETROL GROUP LLP, Chief Geologist;
G.ESETOV¹, KAZPETROL GROUP LLP, Head of Geology Department;
V.SHIN¹, KAZPETROL GROUP LLP, Leading Geologist

¹«KAZPETROL GROUP» LLP

Republic of Kazakhstan, 120014, Kyzylorda, Zheltoksan st., 12

²«RESERVOIR EVALUATION SERVICES» LLP

Republic of Kazakhstan, 050044, Almaty, Akhmediyarov st., 24

The features of constructing a geostatic model (GSM) of the Akshabulak productive horizon in the composition of oil-saturated reservoirs Yu-0-0, Yu-0-1, Yu-0-2 and Yu-0-3 are considered. Modern approaches to the integration of the accumulated geological and geophysical data into the GSM require the necessary work, primarily such as sedimentological examination of the core and its integration with the results of logging and seismic data. The correct formulation of the problem, its support by the customer at all stages, due to which a close connection between the performed studies and production requests was ensured, were the key to obtaining a high-quality result when solving a seemingly ordinary modeling problem.

KEYWORDS: Geostatic model, Akshabulak horizon, spectral decomposition, fluvial system, paleochannels, reservoirs.

Эффективность освоения запасов нефти в юрских и меловых отложениях Арыскупского прогиба во многом зависит от соответствия представления о строении залежи действительному положению вещей. Эта задача неплохо решается для арыскупского горизонта (М-II) и кумкольского (Ю-1, Ю-2), но ее решение сталкивается с рядом трудностей при моделировании залежей в акшабулакском горизонте (Ю-0-1, 2, 3 и др.). Русловые залежи акшабулакского горизонта характеризуются хорошими дебитами, но невыдержанностью коллекторов и быстрым падением добычи скважин. Оптимальное расположение скважин с учетом особенностей осадконакопления флювиальной системы и прогнозом положения коллекторов – лучший способ эффективной отработки запасов акшабулакского горизонта.

Несмотря на то, что запасы залежей в горизонте относительно небольшие, наличие геостатической, а еще лучше и гидродинамической модели позволяет эффективно управлять процессом разработки, вовлекая в нее невыработанные запасы при сохранении и эффективном использовании пластовой энергии. Опыт работы над построением моделей показал, что аккуратное использование всех имеющихся данных от качественно обработанных результатов МОГТ 3Д до скважинных материалов (керна, каротажа, испытание) и промысловых данных позволяет сводить всю информацию о месторождении в единую систему на основе тщательно выверенных твердых сведений о строении резервуаров по седиментологическим, сейсмofациальным и промысловым материалам.

Построение геостатической модели (ГСМ) акшабулакского горизонта показано на примере одного из месторождений Южно-Тургайского прогиба. На начальном этапе была проведена ревизия всей базы данных с уточнением координат, альтитуд, инклинометрии по скважинам, с нормированием ГИС и получением надежных результатов их интерпретации, подтвержденных на керне. По результатам обработки и интерпретации были получены сейсмические данные хорошего качества, которые позволяют решать не только задачи структурного характера, но и проводить их динамический анализ. Структурная интерпретация горизонтов (K_{1ar} , J_3km и PZ) и разрывных нарушений сделана по временному кубу PSTM.

В интерпретации участвовали структурные карты (K_{1ar} , J_3km и PZ) в глубинном домене, полученные с использованием построенной скоростной модели и данные по более 30 скважинам. Количественная интерпретация материалов ГИС открытого ствола проведена с использованием литологической модели в программе IP. В результате получены следующие интерпретационные данные:

- объемная литологическая модель; колонка флюидного состава; коэффициенты нейтронной, акустической и плотностной пористости; коэффициенты общей (TPOR), эффективной (EPOR), нефтенасыщенной (VOIL) пористости; коэффициент нефтенасыщения ($K_n = 1 - K_v$). Результаты количественной интерпретации представлены в виде графических планшетов в необходимом масштабе глубины с приведенной на них информацией о шламе (колонка «Mudlog») и признаках наличия УВ в шламе (колонка «НС_Mudlog»). Количественные параметры и характер насыщения коллекторов представлены в виде таблицы коллекторов.

Проведенное седиментологическое изучение керна показало, что коллекторы отлагались в условиях низменной аллювиальной долины при относительно низкой энергетике потока. Песчаники заполняют пространства русел, отвечающих по характеру развития анастомозирующим рекам (рисунки 1). Этим объясняется плохая корреляция отдельных песчаных тел между скважинами. Преимущественно однородные мелкозернистые песчаники русел имеют четкие границы с вмещающими пестроцветными акшабулакскими аргиллитами. Мощность коллекторов меняется от нескольких метров до 15-25 м. Результаты седиментологического исследования по керну и полученное понимание условий осадконакопления позволило провести надежную интеграцию с данными ГИС и сейсмоки. Было установлено соответствие условиям осадконакопления рисунков на срезах куба спектральной декомпозиции, и проведена корреляция коллекторов по данным ГИС и сейсмическим данным с учетом последовательности осадконакопления и их геометрии.

Моделирование производилось с использованием программного пакета Petrel. Последовательность построения модели включала в себя следующие элементы: модель разломов; глубинная структурная модель; создание зон модели и создание слоев; моделирование свойств. Основной целью было распространение в модели эффективной пористости и кода коллектора, а также других параметров для последующего гидродинамического моделирования. Для получения наилучшего результата использовалось несколько техник. Основным параметром контроля распространения свойств в модели является совпадение функций распределения по данным ГИС.

В работе использовались четыре разрывных нарушения, которые были включены в структурную модель на основе результатов структурной интерпретации сейсмических данных. Далее было проведено деление структурной модели на сегменты и определены тренды, по которым выстраивался грид модели (ячейки). Разрывные нарушения и тренды формируют границы моделируемых резервуаров с размерностью сетки в плане 25х25 м.

В процессе подготовки к построению ГСМ была проведена детальная стратификация разреза с использованием литостратиграфического, сейсмостратиграфического и хроностратиграфического подходов с учетом сейсмических данных. Использовались три основных отражающих горизонта, кроме них строились дополнительные зоны с использованием скважинных отбивок и статистических данных по ним. Дополнительные горизонты согласовывались с основными горизонтами. Деление модели на слои проводилось с таким расчетом, чтобы получить наиболее высокое разрешение. Вертикальное разрешение грида составило около 0,4 м, а общее количество ячеек достигло 67 млн.

В качестве примера, на *рисунке 2* приведены структурные карты горизонтов J-0-0, J-0-3, и общий вид модели для горизонта J-0-0, а на *рисунке 3* – поперечный геологический разрез месторождения. В моделировании фаций использовались две техники: стохастическое и объектное моделирование. Для стохастического моделирования использовались анизотропные горизонтальные экспериментальные вариограммы для каждой зоны по азимуту 50 градусов, который был выбран по результатам проведенного седиментологического анализа юрских отложений. В данном направлении моделировалась лучшая связанность коллекторов [2].

Для объектного моделирования были выбраны интервалы J-0-1, J-0-2 и J-0-3, которые, согласно седиментологического анализа, являются песчаниками руслового заполнения аллювиальной долины с относительно низкой энергией потока. Положение и ранжирование русловых элементов проводилось с использованием карты погоризонтного среза куба цветовой суммы спектральной декомпозиции в интервале $J_{ak}+20$ мсек и данных ГИС (*рисунок 4*).

Пример согласования данных спектральной декомпозиции и данных ГИС по выделению коллекторов и палеорусел приведен на *рисунке 5*.

На *рисунке 6* представлены выделенные и согласованные со скважинными данными полигоны палеорусел продуктивного горизонта J-0-2.

Гистограммы «коллектор—не коллектор» по всему 3Д гриду представлены на *рисунке 7*. Здесь, на верхнем левом фрагменте, приведена гистограмма для всех кодов коллектора. На верхнем фрагменте справа – соотношение всех коллекторов, на нижнем слева – для горизонта J-0-1, а на нижнем справа – для горизонта J-0-2. Коды коллекторов 2, 3, 4 и 5 соответствуют палеоруслам.

Для ремасштабирования кривых пористости был применен метод средних значений. В модель были внесены кривые эффективной пористости ($Phie$) всех скважин проекта. Для каждой продуктивной зоны был проведен анализ кривых $Phie$ и их трансформация, которая сводилась к приведению ремасштабированных кривых к нормальному распределению.

После данной процедуры рассчитывались экспериментальные вариограммы для каждой фации [3]. Гистограммы распределения значений пористости (ГИС, ремасштабированная пористость, свойства в модели) строились для каждой зоны.

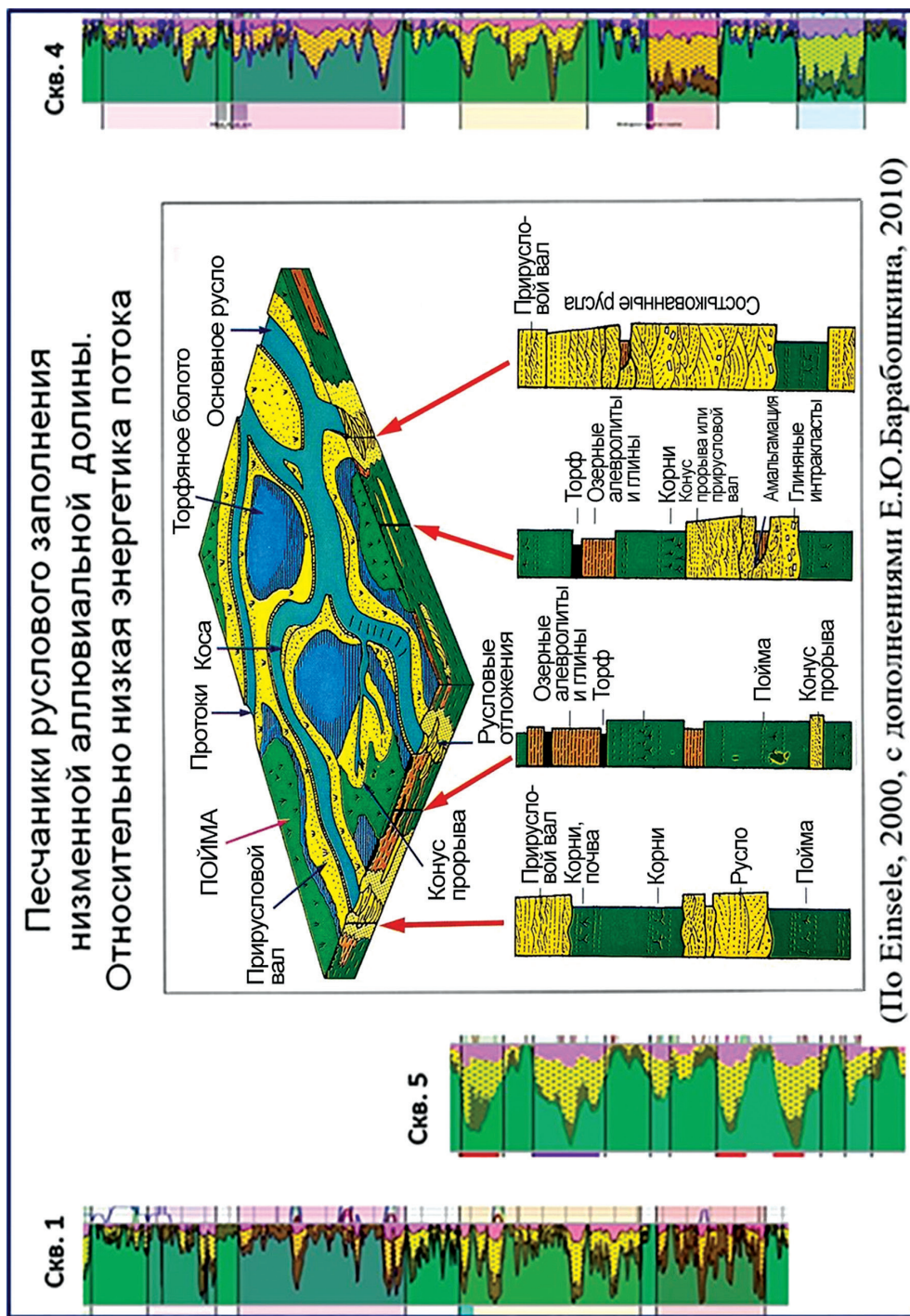


Рисунок 1 – Сопоставление схемы формирования анастомозирующих рек с разрезами скважин акшабулакского горизонта [1]

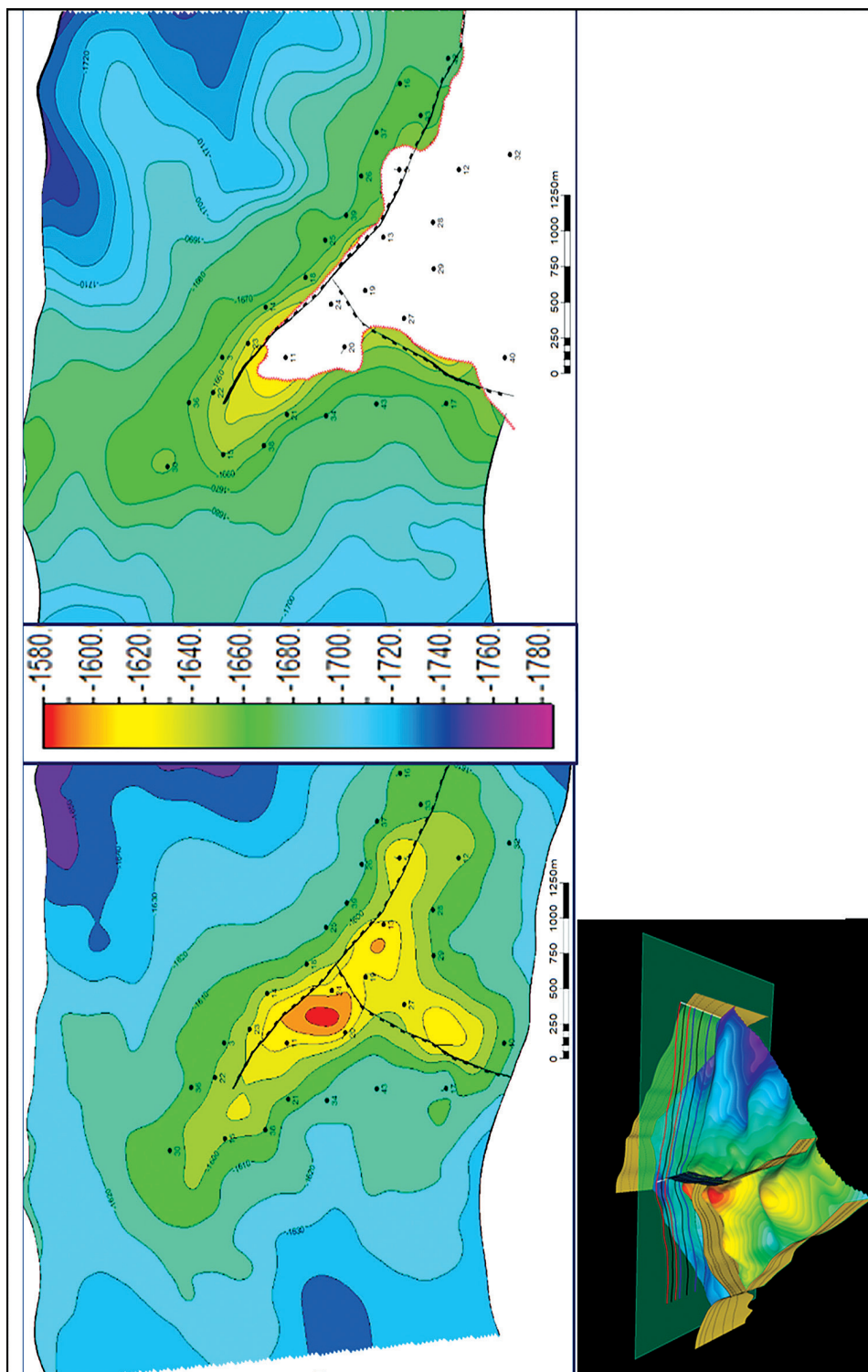


Рисунок 2 – Структурные карты горизонтов J-0-0 (слева) и J-0-3 (справа) и общий вид структурной модели горизонта Ю-0-0

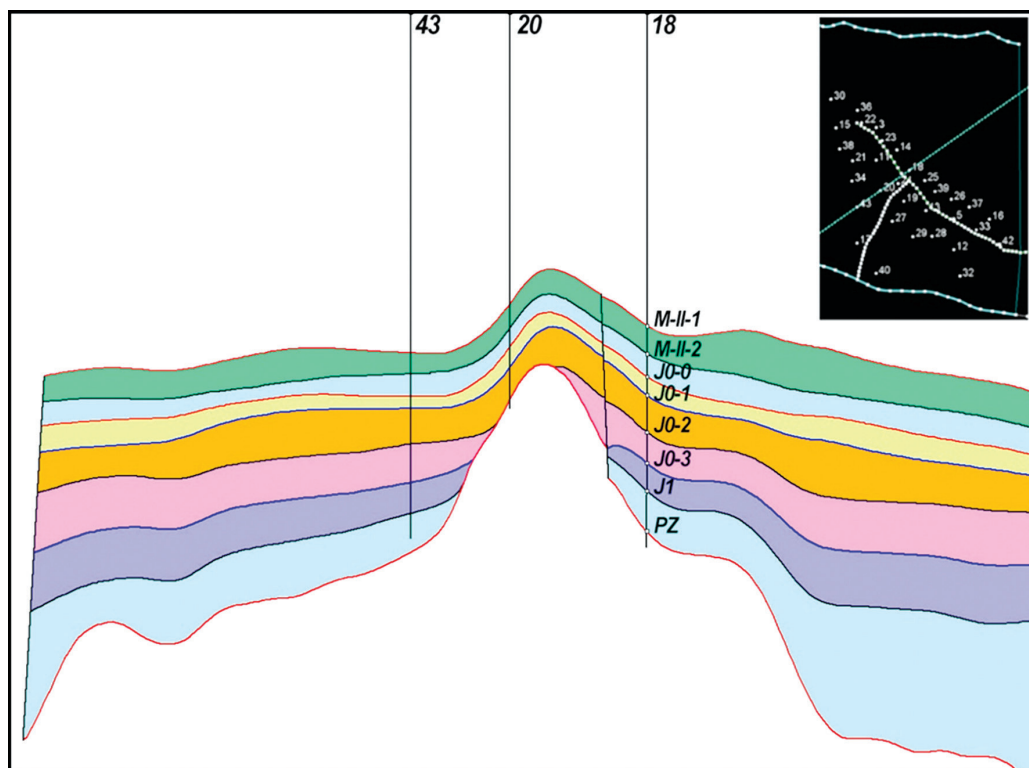


Рисунок 3 – Поперечный геологический разрез через скважины 43-20-18

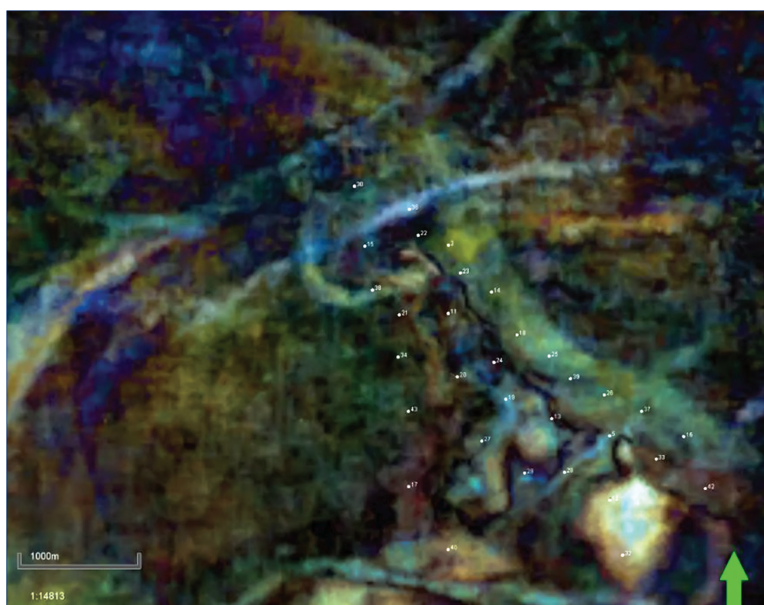


Рисунок 4 – Карта цветовой суммы куба спектральной декомпозиции акшабулакского горизонта ($J_{3ak}+20$ мсек)

На *рисунке 8* в качестве примера представлены карты средней эффективной пористости для горизонта J-0-2. Пример разреза эффективной пористости через скважины месторождения показан на *рисунке 9*.

Построенная модель дает полноопределенное представление о развитии коллекторов на каждом участке и в любом сечении. Для оценки запасов и определения их плотности можно пользоваться картами эффективных нефтенасыщенных толщин или картами эффективных поровых толщин. В качестве примера такие карты приведены на *рисунке 10* для одного из русел горизонта J-0-2. Помимо палеорусел и сопряженных с ними прирусловых комплексов, играющих ключевую роль в продуктивности горизонта, немаловажным является определение других составляющих горизонтов-коллекторов, например, тонких пластов песчаников затапливаемой равнины, имеющих большее площадное развитие. Они учитываются по результатам ГИС в скважинах, пробуренных за пределами палеорусел. И хотя их емкость не так велика, изучение коллекторов как в руслах, так и за их пределами, позволяет в полном объеме учитывать коллекторский потенциал залежей, который представлен в качестве примера на *рисунке 9*.

В заключение необходимо отметить, что, несмотря на то, что построение геостатической модели месторождения в отложениях флювиальной системы сопряжено с рядом трудностей, в первую очередь, с надежным прогнозом всех элементов системы, эта задача решается на хорошем техническом уровне с помощью современных средств и подходов. Применяемые технологии, в частности, седиментология, цветовые суммы кубов спектральной декомпозиции высокого разрешения (HDFD) и другие позволяют достаточно надежно картировать русловые системы и определять их иерархию в разрезе с помощью скважинных данных.

Геостатическая модель является только первым шагом к пониманию строения резервуара месторождения за счет полного учета его деталей. Еще более надежное понимание развития коллекторов в резервуаре достигается использованием результатов разработки месторождения, несущих в себе интегральную характеристику коллекторов в зоне дренирования. Геостатическая модель формирует надежную основу понимания строения резервуара месторождения в части распределения в нем запасов УВ по площади и разрезу. Понимание процессов массопереноса УВ в ходе разработки достигается с помощью гидродинамического моделирования на основе геостатической модели. За счет этого может быть достигнута высокая экономическая эффективность разработки. Последнее важно учитывать при сложившихся неблагоприятных экономических условиях. 

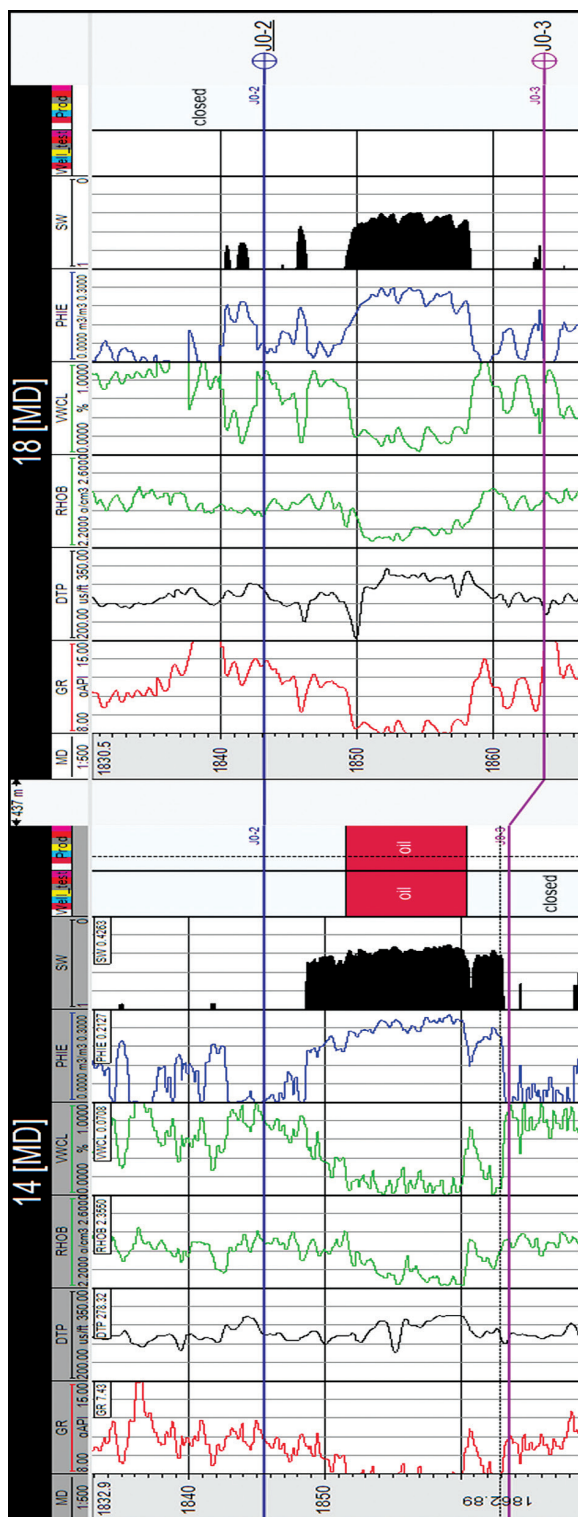


Рисунок 5 – Пример подтверждения палеоруслу в горизонте J-0-2 по данным ГИС скв. 14-18 (скважины показаны красными кружками на рисунке 4)

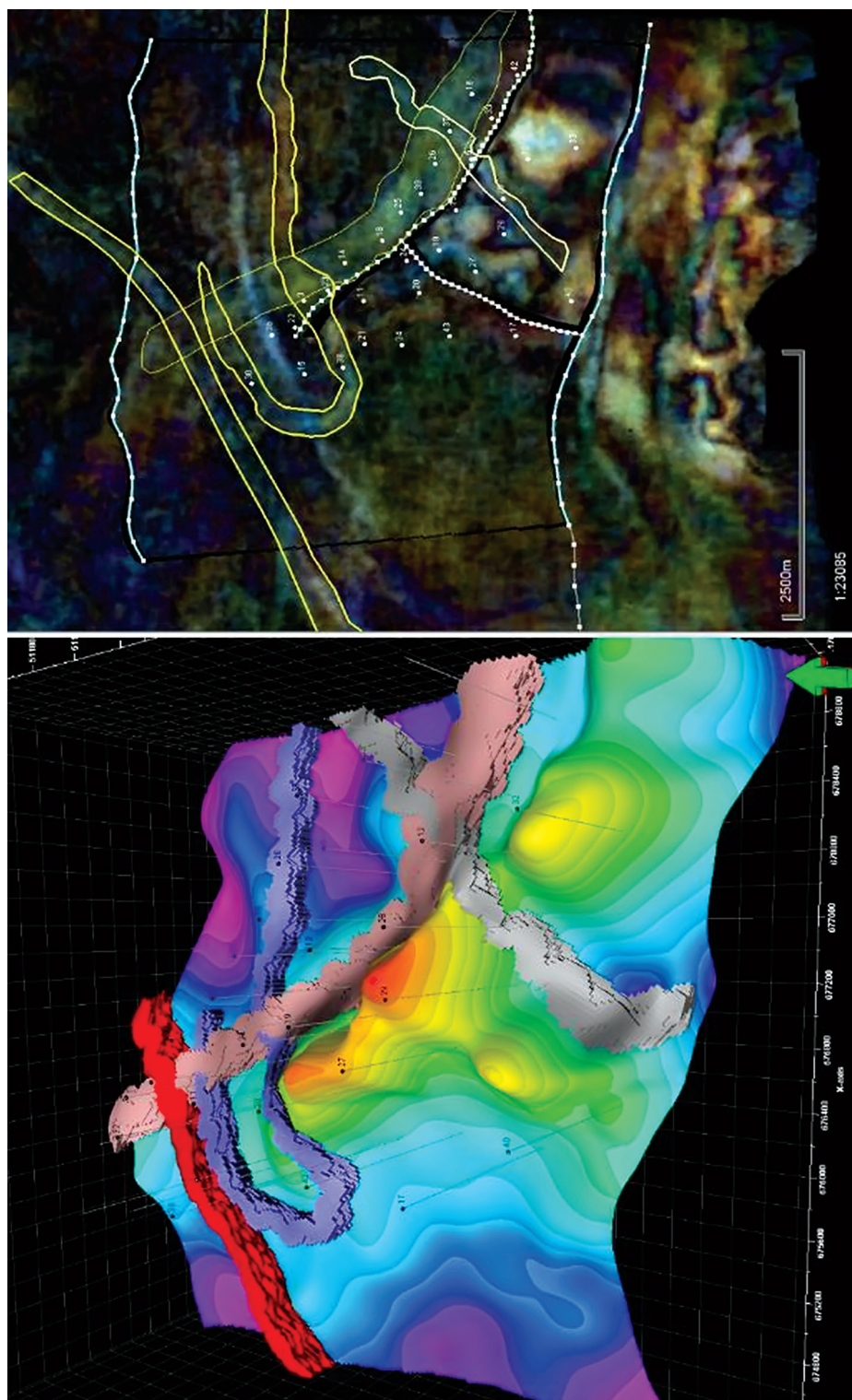


Рисунок 6 – Выделенные в модели палеорусл горизонта J-0-2

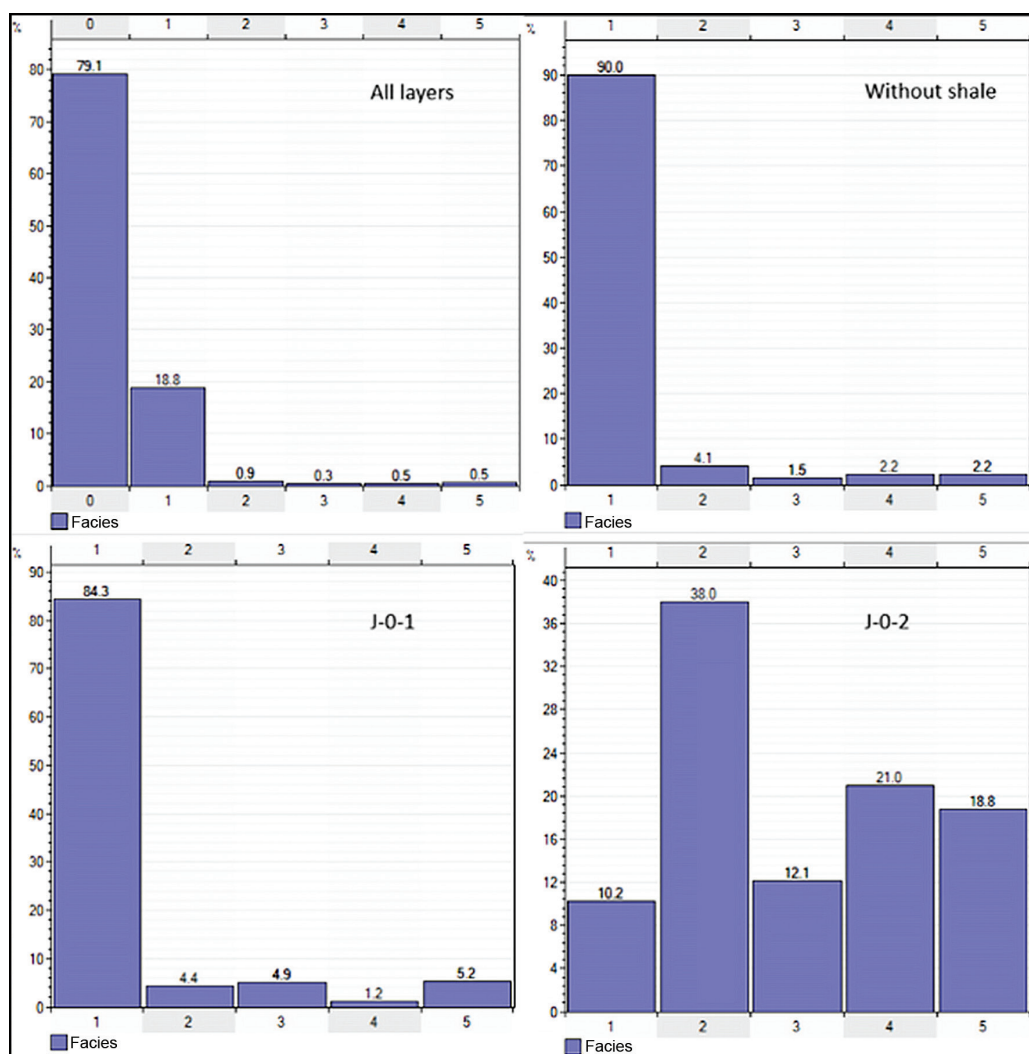


Рисунок 7 – Гистограммы кода коллектора для грида

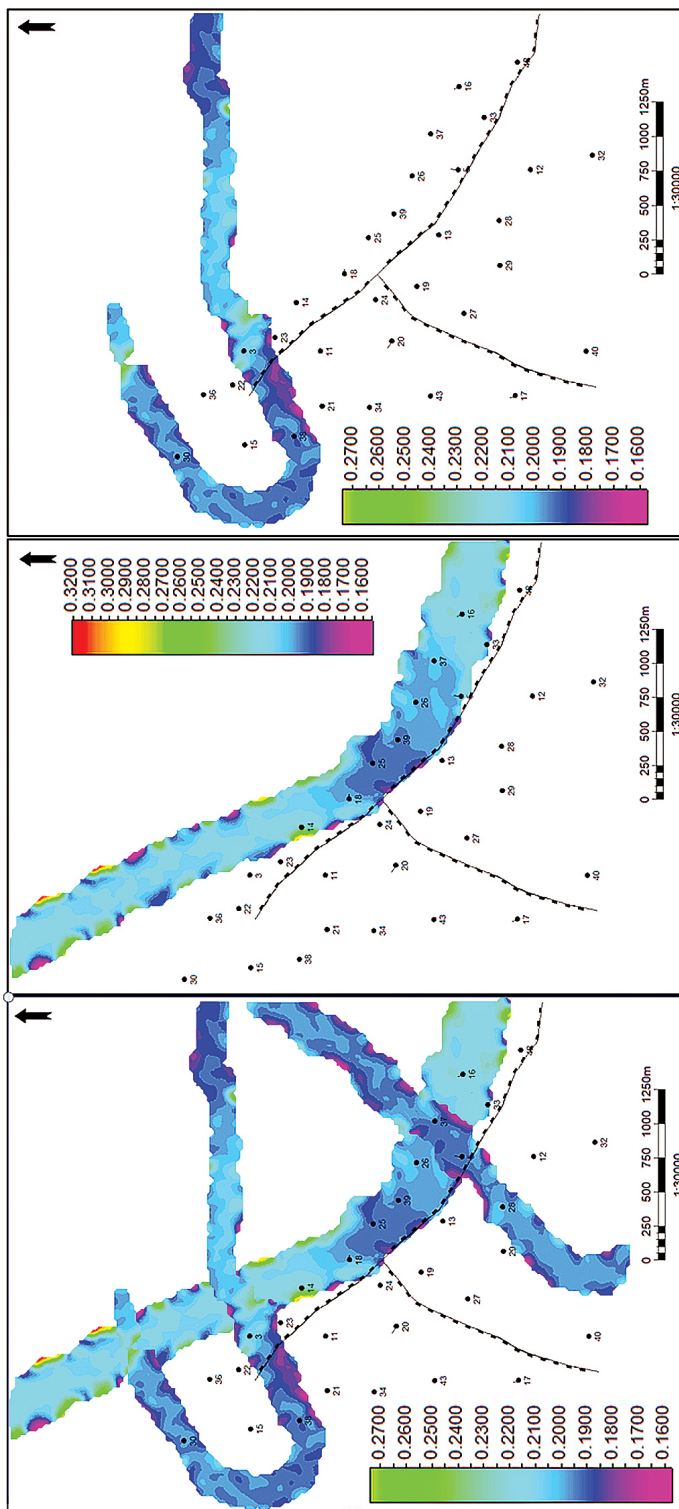


Рисунок 8 – Карты средней пористости горизонта J-0-2 для песчаных русел Code 2, 3, 4

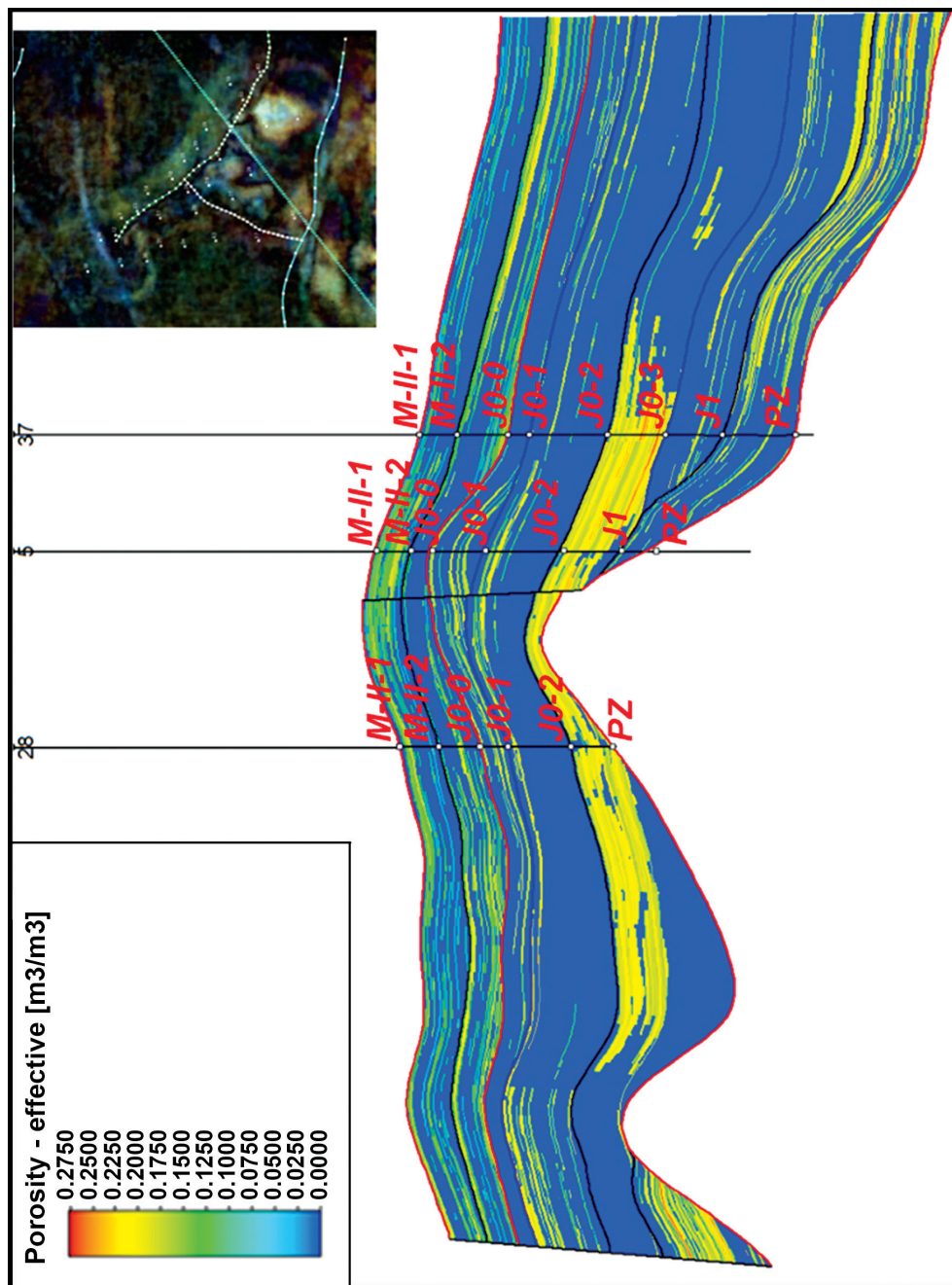


Рисунок 9 – Разрез эффективной пористости через скважины 28-5-37

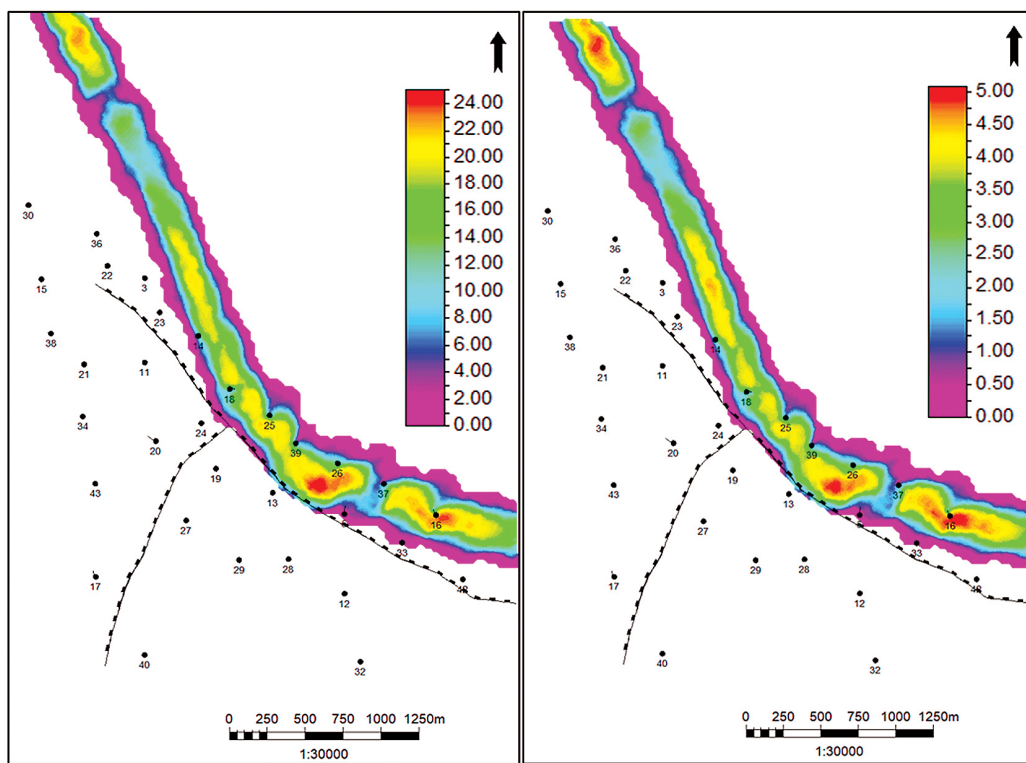


Рисунок 10 – Карта эффективных нефтенасыщенных и эффективных поровых толщин по горизонту J-0-2

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабошкин Е.Ю. Практическая седиментология. Терригенные резервуары. Тверь: ООО "Издательство ГЕРС"; 2011. 152 с. [Baraboshkin E.Y. Practical sedimentology. Terrigenous reservoirs. Tver:"Izdatelstvo GERS" Ltd; 2011. (In Russ.)]
2. Дюбрюл О. Геостатистика в нефтяной геологии. Москва-Ижевск:ИКИ; 2009. 256 с. [Dubrule O. Geostatistics in Petroleum Geology. Moscow-Izhevsk:IKI; 2009. (In Russ.)]
3. Дойч К.В. Геостатистическое моделирование коллекторов. Москва-Ижевск:ИКИ; 2011. 400 с. [Deutsch C.V. Geostatistical Reservoir Modeling. Moscow-Izhevsk:IKI; 2011. (In Russ.)]