



## **ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИС ПРИ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЯХ (НА ПРИМЕРЕ БАТ-ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)**

**П.А. Ян, Е.М. Хабаров**

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,  
Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия,  
e-mail: YanPA@ipgg.sbras.ru*

По результатам комплексного седиментологического исследования керна и материалов ГИС проведено расчленение разрезов бат-верхнеюрских отложений юга Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Выделены квазиизохронные реперные уровни, представленные трансгрессивными поверхностями, поверхностями максимального затопления и протяженными углистыми пластами, которые легли в основу выполненной корреляции. Установлен набор характерных литолого-фациальных последовательностей, диагностируемых по материалам ГИС.

*Литология, палеогеография, ГИС, коллекторы, горизонт Ю<sub>1</sub>, бат-верхняя юра, Западная Сибирь*

## **WELL LOG DATA INTERPRETATION IN PALEO GEOGRAPHIC RECONSTRUCTIONS (IN THE CASE OF THE BATHONIAN-UPPER JURASSIC DEPOSITS OF SOUTH OF WEST SIBERIA)**

**P.A. Yan, E.M. Khabarov**

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,  
Koptug Avenue, 3, Novosibirsk, 630090, Russia,  
Novosibirsk State University, Pirogova str., 2, Novosibirsk, 630090, Russia,  
e-mail: YanPA@ipgg.sbras.ru*

According to the results of a comprehensive sedimentological study of the core and well log data, the dissection of the bat-upper Jurassic sediments of the South of the West Siberian oil and gas basin was carried out. Quasi-isochronous marked levels are identified. They are represented by transgressive surfaces, maximum flooding surfaces and extended carbonaceous layers. They are the basis of the performed correlation. A number of characteristic lithological-facies sequences diagnosed by well log data was established.

*Lithology, paleogeography, well log data, reservoir, J<sub>1</sub>-horizon, Bathonian-Upper Jurassic, Western Siberia*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Седиментологические (в широком смысле) исследования нефтегазоносных отложений в настоящее время проводятся для решения самого широкого круга задач (от поисковых и разведочных до эксплуатационных) практически всеми геологическими организациями нефтяного профиля с применением

самых разнообразных методов. До сих пор наиболее точные и достоверные результаты на закрытых территориях позволяют получить исследования, проводимые по керну скважин. Однако фрагментарность отбора керна, его неполный выход и еще целый ряд причин диктуют необходимость применения скважинной геофизики. Впервые использовать результаты скважинной геофизики для проведения литофациальных построений предложили специалисты компании «Shell» во второй половине 50-х годов XX века. В 70-х гг. опубликованы работы [Pirson, 1970; Shelton, 1972; Busch, 1974; Conybeare, 1976] и др. Методические разработки отечественных исследователей отражены в публикациях [Чернова, 1976; Белозеров, 1984; Конторович и др., 2010; Казаненков, Карпов, 2011] и др. Но наибольшей популярностью у российских специалистов пользуется работа [Муромцев, 1984], в которой автор, опираясь на опыт и разработки преимущественно иностранных коллег, применил генетическую интерпретацию материалов ГИС для юрских отложений Жетыбай-Узеньской тектонической ступени Мангышлака, которые характеризовались небольшими глубинами залегания, высокой степенью изученности по обнажениям и керну скважин, незначительной литификацией и отсутствием карбонатизированных прослоев значительной мощности. В дальнейшем В.С. Муромцев опробовал разработанные приемы анализа материалов ГИС на более сложных объектах, в том числе и в Западной Сибири. Необходимо отметить, что проведенная им работа и полученные результаты с седиментологической точки зрения в значительной степени обоснованы. К сожалению, его последователи в своих построениях на основе генетической интерпретации данных ГИС зачастую упускают некоторые важные моменты, на которых мы попытаемся акцентировать внимание в данной статье.

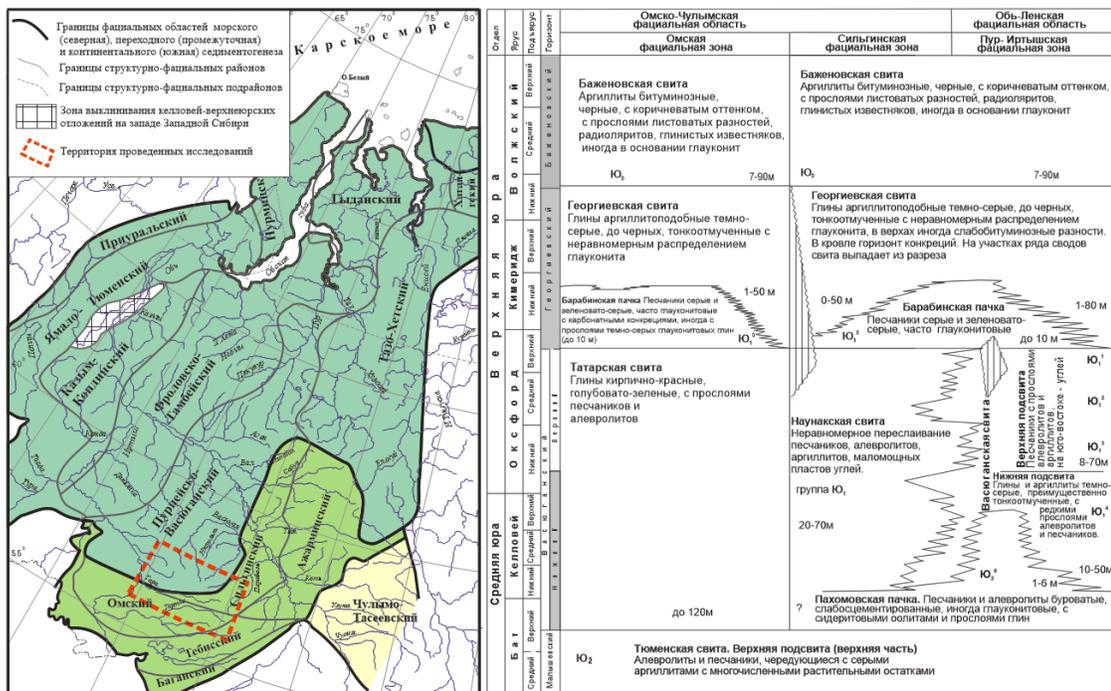


Рис. 1. Схема структурно-фациального районирования келловея и верхней юры Западной Сибири и фрагмент региональной стратиграфической схемы [Решение..., 2004]

Коллективом лаборатории седиментологии ИНГГ СО РАН была проведена работа по построению седиментационной модели бат-верхнеюрских отложений юга Западной Сибири, целью которой являлось выделение и прогнозирование интервалов и зон с улучшенными коллекторскими свойствами. Территория исследования располагается в зоне сочленения Пурпейско-Васюганского, Омского и Сильгинского структурно-фациальных районов и имеет протяженность примерно 240 км в широтном направлении и около 100 км в меридиональном (рис. 1).

Материалом для седиментологических исследований послужил керн 70 скважин и результаты ГИС (стандартный электрический, индукционный и радиоактивный каротаж) более 200 скважин.

Объектом являются бат-верхнеюрские отложения, включающие нефтегазоносный горизонт Ю<sub>2</sub> верхней части тюменской свиты (средний-верхний бат) и васюганскую свиту (келловей-оксфорд). Горизонт Ю<sub>2</sub> в южных районах Западной Сибири представлен преимущественно глинисто-терригенными континентальными угленосными отложениями. Нижняя его граница обычно проводится по кровле угольного пласта У<sub>2</sub> или коррелятивной ей поверхности. Верхняя граница проводится по подошве пласта Ю<sub>2</sub><sup>0</sup> (пахомовская пачка), залегающего в основании существенно глинистой морской нижневасюганской подсвиты. Над пахомовской пачкой выделяется когалымская пачка тонкоотмученных аргиллитов [Ян и др., 2017]. Горизонт Ю<sub>1</sub> в центральных и южных районах Западной Сибири подразделяется на подугольную и надугольную пачки, разделенные существенно континентальной межугольной пачкой или пластом угля У<sub>1</sub> [Белозеров и др., 1980, 1991]. Эти пачки имеют разное генетическое наполнение и хорошо выделяются в разрезах оксфордских отложений, однако их границы диахронны (в рамках двух подъярусов). По этой причине мы были вынуждены отказаться от традиционных подходов к корреляции келловей-оксфордских отложений, основанных на прослеживании подугольной, межугольной и надугольной пачек и провести альтернативные расчленение и корреляцию. Для этого на начальном этапе исследований выполнялись ревизия, детальное описание, фотографирование керна скважин и отбор образцов для комплексного анализа. Затем по каждой скважине проводилось построение разрезов, привязка керна к данным ГИС и строились вертикальные седиментационные модели. При реконструкции условий и обстановок седиментации отложений учитывался широкий спектр признаков: вещественно-текстурные свойства пород, характер растительных и фаунистических остатков, тип биотурбации, минеральные включения, данные петрографии и гранулометрии, результаты микроанализа структурно-текстурных особенностей пород, характер границ между литологическими единицами. Особое внимание уделялось выявлению последовательностей пород разного ранга (седиментационные циклы и ассоциации), в том числе с использованием данных ГИС. Предварительное исследование кернового материала и вертикальных разрезов позволили расшифровать структуру бат-верхнеюрских отложений и получить представление о характере развития этой части седиментационного бассейна. В соответствии с ними было выделено несколько границ, соответствующих существенным перестройкам осадочных систем, отчетливо фиксируемых на каротажных диаграммах, и которые в пределах рассматриваемой территории можно уверенно считать квазиизохронными: это кровли выдержанных по простиранью углистых пластов, поверхности максимального затопления и трансгрессивные поверхности, отвечающие подошвам пахомовской и барабинской пачек (рис. 2).



**Трансгрессивные поверхности** соответствуют эпизодам резкого высокоамплитудного поднятия относительного уровня моря, во время которых формировались пахомовская и барабинская пачки. Эти пачки имеют весьма специфический состав, отчетливо выделяются в керне по резкому пику индукционного каротажа и прослеживаются на большей части Западной Сибири. **Поверхности максимального затопления** отвечают этапам трансгрессии и фиксируются на каротажных кривых резким повышением значений ГК и понижением КС. Поверхность максимального затопления васюганского сиквенса второго порядка приурочена к когалымской пачке (верхи нижнего – верхний келловей) и трассируется практически по всему Западно-Сибирскому бассейну. Несколько поверхностей затопления более высокого порядка использовались для корреляции событий при формировании верхневасюганской подсвиты. **Углистые пласты** характеризуются низкими значениями ГК и НГК и высокими КС. Формирование выдержанных углистых реперов отвечает этапам максимальной регрессии с образованием обширных заболачивающихся пойменных равнин. Необходимо отметить, что существенно континентальные тюменская свита и междугольная пачка содержат большое и неравномерное количество углистых пластов и прослоев, не имеющих высокого корреляционного потенциала, но значимых для генетической интерпретации отложений. В качестве одного из основных реперов использовался пласт значительной толщины и протяженности в верхней части нижнеоксфордского комплекса и который мы рассматривали, как квазиизохронный, т. е. не претерпевающий значительных стратиграфических изменений на большей части изученной территории. Более-менее протяженные пласты использовались для корреляции отложений в пределах отдельных площадей или месторождений.

Подготовленная таким образом корреляционная основа позволила провести латеральное сопоставление разнофациальных, но одновозрастных отложений, формировавшихся в естественном последовательном ряду палеообстановок. Эти ряды были выделены в четыре седиментационных комплекса с квазиизохронными границами: **средне-верхнебатский** (Ю<sub>2</sub>); **келловейский** (нижневасюганская подсвита и часть подугольной толщи); **нижнеоксфордский** (часть подугольной толщи и междугольная толща); **средне-верхнеоксфордский** (надугольная толща) (см. рис. 2). В пределах этих комплексов удалось провести экстраполяцию результатов литолого-фациального анализа кернового материала на разрезы, охарактеризованные только геофизическими данными и выделить ограниченное количество литофациальных последовательностей, которые с высокой достоверностью диагностируются по стандартному и радиоактивному каротажу. Ниже приведены примеры наиболее характерных из них.

**Литофациальные последовательности заполнения русел.** Каротажные диаграммы отражают структуру соответствующих песчаных тел с резкой подошвой, грубым материалом в основании и постепенным утонением его вверх по разрезу (рис. 3). Значения естественной радиоактивности на нижних границах резко падают; в зависимости от мощности пласта на уровне минимальных значений может наблюдаться «пилообразная» боковая линия и постепенный верхний переход в сторону высоких значений, отвечающих пойменным отложениям. Кривая НГК обычно ведет себя обратным образом. Отрицательные аномалии ПС, как правило, имеют горизонтальную подошвенную линию и наклонную кровельную, однако в случае вторичной карбонатизации песчаников аномалии может не наблюдаться, при этом наблюдается скачкообразное увеличение кажущегося электрического сопротивления.

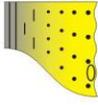
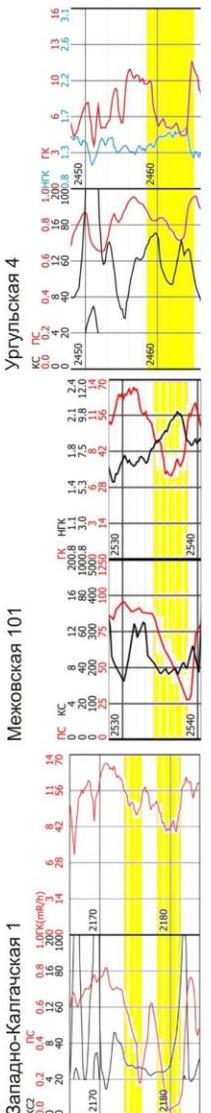
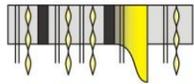
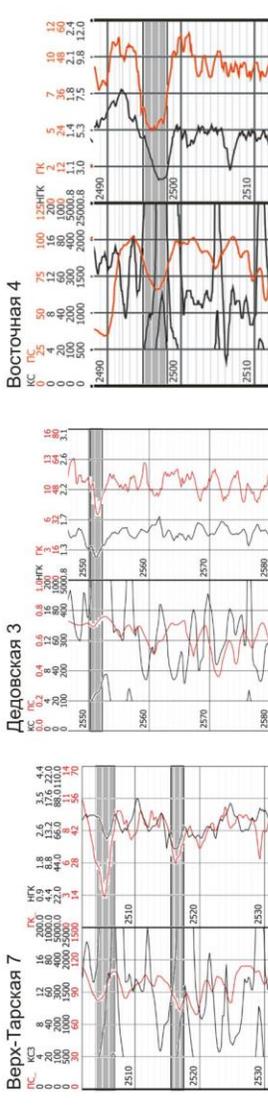
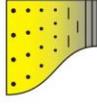
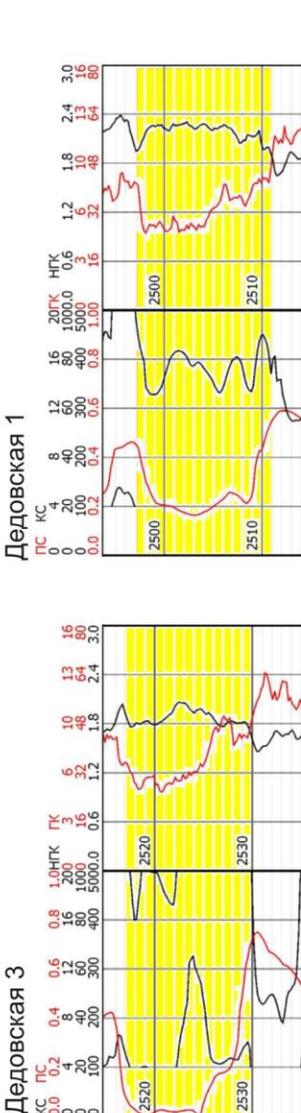
<p>Литофациальные последовательности</p>	<p>Примеры геофизической характеристики</p>	<p>Возможная интерпертация</p>
<p>заполнения русел</p> 		<p>Меандровые и русловые отмели в пределах аллювиальной равнины; Отложения флювиальных дельтовых рукавов; Заполнение приливно-отливных каналов; Структуры размыва с последующим заполнением в зоне действия устойчивых морских течений;</p>
<p>пойменные</p> 		<p>Пойменные отложения; Отложения дельтовых равнин; Отложения прибрежно-морских равнин;</p>
<p>проградационные</p> 		<p>Выдвижение пляжево-баровых систем; Последовательность устьевых баров и фронта дельты Приливно-отливные микродельты Выдвижение микродельт в пределах крупных озер</p>

Рис. 3. Геофизическая характеристика выделенных литофациальных последовательностей и их возможная интерпертация

Необходимо отметить, что подобные последовательности слагают не только меандровые и русловые отмели в пределах аллювиальной равнины, но также могут встречаться в виде отложений флювиальных дельтовых рукавов, заполнения приливно-отливных каналов и структур размыва с последующим заполнением в зонах действия устойчивых морских течений. Соответственно для уточнения интерпретации необходимо опираться на данные изучения кернового материала и анализ латеральных и вертикальных последовательностей.

**Пойменные литофациальные ассоциации** представляют собой комплекс алевроито-глинистых слоев, иногда углей и углистых осадков в случае заболачивания местности. Кривая КС имеет «пилообразную» форму, значения ГК и НГК слабоповышенные, кривые сильно дифференцированы. Прослоям углистых аргиллитов и углей соответствуют резкие скачкообразные увеличения кажущегося электрического сопротивления и синхронные падения значений ГК и НГК (см. рис. 3). В тесной парагенетической связи с пойменными отложениями находятся русловые осадки. Схожие по составу геофизической характеристике отложения формируются на дельтовой и прибрежно-морской равнинах. В этом случае они будут пространственно сопряжены с другими дельтовыми литофациями и/или литофациями мелкого шельфа.

**Проградационные последовательности.** Постепенная проградация баровых систем и пляжей в сторону бассейна хорошо фиксируется в разрезе по возрастанию зернистости вверх. В соответствии с этим ведут себя и каротажные характеристики: значения естественной радиоактивности постепенно падают, в прикровельной части пласта происходит ее скачкообразное увеличение. Кривая НГК ведет себя зеркально диаграмме ГК. Кривые ПС формируют отрицательные аномалии с наклонной подошвенной и резкой или крутонаклонной кровельной границами (в случае отсутствия вторичной карбонатизации) (см. рис. 3).

Песчаные тела с подобной структурой формируют также дельтовые устьевые бары и фронт дельты. В этом случае они будут находиться между аллювиально-пойменными и мелководно-морскими отложениями.

Проградационные песчаные тела без признаков их морского происхождения и находящиеся внутри комплекса аллювиально-пойменных отложений рассматривались как микродельты в пределах крупных озер или остаточных заливов.

Отдельно стоит остановиться на специфических отложениях, которые обычно слагают верхнюю часть верхневасюганской подсвиты (пласт Ю<sub>1</sub><sup>1</sup>) и представлены песчаниками мелко-, реже среднезернистыми, с обильными и разнообразными остатками морской фауны. Эти песчаники очень часто интенсивно карбонатизированы, вплоть до образования известняков. Несмотря на небольшую мощность, они встречаются практически на всей территории распространения васюганской свиты и значительной части наунакской и татарской свит. Проградационная структура этих тел хорошо видна на диаграммах радиоактивного каротажа, кривая ПС находится на уровне «глин», КС может достигать 60–80 и даже 100–120 Ом·м, что вполне сопоставимо с углистыми аргиллитами и углями (рис. 4). Другими словами, если рассматривать разрез васюганской свиты только по данным электрического каротажа, то эту часть разреза можно отнести к межугольной толще с углистыми пойменными отложениями и сделать ошибочный вывод о значительном предгеоргиевском размыве.

КОМПЛЕКС	окофордский		СВИТА	ЯРУС	ОТДЕЛ
	нижне-	средне-верхне-			
			георгиевская		

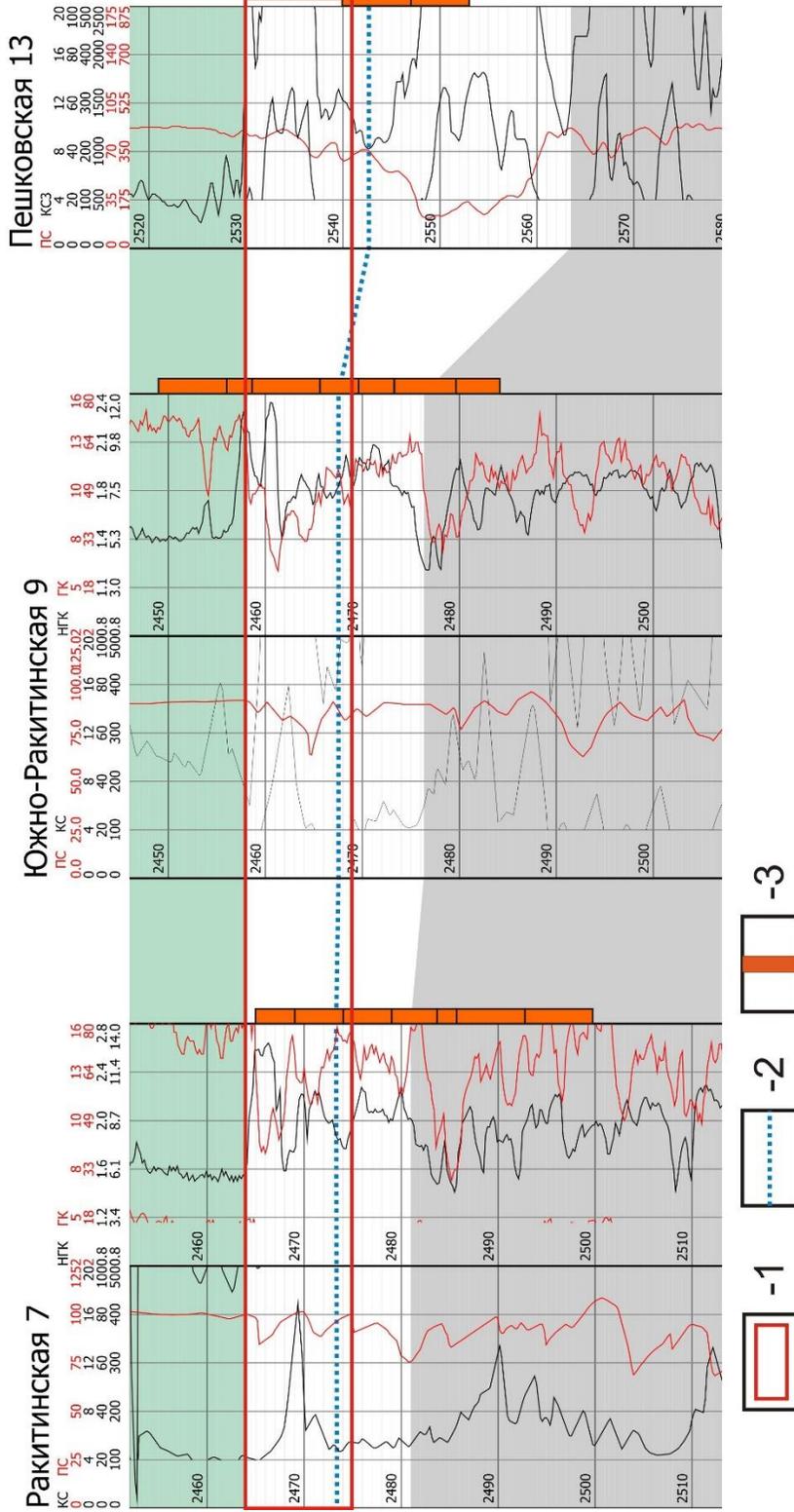
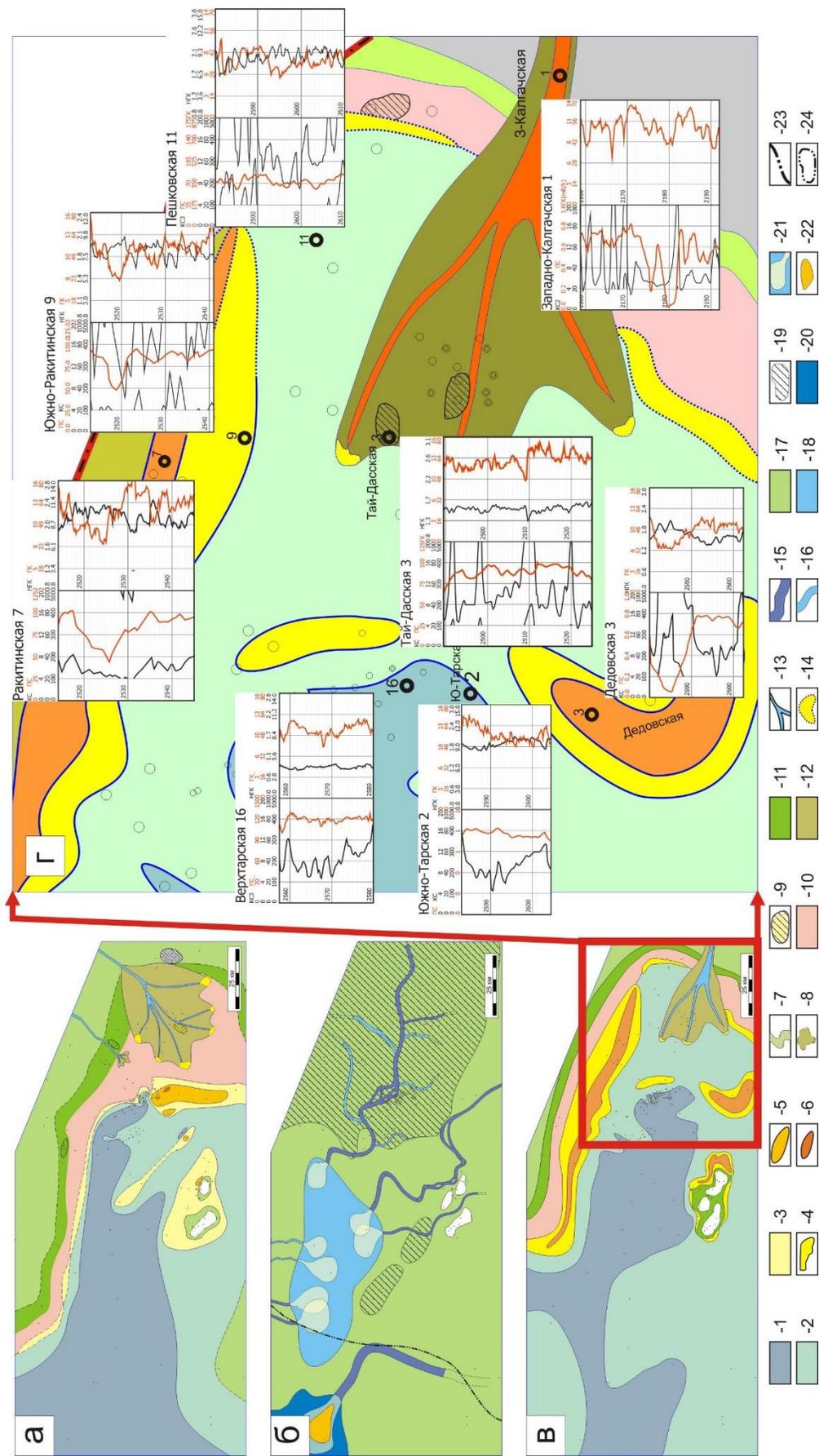


Рис. 4. Геофизическая характеристика карбонатизированных песчаных пластов на фрагменте корреляционной схемы верхней части васюганской свиты. 1 – карбонатизированные песчаники с морской фауной; 2 – поверхность затопления; 3 – интервалы отбора керна



**Рис. 5.** Палеогеографические схемы на время формирования нижней части верхнеоксфордского (а), нижнеоксфордского (б) и келловейского (в) комплексов [Хабаров и др., 2009]. Фрагмент палеогеографической схемы на время формирования келловейских отложений (г). На коротажных диаграммах показан разрез келловейского комплекса. Условные обозначения: 1 – умеренно-глубокий шельф; 2 – средне-глубокий шельф; 3 – мелководная равнина; 4 – барьерные бары и внутришельфовые отмели (толщина песчаников 5–10 м); 5 – песчаные отмели на шельфе – остаточная система баров (толщина песчаников 10–15 м); 6 – песчаные отмели на шельфе – остаточная система баров (толщина песчаников >15 м); 7 – приливно-отливные каналы; 8 – приливно-отливные микродельты; 9 – ракушняковые банки на отмелях; 10 – забаровый комплекс обстиков (лагун, приливных микродельт и пр.); 11 – приливно-отливная илистая равнина с мелкими каналами; 12 – дельтовый комплекс; 13 – русловые отложения аллювиального и дельтового комплекса; 14 – приустьевой бар; 15 – крупные русла (толщина песчаников >5 м); 16 – средняя равнина (толщина песчаников от 3 до 5 м); 17 – аллювиальная пойменная равнина; 18 – пойменные озера и старицы; 19 – заболочивающиеся участки; 20 – остаточный морской залив; 21 – микродельты озер и заливов; 22 – устьевой бар (толщина песчаных отложений 10–15 м); 23 – северо-западная граница распространения углей в кровле нижнеоксфордского комплекса; 24 – область отсутствия отложений

На финальной стадии работы проводилось сопоставление всего массива полученных данных и для каждого выделенного комплекса с суббизохронными границами строились палеогеографические схемы (рис. 5). Они послужили надежной верификацией для всех предварительных результатов: в процессе создания каждой из схем уточнялась как корреляционная часть построения, так и часть, касающаяся генетической интерпретации разрезов.

Таким образом, сделаны следующие выводы:

1. Проведенный седиментологический анализ с выделением типов отложений и их разноранговых последовательностей позволил расчленить бат-верхнеюрские отложения на серию комплексов с суббизохронными границами и проследить не только вертикальные, но и латеральные последовательности разноранговых генетически неоднородных осадочных тел.
2. По данными ГИС можно уверенно диагностировать лишь ограниченное количество вертикальных последовательностей, отражающих те или иные обстановки седиментации, при этом их интерпретация требует обязательного привлечения результатов исследования керна скважин и детального рассмотрения латеральных последовательностей в рамках выделенных одновозрастных комплексов.
3. Из данных ГИС наибольшую информативность показал радиоактивный каротаж, который более четко отражает изменения в составе литологических тел и хорошо фиксирует их границы. Кривые самопроизвольной поляризации не позволяют выделять карбонатизированные алевроито-песчаные пласты, имеют меньшую разрешающую способность при выделении маломощных тел. Кроме того, значения самопроизвольного потенциала сильно зависят от минерализации бурового раствора и типа флюидонасыщения пластов, что часто не принимается во внимание. Опираясь только на электрометрические модели, которые в основном сводятся к характеристике формы кривой самопроизвольной поляризации, нужно очень осторожно.

Работа выполнена при поддержке проекта НИР IX.131.1.5 (0331–2016–0041), проектов РФФИ и Правительства Новосибирской области №18–45–540004 p\_a.

## ЛИТЕРАТУРА

**Белозеров В.Б., Брылина Н.А., Даненберг Е.Е.** Фациальная диагностика по материалам ГИС континентальных и прибрежно-морских отложений юры юго-востока Западной Сибири // Проблемы геологии и нефтегазоносности верхнепалеозойских и мезозойских отложений Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1984 – С. 11–23.

**Белозеров В.Б., Даненберг Е.Е., Огарков А.М.** Особенности строения васюганской свиты в связи с поиском залежей нефти и газа в ловушках неантиклинального типа // Перспективы нефтегазоносности юго-востока Западной Сибири: Труды СНИИГГиМС. Вып. 275. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1980. – С. 92–100.

- Белозеров В.Б.** Условия формирования, закономерности размещения и перспективы поиска ловушек нефти и газа неантиклинального типа в отложениях юры Нюрольской впадины (Томская область): автореферат дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минерал. наук – Новосибирск, 1984. – 18 с.
- Белозеров В.Б., Брылина Н.А., Даненберг Е.Е.** К проблеме поисков литолого-стратиграфических ловушек в верхнеюрских отложениях юго-востока Западной Сибири // Теоретические и региональные проблемы геологии нефти и газа. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 171–180.
- Казаненков В.А., Карпов И.А.** Характеристика обстановок осадконакопления горизонта Ю<sub>2</sub> в разрезах скважин Широного Приобья по материалам методов электрического и радиоактивного каротажа // Геология нефти и газа. – 2011. – № 5. – С. 133–139.
- Конторович А.Э., Вакуленко Л.Г., Казаненков В.А., Скворцов М.Б., Ян П.А., Быков В.В., Попов А.Ю., Саенко Л.С.** Седиментогенез коллекторов среднего-верхнего бата и их нефтеносность в Широном Приобье // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 2. – С. 187–200.
- Муромцев В.С.** Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л.: Недра, 1984. – 260 с.
- Решение** 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, Новосибирск, 2003 г. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. – 114 с.
- Хабаров Е.М., Ян П.А., Вакуленко Л.Г., Попов А.Ю., Плисов С.Ф.** Палеогеографические критерии распределения коллекторов в средне-верхнеюрских отложениях юга Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Геология нефти и газа. – 2009. – № 1. – С. 26–33.
- Ян П.А., Вакуленко Л.Г., Костырева Е.А., Аухатов Я.Г., Бурлева О.В., Николенко О.Д.** Литология и геохимия когалымской пачки нижневасюганского подгоризонта (верхний бат – низы нижнего оксфорда) Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 3–4. – С. 484–494.
- Чернова Л.С.** Генетические модели некоторых типов фаций прибрежно-морских и континентальных отложений // Литология и коллекторские свойства палеозойских и мезозойских отложений Сибири: Труды СНИИГГиМС. Вып. 232. – Новосибирск, 1976. – С. 93–97.
- Busch D.A.** Prospecting for stratigraphic traps // AAPG Bulletin. – 1959. – Vol. 43, No. 12. – P. 2829–2843.
- Busch D.A.** Stratigraphic traps in sandstones – exploration techniques // AAPG Memoir 21. – Tulsa, 1974. – 174 p.
- Conybeare C.E.V.** Geomorphology of oil and gas fields in sandstone bodies. – Amsterdam, Oxford, New-York: Elsevier, 1976. – 353 p.
- Pirson S.J.** Geologic well log analysis. – Houston: Gulf Publ. Co., 1970. – 370 p.
- Serra O., Sulpice L.** Sedimentological analysis of shale-sand series from well logs // SPWLA 16<sup>th</sup> Annual logging symp. – 1975. – P. W1–W23.
- Shelton J.W.** Correlation sections and log maps in determination of sandstone trends // AAPG Bulletin. – 1972. – Vol. 56, No. 8. – P. 1541–1544.

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*ЯН Петр Александрович* – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий лабораторией седиментологии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: седиментология, литология, мезозойские осадочные бассейны Сибири.

*ХАБАРОВ Евгений Максимович* – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории седиментологии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: седиментология, изотопная геохимия мезо-неопротерозоя и фанерозоя Сибири.