DOI: *10.25515/PMI.2017.6.631*

УДК 550.834.05

КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТОЛЩИ НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПАННОНСКОГО БАССЕЙНА НА ОСНОВЕ СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ СЕЙСМОФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Т.В.ОЛЬНЕВА, Е.А.ЖУКОВСКАЯ
ООО «Газпромнефть НТЦ», Санкт-Петербург, Россия

С 2011 по 2017 г. в пределах Паннонского бассейна (территория Сербии) компанией ПАО «Газпром нефть» проведены масштабные сейсморазведочные работы. В настоящее время площадь покрытия сейсмическими исследованиями в модификации МОГТ 3D приближается к стадии региональной степени изученности и составляет около 5600 км^2. Полученные данные знаменуют новый этап в геологическом изучении региона и представляют собой богатый материал для дальнейшего осмысления геологического строения территории исследований.

За полномасштабным внедрением сейсморазведки в модификации МОГТ 3D появилась возможность использовать современные подходы к интерпретации, такие как сейсмостратиграфический и сейсмофациальный анализы. С одной стороны, полученные результаты способствуют более успешному проведению геологоразведочных работ. С другой стороны, адаптация сейсмостратиграфических подходов, приемов секвенс-стратиграфии и технологий сейсмофациального анализа к региональным особенностям Паннонского бассейна позволяет развивать сами методы, так как предмет исследований, по мнению многих ученых, является во многих смыслах природной лабораторией.

В статье приводится описание основных сейсмостратиграфических комплексов, принципы их выделения, раскрываются особенности интерпретационных подходов для проведения сейсмофациального анализа в каждом из них, результаты сейсмофациального анализа комплексируются с исследованиями керна.

В пределах региона открыто более 500 залежей с общими запасами свыше 1400 млн т условной нефти. Несмотря на малые размеры подавляющего большинства месторождений, они рентабельны и дальнейшие геологоразведочные работы представляют большой практический интерес.

***Ключевые слова*:** Паннонский бассейн, неоген, сейсмостратиграфия, сейсмостратиграфический комплекс, интерпретация сейсмических данных, сейсмофациальный анализ, седиментационная модель

***Как цитировать эту статью*:** Ольнева Т.В. Комплексное изучение толщи неогеновых отложений Паннонского бассейна на основе сейсмостратиграфических подходов с элементами сейсмофациального анализа / Т.В.Ольнева, Е.А.Жуковская // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 631-640. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.631

Введение. Достигнутый в настоящее время уровень технологического развития сейсмических исследований в сочетании с благоприятными сейсмогеологическими условиями дает возможность получать достаточно качественные сейсмические изображения, которые позволяют не только эффективно применять современные интерпретационные подходы, но и активно их развивать.

Внедрение сейсмостратиграфического подхода и сейсмофациального анализа в производственную цепочку интерпретации сейсмических данных на площадях компании ПАО «Газпром нефть» в юго-восточной части Паннонского бассейна (Сербия, Воеводина) позволило:

- выявить специфические региональные особенности сейсмических данных;
- предложить новые приемы интерпретации и адаптировать уже существующие технологии;
- разработать приемы палеогеографических реконструкций через картирование отдельных геологических событий.

Предметом исследований являются неогеновые отложения, заполняющие Паннонский бассейн, их мощность в одной из наиболее глубоких депрессий достигает 7 км. Донеогеновое основание имеет сложное строение: под покров осадочного чехла выходят отложения палеозойского, мезозойского и палеогенового возрастов. Особенностью бассейна является активный тектонический режим, утончение земной коры (22-30 км на фоне 36 км в окружающих областях, 50-60 км в Карпатах) и повышенный тепловой поток (от 80-100 до 130 мВт/м^2) [12].

Первое месторождение нефти в регионе было открыто в 1885 г. в Хорватии. Нефтематеринский потенциал доказан для отложений мезозоя, палеогена, миоцена в Венгрии, Румынии, Сербии и Хорватии. К началу XXI в. в пределах региона открыто более 500 залежей с общими запасами свыше 1400 млн т условной нефти. Несмотря на малые размеры месторождений, их разработка является экономически рентабельной, и новые открытия в регионе представляют большой практический интерес [9].

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.631

Постановка проблемы. Сейсмостратиграфические подходы, разработанные изначально Питером Вейлом и его коллегами по Exxon Production Research Co. [6, 7], основаны на принципиальном допущении, что сейсмические отражения аппроксимируют изохронные геологические поверхности, изначально увязываемые с эвстатическими колебаниями уровня Мирового океана. Одной из особенностей Паннонского бассейна является тот факт, что в его истории присутствовали разные этапы взаимоотношений с Мировым океаном: в отдельные периоды бассейн открывался, но большую часть времени развивался изолированно. Каждый из суббассейнов, составляющих Паннонский бассейн, несет в себе черты общей истории геологического развития региона и имеет свои индивидуальные особенности. Это вызывает затруднения в идентификации одновозрастных толщ, особенно в погруженных частях депрессий. Однако характерный рисунок сейсмической записи и идентификация определенных геологических событий, установленных для конкретных возрастных интервалов, позволяют условно их стратифицировать, даже при отсутствии скважинной информации.

К особенностям заполнения бассейна можно отнести существование множественных источников сноса, быструю смену условий осадконакопления, широкий спектр фациальных обстановок. Эти факторы во многом определили характер сейсмического изображения: большинство интервалов представлено прерывистыми осями синфазности, существуют проблемы их прослеживания по латерали и идентификации палеоизохронных событий. Перечисленные особенности обозначили «слабые места» в стандартных интерпретационных подходах фазовой корреляции, основанных на прослеживании протяженных отражающих горизонтов, приуроченных к достаточно длительным перерывам в осадконакоплении. Для углубленной сейсмогеологической интерпретации были разработаны и внедрены авторские объектно-ориентированные подходы, позволяющие учитывать все особенности сейсмического изображения, информативность условных отражающих горизонтов, характерных комбинаций локальных осей синфазности и т.д. [3, 20].

Предмет исследований: эволюция Паннонского бассейна. Современные представления об эволюции Паннонского бассейна подробно изложены в работах ученых, занимающихся его изучением на протяжении длительного времени [12-22].

Паннонский бассейн локализовался в пределах региона существования моря ***Паратетис***. В раннем палеогене в пределах южной окраины Евроазиатского континента существовали окраинные моря океана Тетис: Альпийско-Карпатское и Кавказско-Копетдагское. В конце эоцена в результате коллизии Афро-Апулийско-Аравийского континента с Евразией (позднепиринейская фаза альпийской складчатости) образовался сплошной массив суши, отделивший указанные окраинные моря от бассейнов древнего Средиземноморья, Месопотамии, Индийского океана.

К началу олигоцена Альпийско-Карпатский и Кавказско-Копетдагский бассейны превратились в систему внутриконтинентальных водоемов, получившую название Паратетис (Laskarev, 1924), с непостоянным режимом солености и кислородного обмена. Начальный цикл развития Паратетиса (ранний олигоцен – начало позднего олигоцена) характеризуется достаточно широкой связью с Мировым океаном. Соленость бассейна в начале олигоцена была близка к нормальной. В конце раннего олигоцена произошло первое кратковременное замыкание Паратетиса, сопровождающееся значительным опреснением, впоследствии связь с Океаном была восстановлена, преимущественно с Атлантикой. Подробно палеогеография и биогеография бассейнов Паратетиса в период с позднего эоцена до раннего миоцена включительно изложена в работе С.В.Попова, М.А.Ахметьева и др. [5].

С течением времени сообщение между Паратетисом и Океаном становилось все более затрудненным и, предположительно, происходило по сложной системе узких проливов [11].

К началу миоцена Паратетис разделился на Западную и Восточную части. Восточная часть, именуемая Эвксино-Каспийской, более чем в 2 раза превосходила западную, Паннонскую часть. Существует мнение, что дифференциация Паратетиса на Западный и Восточный была не явно выраженной до среднего миоцена [1].

Паннонская часть представляла собой узкий пролив, простиравшийся от Венского до Штирийского бассейнов в Закарпатье, с расширением в Трансильвании и ответвлением в Предкарпатский залив. Молдавский пролив связывал Западный Паратетис с Восточным. Сложная история взаимоотношений отдельных частей Паратетиса, их периодическая изоляция с последующим восстановлением сообщения между собой предопределили условия осадконакопления и сложности в стратификации одновозрастных толщ [10].

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.631

Заложение Паннонской впадины большинство исследователей относят к раннему миоцену, указывается рубеж в 20-21 млн лет [1]. В ее основании находится сложный набор блоков, которые условно сгруппированы в две плиты: ALCAPA и Тисса-Дакийский блок. Плиты разделены Средневенгерской разломной зоной, которая была сформирована в верхнеолигоценовое-раннемиоценовое время. Существует значительная неопределенность в том, что касается геометрии блоков, последовательности их перемещения, характере этого перемещения и т.д. [14].

В истории развития бассейна выделяют две фазы – синрифтовую и пострифтовую.

Специалисты предполагают, что рифтогенез протекал по асимметричной схеме Б.Вернике, с образованием полуграбенов, ограниченных листрическими сбросами. Рифтовая стадия продлилась до среднего миоцена включительно. Существует предположение, что завершение рифтовой стадии не имеет единой временной границы, так как, по последним сейсмическим исследованиям, в восточной части бассейна процессы рифтогенеза продолжались вплоть до позднего миоцена [12].

Отложения, сформированные в начальную фазу рифтогенеза, представлены, как правило, конгломератами с песчаным матриксом, крупно-, средне- и мелкозернистыми песчаниками, алевролитами, алевритистыми песчаниками, глинами, реже – мергелями, отмечается присутствие углей.

На рубеже раннего и среднего миоцена зафиксирован всплеск тектонической активности в Альпах, Тибете и других системах Альпийско-Гималайского комплекса, получивший название Штирийской фазы орогенеза. Осадконакопление происходило в условиях разобщенных бассейнов, сообщение между которыми периодически восстанавливалось. Начало бадена ознаменовалось крупной трансгрессией, которая привела к открытию коридора сообщения с Мировым океаном через Словению и север Хорватии. В баденское время специалисты выделяют несколько эвстатических циклов третьего и четвертого порядков, однако корреляция с глобальными изменениями уровня моря не прозрачна, влияние региональной тектоники является руководящим [13]. Отложения раннего бадена представлены, в основном, мелководно-морскими фациями, характерно наличие как рифогенных известняков, так и грубой кластики. В пределах депрессий отложения имеют более глубоководный характер. Отмечается широкое присутствие вулканогенного материала. Отложения среднего и верхнего бадена распространены более локально.

Отложения сарматского возраста также накапливались преимущественно в мелководно-морских условиях. Геологические события, происходившие в сарматское время, подробно описаны в работе Р.Йовановича [17]. Автор выделяет три фазы: фазу площадного карбонатного осадконакопления в раннем сармате и последующие две фазы активных тектонических движений в раннем и позднем сармате, которые привели к формированию расчлененного рельефа, впоследствии эродированного, чем и объясняется локальное распространение сарматских отложений в палеопогруженных участках донеогенового основания.

Завершение среднего миоцена зафиксировано региональной эрозионной границей так называемого «паннонского несогласия». Было выдвинуто предположение, что это несогласие является свидетельством окончания синрифтовой фазы, но по мере более детальной интерпретации сейсмических данных на разных площадях специалисты пришли к выводу, что в пределах бассейна завершение рифтовой стадии не имеет единой временной границы.

Изоляция Паннонского бассейна датируется концом сарматского времени (11,6-11,3 млн лет назад) [12]. Образовавшееся ***Паннонское море-озеро*** глубиной около 1000 м было быстро опреснено впадающими в него реками, которые привносили огромное количество терригенного материала, формируя клиноформные толщи бокового наращивания. В конце понта – начале плиоцена в регионе отмечаются активные тектонические подвижки.

Прогрессивно сокращавшееся в размерах Паннонское озеро окончательно перестало существовать на рубеже плейстоцена и голоцена. Считается, что вода из него ушла по Дунаю через Джердапское ущелье – в месте сближения горных систем Карпат и Стара-Планины.

Фактический материал. Сейсмические исследования в регионе проводятся с 1956 г. Первая сейсмическая съемка МОГТ 3D отработана в 1997 г. Современный этап активных сейсмических исследований в модификации МОГТ 3D начался с 2011 г. На сегодняшний день фактический материал составляет около 5600 км^2. В основном параметры сейсморазведочных работ выдерживаются на всех площадях: источники – вибраторы, расстояние между точками возбуждения 40 м, расстояние между приемниками 40 м, бин 20 × 20 м, шаг дискретизации 2 мс, продолжительность записи 5 с, длина расстановки – до 3 км. Сейсмогеологические условия в целом благоприятные, полевой материал хорошего качества. Особенностью проведения полевых работ на

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.631

территории автономного края Воеводины в Сербии является высокая плотность населения, большое количество хозяйствующих субъектов, дорог, озер, рек. Эти факторы оказывают значительное влияние на регулярное распределение геометрии наблюдений и помехи.

Обработка и интерпретация сейсмических данных проводится в программном комплексе Echos компании Paradigm; интерпретация с применением сейсмостратиграфических и сейсмофациальных подходов – в программных комплексах компании Paradigm и Schlumberger.

Обсуждение: региональные сейсмостратиграфические комплексы (ССК) и их описание. В сейсмических разрезах Паннонского бассейна выделение сейсмостратиграфичских комплексов может основываться на разных критериях, в зависимости от полноты геологического разреза в той или иной части бассейна, вследствие чего количество сейсмических комплексов может меняться.

В настоящей работе описывается пять сейсмостратиграфических комплексов. Для каждого комплекса приводится описание особенностей сейсмического изображения, событий, соответствующих этому периоду геологической истории, наиболее эффективных приемов интерпретации, разработанных авторами в процессе работы с сейсмическими данными.

ССК 0. Донеогеновое основание. В основании Паннонского бассейна находится гетерогенный и сложнопостроенный фундамент. Толща неогеновых отложений перекрывает породы палеозойского, мезозойского и палеогенового возрастов.

Для месторождений углеводородов, открытых в донеогеновом основании, характерны несколько типов залежей: залежи, сформированные в приповерхностной части фундамента; залежи в ловушках внутри фундамента; массивные залежи с общим водонефтяным контактом с синрифтовым комплексом.

На протяженных региональных профилях в первом приближении комплекс донеогенового основания хорошо опознается, так как рисунок сейсмической записи в интервале разреза, сопоставляемом с донеогеновым основанием, резко отличается от сейсмического изображения в перекрывающей его толще и характеризуется нерегулярными хаотическими отражениями. Отражение от поверхности донеогенового основания в регионе, как правило, является комплексным откликом, изменчивым по латерали. С этим моментом связаны проблемы интерпретации отражающих горизонтов, характеризующих распределение отложений нижнего и среднего миоцена, перекрывающих донеогеновое основание (рис.1).

В пределах обозначенного интервала реперных отражающих горизонтов нет. Сейсмическое изображение в полной мере не передает сложное внутреннее строение основания. Отдельные оси синфазности или цуги волн отмечаются фрагментарно как на сейсмических данных МОГТ 2D, так и на сейсмических данных МОГТ 3D.

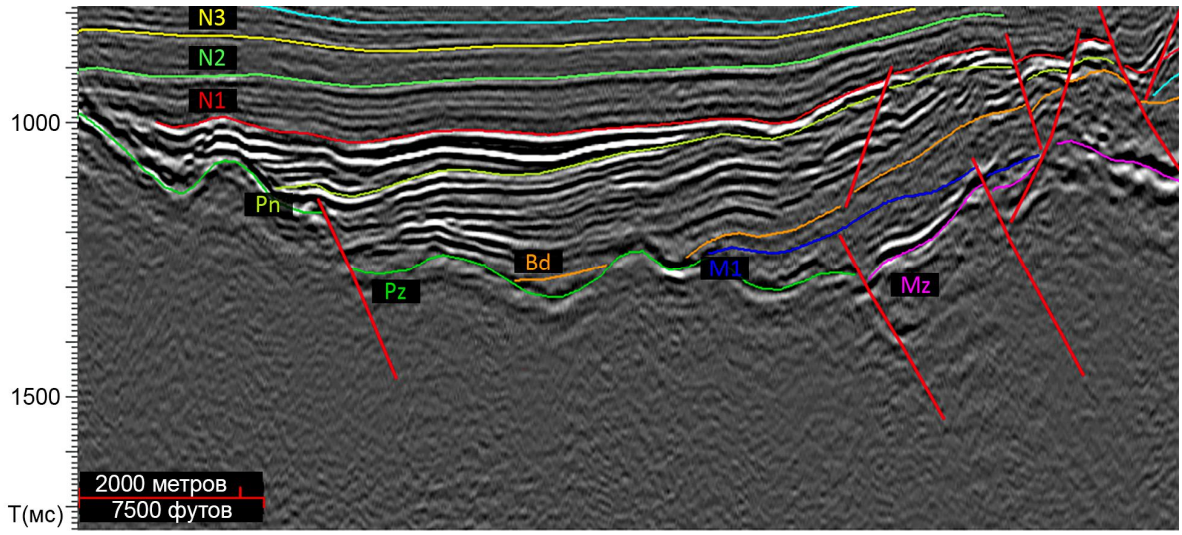


Рис.1. Временной разрез. ССК 0 соответствует интервалу, ассоциированному с отложениями мезозоя и палеозоя. Верхняя граница комплекса проводится по отражающему горизонту Pz и отражающему горизонту Mz; ССК 1 – интервалу развития отложений нижнего миоцена, в кровле комплекса – отражающему горизонту M1; ССК 2 – интервалу, включающему отложения паннона и нижнего понта; верхняя граница соответствует базе проградации – отражающий горизонт N1

При наличии скважинной информации сейсмические отражения можно условно отождествить со стратиграфическими границами, но только в пределах локальных участков. Скважин, вскрывающих различные возрастные толщи в пределах донеогенового основания, крайне мало.

В литературе приводятся примеры успешной идентификации отражений в фундаменте в условиях комплексирования со скважинной информацией, например, в сопредельном Венском бассейне, где в юрских и триасовых отложениях выявлены залежи как нефти, так и газа [8].

В пределах юго-восточной части бассейна локально присутствуют отложения палеогена, представленные континентальными терригенными образованиями. На сейсмических разрезах они могут быть выделены в отдельный локальный ССК.

ССК 1. Синрифтовый комплекс. Нижнемиоценовые отложения. Отложения нижнего миоцена в пределах территории Паннонского бассейна сохранились локально. Несмотря на фрагментарность присутствия отложений по латерали и удаленность друг от друга сохранившихся разрезов, геологическая летопись фиксирует однотипные геологические процессы. Основная концептуальная модель образования нижнемиоценовых отложений – «шлейфы нарушенных разломами склонов» [2].

На территории Сербии в пределах изученных площадей нижний миоцен, как правило, представлен континентальными терригенными отложениями, сложенными брекчиями, конглобрекчиями, конгломератами, песчаниками с примесью галечного материала, известняками с примесью терригенных отложений различного гранулометрического состава. Брекчии и конгломераты состоят из обломков песчаников, алевролитов, известняков, сланцев, кварцитов, гранитоидов, серпентинитов, диабазов.

К нижнемиоценовым отложениям приурочен целый ряд месторождений нефти и газа в регионе. Типы ловушек самые разнообразные: структурные, структурно-тектонические, литологически экранированные. Отмечается значительная фациальная неоднородность и резкая дифференциация отложений по площади, мощности и свойствам. Например, в пределах одного из месторождений общая мощность пластов-коллекторов изменяется от 3 до 26 м, пористость – от 6,2 до 22,2 %. Дебиты нефти при испытании в колонне варьируют от 0,2 до 50 м^3/сут.

Сейсмостратиграфический комплекс ССК 1, сопоставляемый с отложениями нижнего миоцена, снизу ограничивается поверхностью донеогенового основания, сверху отражающим горизонтом, стратиграфически идентифицируемым как кровля отложений нижнемиоценового возраста (рис.2).

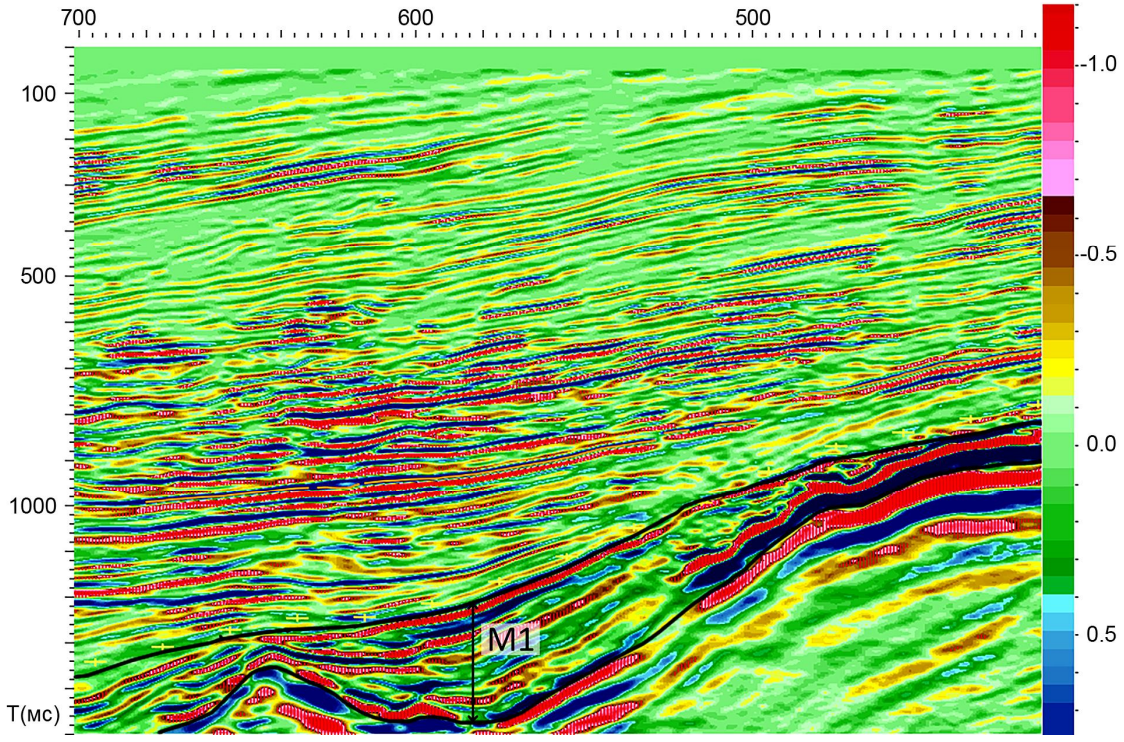


Рис.2. Пример сейсмического изображения, характерного для ССК 1 на временном разрезе
Здесь и на рис.3-5 цветовая шкала соответствует относительной интенсивности амплитуд; нумерация трасс выполнена через 20 м (горизонтальный масштаб)

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.631

В разрезе ССК 1 характеризуется чередованием протяженных и локально выраженных осей синфазности. Некоторые особенности сейсмического изображения на разрезах и слайсах можно связать с этапами активного поступления материала, заполняющего впадины палеорельефа. Выделить этапы можно только условно, так как процесс происходил непрерывно-прерывисто. Каждый этап включает в себя подобные события более локального характера или более кратковременные по продолжительности. В пределах отдельных участков рисунок соответствует характерному отображению оползневых процессов. Тестирование различных приемов интерпретации, таких как анализ седиментационных и погоризонтных слайсов различных атрибутов сейсмической записи, классификация целевого интервала по форме трассы для выявления отдельных событий и литологических особенностей, позволяет сделать вывод, что сейсмические данные отображают неоднородность нижнемиоценовой толщи с точки зрения процесса ее формирования.

***ССК 2. Синрифтовый комплекс. Среднемиоценовые отложения* (*баден*, *сармат*).** Отложения среднемиоценового комплекса трансгрессивно налегают на породы донеогенового основания (локально), в депрессиях – на отложения раннемиоценового возраста. В зависимости от этого по-разному определяется нижняя граница ССК.

В пределах участков, характеризующихся полным разрезом отложений среднемиоценового возраста, на сейсмических разрезах можно выделить интервалы с «морским» заполнением и «континентальным». В первом случае сейсмическое изображение более контрастно и состоит из достаточно протяженных ярких отражений; во втором случае выглядит более приглушенно и хаотично. Большинство отражений носит интерференционный характер. Верхней границей является акустическая граница на контакте с отложениями паннонского возраста.

Для целевых объектов иногда отмечается особый характер сейсмического изображения, что позволяет сформировать дополнительные поисковые критерии, например: более четко выраженная фаза, локальные амплитудные максимумы или минимумы.

Основные сложности в интерпретации ССК создает локальный характер его распространения, наличие разломов, интерференция с отражением от поверхности донеогенового основания, неопределенности в идентификации стратиграфических разбивок, дефицит кернового материала для исследований (см. рис.1).

***ССК 3. Пострифтовый комплекс. Верхний миоцен* (*паннон*, *нижний понт*).** Традиционно в пределах комплекса выделяются выдержанные, достаточно хорошо прослеживаемые отражения. Нижняя часть комплекса, представленная отложениями паннона, характеризуется протяженными высокоамплитудными отражениями. Кровлю ССК 3, подошву непосредственно клиноформного комплекса в пределах отдельной площади отследить достаточно сложно, так как отражение, принятое за базу проградации, может оказаться фондоформной частью предыдущего клиноциклита. Поэтому очень важно учитывать региональную составляющую в процессе площадной интерпретации (рис.1).

В зависимости от направленности процесса и близости к погружающимся блокам основания в пределах ССК выделяются характерные для этого интервала образования в стиле оползневых «потоков». Они обращают на себя внимание хаотичной записью в разрезе, уверенно проявляются на погоризонтных слайсах, в плане имеют вытянутые очертания. Представляют, в основном, научный интерес, так как однозначно указывают направление сноса.

***ССК 4. Пострифтовый комплекс. Клиноформный комплекс* (*понт*).** Визитной карточкой типового разреза Паннонского бассена можно считать мощный клиноформный комплекс. Сложное сочетание многих факторов, таких как тектонические процессы и вариации климата, обусловили уникальность этого комплекса.

В пределах отложений понтийского и плиоценового возрастов по статистическим данным на площади исследований (юго-восточная часть Паннонского бассейна) к настоящему моменту выявлено 97 месторождений углеводородов: 46 месторождений находится в отложениях нижнего понта, 33 – в отложениях верхнего понта и 18 – в отложениях плиоцена. Одна шестая часть запасов и ресурсов сосредоточена в отложениях верхнего понта и плиоцена, остальные – в отложениях нижнего понта.

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.631

Сейсмостратиграфический комплекс очень интересен с точки зрения секвенс-стратиграфии. Сейсмический разрез в пределах интервала, соответствующего клиноформному комплексу, характеризуется наличием сигмоидных амплитудно выраженных отражений (рис.3). Спецификой сейсмического изображения клиноформного комплекса являются обращающие на себя внимание фрагменты нерегулярных хаотических отражений, которые отождествляются с проявлением гравитационных оползневых процессов (рис.4). Площадное изучение подобного геологического явления затруднено тем, что в разрезе практически нет латерально выдержанных опорных отражающих горизонтов, которые представляют собой палеоизохронные поверхности. Соответственно, нет и той основы, от которой можно быстро и эффективно «нарезать» погоризонтные и пропорциональные срезы с целью отождествления в разрезе все тех же палеоизохронных поверхностей для изучения их амплитудной фактуры. Тем не менее, такие приемы работы, как «подсаживание» сглаженного горизонта на конкретный максимум или минимум, позволяют детально закартировать событие. Хорошо зарекомендовали себя для экспресс-анализа методы спектральной декомпозиции с применением RGB-смешивания при визуализации, работа с сейсмическими подъобъемами в режиме прозрачности. На седиментационных (погоризонтных) слайсах в пределах склона узнаваемы лопасти конусов выноса, подводящие каналы, несмотря на малые мощности отложений и интерференционную картину в целом (рис.5).

Для сейсмического разреза в клиноформном комплексе характерно наличие аномалий типа «яркое пятно» Применение в качестве поискового критерия «яркого пятна» в конце 1980-х годов ознаменовалось открытием крупного газового месторождения. Позднее были открыты еще несколько небольших залежей. Однако результаты бурения последних лет показывают, что природа аномалий различна и связана не только с наличием углеводородов, но и с литологическими изменениями.

ССК 5. Пострифтовый комплекс. Верхний понт, плиоцен. Клиноформный комплекс перекрыт отложениями верхнего понта и плиоцена, сформированными в условиях обширной озерно-аллювиальной равнины, которые по сейсмическому изображению можно уверенно выделить в отдельный единый ССК. Интервал сейсмического разреза, сопоставимый с толщей отложений верхнего понта – плиоцена, характеризуется прерывистыми осями синфазности, наличием локальных аномалий, отсутствием латерально выдержанных опорных отражающих горизонтов. Отражения, ассоциированные с границами нижний понт – верхний понт и верхний понт – плиоцен, как правило, интерференционные.

По данным сейсмофациального анализа в отложениях понт-плиоценового возраста Паннонского бассейна установлено развитие палеоречных систем. По сейсмическим данным определено доминирующее субмеридиональное направление русел, что отражает положение ключевых геоструктурных элементов. В течение верхнего понта и плиоцена в регионе продолжалась активная тектоническая деятельность, как в центральной части бассейна, так и на его периферии. В совокупности с глобальными вариациями климата тектонические процессы повлияли на питание рек и густоту речной сети (особенно для горных районов), на эрозионные процессы (при воздымании блоков), на морфологию речных долин и их изменение, направление русел.

Выполнение сейсмической интерпретации и сейсмофациального анализа обозначило целый ряд специфических проблем. Как показала практика, испытанные во времени и традиционные приемы интерпретации оказались малоэффективными. В первую очередь необходимо констатировать отсутствие опорных отражающих горизонтов вследствие значительной латеральной и вертикальной изменчивости разреза. В результате корреляция осуществляется с весьма вольной аппроксимацией и горизонтам присваивается статус «условных». Это приводит к проблеме идентификации одномоментных геологических событий. Нахождение на одном слайсе трех палеоруссел при неточной корреляции может быть отображением миграции этого русла по латерали, а не наличием трех отдельных объектов.

Вторая проблема заключается в том, что сглаженные варианты интерпретации, обычно достаточные для структурных построений, не являются оптимальными для сейсмофациального анализа, так как не позволяют получить четкое изображение при снятии амплитуд вдоль горизонта и расчета различных атрибутов в целевом интервале.

DOI: *10.25515/PMI.2017.6.631*

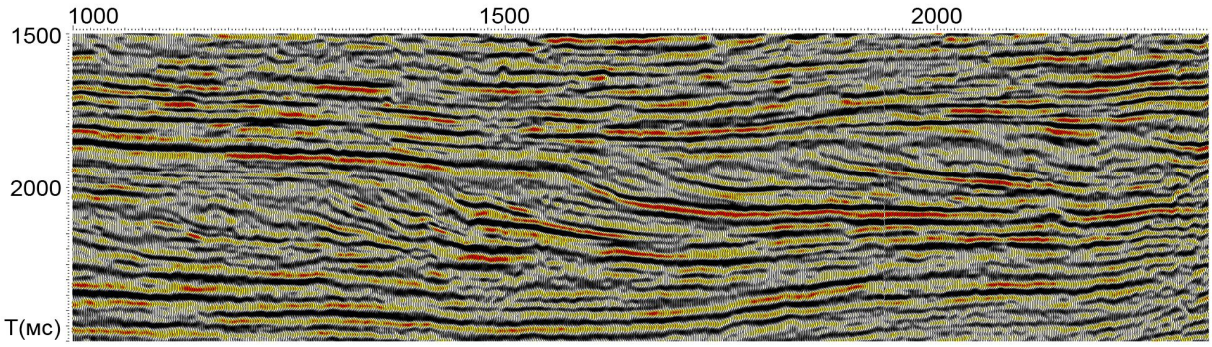


Рис.3. Типичный временной разрез клиноформного комплекса

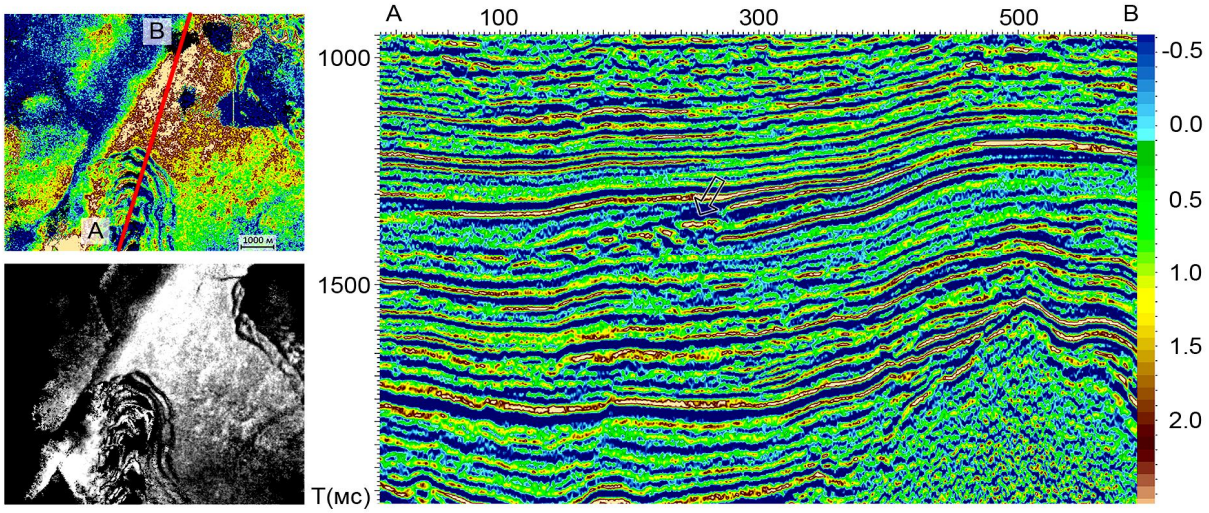


Рис.4. Отображение оползневых образований на погоризонтном слайсе и временном разрезе (ССК 4)

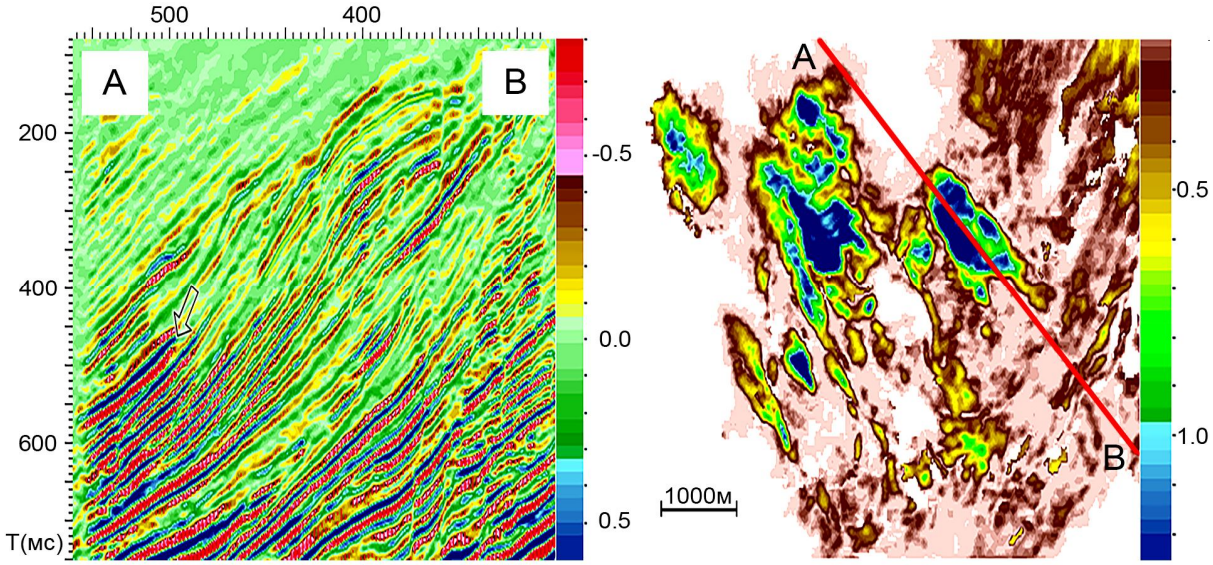


Рис.5. Отображение лопастей конусов выноса на временном разрезе и погоризонтном слайсе (ССК 4)

Специально для подобных условий и на сейсмических данных по Паннонскому бассейну был разработан объектно-ориентированный подход к интерпретации (рис.6, 7). Особенность нового методического подхода заключается в том, что объектно-ориентированная интерпретация основывается на уже существующей концептуальной модели. Объектно-ориентированный подход предполагает скрупулезную работу экстрагирования объекта из общего сейсмического изо-

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.631

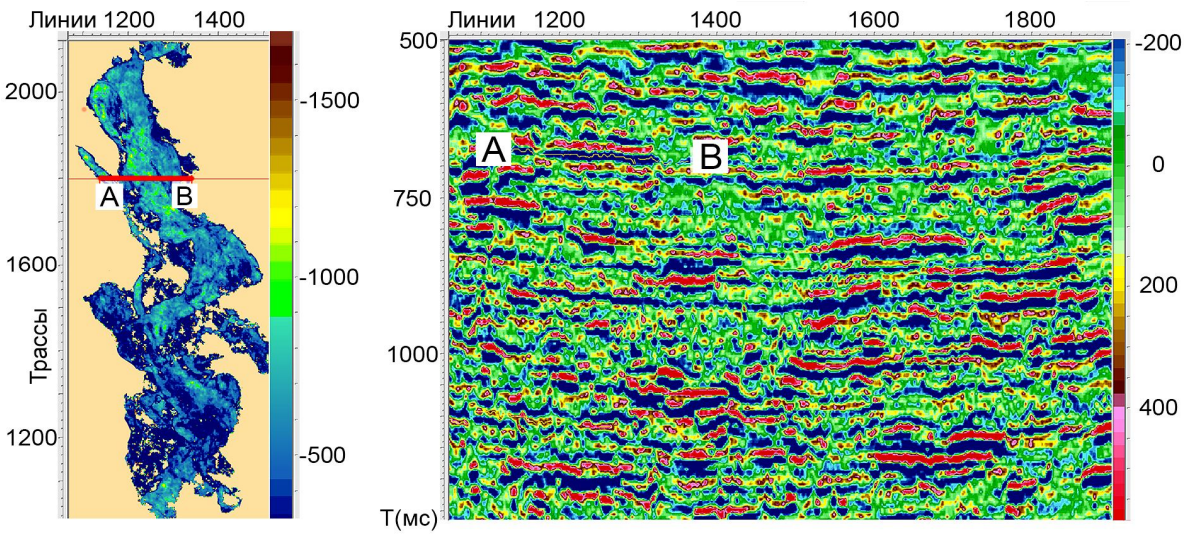


Рис.6. Картирование палеорусла приемами объектно-ориентированной интерпретации (ССК 5)
Здесь и на рис.7 цветовые шкалы соответствуют относительной интенсивности амплитуд; нумерация линий и трасс на слайсе произведена через 20 м

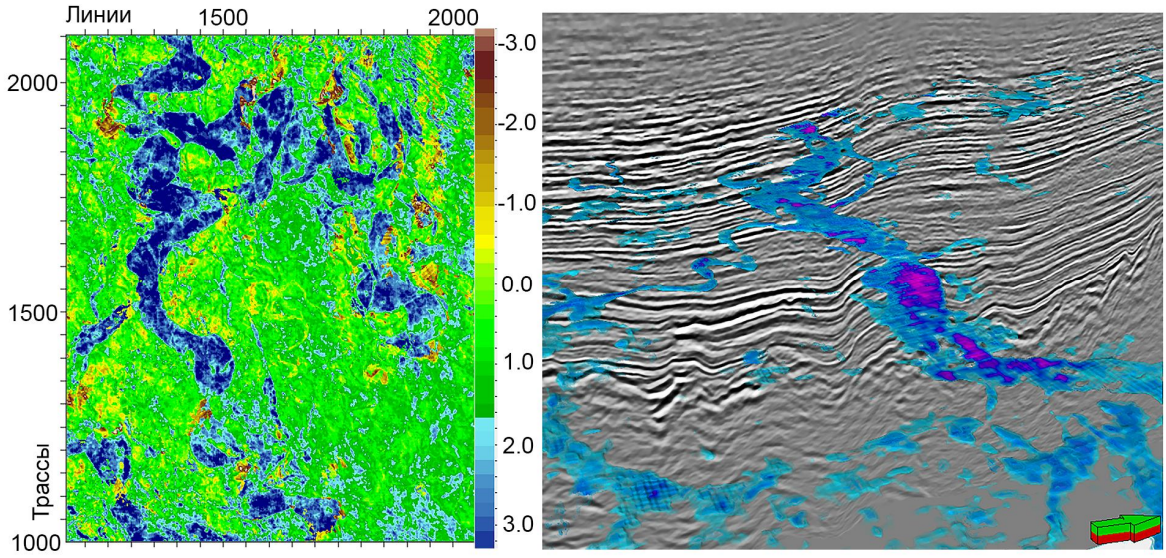


Рис.7 Выявление палеоруселв ССК 5 на слайсе и в режиме прозрачности

бражения с многократными итерациями для достижения наилучшего результата. Эффективность подхода очевидна в тех случаях, когда инструмент «geobody» по тем или иным причинам не может быть применен. Инструменты данного подхода описаны в статье Т.В.Ольневой, В.Ю.Овечкиной [3].

Заключение. Полученные результаты работ знаменуют собой новый этап в региональной сейсмогеологической интерпретации. Детальный анализ каждого сейсмостратиграфического комплекса позволяет нарабатывать базу данных сейсмических образов, характерных для конкретных отложений и геологических событий. Типизация фрагментов сейсмического разреза приводит к снижению неопределенности в процессе площадной корреляции. Так, например, сейсмостратиграфический подход позволил создать региональный каркас для бассейновой модели Паннонского бассейна, несмотря на большие нестыковки в стратиграфической корреляции данных со стороны Венгрии, Румынии и Сербии [9]. Продолжаются работы по детализации бассейновой модели в пределах отдельных областей. Моделирование фаций выполняется на основе данных площадного сейсмофациального анализа. Подобный подход позволяет определиться с потенциалом литологических и литолого-стратиграфических ловушек, в большом количестве выделяемых в толще неогеновых отложений.

В пределах отдельных площадей особенности геологического строения Паннонского бассейна, такие как крайне высокая степень латеральной литофациальной изменчивости, предопределили необходимость поиска новых приемов сейсмогеологической интерпретации. Наиболее эффективными на сегодняшний день представляются объектно-ориентированные подходы, позволяющие выстраивать корреляцию с соблюдением палеоизохронности интерпретируемого горизонта от конкретного геологического события во вне. Обозначенные подходы, в комплексе с разномасштабными геолого-геофизическими исследованиями, на разрабатываемых месторождениях позволяют обновлять концептуальные модели и разрабатывать новые поисковые критерии для месторождений-спутников [4].

Благодарность. *Авторы благодарят за сотрудничество коллег из компаний НТЦ НИС-Нафтагас* (*Сербия*) *и НИС а.д. Нови Сад* (*Сербия*), *а также С.Рассказову*, *Д.Кузьмина*, *Э.Кошкарова*.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Невесская Л.А.* История Паратетиса / Л.А.Невесская, А.А.Воронина, А.Л.Чепалыга // 27-й Международный геологический конгресс. Палеоокеанология. М.: Наука. Т. 3. 1984. С. 91-101.

2. Обстановки осадконакопления и фации / Под ред. Х.Рединга. М.: Мир, 1990. 384 с.

3. *Ольнева Т.В.* Объектно-ориентированная корреляция как новый методический подход в процессе подготовки данных для сейсмофациального анализа / Т.В.Ольнева, В.Ю.Овечкина // Геофизика. 2016. № 4. С. 9-14.

4. Определение поисковых критериев для проведения геолого-разведочных работ в регионе на основании комплексного изучения месторождения-спутника (регион Северный Банат, Республика Сербия) / А.Ю.Попов, А.Е.Родионов, Е.Милей, И.Богатырев, А.Гогич, Б.Вучкович, Т.В.Ольнева // Нефтяное хозяйство. 2016. № 1. С. 24-27.

5. Палеогеография и биогеография бассейнов Паратетиса. Ч. 1. Поздний эоцен – ранний миоцен / С.В.Попов, М.А.Ахметьев, А.В.Лопатин, Э.М.Бугрова, Е.К.Сычевская, И.Г.Щерба. М.: Научный мир, 2009. 200 с.

6. *Позаментьер Г.* Секвенсная стратиграфия терригенных отложений. Основные принципы и применение / Г.Позаментьер, Дж.П.Аллен. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. 436 с.

7. Сейсмическая стратиграфия / П.Р.Вейл, А.П.Грегори, Р.М.Митчем мл., Р.Е.Шерифф. М.: Мир, 1982. Ч. 1. Т. 1. 375 с.

8. *Фенин Г.И.* Аномальные пластовые давления в зонах углеводородонакопления нефтегазоносных бассейнов // Электр. науч. журнал «Нефтегазовая геология. Теория и практика». 2010. Т. 5. № 4. http://www.ngtp.ru

9. Формирование структурно-тектонического каркаса и сейсмофациальной основы для бассейнового моделирования на примере создания региональной модели Паннонского бассейна / И.Дулич, Г.Богичевич, А.Родионов, Т.Ольнева // Геофизика. 2016. № 4. С. 27-34.

10. *Хаин В.Е.* Геотектоника с основами геодинамики: Учебник / В.Е.Хаин, М.Г.Ломизе. М.: Изд-во МГУ, 1995. 480 с.

11. *Шимкус К.М.* Процессы осадконакопления в Средиземном и Черном морях в позднем кайнозое. М.: Научный мир, 2005. 280 с.

12. Evolution of the Pannnonian basin and its geothermal resources / F.Horvath, B.Musitz, A.Balász, A.Végh, A.Uhrin, A.Nádor, B.Koroknai, N.Pap, T.Tóth, G.Warum // Geothermics. 2015. 53. P. 328-352.

13. Evolution of the Pannonian Basin System: Subsidence and Thermal History / L.H.Royeden, F.Horvath, A.Nagymarosy, L.Stegena // Tectonics. 1983. 2. P. 91-137.

14. Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the neotectonics / L.Lenkey, P.Dovenyi, F.Horvath, S.Cloetingh // EGU Stephan Mueller Special Publication Series. 2002. 3. P. 29-40.

15. *Horvath F.* Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin // Tectonophysics. 1993. 226. P. 333-357.

16. *Horvath F.* IBS Pannonian Basin Project: a review of the main results and their bearings on hydrocarbon exploration / F.Horvath, G.Tary // The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen. London: Geol. Soc. Spec. Publ. 156. 1999. P. 195-213.

17. *Jovanovich R.* Sedimentology, petrography, tectogenesis and lithostratigraphy of reservoir rocks of petroleum deposit Pz+Sm Kikinda-Varoch. Novi Sad. 2011 DIT-Naftagas.122 p.

18. *Kovach M.* Badenian evolution of the Central Paratethys Sea: paleogeography, climat and eustatic sea-level changes // Geologica Carpathica. December. 2007. P. 579-606.

19. *Matenco L.* On the formation and evolution of the Pannonian Basin: Constraints derived from the structure of the junction area between the Carpathians and Dinarides / L.Matenco, D.Radivojević // Tectonics. 2012. Vol. 31. NC 6007. P. 31.

20. *Olneva T.* Innovative approaches to seismic data interpretation: building reliable depositional models of fluvial systems / T.Olneva, E.Zhukovskaya // 78th EAGE Conferece & Exhibition: Abstract / EAGE, Vienna, 2016.

21. *Royeden L.H.* Late Cenozoic tectonics of the Pannonian basin system / L.H.Royden & F.Horváth (eds.). The Pannonian basin, a study in basin evolution // American Association of Petroleum Geologists, Memoirs. 1988. 45. P. 27-48.

22. The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units / S.Schmid, D.Bernoulli, B.Fügenschuh, L.Matenco, S.Schefer, R.Schuster, M.Tischler, K.Ustaszewski // Swiss Journal of Geosciences. 2008. 101. P. 139-183.

***Авторы*: Т.В.Ольнева**, *канд. геол.-минерал. наук*, *ведущий эксперт*, *Olneva.TV@gazpromneft-ntc.ru* (*ООО «Газпромнефть НТЦ»*, *Санкт-Петербург*, *Россия*), **Е.А.Жуковская**, *канд. геол.-минерал. наук*, *ведущий эксперт*, *Zhukovskaya.EA@gazpromneft-ntc.ru* (*ООО «Газпромнефть НТЦ»*, *Санкт-Петербург*, *Россия*).

Статья принята к публикации 23.11.2017.