

Литофациальные и геохимические критерии присутствия углеводородов в покурской свите на территории Томской области (часть 1)

И.А. Мельник,
С.В. Зими́на,
О.Д. Ели́сеева,
К.Ю. Смирнова,
Н.А. Шенбергер
(ТФ ФГУП «СНИИГГиМС»)

Адрес для связи: |

Ключевые слова: к

До недавнего времени на территории Томской области при изучении разрезов осадочного чехла основное внимание уделялось юрским и неокомским отложениям. Вместе с тем за последние годы продуктивные залежи углеводородов были открыты в отложениях покурской свиты (Северное месторождение) в значительной степени случайным образом.

Как правило, на исследуемой территории отбор керн в покурской свите проводился крайне редко, так как по результатам традиционной интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС) были сделаны выводы о бесперспективности этих отложений. В основе ошибочной интерпретации лежат физико-химические процессы вторичного образования глинистых минералов, формирующих высокую плотность электрических зарядов в двойном слое (дизлектрическое сопротивление (ДЭС)) и скоплении пиритов (влияние которых при стандартной обработке данных ГИС учесть невозможно) в твердой фазе породы песчаника, понижающих удельное электрическое сопротивление (УЭС) пласта [1, 2]. В итоге низкоомные продуктивные коллекторы были отнесены к водонасыщенным, вследствие этого пропущены многие нефтегазонасыщенные интервалы.

Однако по результатам инновационной (статистической) интерпретации данных ГИС в песчаных интервалах покурской свиты на территории Томской области были выявлены низкоомные коллекторы, определены их фациальные условия залегания и причины понижения УЭС. Результаты статистической обработки материалов ГИС (по 130 скважинам) были сопоставлены с результатами стандартного, комплексного литофациального анализа каротажных диаграмм и литологического описания керн (в небольших объемах).

Zagolovok

Autors

E-mail:

Key words:

Annotaci

Краткое описание используемых методик

В Томском филиале СНИИГГиМС на базе стандартных методов ГИС (нейтрон-нейтронного каротажа каротажа по тепловым нейтронам (ННК-Т) либо нейтронного гамма-каротажа (НГК); гамма-каротажа (ГК); потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС); УЭС) разработана технология статистической интерпретации данных ГИС. Технология апробирована с использованием компьютерных программ на языке Visual Basic позволяет выявлять продуктивные низкоомные интервалы, формирующиеся под влиянием процессов наложенного эпигенеза. Решалась обратная задача – построение алгоритма интерпретации данных ННК-Т и НГК относительно содержания химических элементов. В основу технологии положена идея дифференциации интегрального нейтронного поля в песчанике в зависимости от концентраций железа и бора, что дает возможность определять их относительную концентрацию, а также макроскопическое сечение поглощения (МСП) тепловых нейтронов после калибровки данной программы по среднему содержанию (фоновым величинам) химических элементов в песчанике. Доказано, что в полимиктовых песчаниках мезозоя Западно-Сибирской плиты содержание калия обратно пропорционально содержанию бора. Коэффициенты корреляции между результатами лабораторного нейтронно-активационного анализа образцов песчаника и результатами программного определения (на базе стандартного комплекса ГИС) относительного содержания химических элементов следующие: $R^{Fe}=0,85$, калия (через данные ГК и содержание бора) $R^K=0,63$, $R^{МСП}=0,9$ [3, 4].

Разработанный программный анализ корреляций содержания железа, калия, МСП (глинистости) с карбо-

натностью, общей пористостью и УЭС пласта не только позволяет выявлять углеводородонасыщенные интервалы с аномально низким УЭС, но и вычислять статистические параметры (например, интервальный, коэффициент аппроксимации), являющиеся показателем интенсивности вторичных процессов и определяющие содержание соответствующих минералов [5, 6].

Для определения доли интервала пласта, где вторичный процесс преобразует вещество, путем скользящей линии точек вдоль оси скважины с неким шагом вычисляем необходимый параметр по следующей формуле:

$$Y = q / n = \left(\sum_{i=1}^n q_i \right) / n, \quad (1)$$

где q – число выборочных значений линейной корреляционной связи двух выборок, при условии $R_i > |\pm 0,6|$; n – генеральная выборка (число точек пласта). Статистический параметр Y выражает интервальную меру влияния процесса вторичного преобразования в песчаниках исследуемых пластов, т.е. показывает долю преобразованного вещества исследуемого интервала. Назовем его интервальный параметр [5].

Известно, что в песчаных породах из всех железосодержащих минералов наибольшую массовую долю составляют сидериты и пириты. Последние, как правило, организуются в тонкодисперсную структуру в виде сыпи на зернах и пленок по периферии пор, заполненных нефтью [1]. В совокупности с ДЭС глинистого цемента они представляют собой электропроводящую твердую фазу с понижающим сопротивлением. В связи с этим, наблюдаемая обратная регрессия содержания железа и УЭС породы исследуемого интервала свидетельствует о присутствии пирита и его влиянии на электрическую проводимость пласта. Следовательно, величина статистического параметра отрицательной регрессии между содержанием железа и УЭС породы будет пропорциональна содержанию пирита.

Проведенные исследования показали, что концентрацию пирита в песчаной породе можно определить по эмпирической зависимости [5]

$$C_{\text{пир}} = 0,0041 Y_{\text{Fe}}^2 - 0,1338 Y_{\text{Fe}} + 0,9194, R=0,97. \quad (2)$$

Примем физико-геохимическую модель электрической проводимости коллектора с приращенным УЭС, где измеряемое геофизиками удельное сопротивление [6] определяется по формуле

$$\rho_{\text{гис}} = \rho_{\text{п}} - \Delta \rho_{\text{пi}}(C_i), \quad (3)$$

где $\rho_{\text{п}}$ – среднее УЭС песчаного пласта, при отсутствии влияния электропроводящего компонента, обусловленного вторичными процессами, $\Delta \rho_{\text{пi}}(C_i)$ – приращенное УЭС поверхностной проводимости электрического слоя, содержащего эпигенетически образованные некомпенсированные катионы определенного химического элемента C_i .

Приращенное сопротивление породы с проводимостью i -го заряда можно вычислить следующим образом:

$$\Delta \rho_{\text{пi}} = \langle \rho_{\text{п}} \rangle (C_i^\alpha - 1), \quad (4)$$

где $\langle \rho_{\text{п}} \rangle$ – среднее значение УЭС породы, представляющее собой среднюю определяемую величину УЭС исследуемого песчаного коллектора; $C_i^\alpha = C_i' / C_{\text{min}}'$; C_i' – концентрация исследуемого вещества; C_{min}' – минимальная концентрация вещества в исследуемом интервале (в данном случае отражает минимальное содержание, при котором возможно проявление влияния на электрическую проводимость).

Алгоритм сопоставления УЭС с концентрацией определенного элемента по материалам ГИС включает следующие действия [6].

1. Выделяется интервал исследуемого песчаного пласта с точечными данными кажущегося УЭС и поточечными значениями относительного содержания химических элементов, где УЭС с увеличением концентрации элемента уменьшается. Выборочные данные из формата LAS копируются в Microsoft Excel.

2. В Microsoft Excel определяется линия тренда по степенной регрессии $\rho = b C_i^{-g}$, что позволяет получить степенной параметр g с параметром аппроксимации R^2 . Степенной показатель $\langle \alpha \rangle = |R|g$.

Таким образом, если среднее сопротивление пласта, вычисленное по формулам (3) и (4), больше граничного УЭС ($\rho_{\text{п}} > \rho_{\text{гп}}$), разделяющего нефте- и водонасыщенные пласты, то можно утверждать, что исследуемый пласт содержит углеводороды.

Фациальный анализ продуктивных пластов в нефтегазовой геологии базируется как на интерпретации данных каротажа, так и на изучении кернового материала [7].

В комплексной интерпретации выделяются три стадии.

На первой стадии фациального анализа выясняют условия формирования анализируемой части осадочного разреза и прогнозируют возможный характер преобразования осадка. Для этого проводят детальное изучение кернового материала и определяют к какой фациальной группе (континентальная, морская, переходная) относится исследуемый интервал разреза. На второй стадии, в рамках выделенной фациальной группы, проводится интерпретация данных по отдельным литологическим объектам разреза в соответствии с типом кривых ПС, ГК, формой их пространственного развития, литологической и микропалеонтологической характеристикой породы [7]. Третья стадия (наиболее трудоемкая) включает сопоставление априорной фациальной модели, полученной в результате комплексной интерпретации данных глубокого бурения, сейсморазведки и представлений о пространственном распределении условно прогнозируемых фаций, с моделями современных обстановок осадконакопления. При этом учитываются как схожесть геометрии фациальных обстановок и их пространственная взаимосвязь, так и литологические, фаунистические, текстурные особенности пород, слагающих разрезы условно выделенных фаций. В результате проведенного анализа из ряда альтернативных обстановок осадконакопления, удовлетворяющих построенную лито-фациальную модель, на основе целена-

правленной систематизации диагностических признаков подбирается наиболее вероятностная седиментационная модель [7–9].

В основу исследований были положены результаты работы с керновым материалом, когда изучались, анализировались и систематизировались такие источники, как макроскопическое описание керна, результаты литолого-минералогических, микро- и макрофаунистических исследований, данные геофизических исследований более 80 скважин Томской области. Важную роль в корреляции разрезов сыграли данные палинологических исследований.

Результаты исследований

Покурская свита объединяет осадки аптского, альбского и сеноманского ярусов и представлена частым переслаиванием песчаников с алевролитами и глинами. Она распространена от Омско-Уренгойского фациального района до Чулымо-Енисейского, тянется широкой полосой от Омска до Карского моря и охватывает большую часть востока Западной Сибири. Общие представления о модели бассейна осадконакопления в апт-туроне связаны в первую очередь с проявлениями трансгрессивно-регрессивной направленности тектонических движений территории. В объемах покурской свиты (K_{1-2} – апт-турон) формировались терригенные породы регрессивной (a_1-a_1), регрессивно-трансгрессивной (a_2-c) и трансгрессивной ($c-t$) фаз тектогенеза, приведших к образованию определенных комплексов литофаций. Трансгрессия в нижнем апте обусловила на большей части территории накопление морского глинистого сейсмогеологического репера I категории – кошайской пачки (горизонт III), подстилающей отложения покурской свиты, а трансгрессия в туроне – подобных глин кузнецовской свиты (горизонт IV), перекрывающей покурскую свиту и являющейся надежной крышкой.

На территории юго-востока Западно-Сибирской плиты (ЗСП) покурская свита развита повсеместно, охватывает территории Томской, Омской и Новосибирской областей и имеет самую большую толщину в разрезе мезозойско-кайнозойского платформенного осадочного чехла. На значительной части исследуемой территории толщина свиты составляет приблизительно 700–900 м, редко 1000 м, но к юго-западу на территории Омской области и юго-востоке, т.е. ближе к обрамлению плиты, она несколько меньше. Максимальная толщина покурской свиты, как правило, отмечается в депрессионных зонах (Нюрольская, Усть-Тымская, Восточно-Пайдугинская мегавпадины). В северо-западной и западной частях Томской области (Каймысовский, Нижневартовский и Александровский своды) толщина свиты достаточно стабильна и распределена более равномерно. Южнее, т.е. ближе к границам внутреннего и внешнего поясов плиты, в сторону моноклиальных структур, толщина свиты постепенно уменьшается. Таким образом, можно отметить, что накопление отложений покурской свиты в основном подчинялось структурному плану палеорельефа, сформированному после нижнеаптской трансгрессии к началу регрессивного этапа седиментации, когда накопление осадков шло более интенсивно в депрессионных зонах палеорельефа, а на повышенных участках медленнее и, возможно, периодически прекращалось.

В разрезе свиты присутствуют достаточно мощные песчаные и глинистые пласты и толщи, которые могут являться потенциальными коллекторами и крышками для возможных залежей углеводородов. Песчаники в основном слабосцементированные, характеризуются высокими отрицательными аномалиями ПС, что свойственно хорошим коллекторам, глины и аргиллиты большей частью плотные и крепкие (см. рисунок). В восточных разрезах скважин отмечается преобладание глин по сравнению с песчано-алевритовыми породами. В нижней части свиты наблюдаются прослойки углей, а в верхней – включения янтаря, что, по-видимому, объясняется компенсацией прогибания центральной части ЗСП и отступанием моря во время формирования отложений покурской свиты. Однако региональных реперных горизонтов (помимо кузнецовской свиты) не прослеживается, что создает определенные трудности при ее районировании.

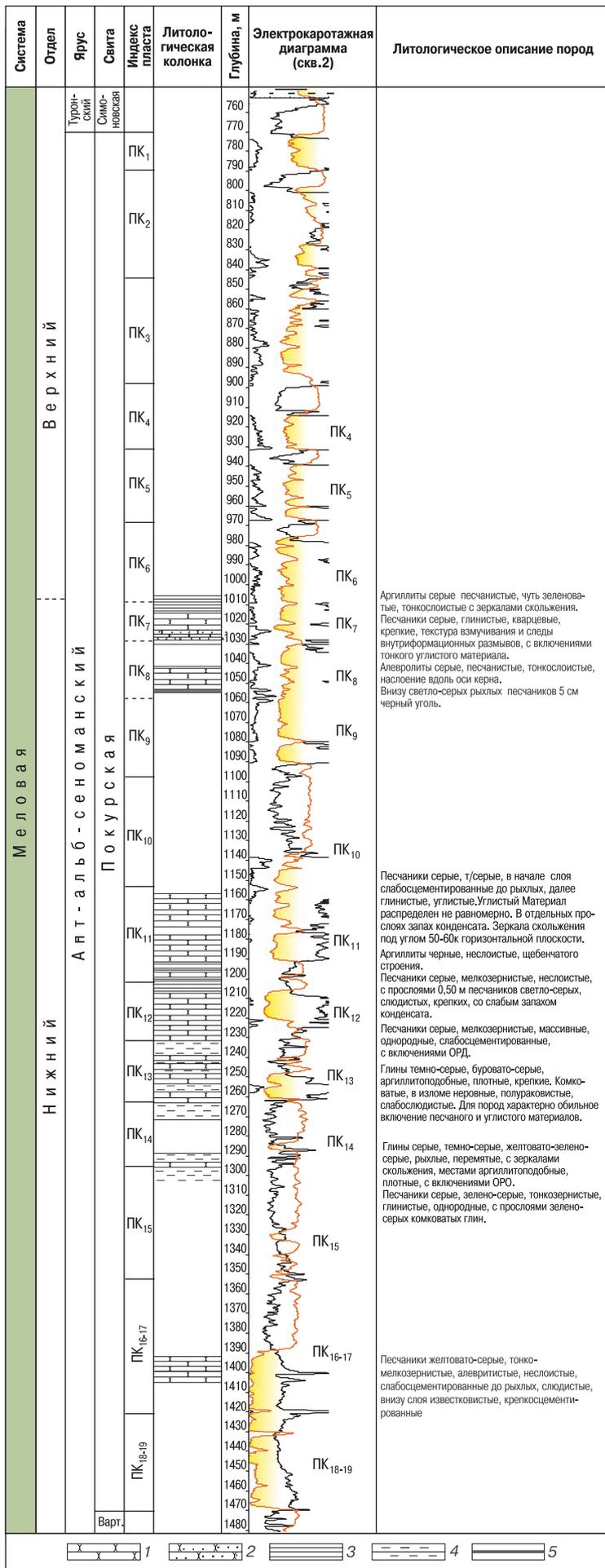
На большей части территории ЗСП в направлении с запада на восток покурская свита представлена морскими и прибрежно-морскими песчано-глинистыми отложениями. Восточнее, в Салымско-Сургутском регионе, покурская свита формировалась в условиях переходной фациальной обстановки от морской к континентальной, сюда временами проникало море, что и обусловило несколько повышенную глинизацию разреза.

Как показал анализ особенностей строения литофациальных типов пород в разрезах свиты по субширотным и субмеридиональным схемам корреляции, в них с той или иной степенью достоверности просматриваются и даже обособляются три толщи пород (интервалы аллювиальных ритмов: ПК₁₋₆, ПК₇₋₁₃, ПК₁₄₋₁₉₍₂₀₎), отвечающие трем вышеуказанным циклам тектогенеза. Все дальнейшие исследования покурской свиты связаны с анализом и обобщением материала именно по этим трем толщам, именуемым ниже пачками.

На основе корреляции разрезов всех скважин, характера кривых электрокаротажа, с использованием данных палинологических исследований, описания керна установлено следующее.

Нижнемеловая регрессия ($K_1a_1-a_2$) на исследуемой территории привела к накоплению в нижней части разреза покурской свиты (пласты ПК₁₄₋₁₉₍₂₀₎) осадков преимущественно в условиях прибрежной равнины, временами затопляемой морем. Об этом свидетельствуют значительное содержание растительного детрита, мелких остатков фораминифер и тураммин, пластов углей и углистых аргиллитов, наличие в песчаниках глинистого, кварцевого и каолинового цемента, а также отмеченная в ряде случаев тонкая горизонтальная слоистость глинистых пород. Кроме того, генезис отложений подтверждается присутствием следов илоедов, мелкой фауны и обуглившийся флоры. Важным моментом является наличие красноцветных пород, преимущественно кирпично-красных и буровато-красных глин с раковинами мелких пелеципод, что указывает на возможно мелководно-морские условия осадконакопления на данном этапе образования свиты.

Необходимо отметить, что в условиях кратковременной трансгрессии в дельтовой равнине формировались песчаные отмели (бары). В это же время на дне, вдоль береговых промоин отлагались серые глины, которые по мере роста бара все дальше отодвигались от моря и превращались в изолированную забаровую лагуну. В цент-



Литолого-стратиграфический разрез скв. 2 Ванжильская

ральной части лагуны накапливались черные глины с мелкой фауной пелеципод. В связи с наступившей затем регрессией лагуна постепенно мелела, заносилась обломочным материалом и превращалась в приморское болото – марши, где накапливались песчано-алевритовые осадки.

При изучении разрезов скважин нижней пачки покурской свиты определено, что во время начального этапа озерно-аллювиального осадконакопления происходила ингрессия (наступление водоемов на сушу с равнинным низменным рельефом), охватившая восточную часть территории. Это подтверждается наличием угольных пластов, залегающих в виде тонких прослоек. Далее (вверх по разрезу), при смене палеоландшафта на прибрежный, угленасыщенность уменьшается вплоть до исчезновения.

Анализ карты отложений песчаности нижней пачки покурской свиты показывает, что повышенные значения отмечаются в направлении от депрессионных структур к положительным. Опесчанивание нижней пачки покурской свиты наблюдается в периферийных частях территории исследования. Так, в соседней Омской области в скважинах Георгиевской и Большереченской площадей, расположенных в пределах Старосолдатского мегавала, в нижней части разреза свиты песчаность максимальная. Судя по высоким отрицательным аномалиям ПС песчаные пласты могут быть потенциальными коллекторами. В северной, северо-восточной частях Томской области в районе скв. 1 Восток, 1 Западная, 1 Ажарминская, а также на Нижневартовском своде наблюдается значительное опесчанивание низов покурской свиты.

Формирование существенно глинистого разреза в скважинах, расположенных в пределах Омской мегавпадины, может быть связано с существовавшим здесь режимом глубоководно-озерного или озерно-лагунного осадконакопления. Аналогичные режимы, возможно, существовали на начальном этапе формирования покурской свиты и восточнее: в районах Пограничной, Парбигской, Крыловской площадей, где в низах свиты отмечается наличие мощных глинистых толщ, четко зафиксированных на каротажных диаграммах. Морские условия подтверждаются наличием мощных хорошо прослеживаемых глинистых толщ в южной части Нюрольской мегавпадины и южнее, на территории северо-запада Новосибирской области, что свидетельствует о существовавшем здесь в начальный период формирования свиты либо остаточного после обширной нижнеаптской трансгрессии ограниченного морского бассейна (залива), либо значительного по площади глубокого озера и образовании на этой территории глубоководных глинистых отложений, возможно, с повышенным содержанием органического вещества.

В целом, по характеру записи кривой ПС, нижняя пачка покурской свиты представлена отложениями морского регрессивного осадоч-

ного комплекса, в котором преобладают фации баров, забаровых лагун, а также присутствуют озерно-лагуновые типы фаций – болота (марши) относящиеся к отложениям континентального осадочного комплекса.

Список литературы

1. Ежова А.В. Методика оценки нефтенасыщенности низкоомных коллекторов в юрских отложениях Юго-Востока Западно-Сибирской плиты // Изв. Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 6. – С. 23–26.
3. Мельник И.А. Выделение нефтенасыщенных интервалов на основе переинтерпретации ГИС в низкоомных коллекторах-песчаниках//Нефтяное хозяйство. – 2008. – №4. – С. 34–36.
4. Мельник И.А. Методика выявления нефтегазоносных объектов в эпигенетически преобразованных коллекторах Западной Сибири//Геофизика. – 2012. – №1. – С. 31–35.
5. Мельник И.А. Выявление вторично преобразованных терригенных коллекторов на основе статистической интерпретации материалов ГИС//Геофизика. – 2013. – №4. – С. 29–36.
6. Мельник И.А., Ерофеев Л.Я. Физико-геохимическая модель низкоомного коллектора и ее практическое применение// Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – №3. – С. 46–50.
7. Муромцев В.С. Электрометрические модели фаций и палеогеографические реконструкции условий формирования отложений шельфов древних морей Широкого Приобья Западной Сибири//Тр. ин-та/ВНИГРИ. – 1984. – С. 106 – 121.
8. Даненберг Е.Е., Белозёров В.Б., Брылина Н.А. Геологическое строение и нефтегазоносность верхнеюрско-нижнемеловых отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты (Томская область). – Томск: ТПУ, 2006. – 295с.
9. Анализ и обобщение результатов сейсмических работ и глубокого бурения в пределах Восточно-Пайдугинской впадины и прилегающих территорий вдоль регионального профиля «Южсибгеосейс-1» с применением новых технологий прогноза залежей углеводородов для выбора перспективных участков и объектов лицензирования недр// Г.И. Тищенко, Г.В. Ведерников, Н.В. Сысолятин (и др.)//Томск: ТФ ФГУП «СНИИГТИМС», 2010. – № 5781.

References

1. Ezhova A.V., *Methods of estimation of oil saturation of low-ohm collectors in Jurassic deposits of South-East of Western Siberian platform* (In Russ.), *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2006, V. 309, no. 6, pp. 23–26.
3. Mel'nik I.A., *Oil-saturated intervals separation on the basis of reinterpretation of wells geophysical study results in low resistance reservoirs* (In Russ.), *Neftyanoe khozyaystvo = Oil Industry*, 2008, no. 4, pp. 34–36.
4. Mel'nik I.A., *The technique to identify oil and gas objects in epigenetically regenerated reservoirs of Western Siberia* (In Russ.), *Geofizika*, 2012, no. 1, pp. 31–35.
5. Mel'nik I.A., *Identification of secondary converted terrigenous reservoirs based on the statistical interpretation data GIS* (In Russ.), *Geofizika*, 2013, no. 4, pp. 29–36.
6. Mel'nik I.A., Erofeev L.Ya., *Physical-geochemical model of low-resistance collector and its practical application* (In Russ.), *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2014, no. 3, pp. 46–50.
7. Muromtsev V.S., *Elektrometricheskie modeli fatsiy i paleogeograficheskie rekonstruktsii usloviy formirovaniya otlozheniy shelfov drevnikh morey Shirotnogo Priob'ya Zapadnoy Sibiri* (Electrometric models of facies and paleogeographic reconstruction of the conditions of formation of deposits of ancient seas shelves of Shirotnoye Priobye (Ob region) in Western Siberia), *Proceedings of VNIIGRI*, 1984, pp. 106 – 121.
8. Danenberg E.E., Belozarov V.B., Brylina N.A., *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' verkhneyursko-nizhnemelovykh otlozheniy yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoy plity (Tomskaya oblast')* (Geological structure and oil and gas potential of Upper Jurassic-Lower Cretaceous deposits of the south-east of the West Siberian Plate (Tomsk Region)), *Tomsk: Publ. of TPU*, 2006, 295 p.
9. Tishchenko G.I., Vedernikov G.V., Solyatin N.V. et al., *Analiz i obobshchenie rezul'tatov seymicheskikh rabot i glubokogo bureniya v predelakh Vostochno-Paiduginskoy vpadiny i priliegayushchikh territoriy vdol' regional'nogo profilya "Yuzhsibgeoseys-1" s primeneniem novykh tekhnologiy prognoza zalezhey uglevodorodov dlya vybora perspektivnykh uchastkov i ob'ektov litsenzirovaniya neдр* (Analysis and summary the results of seismic survey and deep drilling within the East Payduginskaya Basin and adjacent areas along the regional profile "Yuzhsibgeoseys-1" with the use of new technologies for forecast of hydrocarbon deposits to select prospective sites and objects of subsoil licensing), *Tomsk: Publ. of SNIIGGIMS*, 2010.