

Литофациальные и геохимические критерии присутствия углеводородов в покурской свите на территории Томской области (часть 2)

И.А. Мельник, Д.Г.-М.Н.,

С.В. Зими́на, К.Г.-М.Н.,

О.Д. Елисе́ева,

К.Ю. Смирнова

(Томский филиал АО «СНИИГГиМС»),

Н.А. Шенбергер

(АО «СНИИГГиМС»)

Адрес для связи: migranis@mail.ru

Ключевые слова: литофациальный анализ, каротаж, низкоомный коллектор, углеводороды, флюидомиграция, палеосоленость, покурская свита, геохимия бора, пирит

Регрессивно-трансгрессивная (K_{1a_2}) средняя часть свиты (пласты ПК₇₋₁₃) характеризуется преимущественно переходными типами фаций аллювиально-дельтовой равнины. Отложения формировались в континентальных условиях и, судя по составу пород, их текстурным особенностям и полинологическим данным, отвечают различным русловым фациям [1, 2]. Общая направленность седиментации при уменьшении глубины бассейна, в котором происходило накопление, характеризует обстановки проградирующей дельты (движущаяся береговая линия в сторону моря). В средней толще разреза свиты (пласты ПК₇₋₁₃) отмечается наличие мощных песчаных тел на фоне общей алевролитоглинистой составляющей, незначительное количество угольного детрита в виде редких прослоев. Обрывки и маленькие размеры углистых частиц указывают на то, что переработанный материал перемещался течениями. Глины данного интервала – от светло-серых до черных. Среди глинистых алевролитов встречаются прослойки плотного нефтенасыщенного светло-серого песчаника с карбонатным цементом, конкреции янтаря, отпечатки флоры. В песчаниках средней пачки покурской свиты отмечен запах конденсата. В глинах присутствуют лигнит и прослойки угля с пузырьками газа. Литофациальная характеристика пластов ПК₇₋₁₃ отражает обстановку аллювиально-дельтовой равнины.

Состав пород в позднем альбе, характер их переослаивания позволяют также отнести рассматриваемую толщу локально к отложениям с элементами морских

Lithofacies and geochemistry criteria of hydrocarbons bedding into the Pokur suite in Tomsk region (part 2)

I.A. Melnik, S.V. Zimina, O.D. Eliseeva, K.U. Smirnova
(Tomsk Branch of the Siberian Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, RF, Tomsk),

N.A. Shenberger (Siberian Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, RF, Novosibirsk)

E-mail: migranis@mail.ru

Key words: lithofacies analysis, well logging, low-resistance collector, hydrocarbons, fluid migration, paleosalinity, the Pokur suite, pyrite, boron geochemistry

The Pokur sediments in Tomsk region were researched for their oil and gas saturation. The researches were based on the traditional complex lithofacies analysis and innovative statistical interpretation of well logging data. Lithofacies and geochemical criteria of hydrocarbons bedding were identified. Perspective areas were localized. Potentially oil bearing area is presented by regressive sea sediments associated with lower bench of the Pokur suite.

побережий с терригенной седиментацией. Смена литотипов в разрезах свидетельствует об изменениях условий осадконакопления. Привнос осадков был связан не только с дельтовой системой, но и со сносом с берега и вдольбереговым разносом.

Трансгрессия на границе нижнего и верхнего мела ($K_{1-2a1-c}$) в условиях крупного полузамкнутого опресненного мелководного бассейна сформировала осадки прибрежно-дельтовой верхней части покурской свиты (пласты ПК₁₋₆), представленной аллювиально-озерным осадочным комплексом континентальных лагун и морских фаций мелководного бассейна [3].

В верхней части разреза покурской свиты присутствуют темно-серые с буроватым и зеленоватым оттенками глины и мелкозернистые песчаники, включения янтаря, участками со сферолитами сидерита.

В результате проведенного литофациального анализа верхней толщи свиты установлены низкое содержание в песчаниках глинистого цемента, включений янтаря, сидерита, присутствие в зеленовато-серых глинах зеркала скольжения за счет пластичных деформаций, следов илоедов и створок пелеципод, повсеместная текстура взмучивания, наличие глауконита, многочисленных включений слюды, обугленные растительные остатки, что совместно с анализом кривых ПС песчаных тел позволяет отнести этот интервал к прибрежно-морскому комплексу осадков.

В ходе проведения фациального анализа прослежены периодичность и направленность процессов седи-

ментации во времени [4]. Периодичность седиментации отражается в цикличности процессов седиментации (фаз тектогенеза) и связана главным образом с изменениями уровня моря [5], которое располагалось к западу от изученной территории. Направленность седиментации обусловлена последовательным заполнением бассейна осадконакопления обломочным материалом, а в конце рассматриваемого этапа (кровля покурской свиты – низы кузнецовской свиты) крупной трансгрессией. Кузнецовская свита характеризуется фациями открытого морского бассейна, которые формировались во время крупной морской трансгрессии в раннетуронское время, охватившей почти полностью всю территорию Западно-Сибирской плиты.

Проведенные исследования показали, что углеводородонасыщенные низкоомные коллекторы чаще всего встречаются в нижней части покурской свиты (пласты ПК₁₃ – ПК₂₀), поэтому литофациальное районирование проводилось только для нижней пачки. Для изучения и выбора наиболее информативного геохимического критерия поиска перспективных углеводородонасыщенных пластов был проведен анализ результатов статистической интерпретации материалов ГИС.

На исследуемой территории Томской области отображены 30 перспективных скважин с низкоомными интервалами в меловых отложениях и 30 бесперспективных скважин. Всего в покурской свите проинтерпретированы данные 60 скважин по 856 песчаным интервалам.

При сопоставлении результатов анализа перспективных и бесперспективных скважин были сделаны следующие выводы: 1) интенсивности вторичных процессов второй группы скважин меньше данных величин в скважинах первой группы; 2) самым информативным минералом в покурских пластах является пирит (с точки зрения обнаружения углеводородонасыщенных низкоомных коллекторов).

Определим вероятность обнаружения углеводородонасыщенного низкоомного интервала в каждой скважине, как усредненную по покурской свите

$$P_{ув} = n/N_{св}, \quad (1)$$

где n – число перспективных (низкоомных) интервалов в свите каждой скважины; $N_{св}$ – число исследуемых интервалов в свите по скважине.

При сопоставлении $P_{ув}$ с усредненным по свите интегральным параметром по пириту $Y_{пир}$ для покурских и неокотских отложений была получена регрессионная линейная зависимость с коэффициентом корреляции $R=0,82$ (рис. 1). Очевидно, что в покурских пластах пирит ассоциируется с нефтегазонасыщенностью. Сопоставление интервального параметра по вторичным пелитам с вероятностью обнаружения углеводородов в покурских песчаных интервалах также показало их корреляционную связь ($R=0,62$), обусловленную зоной водо-нефтяного контакта (ВНК) (по Р.С. Сахибгарееву).

Разработанная методика (по материалам ГИС) определения относительного содержания бора в полимиктовой песчаной породе позволяет провести фациальный анализ исследуемых интервалов [5]. Концентра-

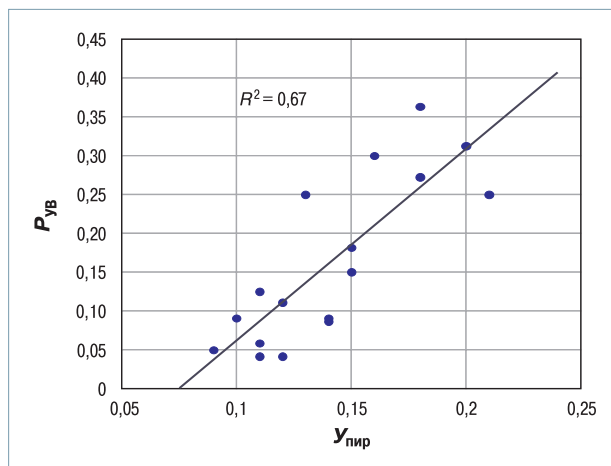


Рис. 1. Сопоставление вероятности обнаружения углеводородонасыщенного низкоомного интервала $P_{ув}$ в покурских отложениях с усредненным интервальным параметром по пириту для покурской свиты на исследуемой территории Томской области

ция бора в песчанике, нормированная на глинистость песчаника, будет характеризовать палеосоленость. Это объясняется тем, что бор в результате сорбционных процессов накапливается в глинистых минералах, а при $pH > 7,5$ его главная форма нахождения в водных растворах ограничивается отрицательно заряженным гидроксидом комплексом. В нейтральной и слабокислой среде бор входит в положительно заряженную гидроксильную группу ионов. Поэтому в морской воде его накопление в положительно заряженных глинах гораздо эффективнее, чем в пресных и слабосоленых озерах континента. Концентрации бора для морских и континентальных глинистых фаций могут различаться в 3–5 раз [6].

По данным геофизических исследований 10 скважин были вычислены содержание бора C_B и глинистость $k_{гл}$ песчаных интервалов в меловых отложениях покурской, вартовской, киялинской и тарской свит нефтегазовых месторождений Томской области и рассчитано среднее значение нормированного $C_B = \langle C_B/k_{гл} \rangle$ каждого исследуемого интервала. Построенная гистограмма распределения среднего значения нормированного содержания бора всех 10 скважин (280 интервалов) указывает на две основные группы интервалов с C_B больше или меньше 0,045 % (рис. 2), данная величина

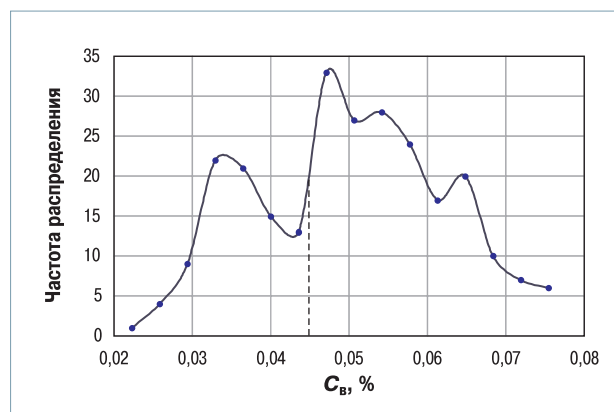


Рис. 2. Гистограмма распределения нормированного содержания бора в меловых отложениях нефтегазовых месторождений Томской области

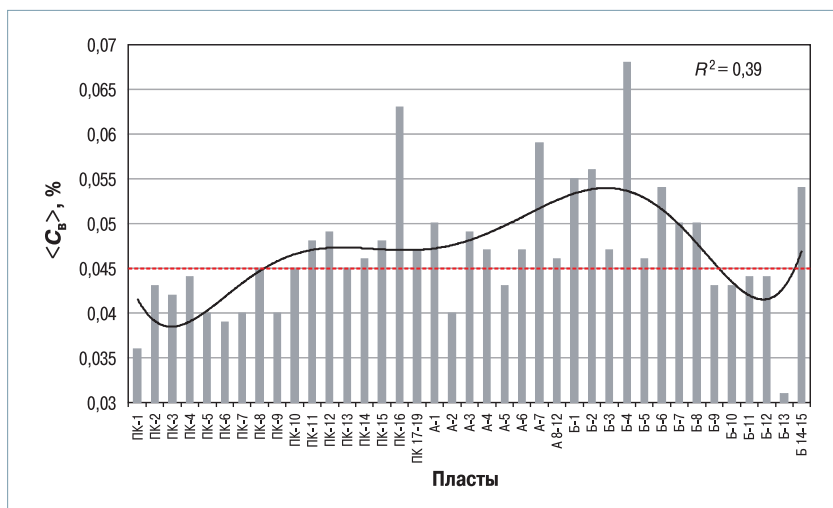


Рис. 3. Распределение усредненного нормированного содержания бора по меловым пластам исследуемой территории Томской области

является граничным значением, разделяющим на палеопресные (континентальные) ($C_B < 0,045\%$) и палеосоленные (морские) ($C_B > 0,045\%$) фации.

Далее были проинтерпретированы данные 30 скважин различных участков и месторождений. Рассчитано C_B для каждого песчаного интервала в меловых отложениях. Всего изучено 742 интервала.

Анализ полученных результатов показал, что нижняя покурская пачка в основном характеризуется морскими отложениями ($C_B > 0,045\%$), а верхняя – континентальной фацией (рис. 3). Сравнительное вычисление вероятности обнаружения углеводородонасыщенных интервалов в верхней и нижней пачках покурской свиты показало, что $P_{ув}$ в нижней пачке на 40 % больше $P_{ув}$ в верхнем горизонте.

Очевидно, что вероятность образования низкоомных коллекторов в покурской свите связана с фациальной обстановкой. Сопоставление вероятности образования низкоомных интервалов и содержания нормированного бора выявило положительную линейную регрессию ($R=0,66$) которую можно объяснить тем, что с увеличением проявления морских фаций улучшаются условия образования коллекторов.

Обсуждение результатов

Литолого-петрографические исследования последних лет убедительно доказали, что степень преобразования горной породы в коллекторах юрско-меловых отложений Западной Сибири связана с катагенетическими и наложено-эпигенетическими процессами [7, 8], причем, они приурочены либо к разломам, либо к зонам повышенной разуплотненности (трещиноватости) [9, 10].

В этом случае прослеживается следующая закономерность. В зонах дизъюнктивных дислокаций по разломам происходит субвертикальная миграция флюидов и формирование многопластовых месторождений. В свою очередь, пликративные нарушения обуславливают трещиноватость в жестких породах (песчаниках), которые вместе с более пластичными (глинами-покрышками) образуют коллектор. Мигра-

ция химически агрессивных флюидов и заполнение ими сформированных коллекторов приводит к вторичным наложенным эпигенетическим процессам, в результате которых горные породы испытывают вторичные геохимические преобразования. Особенно это проявляется при углекислотном метасоматозе, где в результате преобразования глинистых минералов и полевых шпатов, а также растворения и выщелачивания полимиктовых песчаников образуются вторичные каолиниты и повышаются фильтрационно-емкостные свойства породы [8].

Поступление углеводородов в сформированные коллекторы и вытеснение ими химически-агрессивной воды приостанавливает геохимическое преобразование вещества (как правило, его растворение и вынос) в зоне накопления углеводородов. Однако на границе зон ВНК при фазовом разделении происходит резкая смена окислительно-восстановительных условий [11]. Распад гидратных оболочек частиц микроневти (в процессе формирования залежи) на собственно нефть и временно диссоциированную воду, т.е. гидроксильную группу и протон, приводит к образованию агрессивной среды. При связывании протонов в результате насыщения ими углерод-углеродных связей микроневти (а также образования сероводорода вследствие присутствия в нефти свободной серы) остаются свободные гидроксилы, которые образуют щелочную среду. В результате взаимодействия трехвалентного гидроксида железа с сероводородом (в слабокислой среде, через гидротроилит) в щелочной среде образуется пирит [12].

Статистическая обработка материалов геофизических исследований 130 скважин показала, что наиболее интенсивное распределение пирита в покурских толщах проявляется на таких участках, как: Куржинская гряда, Косельский мезопрогиб, Черемшанская мезоседловина (центральная часть), Пудинское куполовидное мезоподнятия (южная часть), центральная и восточная части Усть-Тымской мегавпадины, Пыль-Кераминский (центральная часть) и Пайдугинский (западная часть) мегавалы и зоны их сочленения, северная часть Восточно-Пайдугинской мегавпадины, центральная часть Владимировского структурного мегамыса, северная часть Караминской мегаседловины, юго-восток Александровского свода, центральная часть Горелоярского куполовидного мезоподнятия, западная и северо-западная части Степановского куполовидного поднятия, Белоярский мезовыступ. Отсюда следует, что вероятность обнаружения углеводородонасыщенных низкоомных интервалов в покурских толщах увеличивается в направлении северо-востока Томской области.

Площадное распределение относительного содержания бора, усредненное по песчаным интервалам ниж-

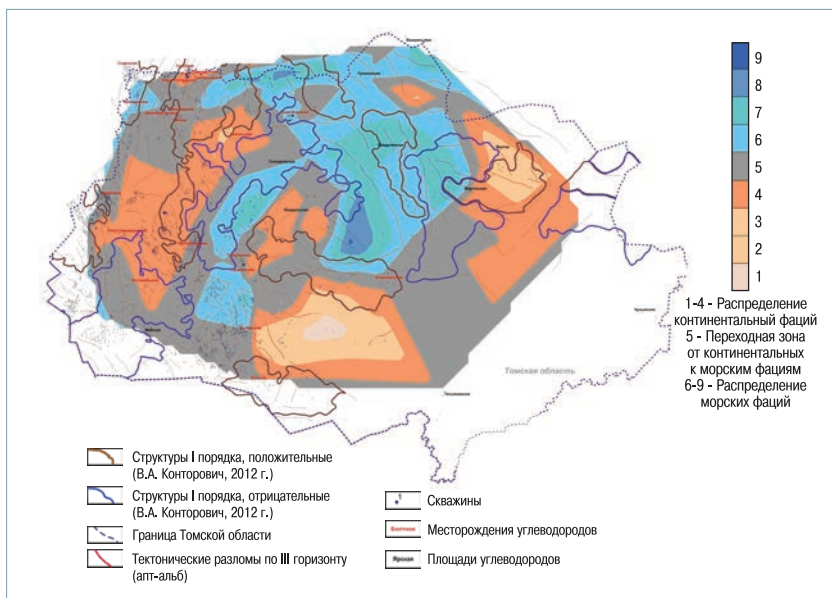


Рис. 4. Площадное распределение условной палеосолености, усредненной по песчаным интервалам нижней пачки покурской свиты (ПК₁₄ – ПК₂₀), определенной на основании содержания бора

ней пачки покурской свиты показало, что северо-восточную часть территории Томской области и район Усть-Тымской мегавпадины нижней покурской пачки можно отнести к фаціальным обстановкам с повышенной палеосоленостью, остальную часть – к континентальным (либо опресненным) фациям (рис. 4). В пределах изучаемой территории прослеживается определенное распространение групп фаций. Осадкообразование в интервале разреза (ПК₁₄₋₁₉₍₂₀₎) происходило преимущественно в прибрежно-морских, солоновато-водных (бары, забаровые лагуны) условиях, которые сменялись застойными условиями континентальных отложений (маршево-болотные, озерно-лагунные фации).

Вокруг участков суши накапливались отложения прибрежно-морских фаций, песчаный материал которых сосредоточивался в локальных аккумулятивных постройках – регрессивных барах. Отложения прибрежной равнины имеют преимущественное площадное распространение и накапливались, как правило, на основных положительных структурах, находящихся-

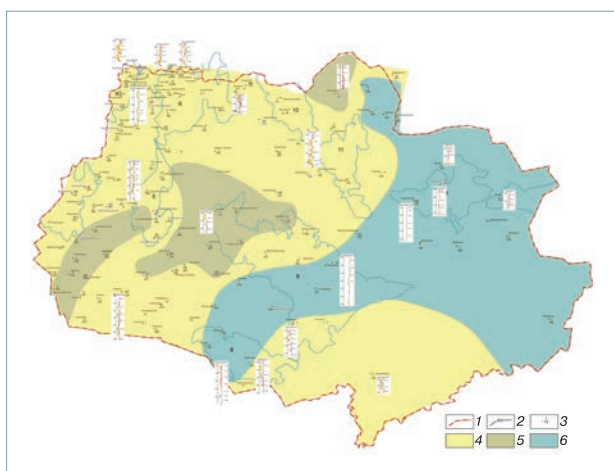


Рис. 5. Схема распространения типов фаций нижней пачки покурской свиты (ПК₁₄ – ПК₂₀)

ся в западной, северо-западной и юго-западной частях исследуемой территории (Каймысовский, Александровский своды, восточный склон Нижневартовского свода, Пайдугинский и Пыль-Караминский мегавалы), а также развивались в Усть-Тымской и Нюрольской мегавпадинах (рис. 5).

Между перечисленными песчаными образованиями располагаются забаровые заливно-лагунные мелководья, представленные глинистыми разностями с небольшими прослоями алевролитов и песчаников. Осадки забаровых лагун прослеживаются широкой прерывистой полосой, захватывая западный борт Нюрольской впадины, южный склон Среднеvasюганского мегавала и на востоке – западный склон Ажарминского мегавала.

Вдоль суши, на юго-восточной части территории в Восточно-Пайдугинской мегавпадине и Бакчарской мезовпадине накапливались глинистые отложения, сформированные в застойных условиях континентальной обстановки. По западному склону Ажарминского мегавала и Владимировскому структурному мысу протягивается полоса осадков болотных фаций (маршей), а затем на юге пересекает Калгачский наклонный мегавал и Парабельский наклонный мыс.

Сопоставляя полученную палеосоленость (на основании определения содержания бора по данным геофизических исследований скважин) с результатами комплексного литофациального анализа, можно заметить, что восточная и южная части территории континентальных болот совпадают по площади с опресненной фациальной обстановкой (см. рис. 4, 5), прибрежная часть морских фаций северо-востока – с областью распространения повышенной (морской) палеосолености.

С точки зрения перспектив нефтегазоносности, с учетом литофациальных и геохимических критериев, вызывает интерес нижняя пачка покурской свиты как толща с преобладанием морских условий осадконакопления, которая при благоприятной тектонической обстановке способна аккумулировать и сохранять залежи углеводородов. Сопоставление результатов проведенных исследований позволяет понять условия образования нефтегазонасыщенных коллекторов в покурских отложениях. Совпадение наибольшей интенсивности пиритизации с наличием морских отложений на рассматриваемой площади дает основание предполагать, что образование продуктивных коллекторов связано с баровыми, прибрежно-морскими фациями. Это обусловлено повышенными фильтрационно-емкостными свойствами морских песчаников. В свою очередь забаровые лагуны с перспективными низкоомными коллекторами (Южно-Черемшанская площадь) могут быть опреснены притоком речных вод. В заболоченных континентальных отложениях (Владимировский структурный мегамыс) повышенное со-

держание пирита может быть связано с образованием сероводородной щелочной среды в процессе седиментации при разложении органического вещества. Поэтому в континентальных отложениях, а также при отсутствии каналов флюидомиграции пиритизация не всегда ассоциируется с присутствием углеводов.

Таким образом, по результатам геохимических и литофациальных исследований перспективными, с точки зрения углеводородонасыщения являются регрессивные морские отложения, приуроченные к пластам нижней пачки покурской свиты. Основным литолого-геохимическим критерием нефтегазоносности исследуемых песчаных интервалов покурских отложений является повышенная интенсивность пиритизации, в качестве дополнительных критериев перспективности пластов можно использовать отношение содержания бора к глинистости, которое «работает» в покурских отложениях как показатель палеосолености, позволяющий провести разделение на перспективные морские (при $C_B > 0,045\%$) и неперспективные континентальные фации.

Список литературы

1. *Обстановки осадконакопления и фации*. Т. 1/Под ред. Х. Рединга. – М.: Мир, 1990. – 352 с.
2. Сели Р.И. Древние обстановки осадконакопления. М.: Недра, 1989. 294 с.
3. *Атлас литолого-палеогеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины и Объяснительная записка к Атласу*. Масштаб 1:5000000/Под ред. И.И. Нестерова. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1976. – 85 с.
4. Карагодин Ю.Н. Седиментационная цикличность. – М.: Недра, 1980. – 242 с.
5. Карагодин Ю.Н. Региональная стратиграфия. – М.: Недра, 1985. – 179 с.
6. Валиев Ю.Я. Геохимия бора в юрских отложениях Гиссарского хребта. – М.: Наука, 1977. – 150 с.
7. Мельник И.А. Выявление вторично преобразованных терригенных коллекторов на основе статистической интерпретации материалов ГИС//Геофизика. – 2013. – №4. – С. 29–36.
8. Лебедев Б.А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. – Л.: Недра, 1992. – 239 с.
9. 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. – 295 с.
10. 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 вы-

бора перспективных участков и объектов лицензирования недр»/Г.И. Тищенко, Г.В. Ведерников, Н.В. Сысолятин (и др.)//Томск: СНИИГ-ГИМС, 2010.

11. Тараненко Е.И., Безбородов Р.С., Хакимов М.Ю. Преобразование коллекторов в нефтяных залежах.//Геология нефти и газа. – 2001. – № 2. – <http://www.geolib.ru/OilGasGeo/2001/02/Stat/stat04.html>.

12. Исследование механизма образования пирита в водных растворах при низких температурах и давлениях/С.В. Козеренко, Д.А. Храмов, В.В. Фадеев (и др.) // Геохимия. – 1995. – № 9. – С. 1553-1565.

References

1. Reading, H.G., *Sedimentary environment and facies*, Blackwell Scientific Publication, 1986, 615 p.
2. Seli R.I., *Drevnie obstanovki osadkonakopleniya* (The ancient depositional environment), Moscow: Nedra Publ., 1989, 294 p.
3. *Atlas litologo-paleogeograficheskikh kart yurskogo i melovogo periodov Zapadno-Sibirskoy ravniny i Ob'yasnitel'naya zapiska k Atlasu* (Atlas of lithologic and paleogeographic maps of Jurassic and Cretaceous periods of the West Siberian Plain and the Explanatory note to the Atlas): edited by Nesterov I.I., Tyumen': Publ. of ZapSibNIGNI, 1976, 85 p.
4. Karagodin Yu.N., *Sedimentatsionnaya tsiklichnost'* (Sedimentation cyclicity), Moscow: Nedra Publ., 1980, 242 p.
5. Karagodin Yu.N., *Regional'naya stratigrafiya* (The regional stratigraphy), Moscow: Nedra Publ., 1985, 179 p.
6. Valiev Yu.Ya., *Geokhimiya bora v yurskikh otlozheniyakh Gissarskogo khrehta* (Geochemistry of boron in the Jurassic deposits of the Hissar Range), Moscow: Nauka Publ., 1977, 150 p.
7. 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.
8. Lebedev B.A., *Geokhimiya epigeneticheskikh protsessov v osadochnykh basseynakh* (Geochemistry of epigenetic processes in sedimentary basins), Leningrad: Nedra Publ., 1992, 239 p.
9. Danenberg E.E., Belozero V.B., Brylina N.A., *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' verkhneyursko-nizhnemelovykh otlozheniy yugovostoka 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.
10. Tishchenko G.I., Vedernikov G.V., Sysolyatin N.V. et al., *Analiz i obobshchenie rezul'tatov seymicheskikh rabot i glubokogo bureniya v pre-delakh Vostочно-Payduginskoy vpadiny i prilgayushchikh 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.
11. Taranenko E.I., Bezborodov R.S., Khakimov M.Yu., *The reservoirs transformation in oil fields* (In Russ.), *Geologiya nefi i gaza = The journal Oil and Gas Geology*, 2001, no. 2, URL: <http://www.geolib.ru/OilGasGeo/2001/02/Stat/stat04.html>.
12. Kozerenko S.V., Khramov D.A., Fadeev V.V. et al., *The study of the mechanism of pyrite formation in aqueous solutions at high temperatures and pressures* (In Russ.), *Geokhimiya = Geochemistry International*, 1995, no. 9, pp. 1553-1565.