УДК 553.98+553.3/.8(571.5)

В.Б.АРЧЕГОВ, *канд. геол.-минерал. наук, доцент, grmpi@spmi.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

V.B.ARCHEGOV, *PhD in geol. & min. sc., associate professor, grmpi@spmi.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ДОМАНИКОИДНЫЕ ФОРМАЦИИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ – КУОНАМСКАЯ БИТУМИНОЗНАЯ КАРБОНАТНО-СЛАНЦЕВАЯ ФОРМАЦИЯ

Доманикоидные и субдоманикоидные горизонты позднего протерозоя, раннего и среднего палеозоя Сибирской платформы классифицируются как нефтегазоматеринские свиты. Рассмотрено строение, особенности образования и металлоносность куонамской битуминозной карбонатно-сланцевой формации. Определены объекты для проведения геолого-разведочных работ. Дана оценка ресурсов сырья на перспективных участках.

***Ключевые слова*:** Сибирская платформа, доманикоидные формации, нефтегазоматеринский потенциал, куонамская свита, металлогеническая специализация.

DOMANIKOID FORMATIONS OF SIBERIAN PLATFORM – KUONAMSKAYA BITUMINOUS CARBONATE-SHALE FORMATION

Domanikoid and sudomanikoid horizons of the Late Proterozoic, Early and Middle Paleozoic of Siberian platform are classified as the oil-and-gas-generating series. Kuonamskaya bituminous carbonate-shale formation is described from the points of its structure, peculiarities of its origin and the metal-bearing potential. This analysis allow to indicate areas for geological prospecting with appraisal of expected resources.

***Key words*:** Siberian platform, Domanikoid formations, oil-and-gas generating potential, metallogenic specialization.

Доманикоидные формации Сибирской платформы. По средневзвешенной концентрации $C_{нк}$ горизонты осадочного разреза подразделяются на три группы: доманикоидные ($C_{нк} > 0,5$ %), субдоманикоидные ($C_{нк} = 0,1 \div 0,5$ %) и горизонты со сверхрассеянной формой органического вещества ($C_{нк} < 0,1$ %). В отложениях верхнего протерозоя, нижнего и среднего палеозоя Сибирской платформы известно 18 стратиграфических уровней, где располагаются доманикоидные горизонты. По фациальному облику это нормально-морские, реже лагунно-морские отложения. Большая часть этих толщ имеет региональное распространение на Сибирской платформе, но в латеральном направлении они нередко меняют свой литологический состав, мощность и соответственно концентрацию органического вещества (ОВ). Доманикоидные и субдоманикоидные горизонты позднего протерозоя, раннего и среднего палеозоя Сибирской платформы рассматриваются как нефтегазоматеринские свиты [5].

Опыт исследований ВНИГРИ показывает, что для нефтематеринских свит в случае сапропелевого слабо измененного в диагенезе ОВ преимущественно водорослевой планктонной природы за нижний предел концентраций по значению $C_{нк}$ принимается 0,1 % на породу. Такое ОВ характерно для слабоглинистых карбонатов иловых впадин

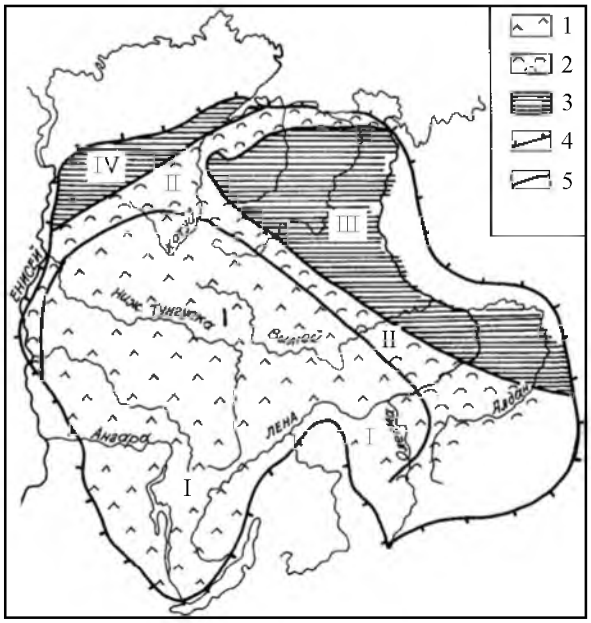


Рис.1. Схема фациального районирования ботомско-амгинских отложений Сибирской платформы (по Савицкому и др. [3] с дополнениями В.Н.Зинченко, 1991)

1 – мелководный и умеренно глубоководный эвапаритовый бассейн (доломиты, ангидрит-доломиты, ангидриты, соли); 2 – морская отмель (доломиты, известняки, карбонатные обломочные породы, органогенные постройки); 3 – открытое относительно глубокое море – область развития куонамской формации, в краевых частях – отложения склона и мелководного моря; 4 – граница Сибирской платформы; 5 – границы фациальных районов; I-IV – фациальные регионы: I – Туруханско-Иркутско-Алекминский, II – Анабаро-Синский, III – Юдомо-Оленекский, IV – Игарско-Хатангский

палеозоя и позднего докембрия Сибирской платформы. В этих породах уже на первых стадиях мезокатагенеза фиксируются признаки генерации и эмиграции жидких углеводородов (УВ).

В рифее и венде наибольшие концентрации $C_{нк}$ характерны для пород южной половины платформы; в раннем-среднем палеозое максимумы содержаний рассеянного органического вещества (РОВ) перемещаются на север и северо-запад платформы. Для ленско-амгинского уровня раннего-среднего кембрия (куонамская свита – куонамский горизонт) концентрация $C_{нк}$ максимальная на востоке Сибирской платформы (Юдомо-Оленекская зона). В куонамской свите и ее аналогах (инниканская свита и др.) наблюдается региональный максимум накопления РОВ. Наиболее представительны и однородны плотности масс некарбонатного углерода ленско-амгинского уровня – почти на всей территории платформы картируются плотности от 1 до 5 млн т/км^2 [5].

Собственно куонамский горизонт (свита) развит на северо-востоке Сибирской платформы и охватывает большую часть Анабарской антеклизы и сопредельные ей территории (рис.1). Инниканская свита развита на площади Алданской антеклизы вплоть до рифогенной «пустой» зоны – Анабаро-Синского фациального района.

Куонамский горизонт рассматривается в качестве основной нефтегазоматеринской свиты доманикового типа [1, 3, 6]. Содержание органики в горючих (черных) сланцах горизонта колеблется в пределах 13,2-28,4 %. В этих сланцах наблюдались битумопроявления в виде темно-бурых пленок и примазок на поверхностях листоватых отдельностей. Консистенция битумов, отнесенных к классу асфальтов, от густой вязкой до твердой [4]. Исследовались процессы преобразования ОВ, первичной миграции УВ, оценивался нефтегазоматеринский потенциал куонамской свиты, а также рассматривалась ее металлогеническая специализация [1, 3, 4, 6].

Куонамская битуминозная карбонатно-сланцевая формация. В настоящее время достаточно хорошо известно, что многие сапропелевые углеродистые или так называемые черносланцевые формации обогащены редкими и рассеянными элементами Mo, U, Se, Cd, Bi, V, Ag, Au, Cr и многими другими. Ряд этих элементов имеют концентрации на порядок-два выше кларковых и поэтому могут быть вовлечены в разработку в промышленных масштабах. Основные металлосодержащие породы – сапропелитовые аргиллиты (или горючие сланцы) – сами по себе являются ценным топливом и используются для непосредственного сжигания и для получения газообразных и жидких продуктов при термической переработке; кроме того, они широко применяются как химическое сырье. Таким образом, отдельные типы пород черносланцевых формаций, в частности, куонамская битуминозная карбонатно-сланцевая формация, могут рассматриваться как комплексное металлоорганическое полезное ископаемое.

Куонамская формация охватывает по продолжительности три яруса кембрийской системы: ботомский и тойонский нижнего отдела и амгинский среднего отдела. Она сложена глинисто-карбонатными и карбонатно-глинистыми породами, в разной степени обогащенными ОВ и аутигенным кремнеземом: глинистые известняки, мергели, глинистые мергели и сапропелитовые аргиллиты (горючие сланцы). Породы отличаются темной окраской, тонкой слоистостью, плитчатостью (до сланцеватости). В подчиненном количестве встречаются разнообразные достаточно чистые светлоокрашенные известняки, практически не содержащие ОВ. Содержание его в темноцветных разновидностях колеблется от десятых долей процента до нескольких десятков процентов, в среднем же не превышает 1-5 %.

Формация занимает вполне определенное место в латеральном ряду формаций этого возрастного диапазона на Сибирской платформе [2]. Большую часть платформы занимал в то время изолированный (или полуизолированный) бассейн, где накапливались эвапоритовые толщи мощностью до 1000 м, иногда более (фациальный регион I). На востоке и северо-западе (регионы III и IV) в условиях умеренно глубоководного некомпенсированного нормально-морского бассейна формировались маломощные отложения (в среднем 25-50 м) куонамской формации. Эти две обширные области (эвапоритовая и нормально-морская) были разделены протяженным узким барьером – отмелью (фациальный регион II) с широким развитием таких мелководных отложений как водорослевые, археоциатово-водорослевые, шлейфово-обломочные, оолитово-онколитовые и др. Мощность их соизмерима с эвапоритовыми толщами (рис.1) и многократно превышает мощность куонамской формации (по В.Н.Зинченко, 1999). Подстилают куонамскую формацию шельфовые глинистые известняки и мергели, нередко красноцветные, в подчиненном количестве зелено- и сероцветные известняки, содержащие остатки фауны открытого моря. Мощность рассматриваемой части разреза 150-200 м.

Перекрывает формацию так называемая «толща заполнения» (Асташкин и др., 1984) в объеме майского яруса верхнего кембрия. В ее низах мощностью до 250-300 м выделяются красноцветные и пестроцветные, а также зеленоцветные мергели, аргиллиты, глинистые и алевритистые известняки, прослои и пласты чистых известняков. Нижний контакт куонамской формации как согласный, так и с достаточно отчетливыми следами перерыва, верхний – согласный.

Строение и особенности образования куонамской формации. С большой детальностью куонамская формация изучена лишь в районах выхода на дневную поверхность. На северо-западе бассейна это склоны Анабарского свода, Оленекский, Куойкско-Далдынский и Мунский своды, на юго-востоке Юдомо-Майский регион (рис.2). Погруженные горизонты формации вскрыты немногочисленными глубокими скважинами с очень ограниченным отбором керна и единичными колонковыми скважинами, как правило, с более полным отбором керна.

Самое обширное поле развития кембрийских доманикоидных отложений на дневной поверхности находится в междуречье Оленек – Молодо на северо-востоке платформы. Однако по условиям залегания пород этот регион имеет наиболее сложное строение: здесь масса тектонических нарушений, имеются крупные флексурные перегибы, зоны дробления, широко развиты трапповые тела.

Доманикоидные отложения представлены аргиллитами, мергелями, в разной степени глинистыми и кремнистыми известняками и кремнями. Особенность отложений – повсеместная обогащенность ОВ, коричневые и черные тона окраски, резко отличающие породы куонамской формации от подстилающих и перекрывающих толщ. Некоторые пласты удивительно выдержаны по всей территории и являются надежными маркирующими литостратиграфическими горизонтами. В основании разреза повсеместно прослеживается боролуолахский горизонт сапропелитовых аргиллитов (горючих сланцев). Несмотря на значительную выдержанность облика и основных «парамет-

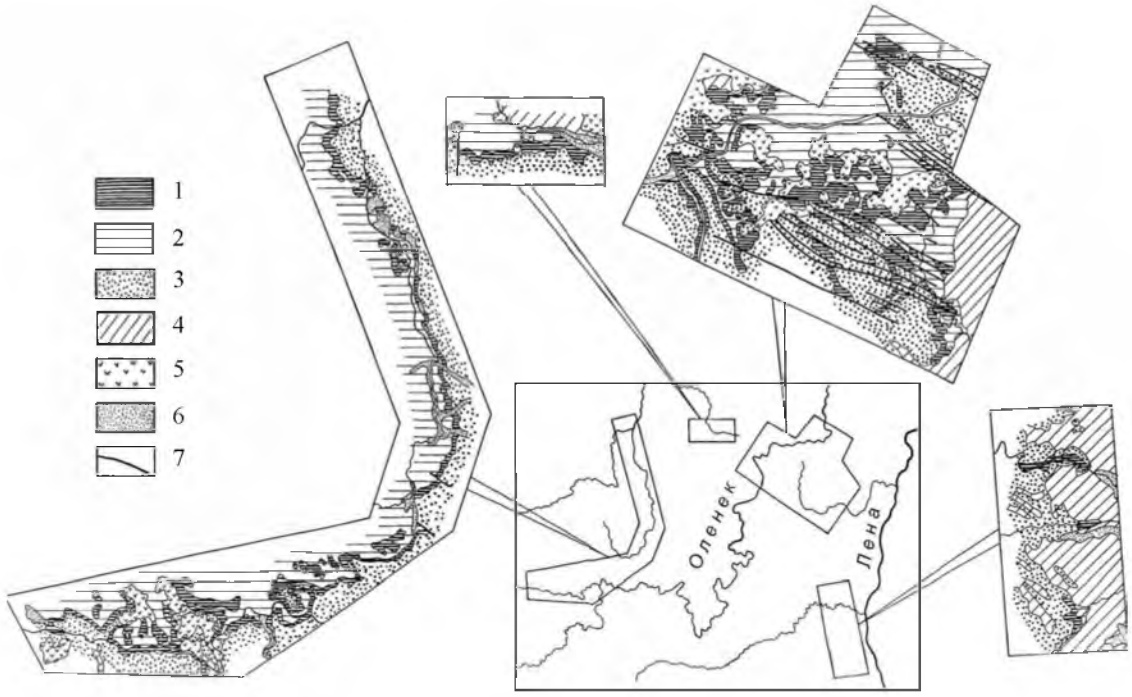


Рис.2. Схематические геологические карты площадей выхода продуктивной куонамской формации на дневную поверхность (по В.Н.Зинченко, 1992)

1 – куонамская формация; 2 – отложения, подстилающие куонамскую формацию; 3 – отложения, перекрывающие куонамскую формацию; 4 – верхнепалеозойско-мезозойские терригенные отложения; 5 – породы траппповой формации (триас); 6 – четвертичные отложения; 7 – разрывные нарушения

ров» разрезов куонамской формации на больших по площади участках, в ее составе и строении в разных фациальных зонах палеобассейна фиксируются и существенные отличия [7].

На территории развития куонамской формации выделяются в целом три типовых группы разрезов доманикоидных отложений:

• существенно карбонатная (склоновая и прибортовая), располагающаяся на стыке мелководной зоны органогенной аккумуляции и более глубоководной обстановки открытого моря;

• кремнисто-карбонатно-глинистая группа (до карбонатно-глинистой) в более удаленной части бассейна;

• глинисто-кремнистая – в центральной области бассейна с минимальными мощностями отложений.

Куонамский бассейн представлял собой относительно глубоководную впадину (до 400-450 м, не более). Режим седиментации в бассейне был крайне медленным, особенно на начальных стадиях формации, скорость накопления осадков тогда не превышала 1,5-2 мм за тысячу лет. В целом для толщи она соответствует 3-5 мм в тысячу лет. Малые скорости седиментации в сочетании с высокой биологической продуктивностью морского бассейна привели к уникальному насыщению куонамской формации органическим веществом.

По расчетам С.Ф.Бахтурова [1], в куонамский бассейн поступила 1/8 часть общего количества фосфора, содержавшегося в Мировом океане, и 1/9 часть азота. В то же время для накопления мощных толщ эвапоритов в соседнем солеродном бассейне через него должно было пройти испарение около 1/7 общего объема океанической воды.

Очевидно, что локальный расход таких огромных объемов вещества за сравнительно короткий период (около 20 млн лет) должен был отразиться на состоянии всего Мирового океана: в концентрации и составе солей, количестве и составе биоты. Аномалии состояния Мирового океана в первой половине кембрия не установлены, но

именно в это время произошел «биологический взрыв» – эволюционный скачок в видовом разнообразии всех типов живых организмов. Следует полагать, что куонамский бассейн и окружающие его области обладали значительным внутренним резервом, обеспечивавшим высокую автономную биопродуктивность.

Металлоносность куонамской формации. По вещественной классификации черносланцевые формации подразделяются на пять типов (Гольдберг и др., 1991). Первые три типа: кремнистый, глинисто-кремнистый и кремнисто-карбонатный, – объединены в группу доманикоидных формаций. Другие два (терригенный и глинисто-карбонатный) относятся к группе собственно горючесланцевых формаций.

Оценки содержания микроэлементов в основных типах пород показывают, что максимальные их значения по целому ряду элементов характерны для сапропелитовых аргиллитов (горючих сланцев), заметно обогащенных ОВ. Уменьшение содержания ОВ и одновременно возрастание карбонатности и кремнистости приводит к «разубоживанию» пород. В то же время карбонаты обогащены марганцем и стронцием, а с повышением кремнеземистости растет содержание хрома.

Среди аргиллитов наибольшими концентрациями металлов характеризуется боролуолахский горизонт. Химический состав образцов из различных типов разреза горизонта очень близок, несмотря на отбор, что свидетельствует о значительном сходстве условий его формирования на огромной территории. По выходу золы (67-80 %) и по ее составу сланцы боролуолахского горизонта относятся к высокозольному силикатному типу [1]. Содержание в них Mo, Cd, Bi, V обычно превышает кларковые концентрации на порядок и больше, в ряде случаев на два порядка (табл.1). Для Ag, Au, Pb, Zn, Ni, Cu, Sb, As характерны концентрации выше кларковых в несколько раз (иногда на

Таблица 1

Содержания микроэлементов в горючих сланцах боролуолахского горизонта, г/т [1]

Микроэлементы	р.Кюленке	р.Оленек, близ пос.Оленек	р.Мал. Куонамка (р.Усумун)	р.Мал. Куонамка (п.Джелинде)	р.Боролуолах
V	1698	1709	2222 (5242)	2100 (3902)	718
Ni	220	157	169	170	280
Mo	182	168	192 (307)	188 (345)	68
Cu	138	156	126	100	104
Zn	293	318	257	260	367
Co	16	8,8	6,6	6,2	37
Mn	122	295	115	151	255
Ba	797	109	196	190	766
Sr	214	494	127	100	121
Ga	30	19	22	24	39
Sn	17	16	10	11	15
Li	–	10	4,7	6,9	44
B	62	42	35	23	60
Be	3	3,1	3,3	3,8	1,6
Nb	7	13	12	20	13
Cd	33	13	6,9	–	7,5
Ag	0,9	0,7	0,8 (1,73)	– (1,15)	0,6
Y	25	18	21	18	19
Sc	22	9	2,3	1,8	14
Zr	160	198	112	100	123
Ge	3,6	3,1	2,5	–	2,8
Th	2,8	–	–	8,9	–

Примечание. В скобках указаны средневзвешенные содержания по данным В.Б.Арчегова, В.Н.Зинченко, 1990-1991.

порядок). Содержание Ti, Na, B, Li, Rb и др. близко к кларковому, иногда меньше.

В «надборолуолахских» аргиллитах содержания микроэлементов ниже, но в ряде случаев сопоставимы с потенциально промышленными, их целесообразно учитывать при оценке отдельных участков, рекомендуемых для проведения поисковых и разведочных работ.

По вещественному составу куонамская формация отнесена к кремнисто-карбонатному типу доманикоидных отложений. В них по набору тех или иных элементов выделено несколько металлогенетических ассоциаций. Куонамская формация, в частности, относится к пятой ассоциации, где основными элементами являются Mo, Cd, Bi, V, Se, а второстепенными Zn, Au, Ag, As, Sb, Ni.

Приведенные данные позволяют рассматривать битуминозные сланцы боролуолахского горизонта как потенциальное комплексное минеральное сырье.

Объекты для проведения геологоразведочных работ. Боролуолахский горизонт развит повсеместно, но необходимо выбрать такие районы развития куонамской формации на дневной поверхности, где содержания основных и, по возможности, второстепенных элементов будут наиболее высокими. К таким районам можно отнести бассейны нижнего и среднего течения р.Мал. Куонамка, окрестности пос. Оленек, левобережье нижнего течения р.Арга-Сала, а также отчасти низовья р.Кюленке. На склонах Анабарского свода можно наметить несколько значительных по площади районов, которые требуют первоочередной оценки с точки зрения перспективности. Это сланцево-рудные поля Джелинде, Усумун, Сенкю, Куота и Муна (бассейн низовьев рек Кюленке – Муна).

Оценка ресурсов сырья на перспективных участках. Подсчет ресурсов выполнен только для боролуолахского продуктивного пласта как наиболее богатого по содержанию металлов по сравнению с остальной частью разреза куонамской формации. Подсчет выполнен по следующей методике. Площадь сланцево-рудного поля (района) умножалась на мощность боролуолахского пласта и, таким образом, вычислялся его продуктивный объем. В расчетах принималось обычно среднее значение мощности, если она была непостоянной для данного района. Определение геологических запасов сланцев проводилось умножением объема горизонта на плотность сланцев (2,2 т/м^3, обычно в пределах 2,1-2,3 т/м^3). Вычисленные ресурсы сырья по каждому району позволили оценить и геологические запасы металлов по среднему содержанию каждого из них в тонне породы (табл.2).

Таблица 2

Некоторые параметры перспективных сланцево-рудных полей (районов)

Параметр	Джелинде-2	Джелинде-1	Усумун	Сенкю	Куота	Муна
Площадь, млн м^2	115	135	80	210	390	235
Мощность боролуолахского пласта, м	0,60	1,1	2,25	1,6	2,5	2,3
Геологические запасы сланца, млн т	150	325	395	740	2145	1190
Максимальная мощность вскрыши, м	55-65	50-55	45-50	30-35	65-70	250-300
Средние содержания некоторых микроэлементов, г/т:						
V	906	3902	5242	1709	2455	1698
Ni	210	163	169	157	254	220
Mo	30	307	345	168	150	182
Cu	120	104	126	156	233	138
Zn	630	291	257	318	670	298
Cr	191	208	212	228	255	112
Co	19	7	6,6	8,8	11	16
Pb	91	43	34	86	74	35
Cd	Не обн.	Не обн.	6,9	13	24	33
Ag	0,7	1,15	1,73	0,7	Не обн.	0,9

Приведенная геологическая характеристика куонамской формации с оценкой содержания металлов в некоторых горизонтах позволяет сделать следующие выводы и предварительные рекомендации:

1. Для проведения целевых геологоразведочных работ наиболее перспективен регион Прианабарья; в его пределах первоочередными можно считать районы, прилегающие к пос.Оленек (сланцево-рудные поля Куота и Сенкю);

2. Значительные перспективы имеют площади в бассейне р.Мал. Куонамка – «сланцево-рудное» поле Усумун (максимальные концентрации V, Mo, Ag при повышенной мощности продуктивного боролуолахского пласта).

3. Актуальной является геолого-экономическая оценка целесообразности освоения первоочередных участков.

4. Программа оценочных работ должна включать детальное опробование первоочередных участков, включая отбор лабораторных технологических проб для исследования главного продуктивного горизонта.

5. Необходимо массовое опробование относительно мощных и выдержанных черносланцевых пластов, залегающих выше боролуолахского горизонта, с получением их конкретной (а не усредненной) характеристики в каждом из перспективных районов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бахтуров С.Ф.* Куонамская битуминозная карбонатно-сланцевая формация / С.Ф.Бахтуров, В.М.Евтушенко, В.С.Переладов. Новосибирск, 1988. 161 с.

2. *Драгунов В.И.* Геологические формации. Л., 1973. 24 с.

3. *Евтушенко В.М.* Куонамский комплекс отложений кембрия Сибирской платформы – древнейшие горючесланцевые накопления фанерозоя / В.М.Евтушенко, А.Э.Конторович, В.Е.Савицкий // Органические вещества в современных и ископаемых осадках: Тезисы докл. на 4-м семинаре. М., 1974. С.89-90.

4. *Клубов Б.А.* Нафтидогенез и вторичные изменения в породах куонамского горизонта Сибирской платформы в свете новых литолого-битуминологических данных / Б.А.Клубов, А.В.Гревцев, О.В.Щербань // Пути эволюции органического вещества в земной коре: Сб. науч. трудов. Л., 1984. С.110-119.

5. Органическая геохимия палеозоя и допалеозоя Сибирской платформы и прогноз нефтегазоносности / Т.К.Баженова, С.Н.Белецкая, Л.С.Беляева и др.; Под ред. К.К.Макарова, Т.К.Баженовой. Л., 1981. 211 с.

6. Органическое вещество в палеозойских осадочных толщах Сибирской платформы / С.А.Кащенко, Т.Н.Зуева, Н.Ф.Ивлев и др. // Органические вещества в современных и ископаемых осадках: Тезисы докл. на 5-м семинаре. М., 1976. С.148-149.

7. О нефтегазоматеринском потенциале палеозойских и допалеозойских отложений Сибирской платформы / Т.К.Баженова, Л.С.Беляева, Д.А.Биккенина и др. // Нефтематеринские свиты и принципы их диагностики. М., 1979. С.134-142.

REFERENCES

1. *Bakhturov S.F., Evtushenko V.M., Pereladov V.S.* Kuonamskaya bituminous carbonate-shale formation. Novosibirsk, 1988. 161 p.

2. *Dragunov V.I.* Geological formations. Leningrad, 1973. 24 p.

3. *Evtushenko V.M., Kontorovich A.E., Savitsky V.E.* Kuonamsky complex in Cambrian sediments of Siberian platform – the most ancient oil shale accumulation in Phanerozoic // Organic substance in contemporary and ancient sediments: Thes. report at the IV seminar. Moscow, 1974. P.89-90.

4. *Klubov B.A., Grevtsev A.V., Shcherban' O.V.* Naphthidogenesis and secondary alterations in rocks of Kuonamsky horizon at Siberian platform in the light of new lithological-bituminological data // Ways in evolution of organic substance in the Earth's crust.: Sb. of sci. works. Leningrad, 1984. P.110-119.

5. Organic chemistry of Paleozoic and Pre-Paleozoic of Siberian platform and forecasting of the oil-and-gas potential / T.K.Bazhenova, S.N.Beletskaya, L.S.Belyaeva et al.; Ed.: K.K.Makarova, T.K.Bazhenova. Leningrad, 1981. 211 p.

6. Organic substance in Paleozoic sedimentary formations of Siberian platform / S.A.Kashchenko, T.N.Zueva, N.F.Ivlev et al. // Organic substance in contemporary and ancient sediments: Thes. report at the V seminar. Moscow, 1976. P.148-149.

7. On the oil-and-gas-generating potential of Paleozoic and Pre-Paleozoic sediments of Siberian platform / T.K.Bazhenova, L.S.Belyaeva, D.A.Bikkenina et al. // Oil-and-gas-generating series and principles of their diagnostic. Moscow, 1979. P.134-142.