



УДК 553:04/98(571.1)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ И ТИПОВ ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В. Г. Эдер¹, В. В. Лапковский², А. Г. Замирайлова², С. В. Рыжкова²¹Геологический институт РАН, Москва, Россия; ²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

Исследованы закономерности распределения основных компонентов и типов пород баженовской свиты – одной из крупнейших черносланцевых формаций мира. По результатам литолого-геохимического изучения выявлено, что в Центральном районе широко распространены наиболее хрупкие породы свиты, рассматриваемые в качестве потенциальных коллекторов: силициты, силициты керогеновые, карбонатизированные радиолариты (известняки и доломиты). В Юго-Восточном районе мощности силицитов заметно сокращены, преобладают микститы кероген-глинисто-кремнистые (близкие по содержанию кремнистого материала к силицитам), которые на ряде площадей также являются коллекторами. Для Северного и Южного района эти типы пород практически не характерны. Построены детальные карты распределения основных компонентов пород для нижней, средней и верхней частей, а также в целом для свиты. Установлено, что наибольшие концентрации кремнистого материала наблюдаются в нижней и (в меньшей степени) средней частях разреза баженовской свиты Центрального района. По характеру распространения, составу и мощностям потенциальных коллекторов Центральный район может рассматриваться как высокоперспективный в плане разработки на УВ сырье, Юго-Восточный – среднеперспективный, Северный и Южный – низкоперспективные.

Ключевые слова: баженовская свита, коллекторы, силициты, карбонаты, органическое вещество.

DISTRIBUTION REGULARITIES OF THE MAIN COMPONENTS AND TYPES OF ROCKS OF THE BAZHENOV FORMATION IN WEST SIBERIA

V. G. Eder¹, V. V. Lapkovskiy², A. G. Zamirailova², S. V. Ryzhkova²¹Geological Institute RAS, Moscow, Russia; ²A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

The distribution regularities of the main components and types of rocks of the Bazhenov Formation are investigated. It is one of the largest black shale formations in the world. The results of the lithological and geochemical study revealed that the brittlest rocks of the formation are widely distributed in the Central region and are considered as potential reservoirs: siliceous mudstones, kerogenic siliceous mudstones, carbonated radiolarites (limestones and dolomites). In the South-Eastern region, thicknesses of silicites are noticeably reduced; kerogen-clay-siliceous mudstones (similar in silica content to siliceous mudstones) prevail, which are also reservoirs in a number of areas. These types of rocks are practically not typical for the Northern and Southern regions. Detailed distribution maps of the main components of rocks for the lower, middle and upper parts, as well as for the Formation as a whole, were constructed. It was revealed that the highest concentrations of siliceous material are observed in the lower and to a lesser extent in the middle parts of the Bazhenov Formation section in the Central region. By the nature of distribution, composition and thickness of potential reservoirs, the Central region can be considered as a highly promising region in terms of development for hydrocarbon raw materials, the South-Eastern is medium-promising one, the Northern and Southern are low-promising ones.

Keywords: Bazhenov Formation, reservoirs, silicites, carbonates, organic matter.

DOI 10.20403/2078-0575-2023-4a-24-36

В настоящее время разными научными группами разрабатываются способы освоения верхнеюрско-нижнемеловой баженовской свиты (БС) Западной Сибири (ЗС) для добычи углеводородов. В частности, анализируются методы многостадийного гидроразрыва пласта, кислотной обработки пород или воздействия на них водой в сверхкритическом состоянии, разработки при помощи технологии парных горизонтальных скважин. Как известно, БС обладает литологической изменчивостью даже на небольшой территории, что связано с фациальными особенностями и различным характером развития вторичных процессов [4]. Как показали результаты изучения БС и ее стратиграфического аналога нижнетутлеймской подсвиты, проводимого нефтяными компаниями «Роснефть», «Лукойл», «Сургутнефте-

газ», «Газпромнефть» (Салымское, Фроловское, Галяновское, Средненазымское, Приобское, Ай-Пимское и другие месторождения), продуктивность их в общем связана с породами-коллекторами трех типов: 1) тонколистоватыми высокоуглеродистыми кремнисто-глинистыми разностями, 2) трещиноватыми кремнистыми и кавернозно-трещиноватыми карбонатными породами, 3) песчаными линзами в составе глинистой толщи (аномальные разрезы).

Для более корректного применения новых технологий, направленных на интенсификацию извлечения углеводородов, необходимо обладать информацией о распределении кремнистого, карбонатного, глинистого и органического веществ в породах БС и нижнетутлеймской подсвиты по вертикали и латерали. Породы-коллекторы рассматриваемой



толщи, по данным многих исследователей (И. И. Нестерова, Ф. Г. Гурари, Ю. В. Желтова, А. Д. Алексеева, Г. А. Калмыкова, Н. С. Балушкиной, В. Д. Немовой, И. В. Панченко, Д. В. Федоровой и др.), залегают в виде прерывистых пропластков и линзовидных образований внутри преимущественно непроницаемых высокоуглеродистых пород. Наиболее изучены интервалы, из которых получены притоки нефти, в центральных и западных районах ХМАО (рис. 1). Главным образом они связаны с карбонатизированными радиоляритами, относимыми согласно [1] ко 2-му типу коллекторов. В юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции в районе Нюрольской мегавпадины интервал получения притока нефти представлен породами кремнистого и смешанного состава (силициты и микститы кероген-глинисто-кремнистые) [13]. В соответствии с обобщенной характеристикой интервал притока связан с породами-коллекторами 1-го типа. По пиролитическим показателям и геохимии органического вещества породы согласно [1] занимают промежуточное положение между коллектором и неколлектором [13].

За долгую историю изучения БС вопросами типизации и закономерностей распространения ее пород, главным образом в центральной, реже в юго-восточной части ЗС, занимались многие исследователи (Т. И. Гурова, В. П. Казаринов, И. Н. Ушатинский, Т. В. Дорофеева, М. Ю. Зубков, В. В. Мормышев, Г. Н. Перозио, Е. А. Предтеченская, О. А. Важенина, В. Д. Немова, Н. С. Балушкина, А. Э. Конторович, О. М. Макарова, Н. И. Коробова и др.). Однако только И. Н. Ушатинский [11] выполнил детальные литолого-геохимические исследования БС по всей площади ее распространения и в результате их обобщения проанализировал распространение основных типов ее пород в разных районах ЗС. К сожалению, сопоставить результаты его исследований с результатами предшественников и с полученными в настоящей работе (кроме данных по распространению и мощностям силицитов) не представляется возможным, так как использованная классификация в его публикациях не приведена.

Ранее карты распространения кремнезема и органического вещества в БС опубликованы И. Н. Ушатинским [11] и коллективом авторов СНИИГГиМС [10]. Карта распространения глинистого вещества составлена С. И. Филиной с соавторами [12]. Более подробно распределение основных компонентов на юго-востоке Западно-Сибирского бассейна (ЗСБ) в районе Каймысовского свода (Томская область) по данным ГИС показано Е. А. Предтеченской и др. [6], которые построили подобные карты для разных частей этой толщи. В. А. Волков с соавторами [2] опубликовали карты распространения керогена в пяти пачках БС на территории ХМАО, а также кремнезема и глинистого материала для свиты в целом. А. Э. Конторовичем и др. [8] составлены карты распространения керогена для нижней,

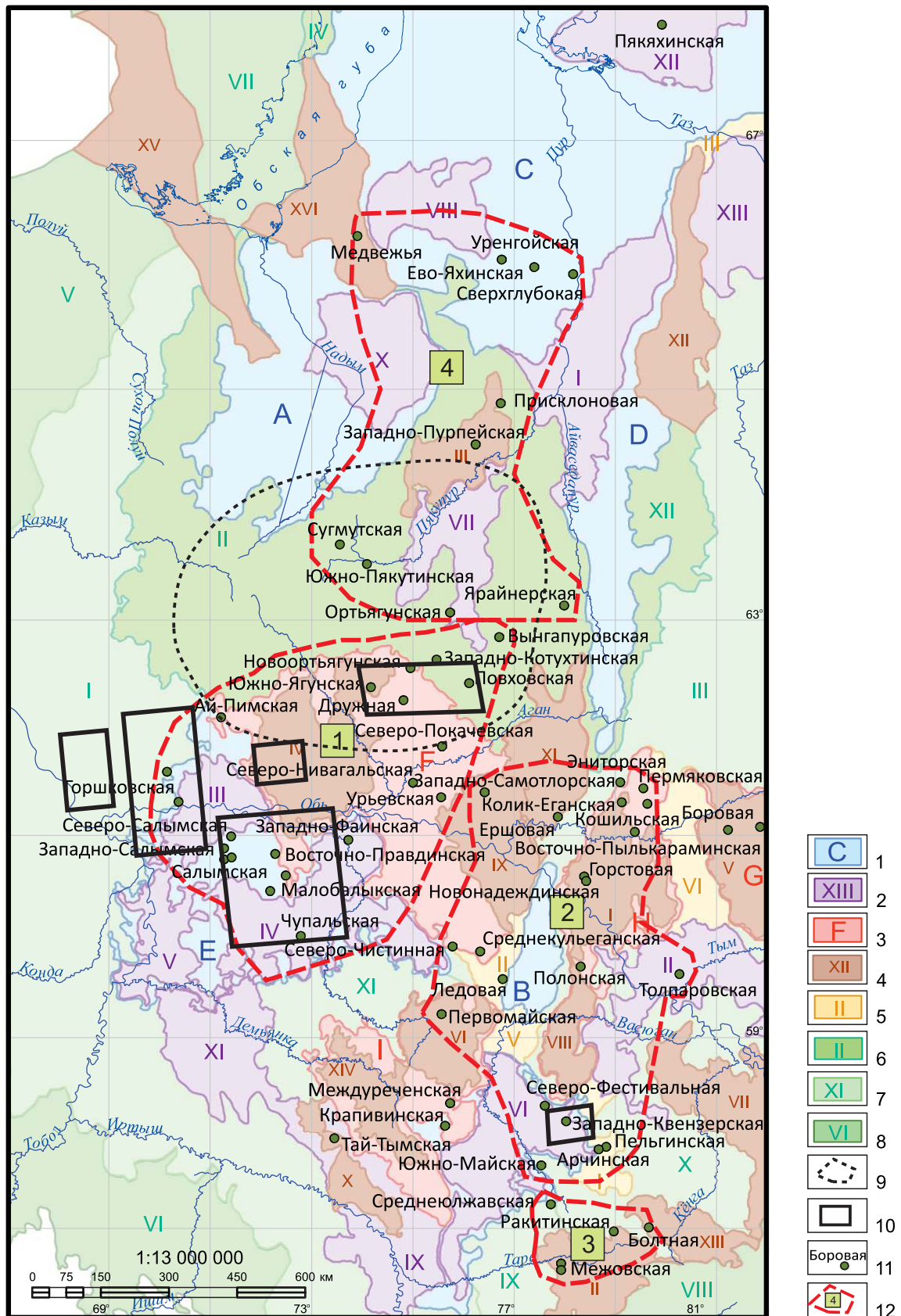
средней и верхней частей БС по всей территории ЗСБ с использованием результатов восстановления его содержания по данным геолого-геофизических исследований. Следует отметить, что под керогеном в упомянутых публикациях понимается все органическое вещество (ОВ), а не только его нерастворимая часть. Как можно видеть, закономерности распространения в баженовской свите органического вещества по латерали и вертикали изучены лучше, чем особенности распространения ее основных минеральных компонентов.

Ранее по 27 разрезам БС преимущественно в Центральном и Юго-Восточном районах выявлены закономерности распространения кремнистых пород и карбонатно-кремнистой «кокколитовой» пачки [15]. Настоящая работа служит продолжением этого направления исследования с расширением базы данных результатов литолого-геохимических исследований (65 разрезов). Целью было уточнение ареалов распространения наиболее хрупких (кремнистых и карбонатных) пород как потенциальных коллекторов по латерали и вертикали на основе обобщения имеющейся базы данных литолого-геохимических исследований свиты. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: 1) установление закономерностей распространения типов пород в разных районах ЗС; 2) построение карт распределения основных породообразующих компонентов (кремнистого, карбонатного и глинистого материала) для трех равных по мощности частей свиты (нижней, средней и верхней).

Методы исследования

В методику литолого-геохимических работ входило детальное описание керна, шлифов на микроскопе Olympus BX-59, а также химические анализы пород. Определение основных породообразующих компонентов (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , MnO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , BaO и др.) проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре ARL-9900-XP (Thermo Electron Corporation). Содержание серы (общей, сульфидной и сульфатной) и CO_2 определены методом «мокрой химии». Указанные виды анализов выполнены в лабораториях АЦ ИГМ СО РАН.

Определение содержания органического углерода осуществлялось весовым полумикрометодом с помощью экспресс-анализатора (АН-7529) на углерод. По результатам анализов (данным о содержании породообразующих оксидов, $\text{C}_{\text{орг}}$, серы сульфидной) проведен пересчет химического состава пород на минеральный по методике О. М. Розена и др. в программе MINLITH. Каждому образцу присвоено литологическое название в соответствии с принятой классификацией [3]. Для исследования использовались результаты литолого-геохимических анализов по 1600 образцам 65 разрезов БС (см. рис. 1), что представляет собой полную базу данных ИНГГ СО РАН. Для каждого разреза свиты составлены план-



шеты, на которых отражены основные литолого-геохимические материалы и данные ГИС.

Для анализа закономерностей распространения мощностей пачек основных типов пород БС по площади в работе использовались ранее опубликованные нами субширотные и субмеридиональ-

ные профили [4]. Для систематизации полученных данных и сопоставления результатов территория исследований условно разделена на Центральный, Юго-Восточный, Северный и Южный районы (см. рис. 1). В тектоническом плане Центральный район включает Мансийскую синеклизу, Хантей-

Рис. 1. Обзорная карта расположения изученных разрезов

1–8 – тектонические элементы (в соответствии с тектонической картой юрского структурного яруса под ред. А. Э. Конторовича, 2001): *положительные*: 1 – надпорядковые и 0 порядка (F – Хантейская гемиантеклиза, H – Обь-Васюганская гряда, G – Куржинская гряда, I – Верхневасюганская антеклиза); 2 – структуры I порядка (своды: I – Александровский, III – Северный, IV – Сургутский, VI – Каймысовский, IX – Нижевартовский; наклонные мегавалы: XII – Часельский, XIII – Калгачский, XVI – Медвежье-Нугинский; мегавыступы: XI – Варьеганско-Тагринский, XV – Ярудейский; мегавалы: V – Пыль-Караминский, VII – Парабельский, VIII – Средневасюганский, X – Пологрудинский, XIV – Верхнедемьянский; II – Межовский структурный мегамыс); *отрицательные*: 3 – надпорядковые и 0 порядка (C – Большехетская мегасинеклиза, A – Надымская гемисинеклиза, D – Среднепурский наклонный мегажелоб, E – Мансийская синеклиза, B – Колтогорско-Нюрольский желоб); 4 – структуры I порядка (мегавпадины: II – Усть-Тымская, III – Тундринская, IV – Юганская, V – Нижнедемьянская, VI – Нюрольская, VIII – Нерутинская, X – Верхнетанловская, XII – Северо-Тазовская; XIII – Тазовский структурный мегазалив; наклонные мегапрогибы: I – Среднепурский, VII – Пякупурско-Ампутинский, IX – Муромцевско-Седельниковский, XI – Среднетобольский); *промежуточные*: 5 – мегамоноклизы Внешнего пояса (V – Зауральская, VI – Тюменская, VII – Пайхойской-Новоземельская, VIII – Барабинская Пихтовская); 6 – структуры Обской ступени (I – Красноленинская мегамоноклиза, III – Красноселькупская моноклиза; XI – Северо-Демьянская, X – Северо-Парабельская, IX – Северо-Межовская мегамоноклинали); 7 – структуры Ямало-Карской депрессии (II – Южно-Надымская мегамоноклиза, IV – Восточно-Пайхойская моноклиза, XII – Восточно-Пурская мегамоноклиналь); 8 – седловины (I – Чузикско-Чижапская, II – Ледянская, V – Черемшанская, VI – Караминская мезоседловины); *территории*: 9 – распространения аномальных типов разреза по А. А. Нежданову, 10 – литологических исследований пород-коллекторов по [5, 7, 9 и др.]; 11 – площади с результатами литолого-геохимических анализов использованных в рамках проведенных исследований; 12 – условно выделенные районы для обобщения результатов (1 – Центральный, 2 – Юго-Восточный, 3 – Южный, 4 – Северный)

скую гемиантеклизу, Сургутский свод, южную часть Южно-Надымской мегамоноклизы; *Юго-Восточный* – Колтогорско-Нюрольский желоб и примыкающие к нему положительные (Нижневартовский, Александровский и Каймысовский своды, Средневасюганский мегавал) и отрицательные (Усть-Тымская мегавпадина) структуры; *Южный* – Северо-Межовскую мегамоноклиналь, Межовский структурный мегамыс и др.; *Северный* – Большехетскую мегасинеклизу и северную часть Южно-Надымской мегамоноклизы.

Анализ распространения кремнистого, карбонатного и глинистого материалов осуществлялся путем построения карт-схем их распределения на территории исследования. Изучаемые разрезы, полностью охарактеризованные керном, разделены на три равные по мощности части, а в случае отсутствия верхней или нижней частей свиты – на две равные части. В базу данных были включены данные о составе БС, где имелся керновый материал по одной из трех частей разреза. Таким образом, количество используемых разрезов для анализа распределения основных породообразующих компонентов для каждой части разреза отличалось. Далее в целом для БС и для каждой ее части подсчитаны средние содержания основных породообразующих компонентов, значения которых получены по описанной методике. При этом образцы существенно измененных в диа- и катагенезе пород были исключены из выборки при расчете средних значений. Разрезы аномального строения баженовской свиты не учитывались.

Построение карт проводилось средствами GridBuilder-GridMaster ИНГГ, Surfer Golden Software и ArcGIS ESRI. Положение скважин задавалось и отображалось в географических координатах (проекция Меркатора). Данные, оцененные в скважинах, интерполировались в узлы регулярной прямоугольной

сетки с горизонтальными и вертикальными размерами ячеек сетки 0,1°. Интерполяция выполнялась с помощью двумерного кригинга с линейной вариограммой независимо для каждой компоненты.

После построения карт всех литологических компонент они проверялись и при необходимости редактировались на основании обязательности выполнения двух условий: 1) никакая из компонент состава не может принимать отрицательных значений (хотя в исходных данных таких величин быть не может, использование универсального кригинга допускает возникновения отрицательных значений при удалении от наблюдений); 2) сумма всех компонент состава не может превышать 1.

Результаты исследования

На основе детального изучения литологии и геохимии пород БС разных районов Западной Сибири под руководством А. Э. Конторовича проведена классификация пород свиты [3]. Определено, что аргиллитов в ней практически нет и основная масса слагающих ее пород представлена микститами (смешанными тонкозернистыми породами, в которых содержание ни одного породообразующего компонента не превышает 50%), в меньшей степени силицитами (преимущественно кремневыми породами с содержанием кремнезема более 50%). В рамках этой классификации выделены четыре основных класса пород (силициты, микститы, аргиллиты и карбонаты), разделенные на 16 подклассов.

По результатам исследования составлена принципиальная схема распространения основных типов пород БС в разных районах территории ее распространения (рис. 2). На ней представлены состав основных типов пород БС в виде круговых диаграмм, положение в разрезе и относительная мощность пачек в Центральном, Юго-Восточном, Северном и Южном районах ЗС.

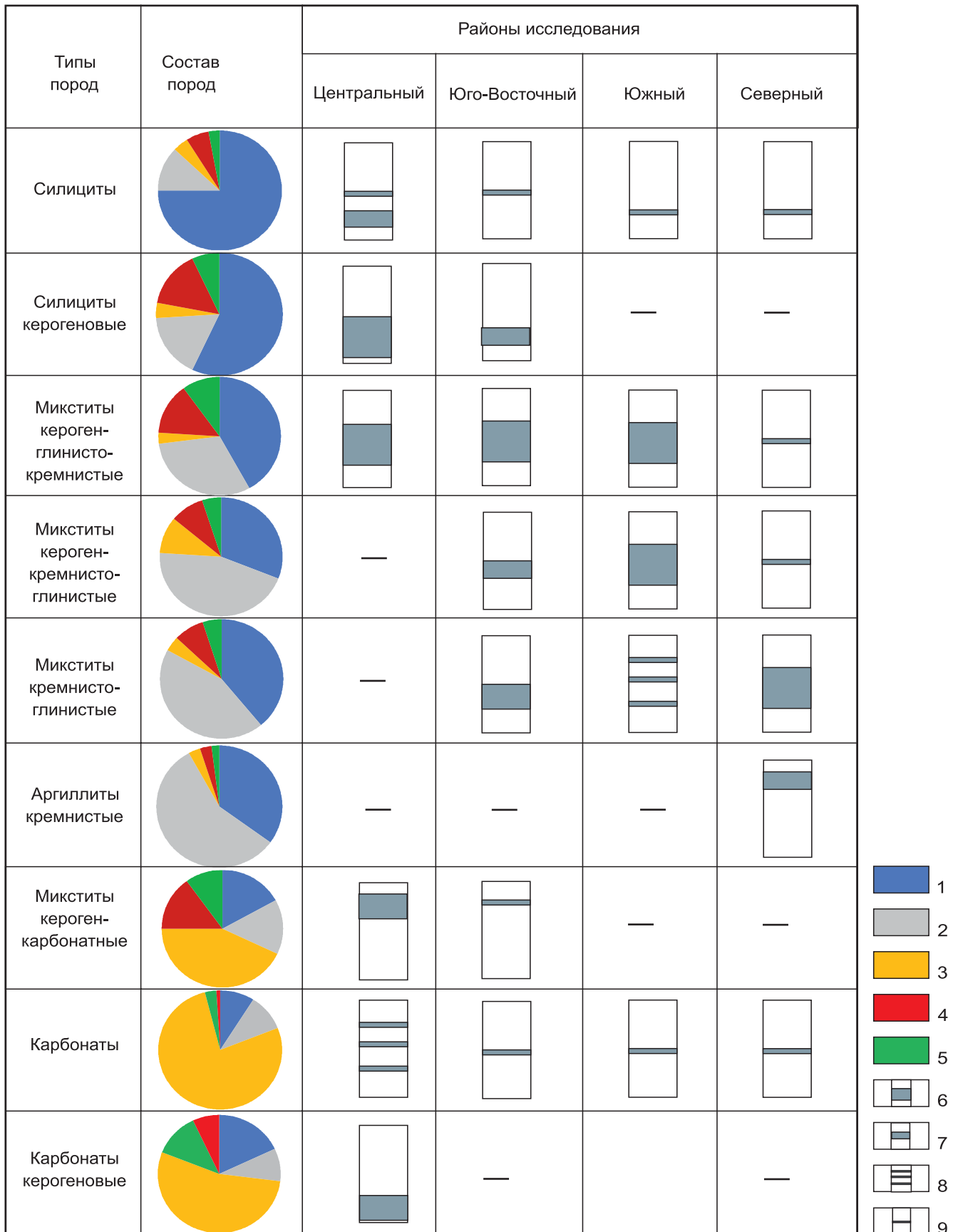


Рис. 2. Схема распространения основных типов пород баженовской свиты в Центральном, Северном, Юго-Восточном и Южном районах ЗС

1–5 – усредненный состав пород на круговых диаграммах: 1 – кремистый материал, 2 – глинистый материал, 3 – карбонаты (кальцит/доломит), 4 – ОВ; 5 – пирит; 6–9 – схематическое изображение относительной мощности и положения в разрезе слоев разных типов пород БС (названия указаны в столбце 1): 6 – мощностью 10–15 м, 7 – мощностью от 1–2 до 10 м, 8 – маломощные (от нескольких см до метра) прослои и слои (2 и более), 9 – маломощные единичные прослои



Ранее установлено, что в Центральном районе в БС мощность пачки собственно силицитов повышена и составляет 3–4 м, в изучаемых отложениях Хантейской гемиантеклизы и севера Южно-Надымской мегамоноклизы – от единичных до частых сантиметровых прослоев, в некоторых разрезах до 2–4 м [15]. И. Н. Ушатинский [11] также отмечал, что силициты чаще приурочены к срединной части разреза БС и распространены в центральной, более глубоководной зоне бассейна, что связано с областями обитания и захоронения кремнескелетного планктона. В Юго-Восточном районе мощности силицитов заметно понижены (Александровский свод, Ледянская мезоседловина, Усть-Тымская и Нюрольская мегавпадины), они наблюдаются в виде прослоев толщиной от нескольких мм до нескольких см.

В Центральном районе мощность пачки силицитов керогеновых существенно повышена и составляет около 9–15 м. В единичных разрезах Хантейской гемиантеклизы (Южно-Ягунская, Северо-Покачевская площади) наблюдается пониженная мощность пачки пород этого типа – 1–3 м. В разрезах БС Юго-Восточного района силициты керогеновые присутствуют в основном в средней части разреза в виде пачки мощностью 2–5 м. В некоторых разрезах Северо-Сургутского подрайона (Повховская пл.) в основании свиты залегает пачка карбонатизированных радиоляритов мощностью 2 м, которая вверх по разрезу сменяется силицитами абиморфными (7 м). В Северном районе на Присклоновой и Пякяхинской площадях встречаются лишь единичные сантиметровые прослои силицитов керогеновых. В некоторых разрезах Юго-Восточного района, расположенных в пределах Нюрольской мегавпадины (Западно-Квензерская пл.), мощность пачки пород этого типа составляет 6–7 м, а в разрезах, расположенных в ее приграничных районах в пределах Чузикско-Чизапской мезоседловины (Арчинская, Пельгинская пл.), Лавровском наклонном мезовалу (Южно-Майская пл.), они встречаются в виде редких прослоев мощностью 0,2–0,5 м.

Определено, что силициты и силициты керогеновые не характерны для Северного (Большехетская мегасинеклизы) и Южного районов (Северо-Межовская мезоноклиналь, Межовский структурный мегамыс), а также для восточных территорий (Пыль-Караминский мегавал) (см. рис. 2). Полученные результаты соотносятся с данными И. Н. Ушатинского и В. С. Харина (1985), которые отмечали, что соотношение аутигенного к терригенному кремнезему уменьшается от Салымского района к Тазовскому, т. е. от центральной части ЗС в северо-восточном направлении, почти в 10 раз: от 2,45 до 0,27.

Выявлено, что «кокколитовая» пачка, представленная в основном микститами кероген-карбонатно-кремнистыми, наблюдается в верхней части БС в Центральном районе и отмечается в единичных разрезах сводовых структур Северного района (центральная часть Южно-Надымской мегамоноклизы,

Присклоновая пл.). Микститы кероген-кремнисто-карбонатные и кероген-карбонатные («кокколитовая» пачка) встречаются в верхней части БС (2–6 м) в Центральном районе и единичных разрезах сводовых структур Северного района. По содержанию карбонатных прослоев лидируют разрезы Присклоновой и Южно-Ягунской площадей, приуроченные к сводовым структурам. В большей части Юго-Восточного, Южного и Северного районов рассматриваемая пачка БС отсутствует.

Микститы кероген-глинисто-кремнистые с содержанием кремнистого материала более 40 % распространены в Центральном, Юго-Восточном и Южном районах. Наибольшие мощности слоев фиксируются в разрезах юга Южно-Надымской мегамоноклизы (Повховская и Новоортьягунская пл.), в некоторых разрезах северной части Хантейской гемиантеклизы (Дружная пл.), Мансийской синеклизы (Северо-Салымская, Восточно-Правдинская пл.), Юганской мегавпадины (Малобалыкская пл.). В Юго-Восточном районе микститы высококремнистые преобладают на Горстовой, Ледовой, Пельгинской, Западно-Квензерской, Северо-Чистинной площадях.

Микститы (кероген-глинисто-кремнистые, кероген-кремнистые, кероген-кремнисто-глинистые) с содержанием кремнистого материала менее 40 %, т. е. породы с относительно пониженным его содержанием, встречаются на некоторых площадях Северного (Тюменская, Западно-Пурпейская пл.) и Юго-Восточного (Ершовая пл.) районов и характерны для Южных (Южно-Майская, Ракитинская, Среднеюлжавская пл.). В Центральном районе и остальных разрезах Юго-Восточного района они отмечаются в виде маломощных редких прослоев преимущественно у зоны перехода БС в подстилающие и перекрывающие отложения или отсутствуют.

Определено, что аргиллиты, свойственные в основном Северному району, также присутствуют в виде тонких слоев в единичных разрезах Центрального (Северо-Нивагальская пл.) и Южного (Межовская пл.) районов. В целом для Центрального и Юго-Восточного района эти образования не типичны, основную часть разреза БС составляют преимущественно кремнистые породы – силициты и микститы кероген-кремнистые и кероген-кремнисто-карбонатные.

Микститы кремнисто-глинистые и глинистые – породы, близкие к аргиллитам по содержанию глинистого материала, практически не наблюдаются в разрезах Центрального района (см. рис. 2), часто встречаются в зоне перехода БС в вышележащие отложения подачимовской пачки (1–3 м). Эти типы пород широко распространены в Северном и Южном районах. Известняки и доломиты присутствуют в разрезах в виде прослоев и конкреций мощностью 2–20 см в Центральном районе и единично – в Юго-Восточном и Северном.

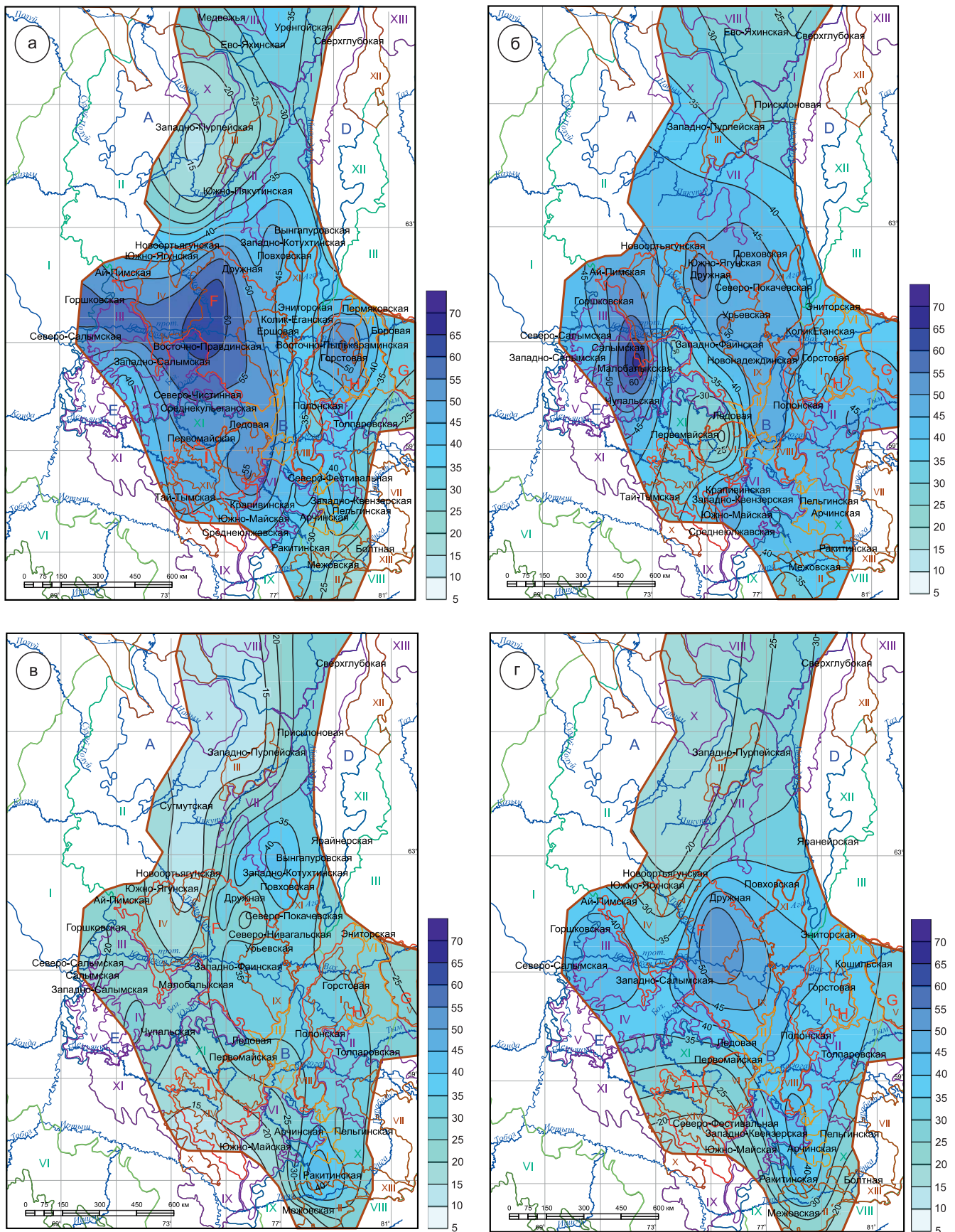


Рис. 3. Карта-схема распределения кремнистого материала на территории исследования: а – в нижней, б – в средней, в – в верхней частях БС; г – в целом для БС; жирный красный контур – граница построения карт; тектонические элементы см. на рис. 1; здесь и далее справа приведены шкалы среднего содержания соответствующего компонента, %

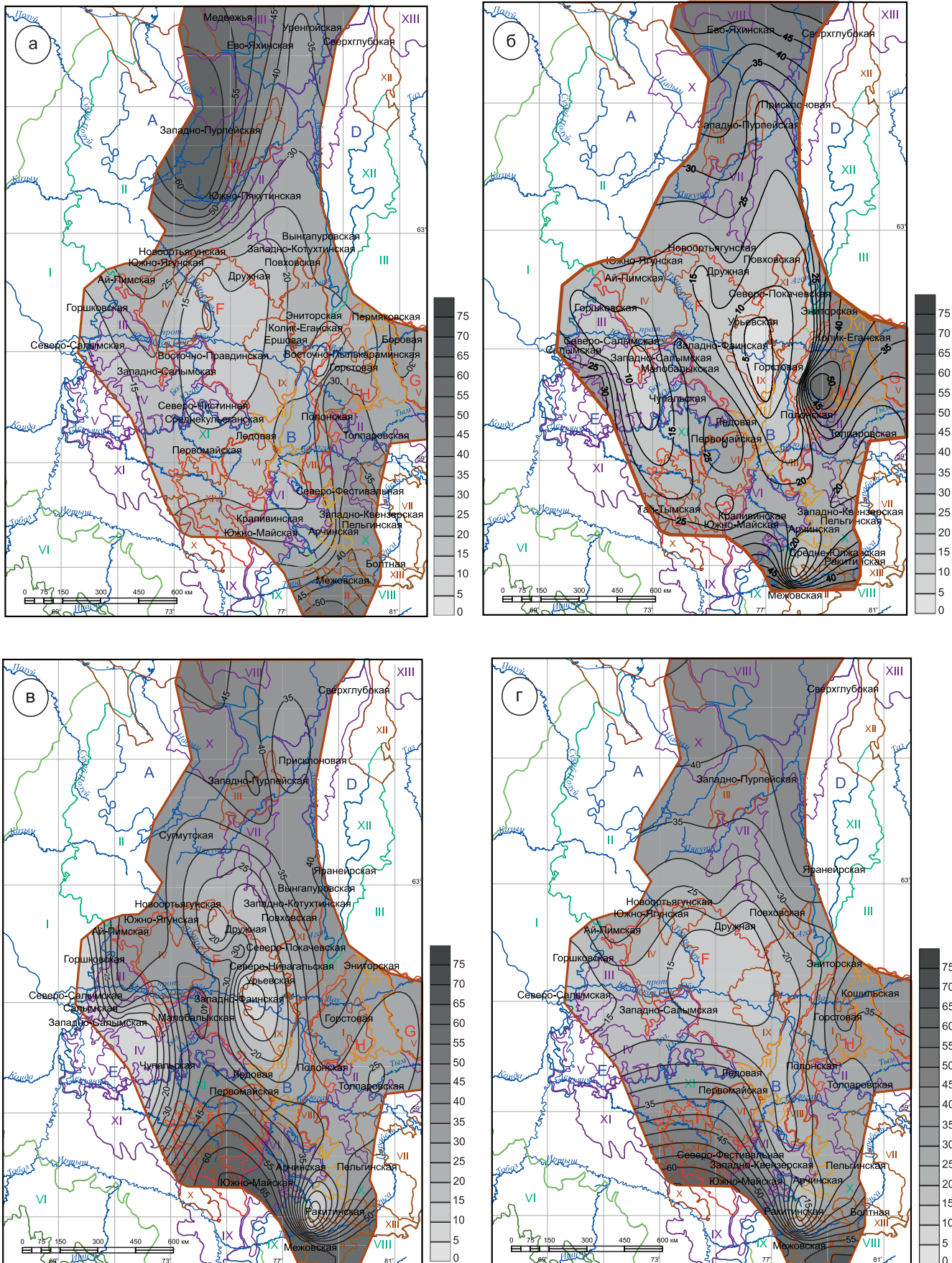


Рис. 4. Карта-схема распределения глинистого материала на территории исследования: а – в нижней, б – в средней, в – в верхней частях БС; г – в целом для БС
Усл. обозн. см. на рис. 1, 3

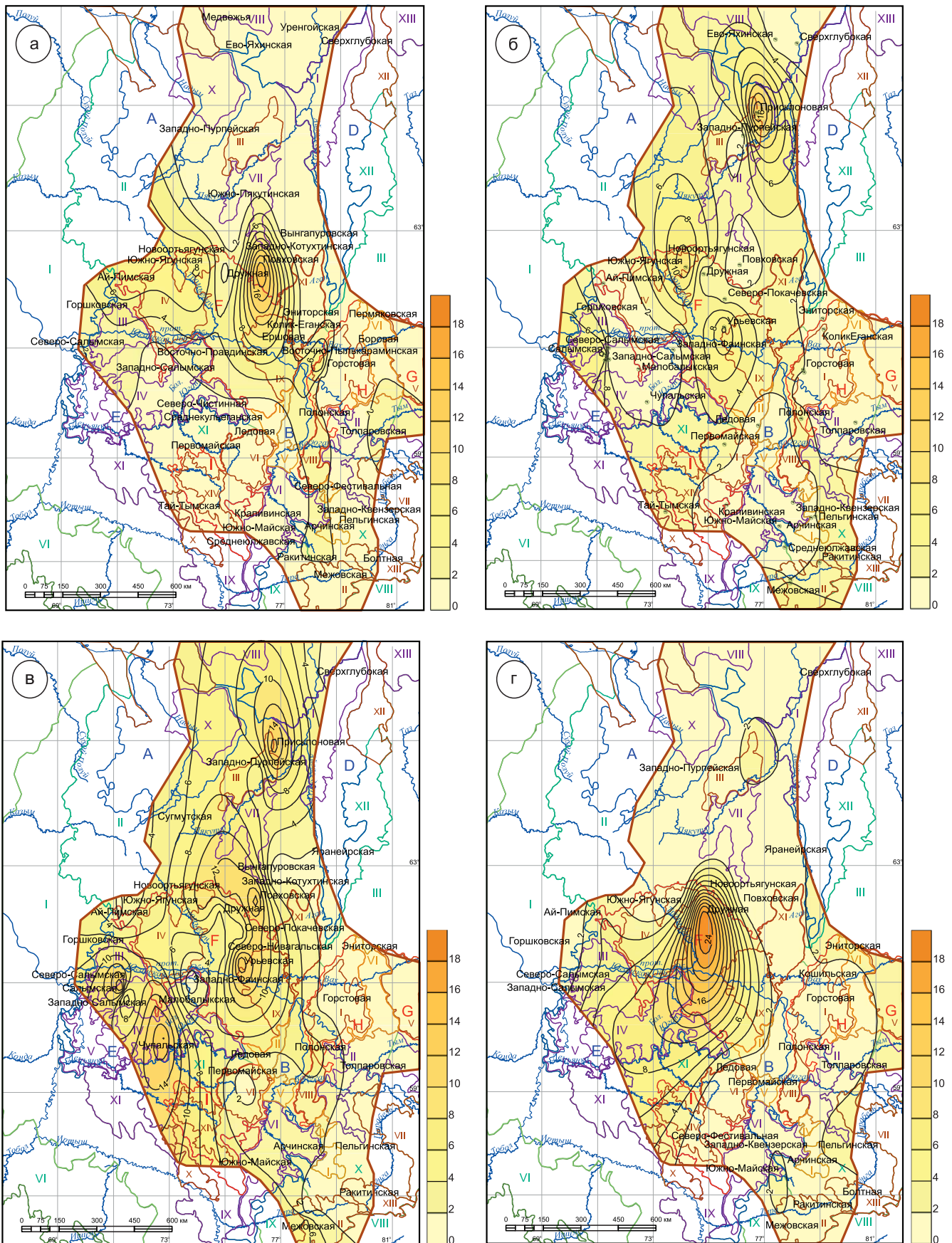


Рис. 5. Карта-схема распределения кальцита: а – в нижней, б – в средней, в – в верхней частях БС; г – в целом для БС
Усл. обозн. см. на рис. 1, 3

Как уже было сказано, важной характеристикой потенциальных коллекторов или пород, наиболее пригодных для разработки, является их хрупкость, которая в БС обусловлена повышенным содержанием кремнистого или карбонатного материала и пониженным – глинистого. Для уточнения распределения этих пород по вертикали в изучаемых отложениях разных районах ЗС составлены карты распространения кремнистого, глинистого и карбонатного материала для нижней, средней и верхней частей БС, а также в целом для свиты. Далее приводится их подробное описание.

Кремнистый материал

Нижняя часть БС. Наибольшие концентрации кремнезема наблюдаются в Центральном и некоторых площадях Юго-Восточного района (Восточно-Пылькарминская, Горстовая, Колик-Еганская, Ледовая) (рис. 3, а). Среднее содержание кремнистого материала на указанных площадях составляет 50–60 %, а на других (Полонская, Толпаровская, Северо-Фестивальная) понижается до 35–40 %. В Южном (Ракитинская, Межовская, Болтная пл.) и Северном районах (Медвежья, Уренгойская, Ево-Яхинская, Сверхглубокая пл.) содержание кремнистого материала в породах составляет 20–30 %.

Средняя часть БС (см. рис. 3, б). На большей части Центрального района среднее содержание кремнезема 40–50 %. На некоторых площадях Юго-Восточного района (Первомайская, Ледовая, Западно-Фаинская) оно уменьшается до 25–35 %, в Северном и Южном районах – несколько возрастает (в некоторых до 35–40 %).

Верхняя часть БС. В Центральном районе в верхней части разрезов БС содержание кремнистого материала еще больше сокращается, особенно в районе Среднего Приобья – на Малобалыкской, Горшковской, Ай-Пимской и Салымских площадях (см. рис. 3, в) и в среднем составляет 20–25 %. На некоторых площадях Центрального (Западно-Котухтинская, Вынгапуровская, Повховская, Дружная) и Юго-Восточного (Полонская, Толпаровская, Пельгинская, Арчинская, Ракитинская) районов среднее содержание кремнезема несколько повышено по сравнению с описанными ранее площадями Среднего Приобья – 30–35 %; в Северном районе оно снижено до 10–20 %.

Максимальные средние содержания кремнезема (35–50 %) в целом в БС фиксируются в Центральном районе (см. рис. 3, г), в Южном и Северном районах – уменьшаются до 20–30 %.

Глинистый материал

Нижняя часть БС. В нижней части разрезов Центрального района накапливалось относительно небольшое количество глинистого материала (в среднем 15–25 %) (рис. 4, а), Южном и Северном районах его больше – до 40–50 %.

Средняя часть БС. В распределении среднего содержания глинистого материала сравнительно с нижней частью свиты существенных изменений не отмечается, лишь на некоторых площадях Северного и Южного районов наблюдается некоторое его увеличение (55–60 %) (см. рис. 4, б).

Верхняя часть БС. На ряде площадей Центрального района (Урьевская, Северо-Покачевская, Повховская и др.) сохраняются пониженные значения (20–30 %) компонента, а на некоторых площадях Центрального и Юго-Восточного районов (Западно-Фаинская, Первомайская, Ледовая, Арчинская, Южно-Майская) отмечаются повышенные (35–40 %) (см. рис. 4, в).

В целом БС Центрального района характеризуется пониженными средними значениями содержания глинистого материала (15–30 %), в Северном и Южном районах оно увеличивается до 35–55 % (см. рис. 4, г).

Кальцит

Нижняя часть БС. На большей части исследуемой территории среднее содержание кальцита не превышает 2–4 % (рис. 5, а), за исключением части площади Центрального района, где оно достигает 6–8 % (Новоортьягунская, Южно-Ягунская, Ай-Пимская пл.) и 8–18 % (Западно-Котухтинская, Вынгапуровская, Повховская пл.).

Средняя часть БС. На части площадей Центрального (Северо-Салымская, Западно-Фаинская, Южно-Ягунская) и Северного (Присклоновья) районов содержание кальцита возрастает (см. рис. 5, б), но в целом на большей части исследуемой территории не превышает 2–4 %.

Верхняя часть БС. В большинстве изученных разрезов среднее содержание кальцита существенно увеличивается – до 8–14 % (см. рис. 5, в). Низкокарбонатными являются Юго-Восточный и Северный районы (Пякяхинская, Ярайнейрская, Эниторская, Толпаровская, Пельгинская, Арчинская, Ракитинская, Межовская и другие площади). В целом (см. рис. 5, г) наиболее карбонатными являются разрезы БС Центрального района.

Обсуждение результатов

По результатам исследования установлена и подтверждена следующая закономерность распределения типов пород БС по территории ее распространения.

Наибольшие мощности хрупких пород (потенциальных коллекторов) – силицитов (2–4 м), силицитов керогеновых (9–15 м) и карбонатов (1–4 редко до 8 м) – характерны для Центрального района БС. Для разрезов Северного района породы этого типа не типичны, в целом свита представлена микститами глинистыми и кремнисто-глинистыми обедненными ОВ (<5 %). В Юго-Восточном районе мощности силицитов, силицитов керогеновых и карбонатов заметно понижены (в несколько раз



по сравнению с Центральным районом). В то же время на ряде площадей (Арчинская, Южно-Майская, Среднеюлжавская и др.) в существенном количестве присутствуют микститы кероген-глинисто-кремнистые, близкие по содержанию кремнистого материала к силицитам (5–15 м) и характеризующиеся относительно высокими содержаниями ОВ (15–25 %). Эти породы могут выступать в качестве потенциальных коллекторов УВ, как показал опыт изучения нефтенасыщенного интервала разреза БС на Западно-Квензерской площади [13]. Таким образом, по характеру распространения пород – потенциальных коллекторов Центральный район может рассматриваться как высокоперспективный в плане разработки БС на УВ сырье, Юго-Восточный – среднеперспективный, Северный и Южный – низкоперспективные.

Описанные особенности распределения основных типов пород и их компонентов в изученных районах связаны с разными фациальными обстановками, что более подробно охарактеризовано в нашей предыдущей публикации [4].

В результате построения карт, отражающих распределение основных компонентов БС, установлено, что наиболее хрупкие кремниевые породы с низким содержанием глинистого материала сосредоточены в ее нижней части в Центральном районе в пределах Мансийской синеклизы и Хантейской гемиантеклизы, где содержание кремнистого материала достигает 60–80 %. По направлению на юго-восток и на юг содержание кремнезема постепенно снижается (40–45 %), а в районе Толпаровской и Межовской площадей оно составляет около 30 %.

Ареал распространения кремнистого материала в средней части БС несколько увеличивается за счет относительного повышения его концентрации в Юго-Восточном и в небольшой степени Северном районах (на Межовской и Толпаровской площадях до 40–45 %) и несколько понижается (до 30 %) на Западно-Фаинской, Первомайской и Тай-Тымской площадях. Верхняя часть БС на изученных площадях характеризуется существенным уменьшением доли биогенного кремнистого материала в породах (до 20–30 %). Согласно карте распространения кремнезема в целом по изучаемой толще наибольшие его концентрации наблюдаются в пределах Мансийской синеклизы, Хантейской гемиантеклизы и в районе осевой части Нюрольской мегавпадины.

Содержание глинистой компоненты в породах изучаемых отложений изменяется синхронно с изменением содержания кремнистого материала на изученных площадях. Эти два компонента имеют обратную зависимость. Наименьшие концентрации глинистого материала (15–25 %) наблюдаются в нижней части свиты в Центральном районе и на некоторых площадях Южного и Юго-Восточного районов (Первомайская, Ледовая, Арчинская, Среднеюлжавская, Западно-Квензерская, Тай-Тымская),

увеличиваются примерно до 10–15 % в средней части свиты (Первомайская, Западно-Фаинская, Горстовая, Полонская, Толпаровская, Эниторская пл.).

В верхней части свиты в изученных разрезах Центрального и Юго-Восточного районов содержание глинистого материала увеличивается до 30–40 %; относительно низкие значения (20–25 %) сохраняются в районе Хантейской гемиантеклизы на Дружной, Повховской, Западно-Котухтинской, Урьевской площадях.

Как можно видеть из карты распространения карбонатного материала, в нижней части БС на некоторых площадях Центрального района (Южно-Ягунская, Повховская и др.) присутствуют породы с повышенным содержанием кальцита – карбонатизированные радиоляриты. Причина их приуроченности именно к подошве свиты обсуждалась нами ранее [14], и мы связываем ее с осаждением карбонатного материала на геохимических барьерах – границах в осадке с резким изменением рН и редокс-условий.

Средняя часть БС в основном обеднена (<58 %) карбонатным материалом, за исключением некоторых разрезов сводовых структур (Присклоновая, Южно-Ягунская пл.), где карбонатная фауна (двустворки, кокколитофориды) была распространена на протяжении большей части периода седиментации БС, предположительно в областях влияния теплых течений. Верхняя часть БС относительно обогащена кальцитом, главным образом в Центральном районе за счет развития в этой области бассейна кокколитофоридовых водорослей. Карта среднего содержания кальцита для БС в целом подтверждает вывод о преимущественном распространении карбонатной фауны именно в Центральном районе, соответствующем наиболее глубоководным спокойным обстановкам с минимальным привносом глинистого материала.

Выводы

Составлена принципиальная схема распространения основных типов пород БС в Центральном, Северном, Юго-Восточном и Южном районах ЗС. Установлено, что в Центральном районе широко распространены наиболее хрупкие породы БС, представляющие интерес при разработке свиты, – силициты и силициты керогеновые, карбонатизированные радиоляриты (известняки и доломиты); в Юго-Восточном районе мощности силицитов заметно сокращены, преобладают микститы кероген-глинисто-кремнистые. Микститы кероген-кремнисто-карбонатные и кероген-карбонатные («кокколитовая» пачка) распространены в верхней части Центрального района свиты, встречаются в единичных разрезах сводовых структур в Северном районе и присутствуют в виде редких маломощных прослоев Юго-Восточном районе. Микститы кремнисто-глинистые отмечаются в Северном, Юго-Вос-



точном и Южном районах, аргиллиты и микститы глинистые и кремнисто-глинистые – в основном в Северном.

Построены карты распределения основных породообразующих компонентов (кремнистый, глинистый материал и кальцит) в Центральном, Юго-Восточном и Северном районах для нижней, средней и верхней частей БС.

Подтверждено, что в нижней части свиты в Центральном районе распространены высококремнистые (60–80 %) породы (силициты), на некоторых площадях они частично или полностью карбонатизированы. Выявлено, что умеренно кремнистые и существенно углеродистые породы (силициты керогеновые и микститы кероген-глинисто-кремнистые) характерны главным образом для средней части свиты в Юго-Восточном и Центральном районах. В Северном районе кремнистые и карбонатные породы являются маломощными и практически не присутствуют в разрезах.

По характеру распространения, составу и мощностям потенциальных коллекторов Центральный район может рассматриваться как высокоперспективный в плане разработки БС на УВ сырье, Юго-Восточный – среднеперспективный, Северный и Южный – низкоперспективные.

Дальнейшие исследования по привязке литологической информации к временным этапам позволят уточнить палеогеографию Западно-Сибирского осадочного бассейна в волжско-рязанское время.

Авторы выражают особую признательность Л. Г. Вакуленко за ценные советы по структуре и содержанию работы. Лабораторные геохимические исследования и пробоподготовка проводились в ИГМ СО РАН Н. Г. Кармановой и А. В. Николаевой, большая работа по подготовке графических иллюстраций осуществлена Е. Х. Никифорова (ИНГГ СО РАН).

Работа выполнена при поддержке проектов FMMG-2023-0008, FWZZ-2022-0007, FWZZ-2022-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Временное** методическое руководство по подсчету запасов нефти в трещинных трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Недропользование XXI век. – 2017. – № 4. – С. 68–101.

2. **Калмыков Г. А., Балушкина Н. С.** Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала. – М.: ГЕОС, 2017. – 246 с.

3. **Классификация** пород баженовской свиты / А. Э. Конторович, П. А. Ян, А. Г. Замирайлова и др. // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 11. – С. 2034–2043.

4. **Литостратиграфия** и обстановки седиментации баженовской свиты (Западная Сибирь) в центральном, юго-восточном и северном районах ее распространения / В. Г. Эдер, С. В. Рыжкова, О. С. Дзюба, А. Г. Замирайлова // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2022. – Т. 30, № 5. – С. 46–74.

5. **Немова В. Д., Панченко И. В.** Факторы продуктивности баженовского горизонта во Фроловской мегавпадине // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2017. – Т. 12, № 4. – URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/46_2017.

6. **О генезисе** карбонатов в составе баженовской свиты центральных и юго-восточных районов Западно-Сибирской плиты / Е. А. Предтеченская, Л. А. Кроль, Ф. Г. Гурари и др. // Литосфера. – 2006. – № 4. – С. 131–148.

7. **Петрофизическая модель** баженовской свиты Приобского месторождения «Роснефти» / Д. В. Федорова, А. А. Астафьев, О. В. Надеждин, И. Д. Латыпов // Neftegaz.RU. – 2020. – № 6. – С. 76–85.

8. **Распределение** органического вещества в породах баженовского горизонта (Западная Сибирь) / А. Э. Конторович, Е. В. Пономарева, Л. М. Бурштейн и др. // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 3. – С. 357–371.

9. **Строение** и генерационный потенциал баженовской свиты на территории центральной части Западной Сибири / В. А. Волков, Е. В. Олейник, Е. Е. Оксенойд, А. А. Сидоров // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2019. – № 3(27). – С. 79–98.

10. **Условия** формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты / Ф. Г. Гурари, Э. Я. Вайц, В. Н. Меленевский и др. – М.: Недра, 1988. – 199 с.

11. **Ушатинский И. Н.** Литология и перспективы нефтеносности юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири // Советская геология. – 1981. – № 2. – С. 11–22.

12. **Филина С. И., Корж М. В. Зонн М. С.** Палеогеография и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. – М.: Наука, 1984. – 35 с.

13. **Характеристика** продуктивного интервала баженовской свиты в юго-восточных районах Западной Сибири (на примере Западно-Квензерской площади) / С. В. Рыжкова, А. Г. Замирайлова, Е. А. Костырева и др. // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2022. – Т. 17, № 4. – URL: http://www.ngtp.ru/rub/2022/34_2022.html.

14. **Эдер В. Г., Замирайлова А. Г., Калмыков Г. А.** Свидетельства образования карбонатных пород на геохимических барьерах в черных сланцах на примере баженовской свиты Западной Сибири // Георесурсы. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 2–10.

15. **Эдер В. Г., Замирайлова А. Г., Ян П. А.** Закономерности распространения кремнистых пород

и «кокколитовой» пачки баженовской свиты // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 3–4. – С. 511–521.

REFERENCES

1. *Vremennoye metodicheskoye rukovodstvo po podschetu zapasov nefi v treshchinnykh i treshchinno-porovykh kollektorakh v otlozheniyakh bazhenovskoy tolshchi Zapadno-Sibirskoy neftegazonosnoy provintsii* [Temporary methodological guide for the calculation of oil reserves in fractured and fractured-pore reservoirs in the sediments of the Bazhenov strata of the West Siberian oil and gas province]. *Nedropolzovaniye XXI vek – Subsoil Use of the 21st century*, 2017, no. 4, pp. 68–101. (In Russ.).
2. Kalmykov G.A., Balushkina N.S. *Model nefte-nasyschennosti porovogo prostranstva porod bazhenovskoy svity Zapadnoy Sibiri i ee ispolzovaniye dlya otsenki resursnogo potentsiala* [Model of hydrocarbon saturation of the Bazhenov Formation rocks pore space in West Siberia and its use in assessing the resource potential]. Moscow, GEOS Publ., 2017. 246 p. (In Russ.).
3. Kontorovich A.E., Yan P.A., Zamirailova A.G., et al. Classification of rocks of the Bazhenov Formation. *Russian Geology and Geophysics*, 2016, vol. 57, no. 11, pp. 1606–1612.
4. Eder V.G., Ryzhkova S.V., Dzyuba O.S., Zamirailova A.G. [Lithostratigraphy and sedimentation conditions of the Bazhenov Formation (Western Siberia) in the Central, Southeastern, and Northern regions of its occurrence]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya – Stratigraphy and Geological Correlation*, 2022, vol. 30, no. 5, pp. 46–74. (In Russ.).
5. Nemova V.D., Panchenko I.V. [The productivity factors of Bazhenov Formation in Frolov megadepression (Western Siberia)]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika – Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies*, 2017, vol. 12, no. 4. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/46_2017.pdf. (In Russ.).
6. Predtechenskaya E.A., Krol L.A., Gurari F.G., et al. [On genesis of the carbonates within Bazhenov Suite in central and south-eastern regions of West-Siberian Plate]. *Litosfera – Lithosphere (Russia)*, 2006, no. 4, pp. 131–148. (In Russ.).
7. Fedorova D.V., Astafyev A.A., Nadezhdin O.V., Latypov I.D. [Petrophysical model of the Bazhenov Formation of the Priobskoye field of Rosneft]. *Neftegaz. RU.*, 2020, no. 6, pp. 76–85. (In Russ.).
8. Kontorovich A.E., Ponomareva E.V., Burshstein L.M., et al. Distribution of organic matter in rocks of the Bazhenov Horizon (West Siberia). *Russian Geology and Geophysics*, 2018, vol. 59, no. 3, pp. 285–298.
9. Volkov V.A., Oleynik E.V., Oksenoyd E.E., Sidorov A.A. [The structure and source potential of the Bazhenov Formation in the central part of West Siberia]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2016, no. 3, pp. 79–98. (In Russ.).
10. Gurari F.G., Vayts E.Ya., Melenevskiy V.N., et al. *Usloviya formirovaniya i metodika poiskov zalezhey nefi v argillitakh Bazhenovskoy svity* [Conditions of formation and methods of searching for oil deposits in mudstones of the Bazhenov Formation]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 199 p. (In Russ.).
11. Ushatinskiy I.N. [Lithology and oil potential of Jurassic–Neocomian bituminous deposits of West Siberia]. *Sovetskaya geologiya*, 1981, no. 2, pp. 11–22. (In Russ.).
12. Filina S.I., Korzh M.V., Zonn M.S. *Paleogeografiya i neftenosnost bazhenovskoy svity Zapadnoy Sibiri* [Paleogeography and oil potential of the Bazhenov Formation of West Siberia]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 35 p. (In Russ.).
13. Ryzhkova S.V., Zamirailova A.G., Kostyreva E.A., et al. [Characterization of Bazhenov Formation productive interval: A case study of West Kvenzer area, south-eastern Western Siberia]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika – Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies*, 2022, vol. 17, no. 4. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2022/34_2022.html. (In Russ.).
14. Eder V.G., Zamirailova A.G., Kalmykov G.A. [Evidence of carbonate rocks formation on geochemical barriers in black shale on the example of the Bazhenov Formation of the Western Siberia]. *Georesursy – Geo-resources*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 2–10. (In Russ.).
15. Eder V.G., Zamirailova A.G., Yan P.A. The regularities of the distribution of siliceous mudstones and “coccolith” member of the Bazhenov Formation. *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 3–4, pp. 416–424. (In Russ.).

© В. Г. Эдер, В. В. Лапковский,
А. Г. Замирайлова, С. В. Рыжкова, 2023