

УДК 552.143(47056:47043):551.734

В.А. Жемчугова¹, О.М. Мятчин²

СРЕДНЕДЕВОНСКИЕ РЕЗЕРВУАРЫ НЕФТИ И ГАЗА НА ЮГЕ БУЗУЛУКСКОЙ ВПАДИНЫ: ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, НЕФТЕГАЗОНОСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Значительная часть начальных суммарных ресурсов Бузулукской впадины сосредоточена в среднедевонском комплексе ее южных районов. Комплексный анализ результатов макро- и микроскопических исследований ядра, интерпретации данных ГИС и сейсморазведки позволил разработать седиментационно-емкостные модели среднедевонских отложений, что стало основанием для прогноза в них природных резервуаров, способных содержать нефтяные и газовые скопления.

Ключевые слова: южное погружение Бузулукской впадины, мелководно-морские обстановки осадконакопления, эйфельский век, живетский век, коллектор, седиментационно-емкостная модель.

Significant part of initial resources of the Buzuluk Depression is concentrated within Middle Devonian complex of its southern regions. Complex analysis of the results of macro- and microscopic core studies, seismic and well logging data made the development of the depositional reservoir models of Middle Devonian possible. These models became the reasons for prediction of oil and gas reservoirs.

Keywords: southern plunge of Buzuluk Depression, shallow marine depositional environments, Eifelian, Givetian, reservoirs, depositional reservoir model.

Введение. Состояние нефтегазовой отрасли Среднего Поволжья, обладающего развитой добывающей промышленностью, характеризуется последовательным истощением разведанных запасов углеводородного сырья. Эта ситуация требует вовлечения в сферу поисковых интересов новых объектов, к числу которых относятся сложностроенные девонские резервуары нефти и газа на юге Бузулукской впадины. Экономическая привлекательность освоения запасов, приуроченных к этим резервуарам, определяется их положением в районах с развитой инфраструктурой, а также близостью к имеющимся нефтепроводам. Несмотря на то что рассматриваемая территория является одним из старейших регионов нефтегазодобычи, перспективы поиска скоплений нефти и газа в девонских отложениях оцениваются высоко. Большинство авторов сходятся во мнении, что самая значительная часть ($\geq 50\%$) начальных суммарных ресурсов (НСР) Бузулукской впадины сосредоточена в среднедевонском комплексе в ее южных районах; при этом степень освоения этих НСР не превышает 45% [Кутеев, Савинкова, 2011]. Такая ситуация определяет актуальность исследований, конечная цель которых — прогноз основных поисковых объектов, обоснование их строения и возможной нефтегазоносности.

Общие сведения. В тектоническом плане изучаемый район представляет собой южное по-

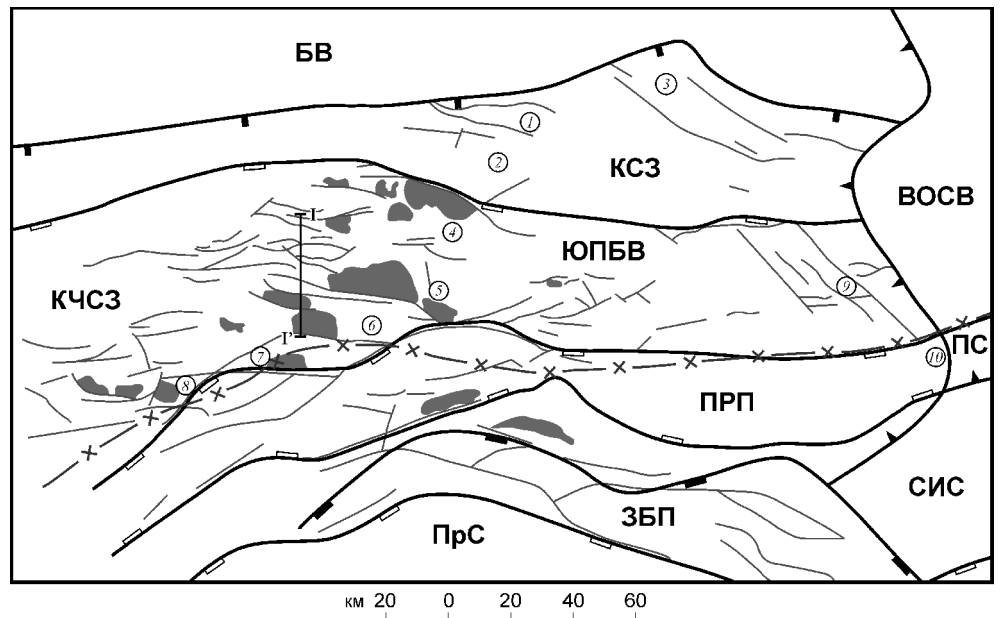
гружение Бузулукской впадины (ЮПБВ), протягивающееся в широтном направлении более чем на 250 км при ширине около 120 км. По кровле отложений среднего девона (рис. 1) в структуре ЮПБВ выделяется несколько субширотных зон [Макарова, 1999], разделенных, как правило, тектоническими нарушениями разной амплитуды — от 50 м на севере до 500 м на юге, протягивающимися от фундамента до верхнедевонских. В начале позднего девона эти блоки испытали неравномерный подъем, благодаря чему поверхности девонских горизонтов внутри каждого блока имеют моноклиальное залегание (рис. 2). Основные месторождения нефти и газа в их пределах приурочены к приподнятым частям блоков.

Среднедевонские отложения представляют собой крупный поисковый объект, с которым связаны значительные ресурсы углеводородного сырья не только ЮПБВ, но и всей Бузулукской впадины. Промышленной продуктивностью здесь обладают карбонатные породы бийского (пласт D_{VI}), клинцовского и мосоловского (пласт D_V) горизонтов, а также песчаники воробьевского (пласт D_{IV}) и ардатовского (пласт D_{III}) горизонтов. Они содержат газоконденсатные и нефтяные залежи на Зайкинско-Зоринском, Сахаровском, Гаршинском, Росташинском, Конновском, Северо-Флеровском и других месторождениях ЮПБВ.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, профессор, докт. геол.-минерал. н.; e-mail: zem@gds.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, аспирант; e-mail: oleg.myatchin@mail.ru

Рис. 1. Тектоническая схема южного погружения Бузулукской впадины, по [Макарова, 1999], с изменениями: 1–3 — границы современных тектонических элементов 1-го порядка: 1 — Бузулукская впадина (БВ), Восточно-Оренбургский сводовый выступ (ВОСВ), Соль-Илецкий свод (СИС), 2 — южное погружение Бузулукской впадины (ЮПБВ), 3 — Прикаспийская синеклиза (ПрС) — нижепермский бортовой уступ; 4–5 — границы тектонических элементов нижегерцинского структурного этажа: 4 — Крутоярская структурная зона (КСЗ), Камелик-Чаганская структурная зона (КЧСЗ), Перелюбско-Рубежинский прогиб (ПРП), зона блоковых поднятий (ЗБП), 5 — северная граница Рубежинского палеопрогиба; 6 — ступени Крутоярской и Камелик-Чаганской структурных зон (цифры в кружках — 1 — Крутоярско-Матюнинская, 2 — Швейцарская, 3 — Тощая, 4 — Гаршинско-Ефимовская, 5 — Конновско-Росташинская, 6 — Зоринско-Зайкинская, 7 — Вишнево-Мирошкинская, 8 — Разумовско-Приграничная, 9 — Загорско-Лебяжинская, 10 — Жоховско-Рыбкинская); 7 — разломы в терригенном девонском комплексе; 8 — месторождения нефти и газа в терригенном девонском комплексе; 9 — линия сейсмогеологического профиля



8 — месторождения нефти и газа в терригенном девонском комплексе; 9 — линия сейсмогеологического профиля

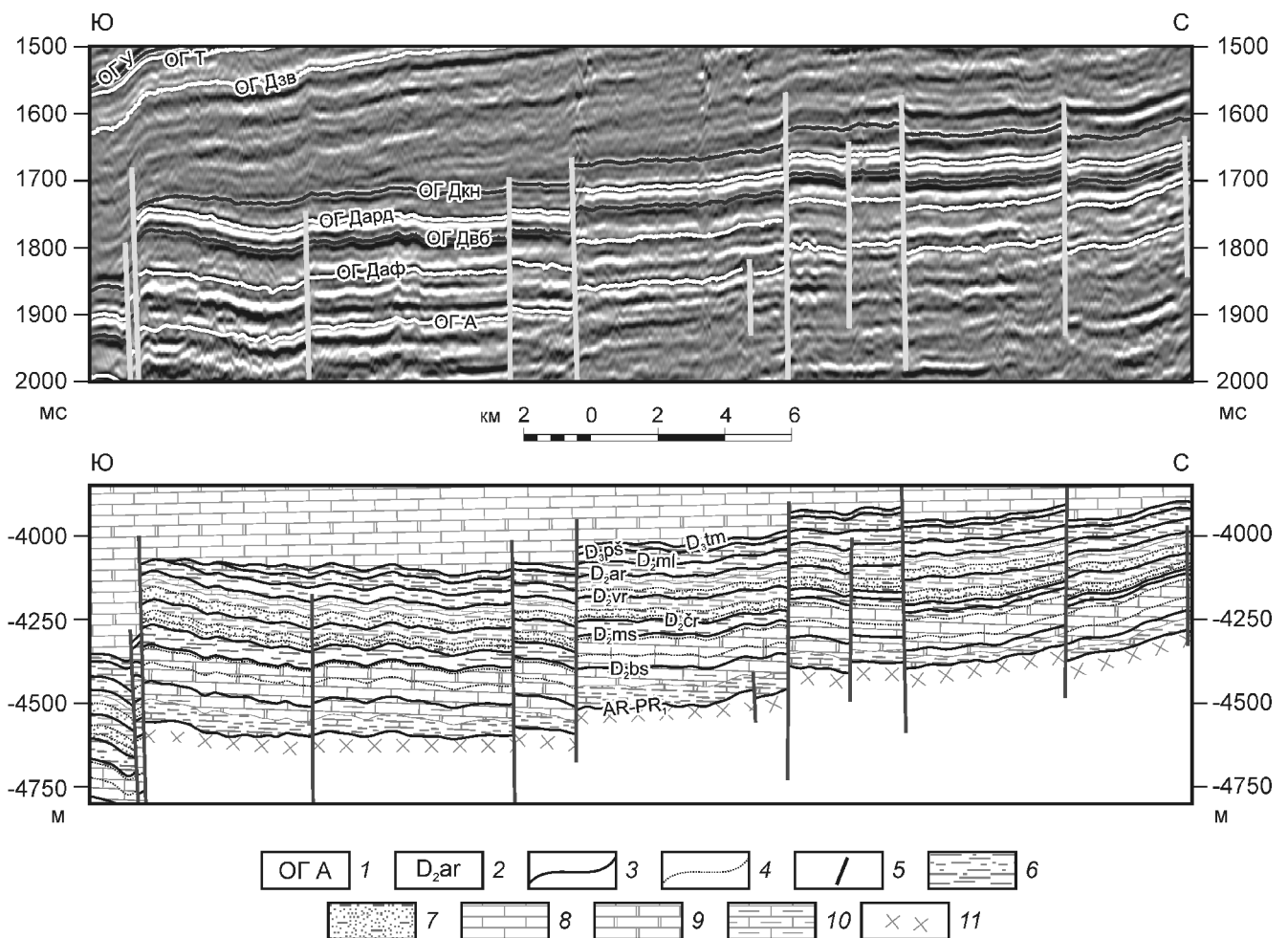


Рис. 2. Сейсмогеологический разрез Камелик-Чаганской структурной зоны: 1–2 — индексы: 1 — отражающих горизонтов, 2 — стратиграфических подразделений; 3–4 — границы: 3 — стратиграфические, 4 — продуктивных пластов; 5 — разрывные нарушения; 6 — аргиллиты; 7 — песчаники с прослоями алевролитов; 8 — известняки; 9 — доломиты; 10 — глинистые известняки; 11 — кристаллические породы фундамента

Условия образования среднедевонских отложений. Основная причина дифференциации природных резервуаров по свойствам и относительному качеству слагающих их коллекторов и покрышек — условия их образования. Поэтому разработка седиментационных моделей резервуаров составляет одну из первоочередных задач, от решения которой зависит достоверность выполняемого прогноза. С этой целью был выполнен детальный литолого-фациальный анализ среднедевонских отложений, базирующийся на комплексе методик, разработанных как отечественными [Тимофеев, 1969; Муромцев, 1984; Ильин, Фортунатова, 1988], так и зарубежными [Рейнек, Сингх, 1981; Селли, 1989; Уилсон, 1980; Sandstone..., 1982] исследователями. Анализ геолого-геофизической информации, изучение керн рядов скважин, целенаправленная седиментационная интерпретация данных геофизических исследований скважин (ГИС) и материалов сейсморазведочных работ позволили реконструировать условия образования среднедевонских резервуаров, во многом контролируемые их свойствами и нефтегазоносный потенциал.

Начало среднего девона ознаменовалось крупной трансгрессией, обусловленной, вероятно, активным прогибанием Прикаспийской впадины. Особенности распространения нижнедевонских и более молодых эйфельских отложений однозначно указывают на расширение морского бассейна с юга на север. Нижнеэйфельский разрез характеризуется в целом сходством слагающих его известняков и доломитов, что свидетельствует о широком развитии в бийское время мелководно-шельфовых обстановок осадконакопления. Обилие нормальноморской фауны (кораллы, мшанки, криноидеи) позволяет предполагать существование в рассматриваемом регионе открытого мелководного бассейна, в пределах которого господствовали шельфовые равнины. На приподнятых участках морского дна в это время росли маломощные биогермные постройки, сформированные строматопороидеями и микробиальными сообществами.

Углубление акватории приходится на начало клинцовско-мосоловского времени. В разрезах оно отражено в увеличении доли микритовых и глинистых известняков. Однако большую часть времени изучаемая территория представляла собой область мелководного осадконакопления, в пределах которой господствовала биокластовая и пелоидно-биокластовая седиментация. Многочисленные колонии кораллов и строматопороидей формировали небольшие биостромы, реже биогермы, наследующие топографические поднятия. Лишь на территории Перелюбско-Рубежинского прогиба установились достаточно глубоководные условия, определившие накопление значительных по мощности толщ микритовых известняков с кониконхиями и радиоляриями, в различной сте-

пени обогащенных глинистым и битуминозным материалом.

Перекрывающие отложения черноморского горизонта, сложенные неравномерно чередующимися аргиллитами, алевролитами и реже известняками, отвечают, вероятно, новому обмелению акватории. Небольшая мощность горизонта и преобладание в его составе черных плитчатых аргиллитов с прослоями пелитоморфных (иногда с редкими раковинами брахиопод) известняков позволяет предполагать, что причиной смены карбонатной седиментации обломочной послужил вынос в морской бассейн глинистой примеси, губительно сказавшийся на развитии известьсекретирующих организмов.

Началу живетского века отвечает перерыв в осадконакоплении, в результате которого часть черноморского горизонта была уничтожена; особенно активно этот процесс протекал на участках, более мелководных, чем Бузулукская впадина.

Новое повышение уровня моря пришлось на начало воробьевского времени, но условия для обломочного осадконакопления на большей части морского бассейна сохранились. В первую очередь алевропесчаные осадки, выделяемые как пласт D_{IV}^2 , заполнили неровности предворобьевского рельефа, в результате чего этот пласт имеет очень изменчивую толщину и литологический состав. Вышележащему пласту D_{IV}^1 свойственно более стабильное распространение. Он имеет двучленное строение — в нижней части преобладают интенсивно биотурбированные глинистые алевролиты (ихнофагия *Skolithos*), вверх по разрезу их сменяют песчаники с небольшими алевроглинистыми прослоями. Размерность зерен песчаников в целом уменьшается вверх по разрезу пласта от средне- и крупнозернистых до мелкозернистых; в подошве и средней части пласта встречаются прослои с зернами гравийной размерности. Для этой части разреза характерна горизонтальная, линзовидно-волнистая слоистость, подчеркнутая распределением углито-глинистого материала; песчаные прослои, как правило, обладают массивной текстурой. Эти особенности строения пласта D_{IV}^1 позволяют предполагать, что его формирование связано с приливно-отливной равниной и прилегающей частью мелководной сублиторали, мигрировавшими по мере изменения глубины акватории в результате флуктуаций относительного уровня моря.

В начале средневоробьевского времени в результате уменьшения сноса в морской бассейн обломочного материала терригенная седиментация сменилась карбонатной, что привело к накоплению 15–20-метровой пачки биокластовых полидетритовых известняков (с обломками колоний кораллов и строматопороидей, члеников криноидей, раковин брахиопод), выделяемой как «шкаповский известняк». Эта пачка имеет повсеместное рас-

пространение и играет роль седиментационного и каротажного репера при корреляции среднедевонских разрезов Бузулукской впадины.

В начале поздневоробьевского времени обломочная седиментация возобновилась, что обеспечило накопление на изучаемой территории алевроглинистых отложений с преобладанием глинистой составляющей.

На рубеж воробьевского и ардатовского времен приходится обмеление акватории, что отразилось в накоплении осадков, формирующих продуктивные песчаники и их положение в структуре пластов D_{III}^2 и D_{III}^1 . Входящие в их состав песчаники тонкозернистые, алевролитистые, до алевролитов, с линзовидно-волнистой слоистостью, подчеркнут-

той тонкими глинистыми слойками, интенсивно биотурбированные, в них широко развиты ходы зарывающихся организмов.

Вещественный состав и структурно-текстурные признаки отложений позволяют предположить, что в это время на изучаемой территории преобладали сублиторальные обстановки осадконакопления. Существенная доля в разрезе пластов алевроглинистых разностей, ограниченное распространение по вертикали и по латерали сортированных песчаников и их положение в структуре пластов D_{III}^2 и D_{III}^1 , присутствие ихнофаций *Cruziana*, все это свидетельствует о низкой гидродинамической активности раннеардатовского морского бассейна

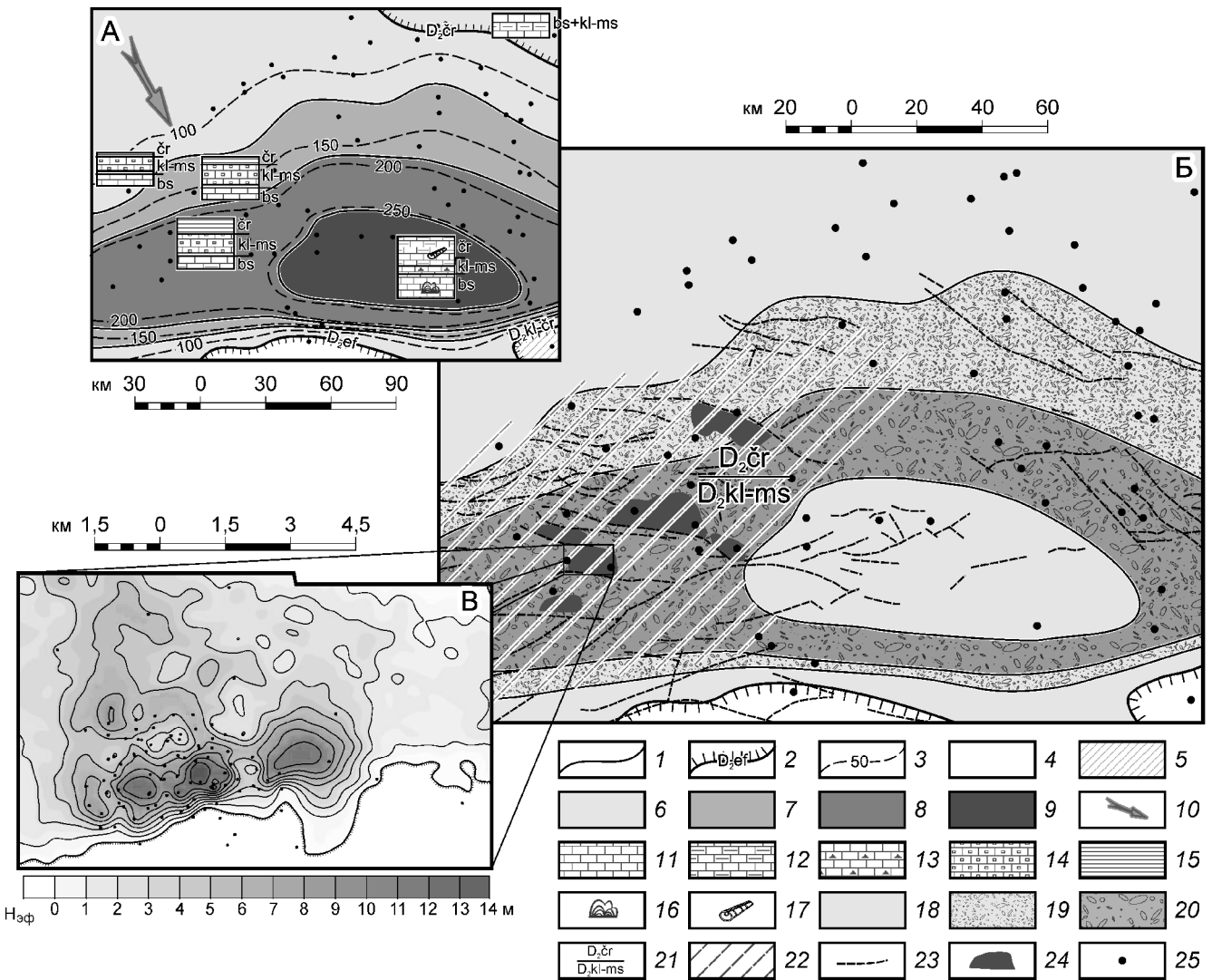


Рис. 3. Характеристика резервуаров эйфельского яруса: А — схема литолого-фациального районирования, Б — схема распределения коллекторов и покрышек, В — фрагмент карты эффективных толщин: 1–2 — границы: 1 — зоны преобладающего развития отложений (А) и зоны развития коллекторов разного качества (Б), 2 — зоны отсутствия отложений (индексом показан возраст); 3 — изопахиты, м; 4 — зоны отсутствия эйфельских отложений (на схеме А) и зоны отсутствия коллекторов (на схеме Б); 5–9 — зоны преобладающего развития отложений: 5 — карбонатные отмели, 6 — прибрежные равнины и мелководный шельф, 7 — мелководный шельф, 8 — мелководный шельф и склон впадины на мелководном шельфе, 9 — впадины на мелководном шельфе; 10 — основные направления сноса обломочного материала; 11–17 — состав отложений в эталонных разрезах скважин: 11 — микритовые известняки, 12 — глинистые известняки, 13 — битуминозные известняки, 14 — биокластовые известняки, 15 — аргиллиты, 16 — органогенные постройки, 17 — кониконхии; 18–20 — области развития карбонатных коллекторов с качеством: 18 — низким, 19 — средним, 20 — высоким; 21 — стратиграфическая приуроченность коллекторов (под чертой) и покрышек (над чертой); 22 — область распространения покрышек; 23 — основные тектонические нарушения; 24 — крупные месторождения; 25 — скважины глубокого бурения

на рассматриваемом участке. Осадконакопление в это время происходило главным образом в условиях переходной зоны, куда с берегового склона периодически выносился песчаный материал. Наиболее сильно опесчанены разрезы в западной части изучаемой территории, что связано с масштабным сносом обломочного материала с Южно-Татарского свода.

Последовательное повышение уровня моря и вызванное этим углубление акватории к концу ардатовского времени обеспечили смену преобладающей алевроглинистой седиментации карбонатной. Однако уже в муллинское время произошел новый этап заиления мелководного бассейна, обусловленного масштабным привносом глини-

стой и пелитоморфной карбонатной примеси, что привело к резкому сокращению областей карбонатного осадконакопления. Вероятно, часть этого материала сносилась с островной суши, существовавшей на древнем Соль-Илецком поднятии, поскольку к концу живетского века площадь этой суши значительно увеличилась, поглотив участки карбонатных отмелей на юго-востоке Бузулукской впадины.

Характеристика коллекторов и флюидоупоров.

Особенности развития среднедевонского морского бассейна и положение рассматриваемого участка на профиле седиментации во многом контролируют геометрию, структуру и свойства природных резервуаров, развитых в среднедевонских породах.

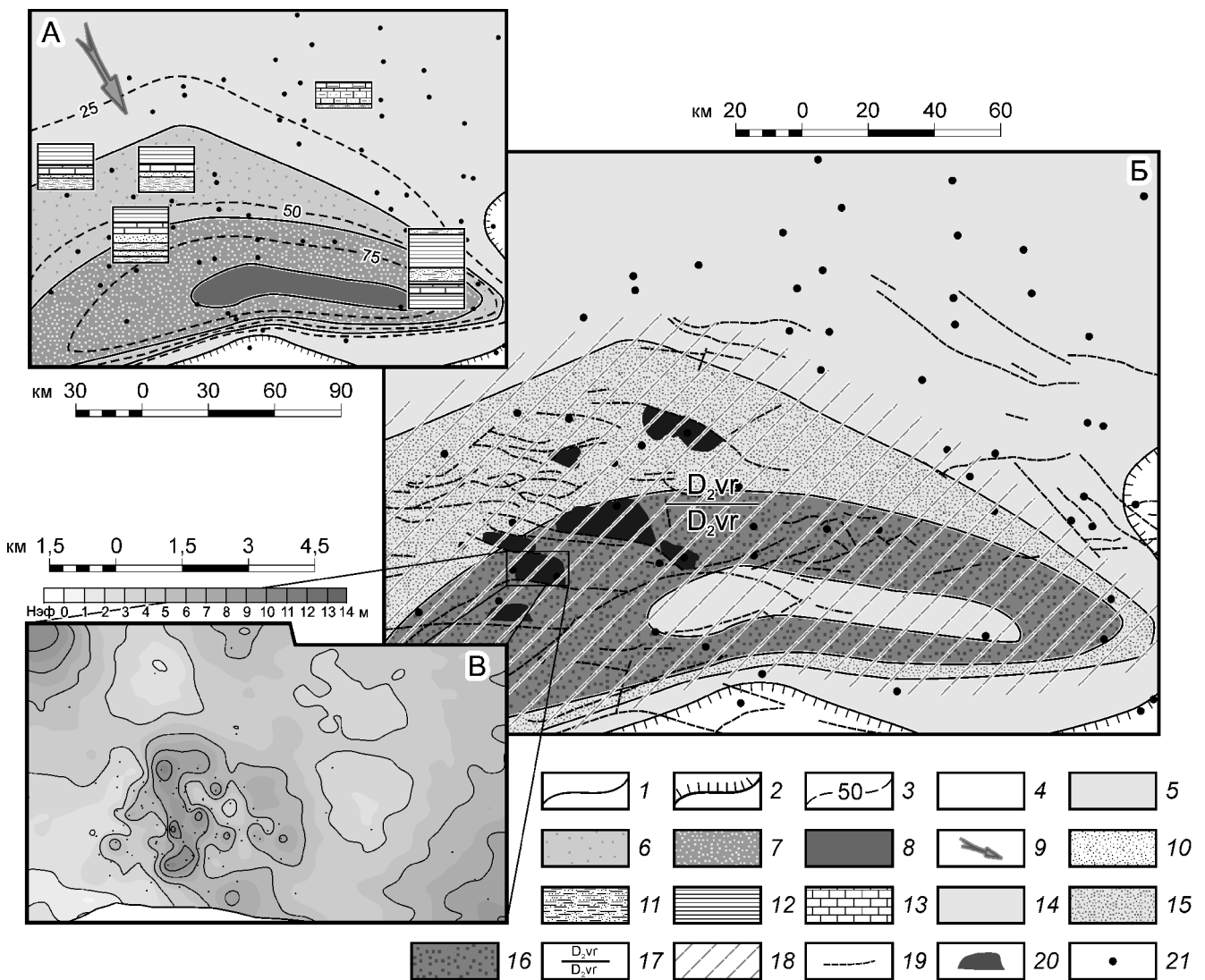


Рис. 4. Характеристика резервуаров воробьевского горизонта живетского яруса: А — схема литолого-фациального районирования, Б — схема распределения коллекторов и покрышек, В — фрагмент карты эффективных толщин: 1–2 — границы: 1 — зоны преобладающего развития отложений (А), зоны развития коллекторов различного качества (Б), 2 — зоны отсутствия отложений; 3 — изопахиты, м; 4 — области отсутствия воробьевских отложений (А) и зоны отсутствия коллекторов (Б); 5–8 — зоны преобладающего развития отложений: 5 — прибрежные равнины, 6 — мелководный шельф, 7 — склон впадины на мелководном шельфе, 8 — впадины на мелководном шельфе; 9 — основные направления сноса обломочного материала; 10–13 — состав отложений в эталонных разрезах скважин: 10 — песчаники, 11 — алевропесчаные породы, 12 — аргиллиты, 13 — известняки. На схеме Б: 14–16 — области развития терригенных коллекторов с относительным качеством: 14 — низким, 15 — средним, 16 — высоким; 17 — стратиграфическая приуроченность коллекторов (под чертой) и покрышек (над чертой); 18 — область распространения покрышек; 19 — основные тектонические нарушения; 20 — крупные месторождения; 21 — скважины глубокого бурения

Для определения относительного качества коллекторов и покрышек природного резервуара использован набор параметров, наиболее значимых для его аккумулирующих и экранирующих свойств. Для коллекторов это значения коэффициентов открытой пористости ($K_{п}$) и газопроницаемости ($K_{пр}$), суммарной эффективной толщины ($H_{эф}$), данные гидродинамических исследований в скважинах, доленое участие в разрезе фаций с высоким емкостным потенциалом; для покрышек — минералогический состав, мощность пласта, коэффициент однородности [Жемчугова, 2014].

Для отложений бийского горизонта природные резервуары не характерны, хотя высоко- и средне-

емкие коллекторы встречаются достаточно часто. Это связано главным образом с низкими экранирующими свойствами клинцовско-мосоловских известняков и доломитов, перекрывающих коллекторы. Развитые в их разрезе пласты группы D_v , хотя и обладают несколько более низкими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС), вместе с черныярскими глинами и глинистыми известняками формируют резервуары, способные аккумулировать углеводороды (УВ). Наиболее благоприятные соотношения коллекторов и покрышек установлены в южной части изучаемой территории, в области увеличенной толщины черныярского горизонта (рис. 3).

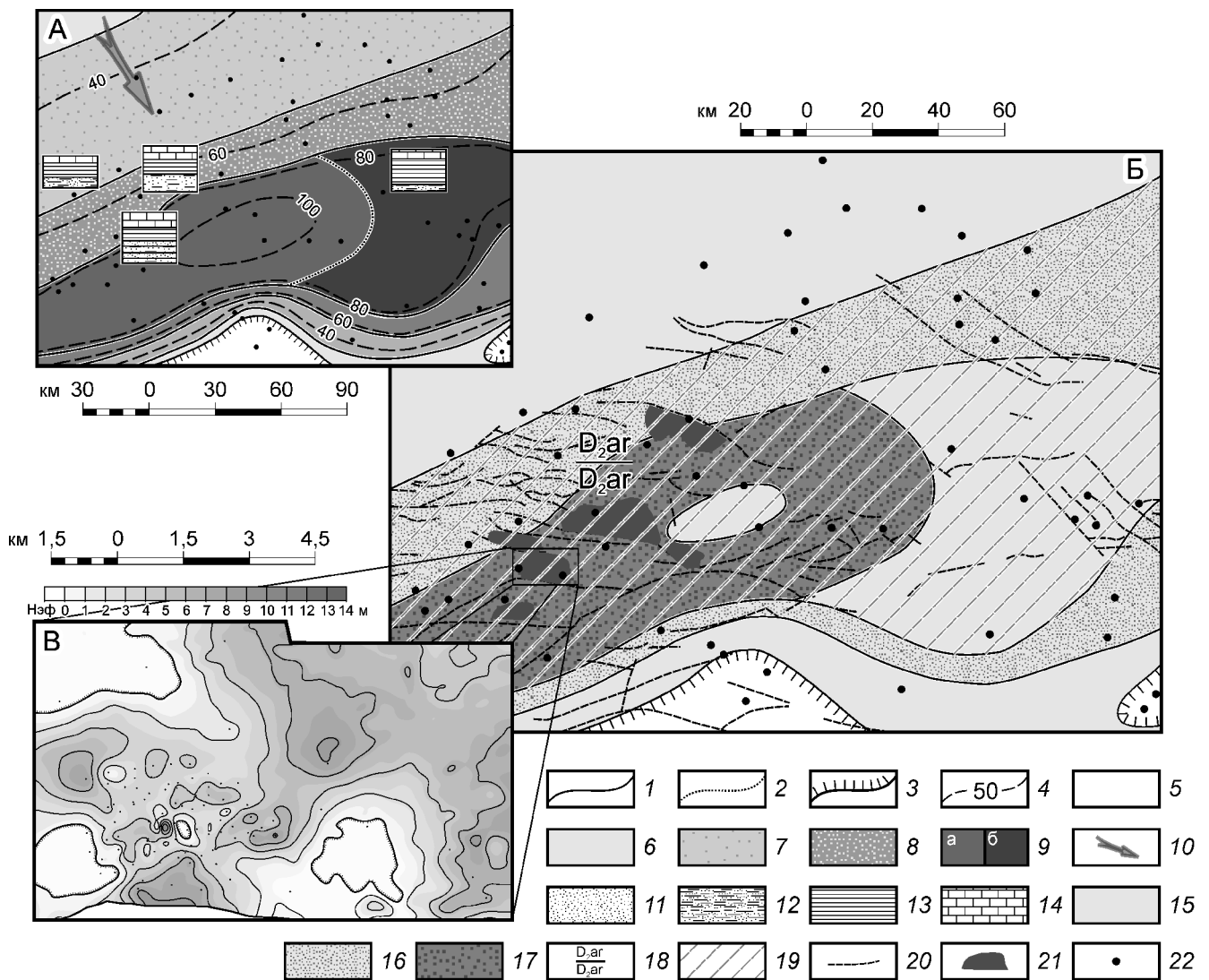


Рис. 5. Характеристика резервуаров ардатовского горизонта живецкого яруса: А — схема литолого-фациального районирования, Б — схема распределения коллекторов и покрышек, В — фрагмент карты эффективных толщин полигона сейсмической съемки: 1–3 — границы: 1 — зоны преобладающего развития отложений (А), зоны развития коллекторов различного качества (Б), 2 — подзоны преобладающего развития отложений, 3 — зоны отсутствия отложений. На схеме А: 4 — изопахиты, м; 5 — области отсутствия ардатовских отложений (на схеме А) и зоны отсутствия коллекторов (на схеме Б); 6–9 — зоны преобладающего развития отложений: 6 — прибрежные равнины, 7 — мелководный шельф, 8 — склон впадины на мелководном шельфе, 9 — впадины на мелководном шельфе (а — с обломочным осадконакоплением, б — с карбонатно-глинистым осадконакоплением); 10 — основные направления сноса обломочного материала; 11–14 — состав отложений в эталонных разрезах скважин: 11 — песчаники, 12 — алевропесчаные породы, 13 — аргиллиты, 14 — известняки; на схеме Б: 15–17 — области развития терригенных коллекторов с относительным качеством: 15 — низким, 16 — средним, 17 — высоким; 18 — стратиграфическая приуроченность коллекторов (под чертой) и покрышек (над чертой); 19 — область распространения покрышек; 20 — основные тектонические нарушения; 21 — крупные месторождения; 22 — скважины глубокого бурения

интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС) и сейсморазведки позволил разработать седиментационно-емкостные модели среднедевонских отложений, что стало основанием для прогноза в них природных резервуаров, спо-

собных содержать нефтяные и газовые скопления. Использование полученных выводов в практике геологоразведочных работ может повысить их эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Жемчугова В.А. Резервуарная седиментология карбонатных отложений. М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2014. 232 с.

Ильин В.Д., Фортунатова Н.К. Методы прогнозирования и поисков нефтегазоносных рифовых комплексов. М.: Недра, 1988. 199 с.

Кутеев Ю.М., Савинкова Л.Д. Состояние ресурсной базы углеводородов Оренбургской области // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. № 2. С. 2–6.

Макарова С.П. Геологическое строение нижне-среднедевонских отложений юго-востока Оренбургской области // Геология и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений Оренбургской области. Оренбург: Оренбургское кн. изд-во, 1999. С. 65–68.

Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел — литологических ловушек нефти и газа. Л.: Недра, 1984. 260 с.

Рейнек Г.Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенного осадконакопления. М.: Недра, 1981. 439 с.

Селли Р.Ч. Древние обстановки осадконакопления. М.: Недра, 1989. 294 с.

Тимофеев П.П. Геология и фации юрской угленосной формации Южной Сибири. М.: Наука, 1969. 457 с.

Уилсон Дж.Л. Карбонатные фации в геологической истории. М.: Недра, 1980. 463 с.

Sandstone depositional environments / Ed. by P.A. Scholle, D. Spearing. Tulsa, Oklahoma: AAPG, 1982. 410 p.

Поступила в редакцию
23.03.2015