

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПАЛЕОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ, В СВЯЗИ С УСЛОВИЯМИ НЕФТЕГАЗОНАКОПЛЕНИЯ, НА ТЕРРИТОРИИ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2018 г. **Н. В. Клычев, В. В. Гонтарев**
АО "Нижне-Волжский НИИ геологии и геофизики"

Клычев Николай Викторович e-mail: klych.nik@mail.ru
Гонтарев Владимир Владимирович gontarev@nvniigg.san.ru

Аннотация: в статье рассматриваются общие особенности гидрогеологического строения палеозойских отложений на территории Саратовской области, выделяются основные региональные водоупоры (покрышки), позволившие разделить палеозойскую толщу на четыре водоносных водонапорных комплекса: додевонско-среднедевонский (PR–D₂) (додомуллинский), верхнедевонско-нижневизейский (D₃–C₁v₁) (дотульский), алексинско-башкирский (C₁v₂al–C₂b) (доверейский), московско-филипповский (C₂m–P₁k fl) (докунгурский или добайосский). В каждом выделенном водоносном комплексе рассмотрены условия сохранения скоплений УВ (степень закрытости недр) по гидрохимическим параметрам, современные закономерности миграции УВ по гидродинамическим данным, а также латеральная зональная перспективность нефтегазонакопления по газовой составляющей подземных вод (прямого регионального показателя нефтегазоносности). Приведенная зональность гидрогеологических условий нефтегазонакопления хорошо согласуется с реальной нефтегазоносностью палеозойских отложений на рассматриваемой территории, что свидетельствует о ее эффективности при проведении региональных оценок и поисковых работ на нефть и газ.

Ключевые слова: гидрогеология, Саратовская область, палеозой, водоносный горизонт, водоупор, коллектор, гидродинамика, приведенное давление, направление потока, инфильтрационные воды, элизионные воды, пьезоминимум, пьезомаксимум, нефтегазонакопление, гидрохимия, минерализация, метаморфизация, сульфатность, закрытость недр, газонасыщенность, газовый фактор, зональный прогноз.

В соответствии с современными представлениями [2, 8, 9, 13] в разрезе литосферы выделяются три зоны, различающиеся интенсивностью водообмена, минерализацией и химическими типами вод.

1. *Зона активного водообмена.* К этой зоне относятся грунтовые, а также артезианские воды, вовлекаемые в активный водообмен и подземный сток. Подземные воды здесь перемещаются со значительными скоростями, движущей силой является

гидростатический напор. Зона находится в сфере дренажа гидрографической сети и воздействия климатических факторов.

2. *Зона затрудненного водообмена* представлена напорными пресными водами или водами с повышенной минерализацией переходного типа. В этой зоне значение дренажа уменьшается и проявляются только вековые климатические циклы. Скорости движения подземных вод здесь понижены,

возобновление ресурсов подземных вод происходит за десятки и сотни тысяч лет.

3. *Зона застойного водного режима* (относительного покоя) охватывает наиболее глубокие части разреза бассейна пластовых вод и характеризуется чрезвычайно низкими скоростями движения подземных вод – возобновление ресурсов происходит в масштабе геологического времени, то есть за миллионы лет. Движение подземных вод происходит как вследствие гидростатического напора, так и за счет других причин – геостатического давления и внутренних сил. В этой зоне распространены высокоминерализованные воды и рассолы.

Зона активного водообмена на территории Саратовской области отмечается до глубины 100 м на юге и востоке Заволжья и до 250 м на остальной территории. В этой зоне распространены пресные (до 1 г/л) и солоноватые (1–3 г/л) подземные воды, пригодные для питья и сельскохозяйственных нужд.

Зона затрудненного водообмена развита на глубинах от 100–250 до 1000 м. Здесь залегают солоноватые и соленые воды с минерализацией от 3 до 50 г/л и более, используемые для лечебных и технических целей.

На глубине более 1000 м залегают соленые воды и рассолы зоны застойного гидродинамического режима. К этой зоне приурочено подавляющее большинство месторождений УВ.

В гидрогеологическом плане территория Саратовской области находится на северо-западе Северо-Каспийского артезианского бассейна [1, 5, 10, 11], который располагается в юго-восточной части древней Восточно-Европейской платформы, ограниченной с юга молодой Скифской плитой. Основными областями инфильтрационного питания, определяющими границы бассейна, являются крупнейшие приподнятые геоструктуры: на западе – Воронежская антеклиза, на севере – Токмовский, Татарский

и Пермско-Башкирский своды, на северо-востоке и востоке, по мнению некоторых исследователей, – складчатые сооружения Урала и Мугоджар. Однако, видимо, правы авторы, считающие, что Урал, несмотря на имеющиеся здесь выходы палеозойских отложений на земную поверхность, не может быть основной областью питания для данного бассейна [1, 5, 9]. Главным препятствием движения инфильтрационных вод служит Предуральский прогиб, заполненный рассолами с почти предельной концентрацией минеральных веществ, образующими как бы гидравлический затвор на пути движения пресных вод. Локальное подпитывание некоторых комплексов водонапорной системы в северо-западной части бассейна происходит на участках неглубокого залегания и выходов на земную поверхность проницаемых отложений мезозойского и палеозойского возраста в пределах таких геоструктур, как Жигулёвский и Пугачёвский своды, Арчедино-Коробковский и Ртищевско-Баландинский валы, Саратовские дислокации и некоторых других.

В гидрогеологическом разрезе бассейна выделяются два обособленных гидрогеологических этажа: надсолевой (позднепермско-мезозойско-кайнозойский) и подсолевой (палеозойский), разделенные водоупорной соленосной толщей кунгурского яруса. В северо-западной части региона соленосная толща отсутствует, и роль регионально-го водоупора, разделяющего данные этажи, переходит толще плотных глин среднеюрского возраста, к которым на некоторых участках левобережья Волги прибавляются глинистые отложения нижнего триаса и верхней перми.

Следует отметить, что по верхнему гидрогеологическому этажу на рассматриваемой территории выделяются два более мелких артезианских бассейна: Сурско-Хопёрский и Прикаспийский. В этих бассейнах существуют самостоятельные области

питания и разгрузки подземных вод зоны активного водообмена. Основное движение подземных вод здесь осуществляется к главным базисам эрозии, которыми являются реки соответственно Хопёр и Сура или Волга, Большой и Малый Узени, а также Каспийское море [2].

Наибольшие перспективы нефтегазонасыщенности связываются в настоящее время с подсолевым (подбайоским) гидрогеологическим этажом [4–7, 10, 11]. Данный этаж представляет собой водонапорную систему, в строении которой важную роль играют региональные водоупоры (покрышки). В качестве таковых выделяются регионально развитые глинистые отложения муллинского, тульского, верейского и байосского возраста, а также соленосная кунгурская толща [5, 10].

Водоупоры позволяют выделить в составе подсолевого палеозойского гидрогеологического этажа четыре основных водоносных водонапорных комплекса: додевонско-среднедевонский (PR-D₂) (домуллинский); верхнедевонско-нижневизейский (D₃-C₁v₁) (дотульский), алексинско-башкирский (C₁v₂ al-C₂b) (доверейский), московско-филипповский (C₂m-P₁k fl) (докунгурский или добайосский).

Домуллинский водоносный комплекс включает водоносные горизонты, приуроченные к породам додевонского и среднедевонского возраста. Муллинские слои, отделяющие данный комплекс от вышележащего, представлены аргиллитами толщиной до 130 м. Локальные участки отсутствия муллинской покрышки, которые отмечаются на территории Клинцовской и Балаковской вершин Пугачёвского свода, а также на севере Степновского сложного вала, представляют собой гидравлические «окна», способствующие межпластовому перемещению флюидов. На остальной территории запада Северо-Каспийского бассейна муллинские аргиллиты распростра-

нены повсеместно и обладают высокими флюидоупорными свойствами.

Домуллинский комплекс сложен проницаемыми карбонатными и терригенными породами, с плохой сортировкой материала и резкой сменой литологического состава по разрезу и простиранию.

Значения коэффициентов пористости коллекторов колеблются от 6 до 25%, проницаемости соответственно от 10⁻¹⁵ до 10⁻¹² м².

Дотульский водоносный комплекс сложен преимущественно карбонатными породами франского, фаменского, турнейского ярусов и нижневизейского подъяруса. От вышележащего комплекса он отделяется регионально выдержанным пластом глинистых пород тульского горизонта толщиной 5–35 м. Основными породообразующими минералами тульских глин являются гидрослюды и монтмориллониты, обеспечивающие высокие флюидоупорные свойства данной покрышки. Отложения второго гидрогеологического комплекса прослеживаются повсеместно, но не везде представлены полным разрезом.

Девонские пласты-коллекторы представлены известняками разной степени глинистости со значениями пористости до 9,2% и проницаемости 0,8·10⁻¹⁵ м². Коллекторские свойства каменноугольных пород, как правило, выше (значения пористости достигают 13,9%, проницаемости 17,5·10⁻¹⁵ м²).

Доверейский водоносный комплекс сложен породами окско-серпуховско-башкирских отложений. От вышележащего он отделяется верейской покрышкой – толщей (до 70 м) малопроницаемых глинистых пород. Широкое развитие имеют и нижележащие глинистые верхнебашкирские отложения, усиливающие экранирующие свойства верейской покрышки.

Пласты-коллекторы третьего комплекса представлены карбонатными породами. Ограниченное распространение имеют пласты песчаников в алексинском горизонте

и верхнебашкирском подъярусе. Коллекторские свойства проницаемых пород комплекса характеризуются большим разнообразием. Пористость составляет 6–25%, проницаемость изменяется от 10^{-15} до 10^{-12} м². На склонах Воронежского свода западнее г. Балашова данный водоносный комплекс выклинивается.

Докунгурский (добайосский) водоносный комплекс сложен породами московского яруса среднего карбона, верхнего карбона и нижней перми. Проницаемые породы данного комплекса на локальных участках Пугачёвского и Жигулёвского сводов, а также Рязано-Саратовского прогиба (Жирновская, Ириновская, Тепловская структуры) выходят на земную поверхность или под плиоцен-четвертичный покров. Здесь осуществляется подпитывание комплекса инфильтрационными водами. На остальной части рассматриваемой территории комплекс имеет надежные водоупорные покровы. В северной, центральной и западной частях Саратовской области это плотные среднеюрские байосско-батские (J_2b-bt) глины суммарной толщиной 50–100 м. В южной и восточной частях области комплекс перекрыт соевым кунгурским водоупором (P_1k), толщина которого в зоне бортовых дислокаций Прикаспийской мегавпадины достигает 800–1200 м, а в центральных ее частях – нескольких километров.

В строении четвертого комплекса основное место занимают карбонатные и карбонатно-сульфатные отложения, пористость которых изменяется от первых единиц до 22%.

На западе Саратовской области данный комплекс, как и предыдущий, выклинивается, причем граница его распространения проходит на 50–65 км юго-восточнее.

Палеозойская водонапорная система Северо-Каспийского артезианского бассейна характеризуется существованием двух гидродинамических режимов – инфильтрационного и элизионного [7, 9, 10].

Источниками формирования напоров инфильтрационного генезиса являются области питания подземных вод, приуроченные к гипсометрически приподнятым тектоническим элементам, расположенным по периферии бассейна, от которых потоки пластовых вод под действием гравитационных сил двигаются в сторону Прикаспийской мегавпадины.

Источником формирования высоких элизионных напоров является центральная часть Прикаспийской мегавпадины, где седиментогенные воды в результате больших геостатических нагрузок отжимаются, обеспечивая потоки, направленные в сторону бортовых дислокаций и далее на север и запад. Центральную часть мегавпадины в связи с этим следует рассматривать как область питания элизионных вод. Вместе с элизионными потоками, видимо, осуществляется миграция УВ флюидов. На стыке элизионного и инфильтрационного потоков создается подвижное равновесие, контролирующее внешнюю (современную) границу зоны нефтегазоаккумуляции, связанного с миграцией УВ из Прикаспийской мегавпадины.

Движущиеся на северо-запад от Прикаспийской мегавпадины высокоминерализованные и метаморфизованные элизионные воды встречаются с движущимися в обратном направлении потоками инфильтрационных маломинерализованных вод и смешиваются между собой. На стыке потоков элизионные воды северо-западного потока разбавляются, а менее минерализованные и слабометаморфизованные инфильтрационные воды обогащаются минеральным веществом. Судя по сложной гидрохимической обстановке, существуют разнообразные гидродинамические условия. В одних случаях более благоприятные условия создаются для элизионного потока и высокоминерализованные воды относятся на значительные расстояния от границ При-

каспийской мегавпадины на север и северо-запад; в других – менее минерализованные воды в виде языков проникают к ее границам [10].

Во внутренней глубокопогруженной части Прикаспийской мегавпадины латеральные движения пластовых вод двух нижних комплексов палеозойского этажа на данный момент, видимо, практически отсутствуют. Об этом косвенно свидетельствуют аномально-высокие пластовые давления (АВПД), зафиксированные при испытаниях коллекторов этих водоносных комплексов. При этом коэффициенты аномальности ($K_a = P_{\text{пластовое}} / P_{\text{условно-гидростатическое}}$) достигают 1,5–2 и более. Ниже приводится зональная оценка гидрогеологических условий нефтегазонакопления в выделенных

палеозойских водоносных комплексах на основе региональных показателей, разработанных для территории Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (НГП) [1, 3, 6–10, 12, 13].

Додевонско-среднедевонский водоносный комплекс на территории Саратовской области является первым (снизу) и имеет повсеместное распространение (характеристика комплекса приводится на рисунках 1, 2). В данном комплексе залегают высокоминерализованные воды и рассолы хлоридно-кальциевого (по Сулину В. А.) типа [13]. По минерализации и генезису вод территория Саратовской области разделяется на три зоны: северо-западную, центральную и юго-восточную (рис. 1).

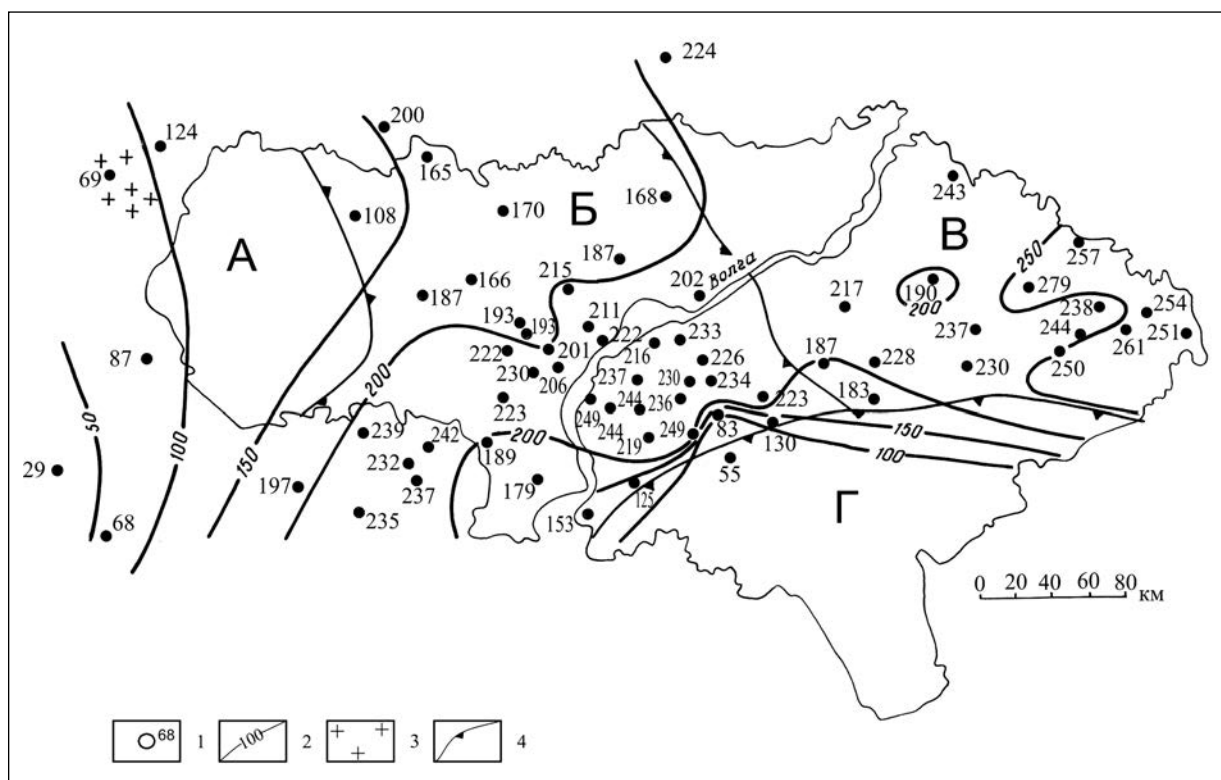


Рис. 1. Карта гидрохимии подземных вод додевонско-среднедевонского (домуллинского) водоносного комплекса на территории Саратовской области

1 – точка отбора пробы воды и ее минерализация, г/л; 2 – изоминера пластовой воды, г/л; 3 – участок развития сульфатных вод ($K_s = rSO_4 \cdot 100 / rCl > 1$); 4 – границы крупнейших тектонических элементов: А – Воронежская антиклизид, Б – Рязано-Саратовский прогиб, В – Волго-Уральская антеклизид, Г – Прикаспийская мегавпадина

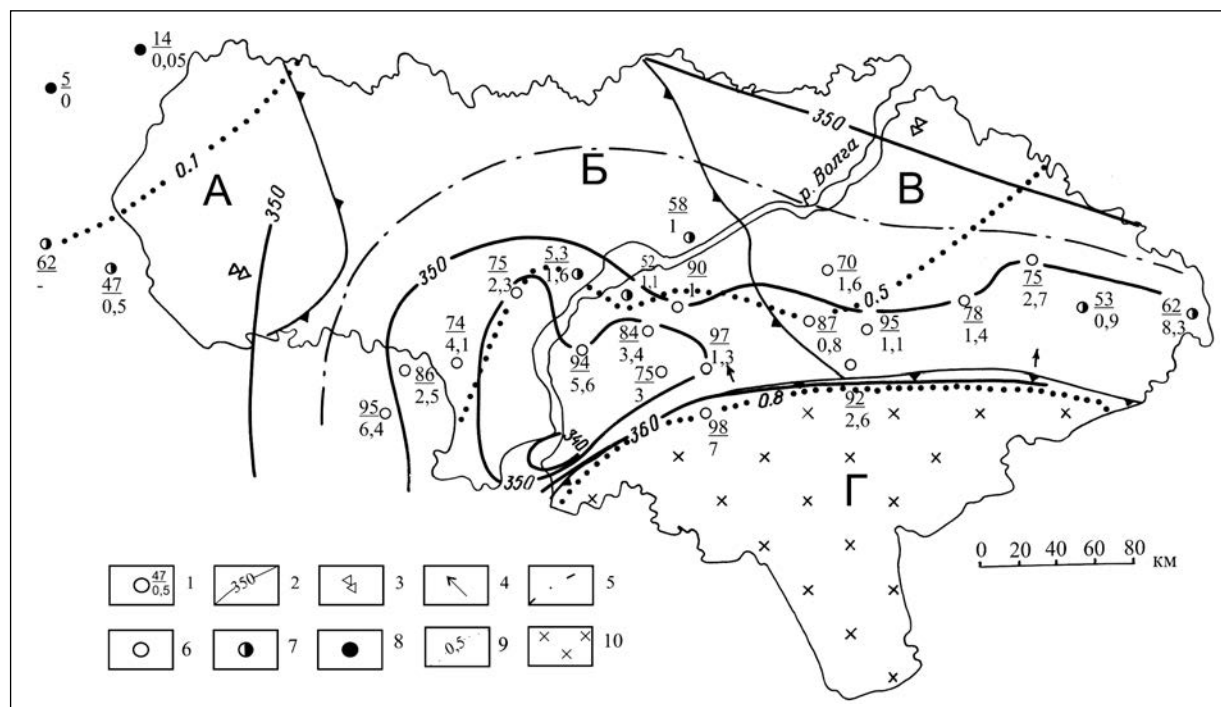


Рис. 2. Карта гидрогеологических условий нефтегазонакопления в додевонско-среднедевонском (домуллинском) водоносном комплексе на территории Саратовской области

1 – разведочная площадь: в числителе – сумма УВ в водно-растворенном газе в % по объему, в знаменателе – сумма тяжелых УВ ($C_2H_6 + v.$) в % по объему; 2 – гидроизопьеза приведенного пластового давления, кг/см²; 3 – направление инфильтрационного потока подземных вод; 4 – направление элизионного потока подземных вод; 5 – условная граница встречи разных потоков. Типы водно-растворенного газа: 6 – метановый, 7 – азотно-метановый, 8 – азотный; 9 – граница разной газонасыщенности подземных вод (P_g/P_v); 10 – зона распространения АВПД ($K_a > 1,2$). Остальные условные обозначения (рис. 1)

В первой зоне распространены смешанные седиментационно-инфильтрационные воды с минерализацией 100–200 г/л, которая закономерно увеличивается с запада на восток и юго-восток. Воды характеризуются средней степенью метаморфизации ($K_m = rCl-rNa/rMg$ составляет 2,5–4).

В центральной зоне, юго-восточнее линии разведочных площадей: Казанлинская – Малиновоовражная – Кленовская, развиты седиментационные рассолы с минерализацией 200–250 г/л и высокой степенью метаморфизации ($K_m = 4,5–6$).

В пределах юго-восточной зоны, территориально совпадающей с Прикаспийской мегавпадиной и ее внешним обрамлением, развиты смеси седиментационных и «возрожденных» вод с минерализацией менее 200 г/л, характеризующиеся самой высокой

степенью метаморфизации ($K_m = 5–6$ и более) [6]. Минерализация этих вод закономерно уменьшается с погружением мегавпадины на юг от 200 до менее 100 г/л.

На всей рассматриваемой территории подземные воды данного комплекса мало- и среднесульфатные ($K_c = rSO_4 \cdot 100/rCl$ составляет 0,01–0,7). Более высокая сульфатность отмечается на северо-западе территории (Салтыковская, Бакурская, Аткарская разведочные площади), что объясняется максимальной концентрацией в смесях инфильтрационных вод. В целом гидрохимия вод свидетельствует о высокой степени закрытости недр в данном комплексе в пределах всей территории Саратовской области.

Распределение по площади пластовых давлений, приведенных к абсолютной отметке минус 3000 м [3, 12], указывает на су-

ществование здесь двух противоположенных потоков (инфильтрационного и элизионного) (рис. 2).

Инфильтрационный поток отмечается на западе и северо-западе и имеет южное и юго-восточное направление. Встречный ему элизионный поток веерообразно направлен от Прикаспийской мегавпадины на север и северо-запад. На территории Волго-Уральской антеклизы элизионный поток фиксируется на расстоянии до 70–80 км от бортового уступа, а в пределах Рязано-Саратовского прогиба удаленность его от границ впадины составляет 120–150 км. За пределами Прикаспийской мегавпадины приведенные пластовые давления изменяются от 340 до 360 кг/см², что создает гидравлические уклоны пьезометрической поверхности около 0,001. К югу от Саратова отмечается обширный пьезоминимум (гидравлическая ловушка) с размерами 70 x 110 км, вершина которого располагается в районе Черebaевской и Западно-Ровенской разведочных площадей.

Во внутренней части Прикаспийской мегавпадины, видимо, существует высокая гидродинамическая напряженность, что отражается формированием здесь АВПД. Так, в скв.11 Краснокутской при испытании бийских отложений (интервал 4686–4718 м) было зафиксировано АВПД с $K_a = 1,73$. При этом приведенное пластовое давление составило 630 кг/см², что в 1,8 раза выше среднего (350 кг/см²). Отмечалось АВПД при испытаниях коллекторов рассматриваемого комплекса в ряде других объектов, расположенных в Саратовской и Волгоградской областях.

Газовая составляющая подземных вод свидетельствует о положительных перспективах нефтегазоносности данного комплекса почти на всей территории Саратовской области (рис. 2). Водно-растворенные газы повсеместно относятся к метановому и азотно-метановому типу с содержанием

тяжелых углеводородов (ТУВ) ($C_2 H_6 + v.$) от 0,1 до 8,3% (в среднем – 1,5%). Газоводяные факторы (ГВФ) вод колеблются от 0,1 до 1,8 м³/м³ (в среднем – 0,5 м³/м³), а газонасыщенность вод [упругость водно-растворенного газа, кг/см² (Рг)/пластовое давление воды, кг/см² (Рв)] составляет 0,1–0,8 (в среднем – 0,4).

На крайнем северо-западе области небольшой участок площадью около 3000 км² отнесен к малоперспективной территории. Основанием для этого являются результаты опробования скважин, расположенных на приграничной территории Тамбовской области (Ржаксинская и Инжавинская разведочные площади), на которых в данном комплексе получены низкие ГВФ и азотные составы водно-растворенных газов [11].

Высокоперспективная зона с газонасыщенностью вод более 0,5 распространяется на 40–100 км к северу и северо-западу от границ Прикаспийской мегавпадины. Во внутренней части Прикаспийской мегавпадины подземные воды, вероятно, имеют высокие ГВФ (2–10 м³/м³ и более), а степень их газонасыщенности превышает 0,8.

Верхнедевонско-нижневизейский водоносный комплекс имеет повсеместное распространение, характеристика его приводится на рисунках 3, 4. Комплекс является наиболее изученным как по плотности расположения объектов испытания, так и общему количеству гидрогеологических исследований. На всей рассматриваемой территории подземные воды комплекса относятся к хлоридно-кальциевому типу. По минерализации вод, как и в предыдущем комплексе, выделяются три зоны (рис. 3). Зона смешанных инфильтрационно-элизионных вод с минерализацией менее 200 г/л распространена на большей части Правобережья, а в северной половине области граница их развития проходит в 40–70 км восточнее Волги до Чапаевской и Миусской

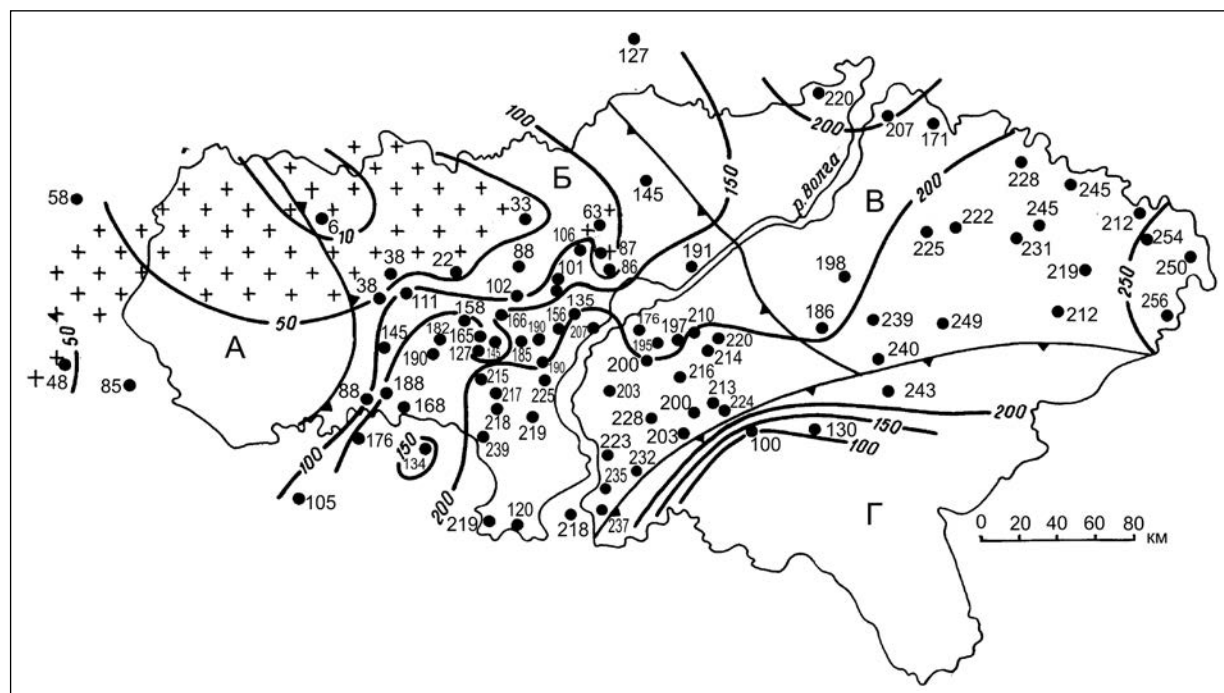


Рис. 3. Карта гидрохимии подземных вод дотульского (верхнедевонско-нижневизейского) водоносного комплекса на территории Саратовской области
Условные обозначения (рис. 5)

разведочных площадей. Минерализация вод этой зоны изменяется от менее 50 г/л на северо-западе до 150–200 г/л на востоке и юго-востоке. Воды с минерализацией до 50 г/л имеют пониженную метаморфизацию ($K_M = 1,3–2,7$) и высокую сульфатность ($K_C = 1,6–17,2$). Высокая сульфатность вод ($K_C = 3–3,5$) отмечается также на участке расположения Тепловского и Ириновского УВ месторождений, где их минерализация составляет 63–68 г/л. Территории высокой сульфатности вод ($K_C > 1$) являются гидрогеологически раскрытыми с неблагоприятными условиями для сохранения скопленных УВ.

На основной части территории данной зоны подземные воды имеют среднюю метаморфизацию ($K_M = 2,5–4$) и пониженную сульфатность ($K_C = 0,01–0,5$), что отражает высокую степень их гидрогеологической закрытости.

Зона элизионных вод с минерализацией 200 г/л и более развита восточнее и юго-

восточнее первой. На Правобережье она отмечается на относительно небольшой площади в пределах Каменско-Золотовской приподнятой зоны и Карамышской депрессии. На Левобережье в пределах Рязано-Саратовского прогиба зона элизионных вод проходит по границе Прикаспийской мегавпадины, а восточнее переходит на ее внутреннее обрамление. Максимальная минерализация вод этой зоны (более 250 г/л) отмечается в Бузулукской впадине. Метаморфизация вод данной зоны средняя и высокая ($K_M = 3–5,8$), сульфатность изменяется от низкой до средней ($K_C = 0,02–0,9$).

Зона развития элизионно-возрожденных вод с минерализацией менее 200 г/л отмечается на территории Прикаспийской мегавпадины. По данным испытания скв.6 Ждановской (забой 4413 м) и скв.1 «Черная Падина» (интервал 5855–5865 м) минерализация вод в этой зоне снижается до 100–130 г/л. При этом воды характеризуются высокой метаморфизацией ($K_M = 5,6–6,4$)

и низкой сульфатностью ($K_c = 0,02-0,23$). В целом гидрохимия вод второй и третьей зон свидетельствует о высокой степени закрытости здесь недр данного комплекса.

Распределение пластовых давлений, приведенных к отметке минус 2000 м [3, 12], четко указывает на существование выделенных ранее двух основных разнонаправленных потоков вод (рис. 4). Направления движения потоков мало изменяются, по сравнению с нижезалегающим водоносным комплексом. Линии встречи потоков на территории Волго-Уральской антеклизы почти совпадают, а на территории Рязано-Саратовского прогиба элизионный поток в дотульском комплексе завершается на 30–50 км юго-восточнее.

На основной территории приведенные пластовые давления изменяются от 225 до 240 кг/см², что формирует уклоны пьезометрической поверхности порядка 0,001–0,002. Более высокие уклоны отмечаются в прибортовой полосе Прикаспийской ме-

гавпадины. Вокруг разведочных площадей – Тепловская, Ириновская и Чапаевская, Пугачёвская фиксируются гидродинамические ловушки, которые, возможно, являются очагами вертикальной разгрузки потоков.

Во внутренней части Прикаспийской мегавпадины в рассматриваемом водоносном комплексе, как и в нижележащем, латеральное движение подземных вод, видимо, весьма ограничено или практически отсутствует. Показателями существования гидравлических сопротивлений на пути потоков являются результаты испытаний скв.6 Ждановской и скв.1 «Черная Падина», в которых отмечены АВПД с $K_a = 1,2-2$.

Газовая составляющая подземных вод на большей части Саратовской области свидетельствует о положительных перспективах нефтегазоносности рассматриваемого водоносного комплекса (рис. 4). Лишь на северо-западной окраине области на площади около 12000 км² подземные воды

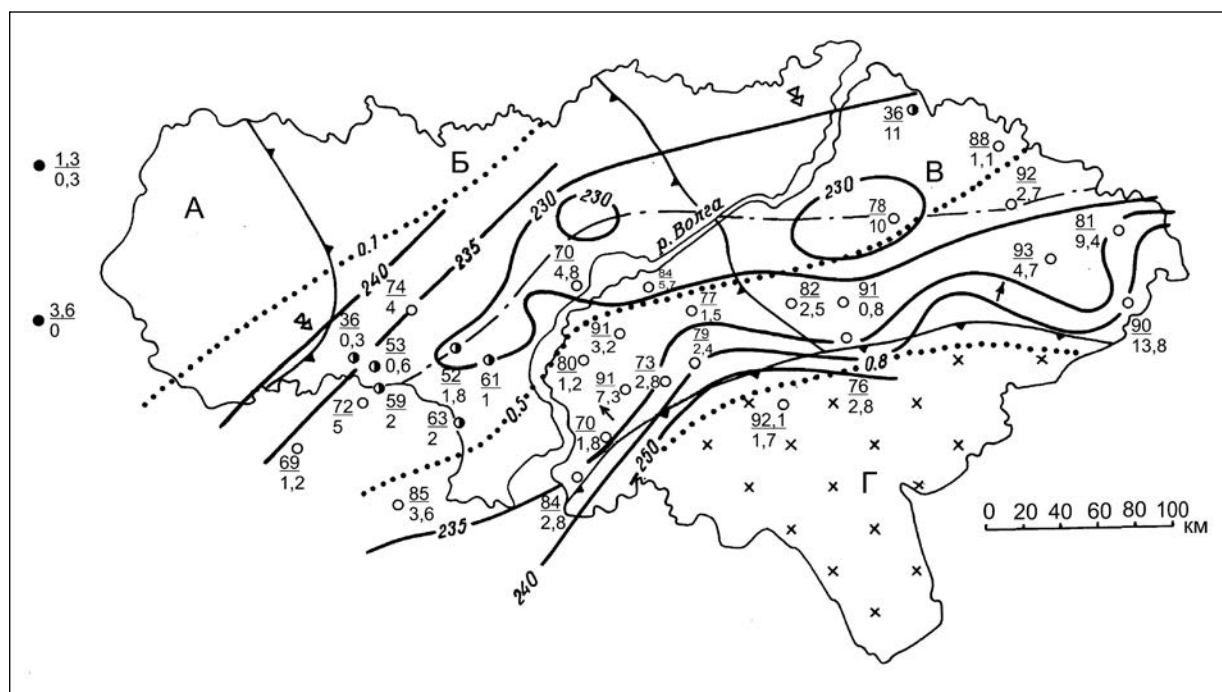


Рис. 4. Карта гидрогеологических условий нефтегазоаккумуляции в дотульском (верхнедевонско-нижневизейском) водоносном комплексе на территории Саратовской области
Условные обозначения (рис. 6)

комплекса имеют низкие ГВФ, азотный состав водно-растворенных газов и газонасыщенность менее 0,1 (по результатам испытаний Ржаксинской, Борисоглебовской и Салтыковской разведочных площадей). Это делает данную территорию малоперспективной на УВ сырье.

На всей остальной территории Саратовской области водно-растворенные газы комплекса имеют метановый (преимущественно) и азотно-метановый составы с содержанием ТУ ($C_2H_6 + v.$) от 0,4 до 10,8% по объему. При этом ГВФ вод превышают $0,1 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а их газонасыщенность более 0,1, что свидетельствует о положительных перспективах нефтегазоносности. По газонасыщенности вод, превышающей 0,5, в прибортовой полосе Прикаспийской мегавпадины выделяется высокоперспективная зона шириной 40–60 км. Во внутренней части Прикаспийской мегавпадины, вероятно, существуют благоприятные условия для растворения УВ газов в водах и сохранения их высокой газонасыщенности (свыше 0,8). Об этом свидетельствуют результаты испытания скв.1 «Черная Падина», в которой рассчитанный ГВФ вод составлял около $7 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при газонасыщенности 1,0. При этом водно-растворенный газ имеет метановый состав с содержанием ТУ ($C_2H_6 + v.$) – 1,7% по объему.

Алексинско-башкирский водоносный комплекс имеет почти повсеместное распространение на территории Саратовской области. Исключение составляет северо-западная ее оконечность, где комплекс был размыт на склонах Воронежской антеклизы в предбайосское время. Характеристика комплекса дана на рисунках 5, 6.

Подземные воды комплекса повсеместно, за исключением участков его выклинивания на северо-западе, относятся к хлоридно-кальциевому типу [13]. В целом они менее минерализованы, чем в нижележащих комплексах. Минерализация вод

закономерно увеличивается от участков выклинивания и неглубокого залегания водоносных пород на северо-западе на восток и юго-восток по мере их погружения. Зона развития смешанных седиментационно-инфильтрогенных вод (до 200 г/л) развита на большей части территории Саратовской области. Воды пониженной минерализации от 10 до 100 г/л в южном направлении распространяются до широты Саратова, а в восточном – до г. Пугачёва. Эти воды имеют пониженную и среднюю степень метаморфизации ($K_m = 1,7-1$). При этом сульфатность вод с минерализацией свыше 50 г/л низкая и средняя ($K_c = 0,02-0,8$), а с минерализацией до 50 г/л – высокая ($K_c = 1-8,5$). В некоторых случаях воды с минерализацией 50–100 г/л также имеют высокую сульфатность ($K_c = 1,1-2,7$) (Казанлинская, Радищевская и Баландинская разведочные площади). Сульфатные воды ($K_c > 1$) отражают условия недостаточной закрытости недр для сохранения скоплений УВ. Прочие территории являются гидрогеологически закрытыми.

Зона седиментогенных рассолов с минерализацией более 200 г/л развита на юго-востоке и востоке области, главным образом на территориях Прикаспийской мегавпадины и Бузулукской впадины и их сопредельных участках. Подземные воды данной зоны имеют среднюю и высокую степени метаморфизации ($K_m = 2,2-5,6$), а также низкую и среднюю сульфатность ($K_c = 0,03-0,9$). Это свидетельствует о гидрогеологической закрытости недр в пределах данной зоны. Воды третьей зоны (седиментационно-«возрожденные») на данный момент в рассматриваемом комплексе не выявлены. Существование их не исключается в глубоко-погруженной части Прикаспийской мегавпадины.

Гидродинамика комплекса подчинена закономерностям, описанным ранее. Пластовые давления, приведенные к отмет-

ке минус 2000 м [3, 12], изменяются от 214 кг/см² (Квасниковская разведочная площадь) до 248 кг/см² (Восточно-Лиманская разведочная площадь) (рис. 6). Инфильтрационный поток фиксируется на северо-западе и северо-востоке, а встречный ему элизионный веерообразно распространяется от границ Прикаспийской мегавпадины. Линия встречи потоков проходит параллельно бортовому уступу в 45–60 км северо-западнее от него. Средние гидравлические уклоны пьезометрической поверхности составляют 0,001–0,0015. В прибортовой полосе Прикаспийской мегавпадины они существенно более крутые и достигают 0,005. В данном комплексе АВПД не зафиксировано, что указывает на то, что существование в настоящий момент латеральных элизионных потоков на территории При-

каспийской мегавпадины в пределах внутренней бортовой зоны. Центральную часть территории захватывает обширный пьезо-минимум с размерами 260 x 90 км, затрагивающий оба потока. По окраинам пьезо-минимума фиксируются две вершины с минимальными приведенными давлениями (менее 220 кг/см²). В районе этих вершин расположены разведочные площади: Грачёвская, Чапаевская и Малиновоовражная. Пьезо-минимум, возможно, является гидродинамической ловушкой для УВ флюидов. В то же время он может отражать скрытые участки вертикальной разгрузки потоков в сопредельные водонапорные комплексы.

По особенностям газовой составляющей подземных вод комплекса территория Саратовской области делится на две неравномерные части (рис. 6). На северо-западной ее

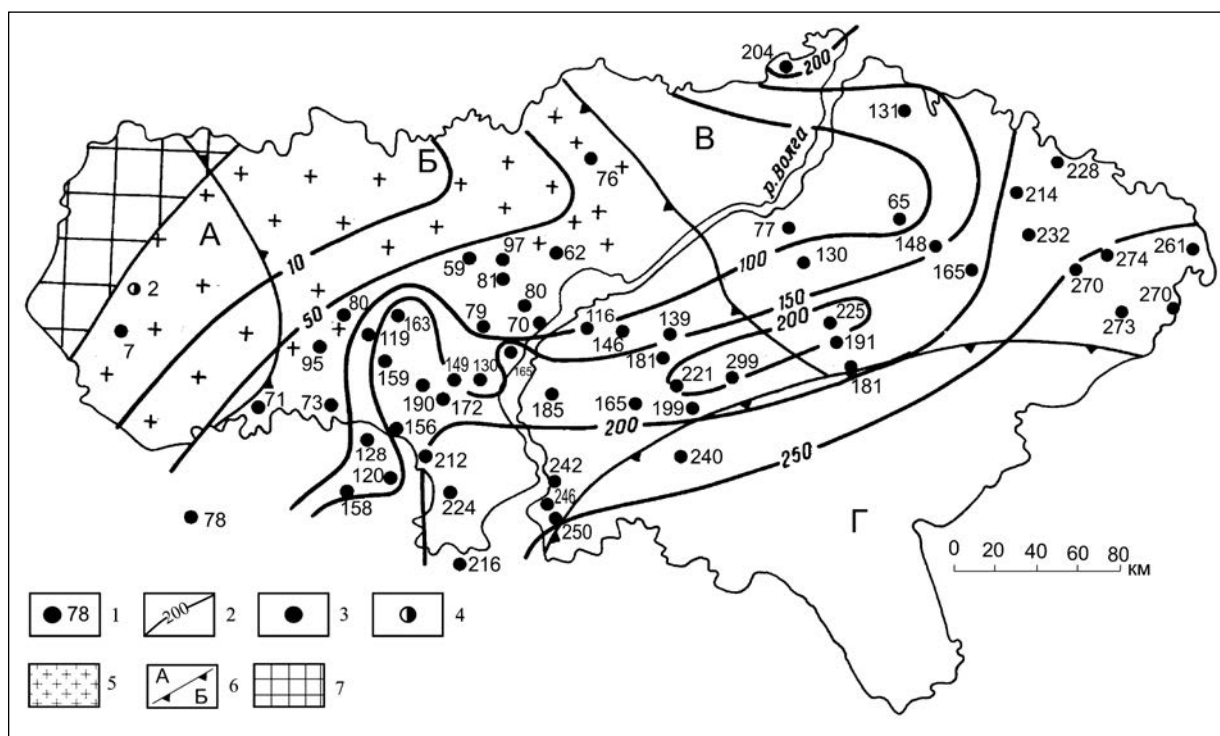


Рис. 5. Карта гидрохимии подземных вод доверейского (алексинско-башкирского) водоносного комплекса на территории Саратовской области

1 – разведочная площадь и минерализация подземных вод, г/л; 2 – изоминера подземных вод, г/л; тип воды по В. А. Сулину; 3 – хлоридно-кальциевый, 4 – сульфатно-натриевый; 5 – территория развития сульфатных вод ($SO_4 \cdot 100/Cl > 1$); 6 – границы крупнейших тектонических элементов: А – Воронежская антеклизис, Б – Рязано-Саратовский прогиб, В – Волго-Уральская антеклизис, Г – Прикаспийская мегавпадина; 7 – участок отсутствия водонапорного комплекса

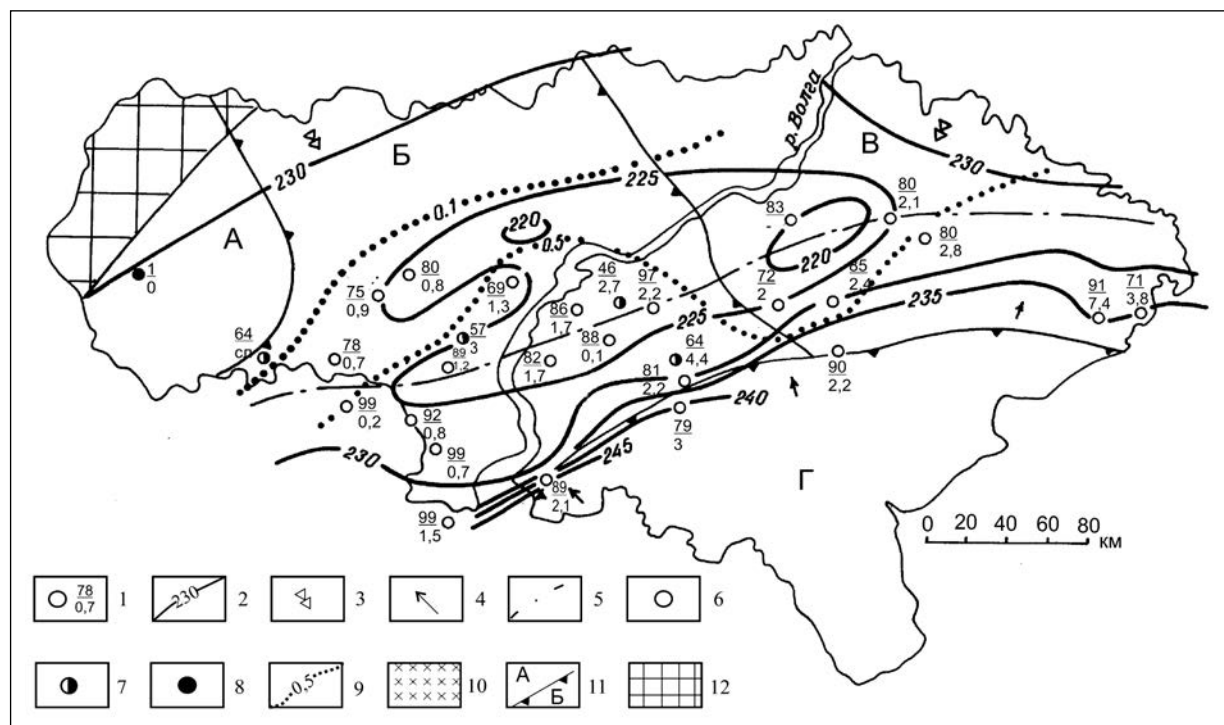


Рис. 6. Карта гидрогеологических условий нефтегазоаккумуляции в доверейском (алексинско-башкирском) водоносном комплексе на территории Саратовской области

1 – разведочная площадь: в числителе – сумма УВ в водно-растворенном газе, в % по объему, в знаменателе – сумма ТУВ ($C_2H_6 + v.$), в % по объему; 2 – гидропьеза приведенного к отметке минус 2000 м пластового давления, кг/см²; 3 – направление инфильтрационного потока; 4 – направление элизионного потока; 5 – условная граница встречи разных потоков; *типы водно-растворенного газа*: 6 – метановый, 7 – азотно-метановый, 8 – азотный; 9 – газонасыщенность вод (Рг/Рв); 10 – область распространения АВПД (Ка > 1,2); 11 – границы крупнейших тектонических элементов: А – Воронежская антеклиза, Б – Рязано-Саратовский прогиб, В – Волго-Уральская антеклиза, Г – Прикаспийская мегавпадина; 12 – участок отсутствия водоносного комплекса

части площадью около 30% распространены азотные и метаново-азотные водно-растворенные газы, практически не содержащие ТУ. При этом ГВФ вод низкие, а газонасыщенность их менее 0,1. Это указывает на низкую перспективность данной территории на УВ сырье в коллекторах данного водоносного комплекса. На всей остальной территории газонасыщенность вод выше 0,1, что соответствует положительным перспективам нефтегазоносности. Перспективная территория подразделяется на просто перспективную, где газонасыщенность вод составляет 0,1–0,5, и высокоперспективную с газонасыщенностью более 0,5.

В пределах перспективной зоны развиты метановые и азотно-метановые водно-

растворенные газы с концентрацией ТУ ($C_2H_6 + v.$) 0,2–2,7% по объему. При этом ГВФ изменяются от 0,17 до 0,5 м³/м³. Высокоперспективная зона, как и в нижележащих комплексах, развита по периферии Прикаспийской мегавпадины, а также в Бузулукской впадине и на ее северо-западном склоне. Условная северо-западная граница данной зоны проходит по линии разведочных площадей: Комсомольская, Ершовская, Восточно-Суловская, Елшанская, Сбродовская и Жирновская. В высокоперспективной зоне распространены метановые (преимущественно) и азотно-метановые водно-растворенные газы с концентрацией ТУ ($C_2H_6 + v.$) от 2 до 7,4% по объему. При этом ГВФ вод составляют

0,4–1,3 м³/м³, а газонасыщенность вод достигает 0,7–0,8.

Московско-филипповский (добайосский или докунгурский) водоносный комплекс широко развит на территории Саратовской области. Он полностью выклинивается только на северо-западной оконечности территории, составляющей менее 15% ее площади. Данный комплекс имеет сложные условия формирования и распространения подземных вод, характеристика которых приводится на рисунках 7, 8. Контуром распространения соленосной кунгурской толщи комплекс делится на две резко отличающиеся части. За пределами соли верхним региональным водоупором для него служат среднеюрские глины байосского и батского ярусов (J₂b-bt), к которым на левобережье иногда добавляются глини-

стые отложения триаса (Т) и верхней перми (Р₂). На склонах Воронежской антеклизы (в зоне выклинивания), приподнятых участках Саратовских и Доно-Медведицких дислокаций, а также Пугачёвского свода верхний водоупор сильно утоньшается или полностью отсутствует. Это создает здесь условия для активного проникновения пресных инфильтрационных вод. На данных участках и вокруг них образуются обширные зоны опреснения. Разнонаправленными потоками маломинерализованные воды распространяются на значительные расстояния и смешиваются с первичными рассолами. В результате формируется весьма пестрая картина изменения минерализации вод от менее 1 до 100 г/л. При этом резко изменяются метаморфизация и сульфатность вод, а также их химические типы.

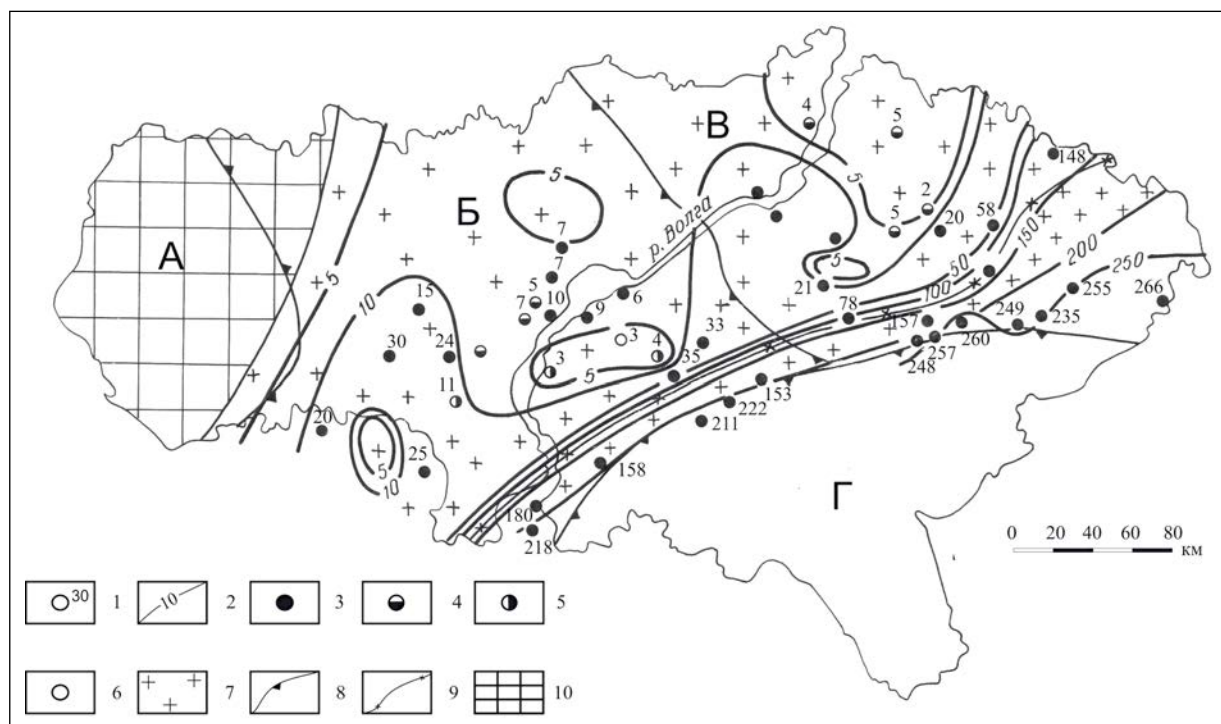


Рис. 7. Карта гидрохимии подземных вод московско-филипповского (докунгурско, добайосского) водоносного комплекса на территории Саратовской области

1 – разведочная площадь и минерализация подземной воды, г/л; 2 – изоминера пластовой воды, г/л; химический тип воды по В.А. Сулину: 3 – хлоридно-кальциевый, 4 – хлоридно-магниевый, 5 – сульфатно-натриевый, 6 – гидрокарбонатно-натриевый; 7 – территория развития сульфатных вод ($SO_4 \cdot 100/Cl > 1$); 8 – границы крупнейших тектонических элементов: А – Воронежская антеклиза, Б – Рязано-Саратовский прогиб, В – Волго-Уральская антеклиза, Г – Прикаспийская мегавпадина; 9 – северо-западная граница распространения соленосного водоупора; 10 – область отсутствия водонапорного комплекса

На разных участках встречаются подземные воды всех химических типов по В.А. Сулину [13]. Кроме того, воды комплекса часто подвержены биохимическому сероводородному заражению. В 10–30 км северо-западнее контура соленосной толщи подземные воды комплекса повсеместно имеют минерализацию до 50 г/л, низкую метаморфизацию ($K_m < 2$) и высокую сульфатность ($K_c = 1–37$). Такая гидрохимия указывает на раскрытость недр, исключая длительное сохранение здесь скоплений УВ. По мере приближения к контуру соленосности минерализация вод закономерно возрастает от 50 до 150 г/л. Под соленосным региональным водоупором воды комплекса имеют минерализацию более 150 г/л. При этом с погружением комплекса на юг и вос-

ток (в Прикаспийскую мегавпадину и Бузулукскую впадину) происходит дальнейший рост минерализации до 200 г/л и более. Максимальная минерализация вод (более 250 г/л) отмечается в зоне сочленения Бузулукской впадины и Прикаспийской мегавпадины (Тимонинская, Безусакская и Карповская разведочные площади). Рассольные воды с минерализацией более 150 г/л имеют среднюю и высокую метаморфизацию ($K_m = 2,1–6,8$). При этом воды с минерализацией 150–200 г/л, которые развиты за пределами контура соленосности и до 10–30 км внутри его, имеют повышенную сульфатность ($K_c = 2,1–4,3$), что свидетельствует о недостаточной закрытости недр этой части территории. Рассолы с минерализацией более 200 г/л имеют низ-

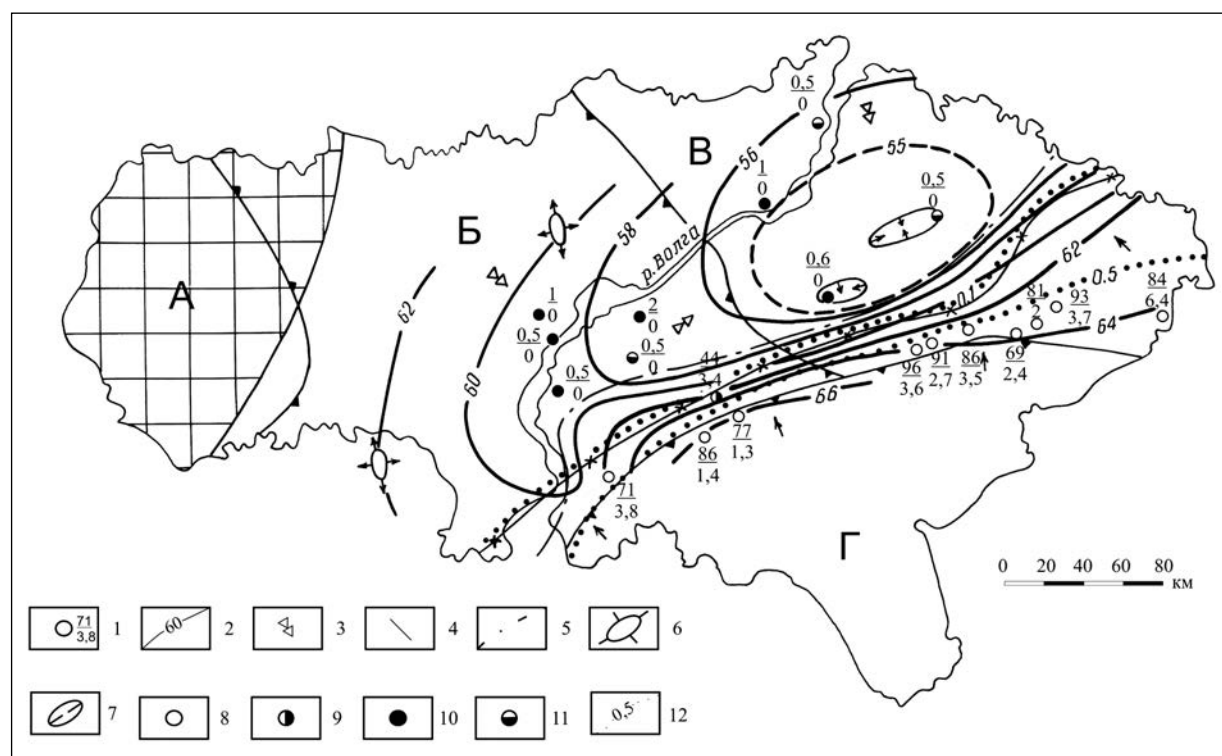


Рис. 8. Карта гидрогеологических условий нефтегазоаккумуляции в московско-филипповском (докунгурском, добайосском) водоносном комплексе на территории Саратовской области

1 – разведочная площадь: в числителе – сумма УВ в газе в % по объему, в знаменателе – сумма ТУВ ($C_2 + в.$) в % по объему; 2 – гидроизопьеза приведенного пластового давления, кг/см²; 3 – направление инфильтрационного потока; 4 – направление элизионного потока; 5 – условная граница встречи разнонаправленных потоков; 6 – участок инфильтрационного питания подземных вод; 7 – участок разгрузки подземных вод. *Типы водно-растворенного газа*: 8 – метановый, 9 – азотно-метановый, 10 – азотный, 11 – углекисло-азотный. 12 – газонасыщенность вод (P_g/P_v). Остальные условные обозначения (рис.6)

кую и среднюю сульфатность ($K_c = 0,2-0,6$), отражающую высокую степень закрытости недр. Таким образом, изоминера 200 г/л является границей закрытости недр в данном водоносном комплексе.

Гидродинамика вод согласуется с их гидрохимией (рис. 8). Пластовые давления, приведенные к отметке минус 500 м [3, 12], даже более четко, чем в нижележащих водоносных комплексах, доказывают существование инфильтрационного и элизионного потоков. Основной инфильтрационный поток движется с запада и северо-запада от областей питания, расположенных на склонах Воронежской антеклизы и Токмовского свода. Его подпитывают и искажают местные очаги питания на наиболее приподнятых участках зон Саратовских и Доно-Медведицких дислокаций. Элизионный поток движется с юго-востока от Прикаспийской мегавпадины и Бузулукской впадины, при этом он существует только в пределах распространения соленосного водоупора.

За пределами соли элизионный поток разрушается инфильтрационными потоками, движущимися к области разгрузки, расположенной на вершине Пугачёвского свода. Максимальные приведенные пластовые давления инфильтрогенных вод составляют 61–62 кг/см², а элизионных – 66–67 кг/см². Гидравлические уклоны пьезометрической поверхности инфильтрационных потоков равняются 0,0003–0,0006, а элизионных – 0,001–0,002. В рассматриваемом комплексе, как и в предыдущем, АВПД на данный момент не зафиксированы, что позволяет предполагать существование непрерывного элизионного потока из Прикаспийской мегавпадины за ее пределы. Область разгрузки подземных вод комплекса фиксируется на Пугачевском своде пьезоминимумом (депресссионной воронкой) с размерами 70 x 120 км, внутри которой приведенные пластовые давления составляют менее 55 кг/см². Разгрузка подземных вод

осуществляется родниками в бассейнах рек Бол. Иргиз и Бол. Кушум, а также в водоносные горизонты вышележающих мезо-кайнозойских отложений. Следует отметить, что на участках выходов на земную поверхность и неглубокого залегания водоносных пород комплекса на вершине Пугачёвского свода отмечаются пресные и слабосоленоватые подземные воды инфильтрационного формирования, то есть здесь имеет место совпадение области разгрузки с очаговым инфильтрационным подпитыванием.

Водно-растворенные газы за пределами распространения соленосного водоупора повсеместно имеют низкие ГВФ (менее 0,1 м³/м³) и малую газонасыщенность (до 0,1). По составу они азотные и углекисло-азотные с очень низкими концентрациями УВ (до 1–2% по объему), что позволяет оценить данную территорию как бесперспективную на обнаружение скоплений УВ. Под соленосной покрывкой газонасыщенность вод превышает 0,1. При этом ГВФ увеличиваются до 0,2 м³/м³ и более. Водно-растворенные газы имеют метановый и азотно-метановый составы с концентрацией ТУ (C₂H₆ + в.) от 0,4 до 6,4% по объему, в связи с чем можно рассматривать территорию в качестве перспективной на УВ сырье. Граница высокоперспективной территории с газонасыщенностью вод свыше 0,5 проходит по внешней прибортовой зоне Прикаспийской мегавпадины, в среднем в 10–15 км от ее границ. На территории Бузулукской впадины она отступает к северу на 25–45 км. В пределах высокоперспективной зоны ГВФ вод достигают 0,9–1,2 м³/м³, а газонасыщенность вод составляет 0,6–0,8. Перспективность данной зоны подтверждается открытыми здесь УВ месторождениями и многочисленными нефтегазопрооявлениями в скважинах.

В целом приведенная зональность гидрогеологических условий нефтегазонако-

Гидрогеология

пления в палеозойских водоносных комплексах Саратовской области хорошо согласуется с реальной нефтегазоносностью одновозрастных отложений на рассматриваемой территории, что свидетельствует о ее высокой эффективности при проведении региональных оценок и поисковых работ на нефть и газ.

Л и т е р а т у р а

1. Альтовский М. Е. Гидрогеологические показатели нефтегазоносности. – М.: Недра, 1967.
2. Гидрогеология СССР. Т. XIII. Поволжье и Прикамье /под ред. Афанасьева Т. П. – М.: Недра, 1970. – 800 с.
3. Гуревич А. Е. Практическое руководство по изучению движения подземных вод при поисках полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980.
4. Зингер А. С. Газогидрохимические критерии оценки нефтегазоносности локальных структур (на примере Нижнего Поволжья). – Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 1966. – 476 с.
5. Зингер А. С., Тальнова Л. Д., Гладышева Ю. И. К строению Северо-Каспийского артезианского бассейна в Нижнем Поволжье // Нефтегазовая геология и геофизика. – 1973. – № 10. – С. 16–20.
6. Зингер А. С., Долгова Г. С., Фёдоров Д. Л. Генезис опресненных глубинных вод и кислых компонентов газов юго-востока Русской платформы // Геология, методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. Обзор/ВИЭМС. – М., 1980.
7. Зингер А. С., Клычев Н. В., Анисимов Л. А. и др. Гидрогеологические критерии прогноза залежей углеводородов. – М.: Наука, 1985. – 136 с.
8. Игнатович И. К. К вопросу о гидрогеологических условиях формирования и сохранения нефтяных залежей // ДАН СССР. – 1945. – Т. 46. – № 5.
9. Карцев А. А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. Изд-во П-е. – М.: Недра, 1972.
10. Клычев Н. В. Гидрогеологические условия подсолевого палеозоя на территории зоны сочленения Пугачёвского свода, Бузулукской и Прикаспийской впадин в связи с нефтегазоносностью. – Саратов, 1991. (Деп. в ВИЭМС 19.06.91, № 998-мг91).
11. Машкович К. А., Зингер А. С. Прогноз нефтегазоносности юго-восточной части Рязано-Саратовского прогиба по результатам комплексного исследования подземных вод // Труды НВНИИГТ «Геохимия и гидрогеология нефтяных и газовых месторождений Нижнего Поволжья». – Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 1970. – Вып. 8. – С. 3–24.
12. Силин-Бекчурин А. И. Динамика подземных вод. – М.: изд-во МГУ, 1958.
13. Сулин В. А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. – Л.: Гостоптехиздат, 1948.