

УДК 533.98

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГЛУБОКОПОГРУЖЕННЫХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ<sup>1</sup>***Ларичев В. В.<sup>2</sup>, Попков В. И.<sup>3</sup>*

HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF DEEP OIL AND GAS COMPLEXES

Larichev V. V., Popkov V. I.

Hydrogeological study of the structural features of the lower floors of oil and gas sedimentary basins showed that in contrast to the overlying sediments, they have a number of characteristics that allow to speak about specific hydrodynamic conditions of these complexes is determined, above all, their secondary character of reservoir properties.

Keywords: the deeply complex, fluid dynamics, reservoir properties, oil and gas.

Изучение процессов миграции подземных вод и углеводородов (УВ) глубокопогруженных комплексов нефтегазоносных бассейнов (НГБ) многими исследователями рассматриваются в контексте решения проблемы формирования залежей нефти и газа [1–4]. Поэтому далеко не случайно вопросы миграции и аккумуляции пластовых вод и УВ оказались теснейшим образом связаны с самой проблемой происхождения нефти.

Общеизвестно, что нефтегазонакопление представляет собой цепь последовательных процессов образования, миграции и аккумуляции нефтяных УВ, протекающих в поровом пространстве горных пород, заполненном подземными водами, а точнее — многокомпонентными водными растворами минеральных солей, органических веществ и газов, которые по сравнению с горными породами являются более активной средой, воздействующей на УВ. Это воздействие носит физико-химический и механический характер и, следовательно, не позволяет рассматривать эти процессы вне поля гидрогеологических особенностей НГБ, где происходят постоянное взаимодействие и обменные реакции как между жидкой и твердой фазами подземной гидросферы, так и внутри самой флюидной системы.

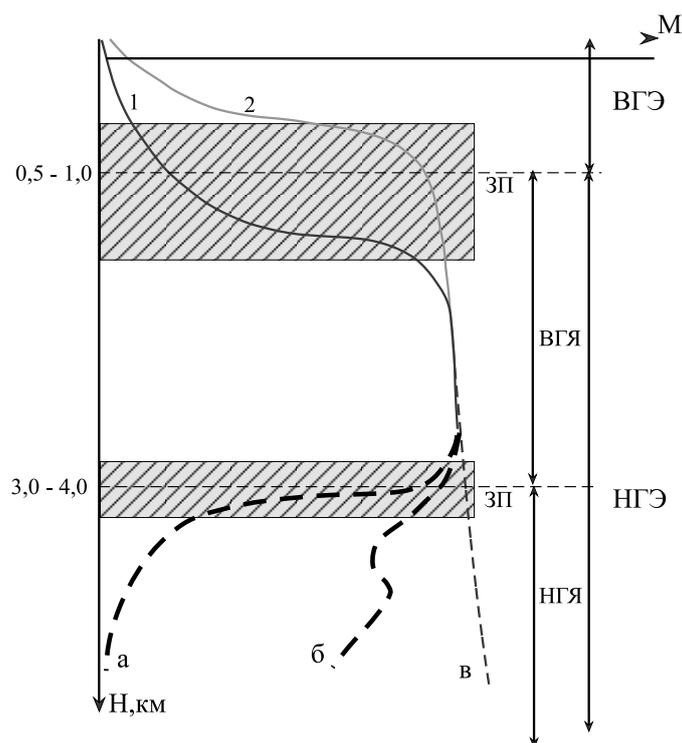
Проблеме формирования пластовых давлений, возникновению их градиентов в гидродинамических системах осадочного чехла посвящено большое число работ, в которых определены две основные причины, определяющие движение подземных вод: действие гравитационного поля на жидкость и изменение объемов порового пространства и жидкости в нем [1–5]. В то же время действие этих факторов в природных гидродинамических системах, как правило, проявляется одновременно, из чего следует, что всякие природные течения в той или иной степени являются смешанными и необходимо говорить о двух составляющих пластового давления: гравитационно-конвекционной (гидростатической), величина которой определяется весом столба флюида и потерями напора при конвекции, и компрессионной (элизионной), объединяющей все остальные возможные причины изменения нормального гидростатического давления в водоносных горизонтах. В связи с этим деление данных процессов на гравитационно-конвекционные и компрессионные можно назвать чисто техническим приемом, что свидетельствует о субъективности подхода к такому делению.

В соответствии с современными данными схема гидрогеологического строения НГБ,

<sup>1</sup>Работа выполнена при поддержке РФФИ (11-05-00857-а), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (проекты 2012-1.2.1-12-000-1007-015, (Соглашение №14.В37.21.1258), 2012-1.1-12-000-1006-006 (Соглашение №14.В37.21.0582)).

<sup>2</sup>Ларичев Виталий Владимирович, канд. геол.-минерал. наук, докторант кафедры региональной и морской геологии Кубанского государственного университета; e-mail: geoskubsu@mail.ru.

<sup>3</sup>Попков Василий Иванович, д-р геол.-минерал. наук, профессор, декан геологического факультета Кубанского государственного университета; e-mail: geoskubsu@mail.ru.



Принципиальная схема изменения минерализации пластовых вод в вертикальном разрезе НГБ

учитывающая их гидродинамические особенности, может быть представлена в следующем виде (рисунок). Зоне активного водообмена соответствует верхний гидрогеологический этаж (ВГЭ) преимущественного развития метеогенных вод, характеризующийся выносом солей и выщелачивания пород. Причем темп нарастания минерализации пластовых вод определяется глубиной залегания водоносных комплексов и удалением от «краевой области питания» (кривые 1 и 2 на рисунке).

Нижний гидрогеологический этаж (НГЭ) охватывает зоны затрудненного и весьма затрудненного водообмена. Между ними выделяется «зона перехода» (ЗП), которой в разрезе, как правило, соответствует наиболее мощная региональная водоупорная толща. В литогeoхимическом плане этот интервал является переходным интервалом от зоны гипергенеза к зоне катагенеза.

Нижний этаж имеет двучленное деление. Верхний гидрогеологический ярус (ВГЯ) характеризуется преимущественно латеральной и вертикально-латеральной фильтрационной проводимостью и содержащим в себе преимущественно унаследованные седиментогенные и элизионные воды. Для этой зоны характерно резкое уменьшение латеральных потоков и преобладание затрудненной верти-

кальной разгрузки подземных вод в вышележащие водоносные комплексы. Зоне весьма затрудненного водообмена отвечает нижний гидрогеологический ярус (НГЯ), подверженный активному влиянию возрожденных флюидов на седиментационные воды, характеризующийся латерально-вертикальной сквозьпластовой проводимостью и «внутренними источниками питания». Переход к нижнему ярусу в некоторых НГБ характеризуется довольно резким проявлением в разрезе инверсионной гидрохимической зональности (а), в отдельных бассейнах инверсия проявляется менее резко (б), а в ряде случаев гидрохимическая зональность имеет прямую зависимость (в).

Гидрогеологические условия глубокопогруженных комплексов характеризуются целым рядом особенностей, не сказывающихся на его гидродинамических условиях, основными из которых являются термобарические и литофациальные. В условиях рассматриваемых глубин первые (термобарические) характеризуются высокими температурами, обеспечивающими существование подземных вод в перегретом (более 100°C) состоянии и широким распространением сверхгидростатических пластовых давлений (СГПД). Для вторых (литофациальные) характерна повышенная трещиноватость пород флюидоупор-

ных (глинистых) комплексов на фоне высокой степени литификации пород коллекторов.

Последнее обстоятельство определяет невысокие емкостно-фильтрационные параметры пород коллекторов, их малую проницаемость в латеральном направлении, следовательно, скорость, масштабы и дальность латеральной миграции пластовых геофлюидов. Степень литификации пород, как правило, увеличивается прогрессивно с нарастанием глубины, но с различной интенсивностью, зависящей от литологических и минералогических особенностей состава пород, термобарических условий, тектонических напряжений земной коры и т.д., главными из которых являются состав пород и температура. В частности, механически прочные карбонатные породы подвержены действию главным образом физико-химической литификации, основными процессами которой являются перекристаллизация, кальцитизация, доломитизация и другие минеральные преобразования. Терригенные разности в большей степени подвергаются воздействию механической литификации. При этом наименьшее влияние она оказывает на кварцевые песчаные породы, наибольшее — на песчано-алевролитовые породы с глинистым цементом.

В этих условиях горизонты и комплексы пород-коллекторов отличаются значительной неоднородностью по проницаемости в латеральном направлении. Эта неоднородность проявляется уже на ранних стадиях седиментогенеза и диагенеза и значительно усиливается при катагенетических преобразованиях. На рассматриваемых глубинах, принадлежащих, обычно к зоне позднего катагенеза, как в плане, так и в разрезе формируются флюидоупорные или полупорные участки, сильно затрудняющие латеральную проводимость пластов, в связи с чем зоны коллекторов приобретают «островной» (пятнистый) характер, а в гидродинамическом отношении образуются латерально-изолированные или весьма трудно сообщаемые системы. Даже в пределах отдельных структур для одного и того же пласта отмечены кратные вариации пористости на небольших расстояниях [3, 4].

Кроме того, в жестких термобарических условиях коллекторские свойства пород в большинстве своем являются эпигенетическими. Вторичные процессы оказывают значительное влияние на характер распространения пород-коллекторов как в плане, так и в разрезе. При этом в одних случаях они

усиливают формирование вторичной пористости, в других — способствуют залечиванию пор и трещин. В результате соотношение проницаемых и флюидоупорных толщ в разрезе компрессионного этажа носит очень сложный характер, а изолированность этих зон находит подтверждение в процессе разработки залежей, когда падение пластовых давлений в соседних скважинах не адекватны суммарным отборам.

Высокие пластовые температуры, характерные для рассматриваемых глубин [5, 6], оказывают также значительное влияние на формирование гидродинамических условий компрессионного этажа. В результате в глинистых и прочих минералах исчезает физически связанная вода, минерализация которой обычно меньше по сравнению с рыхлосвязанной, что может влиять на снижение минерализации водных растворов первично-седиментационных вод. Кроме того, практически исчезают силы, удерживающие воду вблизи минеральных зерен, тем самым значительно облегчается ее фильтрация. В то же время высокие температуры недр стимулируют и интенсифицируют реакции взаимодействия воды и минерального скелета породы. В частности, термодегидратация глинистых минералов, растворение и сравнительно быстрое насыщение вод трудно растворимыми в обычных условиях кремнистыми и карбонатными соединениями из водосодержащих отложений приводит к тому, что при восходящей миграции и смене термобарических обстановок они выпадают из растворов в осадок, залечивая пути разгрузки. В результате мозаичность в распространении зон развития коллекторов усиливается еще больше. Размеры этих зон определить довольно сложно, поскольку они пока слабо изучены, но по оценкам ряда исследователей измеряются сотнями, тысячами метров и первыми десятками километров. Нередко мозаичность проявляется в пределах одной структуры [3, 4].

Характерной особенностью компрессионного этажа является широкое распространение СГПД, вплоть до аномально высоких пластовых давлений. Коэффициенты негидростатичности при этом достигают 1,1–1,8, а некоторых случаях — 1,9–2,0 и выше, что на фоне повышенных пластовых температур способствует увеличению содержания растворенных газообразных углеводородных и прочих газов в подземных водах, препятствует литификации коллекторов и уплотнению покровов в смежных флюидоупорах. По-

следнее связано с наличием высокого противодействия флюидов на стенки пор. В этих условиях литификация идет пульсационно, в момент прорыва флюидов (сравливания давления) в верхние стратиграфические горизонты, поскольку возникающие градиенты давлений в смежных флюидонасыщенных интервалах, обычно кратно выше, чем внутри какого-либо резервуара.

СГПД способствуют активизации течения физико-химических процессов и реакций по принципу Ла-Шателье, протекающих с уменьшением объема на фоне увеличения плотности. Как правило, восходящий поток флюидов воздействует на горные породы, а агрессивные компоненты его, в частности углекислота, активно вступают в реакцию с карбонатными образованиями, участвуя в формировании вторичной емкости [4, 6]. Мигрирующие вместе с этим потоком УВ-флюиды заполняют образовавшуюся вторичную емкость. Вместе с этим протекают и процессы самозалечивания путей миграции выпадающими минералами — кальцитом, доломитом, ангидритом в окружающей зону СГПД пространстве. Следствием такого избирательного формирования зон развития вторичной пористости на фоне самозалечивания путей миграции является образование латерально изолированных флюидодинамических систем и возникновение высоких гидравлических градиентов между ними и окружающим их пространством.

Изложенное выше позволяет сделать следующие выводы:

1) глубокозалегающие горизонты и комплексы НГБ представляют собой сложно построенную мозаичную систему чередующихся зон развития и отсутствия коллекторов, размеры которых сопоставимы с размерами локальных структур;

2) в глубоких горизонтах НГБ региональные инфильтрационные (элизонные) потоки пластовых вод не могут существовать в принципе, что ставит под сомнение влияние краевых зон (горно-складчатого обрамления) и роль элизонных процессов на фор-

мирование полей распределения пластовых давлений;

3) литофациальная мозаичность распространения зон развития коллекторов усиливается структурно-тектоническим (в более узком смысле неотектоническим) фактором прямого действия, оказывающим непосредственное влияние на структуру порово-трещинного пространства, формирующим в разрезе зоны растяжений (сжатий), разуплотнений новейшего времени. Наличие таких зон «разбивает» глубокопогруженные комплексы на блоки (ячейки, линзы и т.п.), исключая возможность значимой латеральной миграции геофлюидов;

4) очаговый характер развития зон коллекторов в глубокопогруженных комплексах, их изолированность в плане и в разрезе позволяет предполагать наличие внутренних источников питания, определяющих энергетический потенциал гидродинамической системы. Такие источники могут располагаться ниже границы распространения осадочных образований — в консолидированной коре.

### Литература

1. *Капченко Л.Н.* Гидрогеологические основы теории нефтегазоаккумуляции. Л.: Недра, 1983. 263 с.
2. *Карцев А.А., Вагин С.Б., Шугрин В.П.* Нефтегазовая гидрогеология. М.: Недра, 1992. 208 с.
3. *Ларичев В.В., Попков В.И.* Гидрогеология доюрских отложений Южного Мангышлака. Ставрополь: СевКавГТУ, 2003. 144 с.
4. *Рабинович А.А., Попков В.И., Паламарь В.П., Михайленко Н.И.* Гидрогеологические особенности доюрского разреза Южного Мангышлака // Советская геология. 1985. № 11. С. 103–112.
5. *Медведев С.А., Попков В.И.* Генезис вод глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов молодой платформы юга СССР // Советская геология. 1986. № 6. С. 118–125.
6. *Попков В.И., Медведев С.А.* Эволюция тектонической проницаемости земной коры Мангышлака и Восточного Предкавказья // ДАН СССР. 1986. Т. 290. № 3. С. 690–693.

Ключевые слова: глубокопогруженные комплексы, гидродинамика, коллекторские свойства, нефтегазоносность.

Статья поступила 19 июня 2013 г.

Кубанский государственный университет, г. Краснодар

© Ларичев В.В., Попков В.И., 2013