УДК 556.314: 556.334

В.В.ПЕТРОВ, *канд. геол.-минерал. наук, заведующий сектором, pvvaqua@mail.ru*
Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П.Карпинского (*ВСЕГЕИ*), *Санкт-Петербург*

V.V.PETROV, *PhD in geol. & min. sc., department manager, pvvaqua@mail.ru*
A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute (*VSEGEI*), *Saint Petersburg*

РОЛЬ ЛИТИФИКАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД В ФОРМИРОВАНИИ ЭЛИЗИОННЫХ СИСТЕМ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНОВ ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ

Рассмотрены условия литификации горных пород в осадочных бассейнах на разных стадиях литогенеза. Показано, что литификация имеет определяющее значение при формировании элизионного режима артезианских структур. С прекращением литификации динамика элизионных процессов артезианских структур затухает. Процессы литификации горных пород, главным образом на стадии позднего катагенеза и метагенеза, как правило, приводят к нарушению нормальной гидрогеохимической зональности в глубоких частях разреза артезианских структур, создавая гидрогеохимическую инверсию (опреснение) в водоносных горизонтах.

***Ключевые слова*:** литификация, гидрогеохимическая зональность, артезианский бассейн, элизионный режим.

THE ROLE OF LITHIFICATION IN THE FORMATION OF EXPELLED HYDRAULIC SYSTEM AND HYDROGEOCHEMICAL ZONING IN PLATFORM ARTESIAN BASINS

The article considers the conditions of lithification in sedimentary basins at different stages of lithogenesis. It is shown that lithification is crucial in the formation of elisional regime in artesian structures. After this process elisional regime of artesian structures descends. Lithification of rocks mostly at the stage of catagenesis and metagenesis generally lead to disturbance of the normal hydrogeochemical zoning in the deep parts of the section of artesian structures creating a hydrogeochemical inversion (desalination) in aquifers.

***Key words*:** lithification, hydrogeochemical zoning, artesian basin, elisional regime.

Как известно, литификация горных пород – это процесс превращения рыхлых осадков в твердые породы. Он может происходить на различных стадиях преобразования осадка. В хемогенных и биогенных (особенно в органогенных) отложениях, состоящих из минеральных солей, карбонатов, кремнезема, фосфатов и пр., процесс литификации может начаться уже в ходе (или сразу же после) накопления каждой порции осадка. В обломочных и глинистых осадках литификация обычно начинается в конечные стадии диагенеза и в ходе катагенеза – под влиянием уплотнения, роста давления и температуры. Литификация сопровождается удалением избыточной воды, кристаллизацией коллоидов, химических и биохимических осажденных веществ, изменением минерального состава компонентов осадков и цемента формирующихся пород. Именно эти

процессы во многом влияют на особенности гидрогеодинамики и гидрогеохимии артезианских бассейнов. Основные черты процессов литификации осадков на разных стадиях литогенеза рассмотрены Е.А.Басковым [6].

Прежде всего отметим, что характерной особенностью формирования осадочных бассейнов является захоронение в стадию седиментогенеза вместе с осадками огромных количеств воды как в виде свободных жидких (гравитационных) вод, заполняющих поры между твердыми минеральными частицами (минералами и их ассоциациями), так и в виде физически и химически связанных вод, заключенных в твердых минералах. Химический состав свободных подземных вод, захоронявшихся с осадками (седиментогенных вод), определяется, очевидно, прежде всего составом придонных вод бассейнов осадконакопления. Так, например, с осадками морских водоемов захороняются соленые воды сульфатно-хлоридного магниево-натриевого состава с минерализацией обычно 20-35 г/кг; с соленосными галититовыми толщами – рассолы сульфатно-хлоридного магниево-натриевого состава с минерализацией 200-300 г/кг; с озерными осадками в областях гумидного климата – пресные (0,3-1 г/кг) воды гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава и т. д. [1, 3, 7, 8, 11].

В ходе прогрессивного литогенеза – при преобладании нисходящих тектонических движений и формировании чехла осадочных бассейнов – захороняющиеся и погружающиеся на глубину водонасыщенные породы постоянно стремятся достигнуть гравитационного и физико-химического равновесия, приспосабливаясь к новым *P-T*-условиям. При этом в первую очередь под тяжестью вышележащих пород (геостатическое давление) происходит частичное обезвоживание отложений, связанное с их уплотнением, приводящее к уменьшению их пористости и отжиму к поверхности земли свободных жидких подвижных вод, захороненных с осадками. Одновременно в бассейнах по мере накопления и погружения осадочных толщ на глубину, начиная с раннего диагенеза и вплоть до метагенеза, происходят сложные и разнообразные преобразования состава горных пород, включающие в себя взаимосвязанные изменения твердых, жидких и газообразных минералов. Особое значение при этом имеют процессы разложения органического вещества.

Примером осадочного бассейна, где проявляется развитие основных стадий литогенеза и процессов, сопровождающих литификацию осадков, может служить Южно-Каспийский бассейн, в котором продолжается осадконакопление, а мощность осадочного чехла достигает 25 км. Наиболее яркое проявление разгрузки элизионных вод, представленное здесь, – грязевой вулканизм.

Рассмотрим процессы, связанные с литификацией пород, применительно к современным артезианским бассейнам платформенных областей. В разрезе артезианских бассейнов выделяется два гидрогеодинамических этажа, отличающихся условиями формирования подземных вод. Верхний этаж приурочен к зоне свободного водообмена, где подземные воды формируются за счет атмосферных вод современного климатического цикла. Нижняя граница верхнего этажа определяется региональным базисом дренирования подземных вод и часто в естественных условиях приурочена к уровню моря. В процессе интенсивной эксплуатации подземных вод базис дренирования может искусственно снижаться ниже этой отметки. Динамика подземных вод верхнего этажа определяется во многом морфологическими особенностями поверхности соответствующей территории.

В нижнем гидрогеодинамическом этаже распространены подземные воды, не получающие современного питания. Это главным образом древнеинфильтрогенные и седиментогенные воды. Также на глубинах более 2 км в условиях повышенных значений температуры и давления в водоносных горизонтах могут быть распространены возрожденные, метаморфогенные и другие воды. В миграции подземных вод нижнего этажа преобладает вертикальная направленность.

В указанном этаже артезианских бассейнов функционируют главным образом элизионные (компрессионные) гидрогеоди-

намические системы разного типа: элизионные геостатические (литостатические, квазиэлизионные), термоэлизионные (эксфильтрационные термодегидратационные) и др. [4-6, 9, 10].

Основной причиной движения подземных вод в элизионных системах является потенциальная энергия упругой деформации жидкости, возникающая при сжатии жидкости в результате различных процессов уплотнения и геохимического преобразования пород на стадиях диа- и катагенеза и метаморфизма. При этом основными факторами являются: 1) уменьшение порового и трещинного пространства горных пород от 50 до 6 % (под действием геостатического и геодинамического давления, а также за счет новообразования твердых минералов); 2) появление новых объемов свободной воды в результате процессов дегидратации твердых минералов и (или) миграции вод из более глубоких частей разреза бассейнов (и их фундамента); 3) повышение температуры с глубиной.

Все эти процессы приводят к увеличению удельного объема подземных вод в порах и трещинах и соответственно к повышению пластового давления этих вод. При преобладании в бассейнах нисходящих тектонических движений в песчано-глинистых, галогенных и других формациях, с чередованием в разрезе пород с разной проницаемостью, часто возникают гидродинамически изолированные блоки, в которых пластовое давление подземных вод существенно (до 2 раз, а иногда и более) превышает условное гидростатическое. Подобные сверхгидростатические (аномально высокие) пластовые давления могут возникать в разных частях разреза осадочных бассейнов, но наиболее характерны они для глубин 4-6 км и более.

Следует указать, что элизионный режим наиболее интенсивно проявляется в процессе образования осадочного бассейна при опускании фундамента и накоплении осадков, после образования в разрезе бассейна регионально выдержанных водоупорных горизонтов на стадии раннего и среднего катагенеза. Движение подземных вод из уплотняющихся осадочных толщ происходит преимущественно по субвертикальным направлениям. Очаги разгрузки этих вод тяготеют к крупным зонам разломов, соляным куполам, грязевым вулканам. При наличии перекрывающего водоупора возможна и латеральная миграция потоков отжимаемых вод к краевым частям бассейнов по хорошо выдержанным и высокопроницаемым пластам.

Однако после прекращения осадконакопления в бассейне и завершения процесса литификации пород на определенной стадии (протокатагенез, мезокатагенез, апокатагенез) поток разгружающихся элизионных вод постепенно уменьшается. Таким образом, в современных артезианских бассейнах в пределах древних платформ элизионный процесс проявляется главным образом в виде вертикальной миграции подземных вод по проницаемым зонам разломов, латеральная миграция вод при этом проявлена весьма ограниченно.

В артезианских бассейнах молодых платформ, где между фундаментом и чехлом распространен промежуточный этаж, сложенный породами, часто находившимися в зоне позднего катагенеза (апокатагенез), на глубине 5-15 км, при температуре 300-350 °С, при сокращении пористости от 6 до менее 3 %, существование элизионного режима после прекращения процессов осадконакопления обеспечивается продолжением процессов литификации пород промежуточного этажа, а также фундамента, находящегося в зоне метагенеза. Насыщенные газами термальные воды из нижних частей разреза, поступая в водоносные горизонты чехла, активизируют их гидрогеодинамику. Кроме того, эти процессы приводят к формированию аномально высокого пластового давления в чехле бассейнов.

Литификация пород весьма существенно влияет на гидрогеохимическую зональность артезианских бассейнов, чаще всего приводя к разного рода инверсиям часто встречающихся в артезианских бассейнах молодых платформ. Говоря о гидрогеохимических условиях артезианских бассейнов платформ, следует отметить, что

многолетние исследования показали тесную зависимость между степенью минерализации и химическим составом подземных вод и литолого-фациальными особенностями водовмещающих формаций.

В осадочных бассейнах в пределах зоны диагенеза (в акваториях) и в зоне катагенеза (по имеющимся данным, до глубины 6 км) минерализация и химический состав подземных вод являются в значительной мере унаследованными от вод древних бассейнов седиментации, в которых происходило накопление водовмещающих (или смежных с ними) осадочных формаций. Так, высококонцентрированные рассолы с минерализацией 270-350 г/кг и более (до 420 г/кг) установлены только в осадочных бассейнах с развитием пластовых залежей каменной и (или) калийной солей, очевидно, накапливавшихся в водоемах высокой солености. В районах развития карбонатных и терригенных толщ с пластами гипса и ангидрита минерализация подземных рассолов не превышает 200 г/кг, т.е. также определяется соленостью вод в бассейнах седиментации при накоплении в них солей сульфатов кальция. В морских терригенных и карбонатных формациях минерализация подземных вод в пределах нижнего этажа (без влияния галогенных формаций) не превышает 40 г/кг, а в континентальных гумидных терригенных формациях (без влияния морских и галогенных формаций) – до 10 г/кг [1-3, 7, 12].

При этом в артезианских бассейнах древних платформ, как правило, выявляется нормальная гидрогеохимическая зональность, выражающаяся в постепенном увеличении степени минерализации вод с глубиной от пресных вод к соленым и рассолам. В бассейнах молодых платформ (например, север Западно-Сибирского сложного артезианского бассейна), сложенных часто морскими терригенными формациями, на большой глубине выявляется обратная гидрогеохимическая зональность, где степень минерализации вод уменьшается с глубиной. Как представляется, такого рода аномалии связаны с процессами литогенеза преимущественно глинистых пород, проявляющихся в чехле и промежуточном этаже этих структур. Именно здесь, как отмечено выше, выделяется довольно большое количество пресных химически и физически связанных вод.

Выводы

1. Процессы, сопровождающие литификацию горных пород в осадочных бассейнах на разных стадиях литогенеза, имеют определяющее значение при формировании элизионного режима артезианских структур. С прекращением литификации пород интенсивность элизионных процессов артезианских структур затухает. Прежде всего, это касается структур древних платформ.

2. Основным фактором появления гидрогеохимической инверсии (опреснения) водоносных горизонтов в глубоких частях разреза артезианских структур являются процессы литификации пород главным образом на стадии позднего катагенеза и метагенеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Басков Е.А.* Гидротермы Земли / Е.А.Басков, С.Н.Суриков. Л.: Недра, 1989. 245 с.

2. *Зайцев И.К.* Закономерности распространения и формирования минеральных (лечебных и промышленных) подземных вод на территории СССР / И.К.Зайцев, Н.И.Толстихин. М.: Недра, 1972. 230 с.

3. *Капченко Л.Н.* Гидрогеологические основы теории нефтегазонакопления. Л.: Недра, 1983. 263 с.

4. *Капченко Л.Н.* Нефтегазовая гидрогеология нижних частей разреза осадочных нефтегазоносных бассейнов // Критерии и методы прогнозирования нефтегазоносности больших глубин / ВНИГРИ. Л., 1990. С.35-50.

5. *Лебедев Б.А.* Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. Л.: Недра, 1992. 239 с.

6. Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов / Под ред. А.Д. Щеглова; ВСЕГЕИ. СПб, 1998. 480 с.

7. Палеогидрогеохимические исследования. Принципы и методы оценки рудоносности геологических формаций / Под ред. Е.А.Баскова. Л.: Недра, 1985. 251 с.

8. Подземные воды и эволюция литосферы: Матлы всесоюз. конф.: В 2 т. М.: Наука, 1985. Т.1. 280 с.; т.2. 488 с.

9. Условия нефтегазообразования на больших глубинах / Отв. ред. В.В.Семенович, С.Г.Неручев, О.К.Баженова. М.: Наука, 1988. 248 с.

10. Флюидодинамический фактор в тектонике и нефтегазоносности осадочных бассейнов. М.: Наука, 1989. 110 с.

11. Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов: В 2 т. М.: Наука, 1982. Т.1. 432 с; т.2. 368 с.

12. *Ходьков А.Е.* Формирование и геологическая роль подземных вод / А.Е.Ходьков, Г.Ю.Валуконис. Л.: Изд-во ЛГУ, 1968. 216 с.

REFERENCES

1. *Baskov E.A.*, *Surikov S.N.* Hydrotherms of the Earth. Leningrad: Nedra, 1989. 245 p.

2. *Zaitsev I.K.*, *Tolstikhin N.I.* Patterns of Proliferation and the Formation of Mineral (Medical and Industrial) Groundwater in the USSR. Moscow: Nedra, 1972. 230 p.

3. *Kapchenko L.N.* Hydrogeological Fundamentals of the Theory of Oil-and-Gas accumulation. Leningrad: Nedra, 1983. 263 p.

4. *Kapchenko L.N.* Oil-and-Gas Hydrogeology of the Lower Parts of the Section of Sedimentary Oil-and-Gas Basins // Criteria and Methods for Forecasting of Oil-and-Gas accumulation at Great Depths / VNIGRI. Leningrad, 1990. P.35-50.

5. *Lebedev B.A.* Geochemistry of Epigenetic Processes in Sedimentary Basins. Leningrad: Nedra, 1992. 239 p.

6. Litogeodinamika and Minerageny of Sedimentary Basins / Editor A.D.Scheglov; VSEGEI. Saint Petersburg, 1998. 480 p.

7. Paleogidrogeochemical Study. The Principles and Methods for Evaluating Ore Geological Formations / Editor E.A.Baskov. Leningrad: Nedra, 1985. 251 p.

8. Groundwater and the Evolution of the Lithosphere: Materials of All-Union. Conf.: 2 V. Moscow: Nauka, 1985. V.1. 280 p., v.2. 488 p.

9. Terms of Oil-and-Gas accumulation at Greater Depths / Eds. V.S.Semenovich, S.G.Neruchev, D.C.Bazhenova. Moscow: Nauka, 1988. 248 p.

10. Fluid-Dynamic Factors in the Tectonics and Oil-and-Gas Potential of Sedimentary Basins. Moscow: Nauka, 1989. 110 p.

11. Formation of Groundwater as a Basis for Hydrogeological Forecasts: 2 V. Moscow: Nauka, 1982. V.1. 432 p., v.2. 368 p.

12. *Khodkov A.E.*, *Valukonis G.Y.* Formation and Geological Role of Groundwater. Leningrad: LGU, 1968. 216 p.