

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ПРОЦЕССЫ МИГРАЦИИ И АККУМУЛЯЦИИ НЕФТИ И ГАЗА: ИЗУЧЕНИЕ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Федорова Надежда Федоровна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: nadezhda.fedorova.59@inbox.ru

Быстрова Инна Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: bystrova1948@list.ru

Заскокина Анастасия Владимировна, магистр, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: styusha_9610@mail.ru

Предметом исследования являются процессы миграции и аккумуляции нефти и газа. Проблема миграции и аккумуляции нефти и газа очень многогранна. Сложность этой проблемы дала в свое время большие возможности для разнообразных построений и вызвала к жизни огромное количество всевозможных гипотез и теорий. Нефть и газ приобретают промышленное значение, когда они попадают в породы-коллекторы и концентрируются в залежи. Нефть и газ вначале находятся в рассеянном состоянии в глинистых и карбонатных породах в виде растворенных частиц в нерастворенном органическом веществе. Процесс движения нефти и газа из уплотняющихся материнских пород в коллекторы называется первичной миграцией. Исходное вещество (кероген) присутствует в материнских породах и является источником основной массы углеводородных соединений. Чтобы органическое вещество было преобразовано, необходима энергия, которая заключена в самих осадках и органическом веществе. Органическое вещество в различных концентрациях присутствует практически во всех типах осадочных пород, начиная от самых древних – архей-протерозойских и до современных. Затем наступает следующий этап – концентрация углеводородов и аккумуляция их в залежи нефти и газа. Данный процесс называется вторичной миграцией. Аккумуляция нефти и газа не может происходить, если не сформирована ловушка. Ловушка может образоваться во время одного геологического периода либо на протяжении всего этапа отложения продуктивных пород. Вода, нефть и газ могут мигрировать и вертикально, как сверху вниз, так и снизу вверх. На примере изучения пород терригенного девона в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, в пределах Башкирского было установлено, что формирование месторождений данной территории происходило за счет вышележащих нефтематеринских свит из-за зон с повышенным пластовым давлением, которые препятствуют миграции вверх. При рассмотрении вопросов миграции и аккумуляции нефти и газа необходимо учитывать геологические условия миграции и аккумуляции и дальность миграции нефти и газа.

Ключевые слова: миграция, аккумуляция, органическое вещество, нефть, газ, порода-коллектор, ловушка, залежь

**PROCESSES OF MIGRATION AND ACCUMULATION
OF OIL AND GAS: STUDYING AND REPRESENTATION
ON PRESENT STAGE**

Fedorova Nadezhda F., C.Sc. in Geological and Mineralogical, Associate Professor, Astrakhan State University, 414000, Astrakhan, 1 Shaumyan sq., e-mail: nadezhda.fedorova.59@inbox.ru

Bystrova Inna V., C.Sc. in Geological and Mineralogical, Associate Professor, Astrakhan State University, 414000, Astrakhan, 1 Shaumyan sq., e-mail: bystrova1948@list.ru

Zaskokina Anastasia V., master, Astrakhan State University, 414000, Astrakhan, 1 Shaumyan sq., e-mail: styusha_9610@mail.ru

The subject of the study is the processes of migration and accumulation of oil and gas. The problem of migration and accumulation of oil and gas is very multifaceted. The complexity of this problem gave in due time great opportunities for a variety of constructs and brought to life a huge number of all sorts of hypotheses and theories. Oil and gas become of industrial importance when they enter the reservoir rocks and concentrate in the deposits. Oil and gas are initially scattered in clay and carbonate rocks in the form of dissolved particles in undissolved organic matter. The process of transporting oil and gas to the reservoirs is called primary migration. The starting material (kerogen) is present in the parent rocks and is the source of the bulk of hydrocarbon compounds. In order for the organic matter to be transformed, energy is needed, which is contained in the sediments themselves and organic matter. Organic matter in various concentrations is present in virtually all types of sedimentary rocks, ranging from the oldest – the Archaean-Proterozoic and up-to-date. Then comes the next stage – the concentration of hydrocarbons and accumulation of them into oil and gas deposits. This process is called secondary migration. Accumulation of oil and gas can not occur if a trap is not formed. The trap can be formed during one geological period or throughout the entire stage of deposition of productive rocks. Water, oil and gas can migrate and vertically, from top to bottom and from bottom to top. Using the example of the study of the rocks of the terrigenous Devonian in the Volga-Ural oil and gas province, within Bashkirsky it was established that the formation of deposits of this territory occurred due to overlying oil reservoirs because of zones with increased reservoir pressure that prevent migration upwards. When considering the issues of migration and accumulation of oil and gas, it is necessary to take into account the geological conditions of migration and accumulation and the range of migration of oil and gas.

Keywords: migration, accumulation, organic matter, oil, gas, reservoir rock, trap, reservoir

Нефть и газ имеют промышленное значение тогда, когда они образуют залежи. Переход углеводородов из материнских пород в природные резервуары называется первичной миграцией. Конечным этапом формирования залежи является концентрация нефти и газа из рассеянного в пластовых водах состояния в промышленное скопление. Этот процесс называется вторичной миграцией. В некоторых случаях сами материнские породы в результате литогенетических процессов приобретают высокие фильтрационно-емкостные свойства (ФЭС) и в результате этого могут содержать нефть и газ и способны отдавать их при разработке.

Леворсен писал в своих работах: «Проблема миграции и аккумуляции нефти и газа очень многогранна. Сложность этой проблемы, дающая большие возможности для разнообразных умозрительных построений, вызвала к жизни огромное количество разнообразных теорий для объяснения этих явлений» [5].

Прошло много десятилетий, но в настоящее время так и не имеется ответа на данный вопрос. Достоверную информацию о том, как проходят эти процессы, получаем только при разработке месторождения или при бурении скважин.

При изучении первичной миграции углеводородов из нефтематеринских пород всплывает множество сложных вопросов, особенно связанных с причинами начала движения флюидов. Кероген является источником основной массы углеводородных соединений. Он присутствует в дисперсной среде и в концентрируемой форме в материнских породах. Для преобразования органического вещества (керогена) необходима энергия, которая частично находится в самом органическом веществе и осадках [3].

Органическое вещество находится практически во всех типах осадочных пород, только в разных концентрациях, начиная от самых древних – архей-протерозойских и до современных. Благодаря исследованию органического вещества, многие ученые (Н.Б. Вассоевич, Б. Тиссо, К.Ф. Радионова, В.А. Успенский, Д. Вельте, С. Г. Неручев и др.) выявили то, что основными поставщиками органического вещества в осадки являются бактерии, фитопланктон, зоопланктон, а также высшие растения.

После того, как органическое вещество попало в осадок, оно уже утратило изначальный химический состав, который был свойственен живым организмам. В дальнейшем еще сильнее изменяется первоначальный вид органического вещества из-за процессов аккумуляции и седиментогенеза. Данный процесс сопровождается несколькими факторами, такими как: палеогеографическая обстановка осадконакопления, характеристика водного режима, окружающего осадок и др. [4]

Органическое вещество характеризуется наличием основного элемента в своем составе – органического углерода. Поэтому содержание органического вещества в породах определяется именно по содержанию в них органического углерода ($C_{орг}$) (рис. 1).

Наиболее важными составляющими, получаемыми из органического вещества, являются следующие компоненты: битумоиды – это компоненты, растворимые в органических растворителях и кероген – это остаток органического вещества после экстракции из него битумоидов (т.е. извлечения вещества из раствора или сухой смеси с помощью подходящего растворителя).

В 1967 г. Н.Б. Вассоевичем было предложено называть эту часть битумоидов «микронепть». Понятие «микронепть» лучшим образом отражает генетическую связь между нефтью и органическим веществом пород.

По мере развития литогенеза содержание микронепти и ее состав в осадках и породах изменяется. В.А. Успенским была выявлена закономерность, что чем больше битуминозных компонентов содержится в органическом веществе, тем меньше его содержание в породе. Аналогичную закономерность для органического вещества современных осадков обнаружил и Н. Б. Вассоевич.

Еще одним наиболее важным компонентом, входящим в состав органического вещества, является кероген. Это нерастворимое органическое вещество. Основным компонентом керогена является углерод. В меньших количествах содержатся азот, кислород, водород и сера.

Главнейшими характеристиками керогена являются степень термической зрелости и генетический тип. Эти параметры показывают образование нефтяных углеводородов [1].



Рис. 1. Пути преобразования органического материала в процессе седиментации и при диагенезе, приводящие к возникновению двух основных фракций органического вещества: керогена и хемофоссилий (по Б.Тиссо, Д. Вельте, 1981)

По мере накопления осадков формируется осадочный слой, который в основном обусловлен тектоническими воздействиями. В то же время осадочные толщи постоянно погружаются вглубь, где увеличивается давление и температура. В результате обновленной окружающей обстановки очень сильно меняется состав исходных осадков, их структура, физические свойства (пористость, плотность, теплопроводность и др.), а также минералогический состав и поэтапно осадки превращаются в горные породы.

В зависимости от того, как долго воздействовали давления и температуры на горные породы, а также на органическое вещество, находящееся в них, степень катагенетических преобразований будет различна. В то же время определенные показатели температур и давлений в различных интервалах глубин зависят от особенностей геологического строения и истории геологического развития конкретного региона.

В XX в. проводилось множество исследований в данной области, ученые выдвигали различные гипотезы и подтверждения. Данными вопросами активно занимался Н.Б. Вассоевич, который, изучив все материалы других исследований, смог прийти к выводу.

На этапе раннего катагенеза осадок претерпевает небольшие изменения. Он погружается на глубину, что сопровождается медленным увеличением давления и температуры. В органическом веществе появляются новые углеводороды, а также преобразуются имеющиеся. Данный процесс характеризуется медленным видоизменением осадков. На начальном этапе катагенеза в основном образуются метан и углекислый газ, а ближе к завершению – высокомолекулярные углеводороды.

Под влиянием относительно высоких температур резко увеличивается генерация углеводородов. Их концентрация приводит к образованию микроневфти. Возникают условия, когда содержание микроневфти в породе достигает критического уровня. Это приводит к десорбции углеводородов и их отрыву как от материнской органики, так и минеральных компонентов породы. При этом происходит прорыв жидких и газообразных углеводородов из минеральной матрицы, а также возникают аномально высокие давления и интенсивная эмиграция путем растворения жидких углеводородов в образующихся сжатых газах и частично в воде.

В 1967 г. Н. Б. Вассоевич эту стадию преобразования органического вещества назвал главной фазой образования нефти. В зарубежной литературе ее называют «нефтяным окном» [7].

Интервалы глубин, на которых создаются оптимальные условия возникновения главной фазы нефтеобразования, называются главной зоной нефтеобразования [1].

Превращение же микроневфти в собственно нефть (макроневфть), процессы миграции и аккумуляции нефти и газа происходят уже на формационном уровне.

И. М. Губкин представлял первичную миграцию как вынос нефти из материнских пород водой в виде мельчайших капелек.

Леворсен, изучая процессы миграции, писал, что нефть и газ, поступающие вместе с водой, находятся в этой воде в коллоидальном или взвешенном состоянии в виде микроскопических частиц, а часть нефти и газа может быть растворена в воде. Если отсутствуют силы, побуждающие нефть и газ к движению, то они будут оставаться в течение длительного времени в неподвижном состоянии и могут погрузиться на значительную глубину.

Вероятно, что основной силой, влияющей на перемещение нефти и газа, является их плавучесть. Она обуславливает миграцию нефти и газа в наиболее высокие участки продуктивных пластов как по направлению движения пластовых вод, так и против него [5].

Размер скопления нефти или газа может ограничиваться такими факторами, как количеством исходного органического вещества и особенностями участка аккумуляции. От существующих пластовых условий будет зависеть объем заполнения ловушки нефтью или газом. Миграция происходит до тех пор, пока ловушка не встретится на пути.

Аккумуляция нефти и газа не может происходить, если не сформирована ловушка. Ловушка образуется во время одного геологического периода, после того как произошло отложение будущих продуктивных осадков либо позднее. Ловушки могут быть сформированы и на протяжении всего этапа отложения продуктивных пород с перерывами в осадконакоплении. На любой стадии образования коллекторов в ловушке может происходить первичная аккумуляция нефти.

Большинство ловушек характеризуется тем, что в них свободная вода находится и в статическом и в динамическом состоянии. Не зависимо от того, как осуществляется перенос нефти и газа, их движение происходит у кровли проницаемых пород, возможно, в виде тонких пленок.

Когда огромные объемы воды с нефтью или газом попадают в ловушку, то рассеянные в воде углеводороды удерживаются, а вода удаляется. Вода легче всего проходит через купола и антиклинали.

Наглядным примером, когда ловушка сталаместилищем заключенных в них в настоящее время скоплений нефти, служит месторождение Вошелл в округе Макферсон, Канзас (рис. 2).

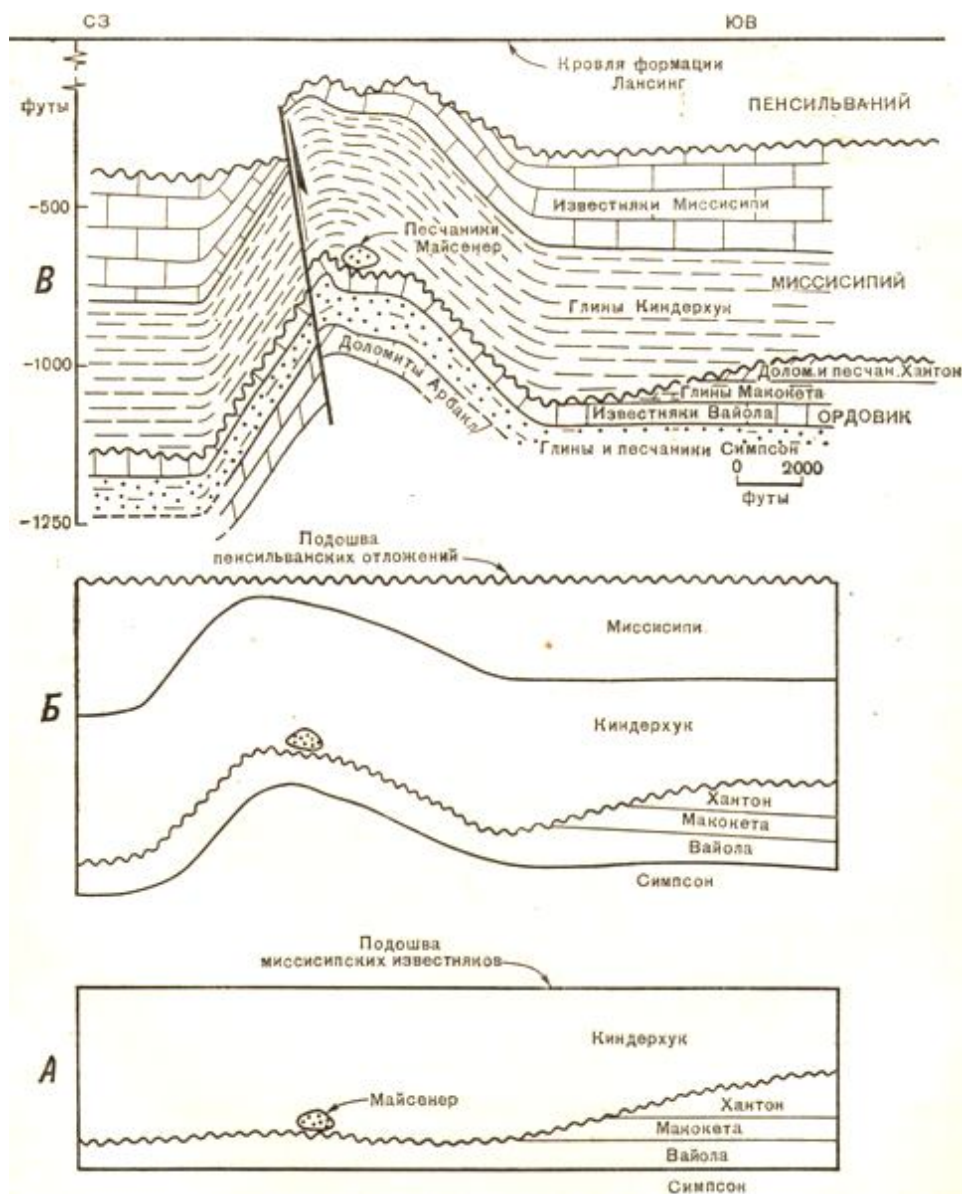


Рис. 2. История формирования структурной ловушки на месторождении Вошелл, округ Манферсон, Канзас [5]

На рисунке 2 А приведено положение структуры к концу отложения глини Киндерхук. К этому времени локальной антиклинальной складки еще не существовало. Но видно выклинивание известняков Хантон (девон-силур), которые в настоящее время образуют стратиграфическую ловушку на южном крыле структуры Вошелл. Сформировалась ловушка и в песчаной линзе Майсенер (миссисипий).

На рисунке 2 Б показано положение структуры к началу персильванского времени (все допенсильванские породы смяты в складку).

На рисунке 2 В - положение структуры к концу отложения формации Лансинг. Здесь уже антиклинальная складка нарушена взбросом. В складку смяты как допенсильванские породы, так и отложения от подошвы пенсильвании до кровли формации Лансинг. Такое складкообразование способствовало формированию большого количества новых ловушек для нефти и газа. Можно выделить три этапа образования в ордовикское время ловушки месторождения Вошелл. В каждый этап прироста структуры происходило увеличение эффективного объема, что привело и к увеличению запасов нефти этого месторождения.

Миграция флюидов (нефти, газа и воды) может происходить вертикально, как снизу вверх, так и сверху вниз. Эти движения зависят от местоположения зоны пониженного гидростатического давления. Участки с пониженным или повышенным гидростатическим давлением проявляют себя в процессе бурения в виде различных осложнений [2].

Современными геологическими и геофизическими исследованиями установлено формирование месторождений в результате миграции углеводородов вниз по разрезу.

Так, в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, в пределах Башкирского свода в породах терригенного девона открыто и разрабатывается более 30 месторождений нефти. Изучение девонского терригенного нефтегазоносного комплекса установило, что формирование месторождений происходило за счет вышележащих нефтематеринских свит из-за зон с повышенным пластовым давлением, которые препятствуют миграции вверх [6].

Было выявлено, что основными факторами, которые существенно влияют на нефтегазоносность девонского терригенного нефтегазоносного комплекса, является седиментогенез. Этот процесс характеризуется условиями прибрежного мелководья и частым преобладанием окислительных условий в диагенезе. На данной территории не обнаружено нефтематеринских свит.

По результатам исследований выяснили то, что эмиграционный потенциал был слишком низок, для того чтобы сформировать большое количество залежей нефти.

Проведенные генетические корреляции органического вещества пород и нефтей девонского терригенного и выше- и ниже- лежащих комплексов позволило выявить генетическую связь девонских нефтей с вышележащими нефтями верхнедевонско-турнейского возраста и отсутствие связи с нефтями рифейско-вендского перспективного нефтегазоносного комплекса [8].

Проведенные работы позволили сделать вывод о том, что на юге Пермского края залежи нефти девонского терригенного комплекса формировались, скорее всего, за счет миграции углеводородов вниз по разрезу.

При рассмотрении вопросов миграции и аккумуляции нефти и газа необходимо учитывать геологические условия миграции и аккумуляции и дальность миграции нефти и газа.

Изучение геологической обстановки в нефтегазоносных районах помогает понять граничные геологические условия, которые могут влиять на миграцию и аккумуляцию нефти и газа.

В самом схематичном виде эти геологические условия можно выразить в следующем:

- каждая залежь нефти и газа подпирается водой;
- вода может быть свободной или связанной, а также краевой или подошвенной;
- вода, насыщающая коллектор, находится в движении;
- нефть и газ обладают меньшей плотностью, чем вода и не смешиваются с ней;
- нефтегазоносные породы-коллекторы различаются по возрасту, происхождению, по фильтрационно-емкостным свойствам;
- каждая залежь нефти и газа имеет свою температуру и пластовое давление.

Список литературы

1. Баженова О. К. Геология и геохимия нефти и газа / О. К. Баженова, Ю. К. Бурлин, Б. А. Соколов, В. Е. Хаин. – Москва : Московский государственный университет, 2000. – 384 с.
2. Высоцкий И. В. Формирование нефтяных, газовых и конденсатногазовых месторождений / И. В. Высоцкий, В. И. Высоцкий. – Москва : Недра, 1986. – 228 с.
3. Дюнин В. И. Движение флюидов: происхождение нефти и формирование месторождений углеводородов / В. И. Дюнин, А. В. Корзун. – Москва : Научный мир, 2003. – 97 с.
4. Ермолкин В. И. Геология и геохимия нефти и газа / В. И. Ермолкин, В. Ю. Керимов. – Москва : Недра, 2012. – 460 с.
5. Леворсен А. И. Геология нефти и газа / А. И. Леворсен. – Москва : Мир, 1970. – 627 с.
6. Кожевникова Е. Е. Проблемы миграции углеводородов из нефтематеринских свит / Е. Е. Кожевникова, Т. В. Карасева // Нефтегазовое дело. – 2014. – Т. 12, № 1. – С. 25–29.
7. Козлова И. А. Нефтегазопромысловая геология / И. А. Козлова. – Пермь : Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2013. – 71 с.
8. Соболева Е. В. Химия горючих ископаемых / Е. В. Соболева, А. Н. Гусева. – Москва : Московский государственный университет, 2010. – 312 с.

References

1. Bazhenova O. K., Burlin Yu. K., Sokolov B. A., Khain V. Ye. *Geologiya i geokhimiya nefi i gaza* [Geology and geochemistry of oil and gas], Moscow, Moscow State University Publ. House, 2000. 384 p.
2. Vysotskiy I. V., Vysotskiy V. I. *Formirovanie neftyamykh, gazovykh i kondensatnogazovykh mestorozhdeniy* [Formation of oil, gas and condensate-gas deposits], Moscow, Nedra Publ., 1986. 228 p.
3. Dyunin V. I., Korzun A. V. *Dvizhenie flyuidov: proiskhozhdenie nefi i formirovanie mestorozhdeniy uglevodorodov* [Fluid movement: the origin of oil and the formation of hydrocarbon deposits], Moscow, Nauchnyy mir, 2003. 97 p.
4. Yermolkin V. I., Kerimov V. Yu. *Geologiya i geokhimiya nefi i gaza* [Geology and geochemistry of oil and gas], Moscow, Nedra Publ., 2012. 460 p.
5. Levorsen A. I. *Geologiya nefi i gaza* [The geology of oil and gas], Moscow, Mir Publ., 1970. 627 p.
6. Kozhevnikova Ye. Ye., Karaseva T. V. Problemy migratsii uglevodorodov iz neftematerinskikh svit [Problems of migration of hydrocarbons from oil reservoirs]. *Neftegazovoe delo* [Oil and Gas Business], 2014, vol. 12, no. 1, pp. 25–29.
7. Kozlova I. A. *Neftegazopromyslovaya geologiya* [Oil and gas field geology], Perm, Perm National Research Polytechnic University publ. House, 2013. 71 p.
8. Soboleva Ye. V., Guseva A. N. *Khimiya goryuchikh iskopaemykh* [Chemistry of combustible minerals], Moscow, Moscow State University Publ. House, 2010. 312 p.