SOCAR Proceedings

Oil and Gas Fields Exploration, Geology and Geophysics

journal home page: <http://proceedings.socar.az>

ОБРАЗОВАНИЕ ЭВАПОРИТОВ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ НЕСТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК

Е.А. Сидорчук*, М.Е. Селиверстова

Институт проблем нефти и газа Российской академии Наук, Москва, Россия

Evaporite Rocks as a Factor in Formation of Non-structural Traps

E.A. Sidorchuk*, M.E. Seliverstova

Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

The paper considers the improvement in classification of oil and gas traps formed in non-anticlinal conditions. The relevant aim is to expand the areas where hydrocarbon accumulations are searched for and to take into account the new search attributes. Evaporite rocks, widely developed in many oil and gas basins, have properties that contribute to the preservation of hydrocarbon deposits. Depending on the structural features of the salt formations, their impact on the location of oil and gas deposits varies. The deposits associated with the evaporite rocks are analyzed. Types of traps, the main factor in formation of which are evaporites, are defined. Such traps are proposed to be treated as a separate category.

Keywords:

Evaporite rocks;
Non-structural and combined traps;
Hydrocarbon accumulations;
Classifications of traps;
Tectonic style; Sealed reservoirs.

© 2021 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Развитие теоретических основ прогнозирования и разработки методик поисков скоплений нефти и газа неразрывно связано с совершенствованием классификаций ловушек нефти и газа с учетом новых данных о структурах, которым ранее не уделялось внимание.

На современном этапе поисковых и геолого-разведочных работ открытие крупных месторождений нефти и газа, приуроченных к антиклинальным структурам, имеет низкую вероятность. Структурный фактор как поисковый признак потерял свою значимость. Прогноз и поиск залежей нефти и газа в неструктурных ловушках разной природы становится все более затруднительным.

Многие исследователи отмечают пространственную связь нефтегазовых месторождений с эвапоритовыми породами [1–4]. 75% месторождений газа и газоконденсата приходится на эвапоритовые бассейны. Такое положение объясняется сходством геологических условий развития нефтегазоносных и эвапоритовых бассейнов, основанных на структурно-тектонических, литологических и гидрохимических факторах [1].

Существует достаточное количество работ по классификациям неструктурных ловушек зале-

жей УВ, в основе которых лежат разные подходы (Габриэлянц, 1975; Окнова, 2012; Поляков, 2015 и др.). В большинстве случаев под неструктурными ловушками подразумевают неантиклинальные ловушки. Глобально все классификации можно рассматривать как объединение ловушек в большие группы по генетическому, морфологическому и комбинированному признакам. Вследствие того, что многие нефтегазовые месторождения приурочены к территориям, в которых широко развиты эвапоритовые породы, авторы провели анализ различных классификаций по выяснению роли эвапоритов при формировании неструктурных ловушек для скопления УВ. На рисунке 1 проиллюстрировано широкое распространение эвапоритовых пород на территории бывшего СССР [2].

Эвапориты обладают рядом ценнейших качеств, способствующих образованию потенциальных ловушек углеводородов. Их наличие в разрезе определяет высокую степень сохранности залежей, в том числе и в условиях высоких температур и давлений. Тогда как глинистые породы, наиболее часто являющиеся флюидоупорами, в аномальных условиях становятся хрупкими и трещиноватыми и не могут быть надежными экранами для углеводородов. К главным свойствам эвапоритов относятся высокая пластичность и непроницаемость.

*E-mail: elena_sidorchuk@mail.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP2021SI200547>

В классификации, представленной в работе [4], ловушки УВ, приуроченные к соляным куполам, относят к структурному типу. Автором книги выделены ловушки, приуроченные к простым антиклиналям с соляным ядром, к прорванным соляным куполам или диапирам, промежуточным структурам или структурам в виде «панциря» между соляными куполами. В более поздних работах, в частности [5], выделены комбинированные ловушки, связанные с соляными интрузиями. Залежи УВ, ограниченные соляными интрузиями, широко распространены в Прикаспийском НГБ (месторождения Кульсары, Мунайлы и др.), в бассейне Мексиканского залива. При перетекании соляного материала образуются залежи, локализованные в структурных формах и латерально ограниченные по рвущемуся контакту диапира с вмещающими породами [5]. Собственно, больше в классификациях нет особых указаний на ловушки УВ, связанные с экранированием эвапоритовыми породами.

Площадь развития соленосной формации на юго-востоке Восточно-Европейской платформы составляет более 620 тыс км². Соленосная формация выделяется в объеме филипповского и иренского горизонтов. Правомочно рассматривать соленосную толщу как региональную покрывку. С подсолевой толщей связаны перспективы нефтегазоносности. Как правило, соленосная формация залегает согласно на подстилающих отложениях артинского яруса. Но на востоке Прикаспийской впадины соленосная формация в относительно узкой зоне с резким угловым и стратиграфическим несогласием перекрывает разновозрастные стратиграфические подразделения нижнего карбона нижней

перми [6]. В соответствии с геологическим строением именно на этой территории с большой степенью вероятности перспективы нефтегазоносности связаны с залежами в неструктурных ловушках, ограниченных соленосной региональной покрывкой. В западном направлении величина эрозионного среза последовательно уменьшается, и на площади Кенкияк соленосная толща согласно залегает на породах артинского яруса. В западном обрамлении впадины на отдельных участках также зафиксировано несогласное залегание соленосной формации на отложениях артинского, сакмарского и ассельского ярусов. Максимальный диапазон стратиграфического несогласия зафиксирован на площади Джилансаид (скв. Г-7) на самой восточной окраине Прикаспийской впадины.

Перспективы нефтегазоносности краевых зон эвапоритовых бассейнов определяются широким развитием в их пределах мощных карбонатных толщ, сложенных органогенно-обломочными и биогермными телами [1]. Органогенные и органогенно-обломочные породы служат хорошими проводниками для вод окружающих отложений, так как состоят из скелетной карбонатной основы и меньше подвергаются уплотнению в период литификации осадка по сравнению с карбонатными илами, глинами и другими породами. Высокоминерализованные растворы, обогащенные магнием, перемещаясь через биогермное тело, вызывают доломитизацию, способствуя возникновению высокопористых и кавернозных зон. Также может происходить и частичное растворение известняковых пород. Процессы растворения органогенных и органогенно-обломочных известняков зависят от многих факторов.

Периоды растворения чередуются с периодами осаждения и заполнения вновь образованных пор. Развитие рифовых образований, характеризующихся максимальной пористостью, обуславливает формирование в краевых зонах соленосных бассейнов месторождений нефти и газа, часто расположенных в комбинированных ловушках. К таким месторождениям относятся Вуктыльское, Слохтерен, Хасси Р, Мель и др.

На территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции эвапоритовые отложения приурочены к широкому стратиграфическому интервалу. В зависимости от особенностей строения их влияние на размещение залежей нефти и газа различно [7].

В ордовикско-нижедевонском нижнем структурном этаже встречены ангидрито-доломитовые пачки в осадочном комплексе в пределах Ижма-Печорской, Хорейверской и Косью-Роговской впадин и на Колвинском мегавале. Выше по разрезу в верхнефранском подъярусе на Уха-Ижемском валу выделены прослои ангидрита и гипса в толще доломитов, мергелей и аргиллитов. Отмечено, что в большинстве из этих районов экранирующие свойства покрышек из эвапоритовых пород могут играть роль локальных экранов. Например, покрышка нефтяной залежи нижнего силура на Средне-Макарихинской площади Хорейверской впадины.

В тектоническом отношении Средне-Макарихинское месторождение приурочено к Макарихинскому поднятию, входящему в Макарихинско-Салюкинскую зону линейных поднятий, осложняющих юго-восточную часть Хорейверской впадины. В разрезе Средне-Макарихинского месторождения, этаж нефтеносности которого составляет 2500 м, выявлены и разведаны три залежи нефти: залежь в доломитовой толще верхнего ордовика, залежь в карбонатных нижнесилурийских отложениях, залежь в известняках верхнего карбона. Дугообразные в плане надвиговые дислокации осложняют силурийско-верхнепермские отложения и постепенно затухают вверх по разрезу [8].

В частности, отмечено [8], что на северо-востоке Тимано-Печорской провинции скважинами от 3 до 6 км вскрыты соленосные отложения, содержащие иногда залежи газа. По комплексу геолого-геофизических материалов определены критерии выделения солей, области их развития в Косью-Роговской и Коротаихинской впадинах, в Варандей-Чернышевском авлакогене.

По комплексу данных, полученных в скв. 3-Кочмеская, в Косью-Роговской впадине выявлена газовая залежь в ограниченном карбонатном коллекторе внутри соленосной толщи. Соленосная толща отнесена к мукерской и хорейверской свитам верхнего ордовика. Эти свиты характеризуют крупную регрессию в шельфовом бассейне. В Хорейверской впадине мукерская свита сложена преимущественно седиментационными доломитами с включения-

ми гипса и ангидрита.

Другими примерами ловушек углеводородов, экранированных соленосными породами, может быть следующее. На гряде Чернышева в пределах Воргамусюрской структуры в скв. 1 в интервале 2700–3000 м после нормально залегающего разреза каменноугольных, девонских, силурийских отложений вскрыты соленосные образования ордовикского возраста, из которых получен приток углеводородов. Соленосные отложения приурочены к нижней части аллохтонной пластины, надвинутой на прилегающую с востока часть гряды с Воргамусюрской структурой в автохтоне. В другой скважине № 2-Воргамусюрская, также вскрывшей соли ордовика в основании аллохтонной пластины несколько гипсометрически выше, получен незначительный приток нефти из залегающих нормально под нарушением пермских отложений. В похожей тектонической ситуации южнее Воргамусюрской площади на гряде Чернышева также вскрыты соленосные породы ордовика в подошве аллохтонного блока. Наиболее высокое гипсометрическое положение ордовикско-девонские отложения рассматриваемого автохтона занимают на широте Кочмеской и Поварницкой структур, что подтверждается притоками УВ. Эту часть Кочмеской ступени следует рассматривать как наиболее вероятную для неструктурных ловушек на глубинах от 3 до 6 км, в том числе в подсолевой толще. Возможны похожие ловушки на востоке Косью-Роговской впадины в районе скв. 1-Восточно-Лемвинская. В юго-западной прибортовой части Коротаихинской впадины под Вашуткинско-Талотинским взбросо-надвигом на волновой картине видна двухкилометровая линза солей, под которой выделяется приразломный вал с возможной ловушкой УВ. Описанные участки отличаются сложным тектоническим строением, когда на поверхность с глубины 4–5 км в системы положительных форм подняты отложения силура-девона-карбона (рис. 2) [8].

Стиль тектонических дислокаций явно связан с наличием пластичных солей, способствующих инверсии и складкообразованию. Обширная территория распространения солей в совокупности со стилем тектонического строения позволяет предположить под солями обнаружение залежей УВ [8] в неструктурных ловушках. В северной части Предуралья краевого прогиба в Верхнепечорской впадине известны пермские соли, наибольшие мощности которых приурочены к синклиналим структурам. Следует подчеркнуть, что в создании стиля тектоники, приводящего к формированию неструктурных ловушек, решающая роль принадлежит эвапоритовым породам.

Одним из видов неструктурных ловушек, доминирующим фактором образования которых служит наличие эвапоритовых пород, являются висячие залежи с наклонными подошвами, не контролируемые современным структурным

планом продуктивных отложений. Многие запечатанные залежи обладают аномальным пластовым давлением. Подобное строение определяется запечатыванием каменной солью порового пространства и трещин, изолируя скопления углеводородов. Ряд исследователей отмечали явление запечатанности залежей солью как в карбонатных, так и в терригенных коллекторах. Подобное встречается во многих регионах: Припятская впадина, Иркутский амфитеатр, впадина Чу-Сарысу в пределах распространения пермского солеродного бассейна Западной Европы и др. [9]. В карбонатных коллекторах это было установлено впервые для залежей нефти Марковского месторождения, приуроченных к осинскому межсолевому горизонту усольской свиты нижнего кембрия (Марьенко, Постников, 1967). В карбонатных межсолевых горизонтах (франский ярус) и подсолевых (фаменский ярус) Осташковичского и Вишняковского месторождений Припятского прогиба зафиксированы залежи, запечатанные выпавшим в зоне водонефтяного контакта (ВНК) галитом, (Сахибгареев, 1974, 1977; Гурьянов, Сахибгареев, 1976). Изолирование залежей галитом в сочетании с другими эпигенетическими минералами отмечено в подсолевых терригенных коллекторах в нижнемотской подсвите Иркутского амфитеатра (Марковская и Ярактинская площади) и межсолевом нижнепермском горизонте впадины Чу-Сарысу (месторождение Айракты) (Виноградов, 1978, 1979). Анализ строения таких залежей показал, что на ряде площадей непроницаемая прослойка образуется только в пределах ВНК. Новообразованный галит нередко замещает кристаллы кальцита и вторичного доломита. Мощность зоны запечатывания галитом варьирует от 4–6 до 30 м и более. Похожая картина наблюдается для Вишанской подсолевой залежи Припятской впадины и некоторых залежей верхней перми (межсоле-

вого доломита цехштейна II) Западной Европы (Березаев и др., 1975).

Встречается региональная потеря емкостных и фильтрационных свойств природных резервуаров в результате галитизации в сочетании с иными эпигенетическими процессами. Эти процессы не оказывают влияния на породы в пределах залежей, так как углеводороды консервируют коллектор. Как уже упоминалось выше, вторичное региональное засоление и превращение пород в непроницаемые разности развиты в подсолевой мотской свите, в межсолевом осинском горизонте Иркутского амфитеатра и в межсолевом нижнепермском пласте впадины Чу-Сарысу. Вторичное засоление коллекторов и запечатывание залежи нефти и газа галитом наблюдаются исключительно в нефтегазоносных бассейнах, где распространены соленосные толщи, поэтому нет сомнений, что источником галита являются эвапориты. Примером запечатанной залежи являются скопления УВ в парфеновском горизонте на Парфеновской площади Иркутского амфитеатра (рис. 3).

Присутствие в разрезе мощных соленосных толщ обуславливает формирование в меж- и подсолевых продуктивных комплексах пород высокоминерализованных растворов, представляющих собой метаморфизованную рапу, опустившуюся из соленосных толщ и рассолов выщелачивания в надсолевых отложениях. Известно, что в периоды активизации геодинамических процессов при увеличении пластовых давлений и температуры происходит перекристаллизация галита. В эти периоды каменная соль обладает максимальной пластичностью, аномально высокими пластовыми давлениями, что способствует гидроразрыву и проникновению высококонцентрированных растворов в зоны меньших давлений, подстилающие и перекрывающие продуктивные горизонты. Региональная галитизация

Рис.3. Запечатанная залежь в парфеновском горизонте на Парфеновской площади Иркутского амфитеатра в современный период (по Л.Д. Виноградову и др.) [9]
Условные обозначения: 1 – глубокие скважины; 2 – скважины, в которых при списании керна парфеновского горизонта отмечены битумопроявления, пористость: 3 – от 0 до 5–7%; 4 – от 5–7 до 15%; 5 – газонасыщенные песчаники; 6 – страто- или палеостратоизогипсы кровли нижнемотской подсыты

Рис.4. Схема неструктурной ловушки, ограниченной региональной или локальной покрывкой из эвапоритовых пород

Рис.5. Схема неструктурной ловушки, ограниченной соляной интрузией
а) в профиле; б) в плане

Рис.6. Схема запечатанной залежи на профиле и плане:
а) современный структурный; б) палеоструктурный

коллекторов характерна для этапов воздымания или длительного стояния нефтегазового бассейна. В процессе падения температуры и давлений сокращается растворимость галита и происходит его выпадение, заполняя поровое пространство.

Геодинамические процессы в ходе геологической истории переформируют расположение залежей запечатанного типа. В современном структурном плане ловушки с залежами изменяют положение и располагаются на переклиналях,

моноклиналях и в синклиналях, характеризуются наклонными контактами и незамкнутостью. Горизонтальные контакты и замкнутые ловушки существовали в палеоструктурном плане.

Приведенные примеры показали, что существуют неструктурные ловушки для скоплений УВ, в формировании которых определяющим фактором является наличие эвапоритовых пород в разрезе. Схематично такие типы неструктурных ловушек проиллюстрированы на рис. 4–6.

Выводы

В работе рассмотрены проблемы классификации неструктурных и комбинированных ловушек. Совершенствование классификаций неструктурных ловушек поможет выбрать наиболее рациональный комплекс методов для их прогнозирования и поиска.

На большей части перспективных территорий в создании стиля тектоники, приводящего к формированию неструктурных ловушек, решающая роль принадлежит эвапоритовым породам.

Выделены и представлены схемы:

- неструктурной ловушки, ограниченной региональной или локальной покрывкой из эвапоритовых пород;
- неструктурной ловушки, ограниченной соляной интрузией;
- запечатанной залежи.

Рассмотренные ловушки предлагается выделить в отдельную категорию ловушек, образованных в неантиклинальных условиях.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Развитие научно-методических основ поисков крупных скоплений УВ в неструктурных ловушках комбинированного типа в пределах платформенных нефтегазоносных бассейнов», №АААА-А19-119022890063-9).

Литература

1. Кулибакина, И. Б. (1982). Факторы, определяющие приуроченность залежей углеводородов к бассейнам соленакпления /сб. «Нефтегазоносность регионов древнего соленакпления». Новосибирск: Наука.
2. Гаев, А. Я., Шугорев, В. Д., Бутолин, А. П. (1986). Подземные резервуары: Условия строительства, освоения и технология эксплуатации. Ленинград: Недра.
3. Селли, Р. К. (1981). Введение в седиментологию. Москва: Недра.
4. Перродон, А. (1985). Формирование и размещение месторождений нефти и газа. Москва: Недра.
5. Поляков, А. А., Колосков, В. Н., Фончикова, М. Н. (2015). К вопросу о классификации залежей нефти и газа. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 10(1), 10.
6. Кирюхин, Л. Г., Капустин, И. Н., Комиссарова, И. Н. (1982). Палеогеографические и палеотектонические условия формирования кунгурской соленосной формации Прикаспийской впадины и ее влияние на размещение залежей нефти и газа /сб. «Нефтегазоносность регионов древнего соленакпления». Новосибирск: Наука.
7. Николаев, Ю. Д., Сивков, С. Н. (1982). Взаимосвязь эвапоритовых отложений Тимано-Печорской провинции с залежами нефти и газа /сб. «Нефтегазоносность регионов древнего соленакпления». Новосибирск: Наука.
8. Грунис, Е. Б., Ростовщиков, В. Б., Богданов, Б. П. (2016). Соли ордовика и их роль в особенностях строения и нефтегазоносности северо-востока Тимано-Печорской провинции. *Георесурсы*, 18(1), 13–23.
9. Виноградов, Л. Д., Сахибгареев, Р. С., Кицис, Н. А. (1982). Катагенетическое запечатывание галитом залежей нефти и газа /сб. «Нефтегазоносность регионов древнего соленакпления». Новосибирск: Наука.

References

1. Kulibakina, I. B. (1982). Factors determining the confinement of hydrocarbon deposits to salt accumulation basins /In: Oil and gas potential of the regions of ancient saline accumulation. *Novosibirsk: Nauka*.
2. Gaev, A. Ya., Shchugorev, V. D., Butolin, A. P. (1986). Underground storage tanks: Construction and development conditions and operation technology. *Leningrad: Nedra*.
3. Selley, R. C. (1976). An introduction to sedimentology. *London: Academic Press*.
4. Perrodon, A. (1980). Géodynamique pétrolière: Genèse et répartition des gisements d'hydrocarbures. *Paris: Elf Aquitaine*.
5. Polyakov, A. A., Koloskov, V. N., Fonchikova, M. N. (2015). On the classification of petroleum accumulations. *Neftgazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 10(1), 10.
6. Kiryukhin, L. G., Kapustin, I. N., Komissarova, I. N. (1982). Paleogeographic and paleotectonic formation conditions of the Kungur saline formation of the Pre-Caspian basin and its influence on the location of oil and gas deposits /In: Oil and gas potential of the regions of ancient saline accumulation. *Novosibirsk: Nauka*.
7. Nikolaev, Yu. D., Sivkov, S. N. (1982). Interrelation of evaporite sediments of the Timan-Pechora province with oil and gas deposits /In: Oil and gas potential of the regions of ancient saline accumulation. *Novosibirsk: Nauka*.
8. Grunis, E. B., Rostovschikov, V. B., Bogdanov, B. P. (2016). Ordovician salts and their role in the structure and oil and gas potential of the northeast of the Timan-Pechora province. *Georesursy*, 18(1), 13–23.
9. Vinogradov, L. D., Sakhibgareev, R. S., Kitsis, N. A. (1982). Catagenic sealing of oil and gas deposits by halite /In: Oil and gas potential of the regions of ancient saline accumulation. *Novosibirsk: Nauka*.

Образование эвапоритов как фактор формирования неструктурных ловушек

Е.А. Сидорчук, М.Е. Селиверстова
Институт проблем нефти и газа
Российской академии Наук, Москва, Россия

Реферат

В работе рассмотрены вопросы совершенствования классификаций ловушек нефти и газа, образованных в неантиклинальных условиях. Актуальность этой задачи связана с расширением областей поиска скоплений углеводородов и учетом новых поисковых признаков. Эвапоритовые породы, широко развитые во многих нефтегазоносных бассейнах, обладают свойствами, способствующими сохранению залежей углеводородов. В зависимости от особенностей строения соленосных формаций их влияние на размещение залежей нефти и газа различно. Проанализированы залежи, связанные с эвапоритовыми породами. Определены типы ловушек, главным фактором формирования которых являются эвапориты. Такие ловушки предложено выделить в отдельную категорию.

Ключевые слова: эвапоритовые породы; неструктурные и комбинированные ловушки; скопления углеводородов; классификации ловушек; стиль тектоники; запечатанные залежи.

Qeyri-struktur tələlərin formalaşma amili kimi evaporitlərin əmələ gəlməməsi

E.A. Sidorçuk, M.E. Seliverstova
Rusiya Elmlər Akademiyasının
Neft və Qaz Problemləri İnstitutu, Moskva, Rusiya

Xülasə

Məqalədə qeyri-antiklinal şərtlərdə əmələ gələn neft və qaz tələlərinin təsnifatının təkmilləşdirilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Bu məsələnin aktuallığı karbohidrogen yığılmalarının axtarışı sahələrinin genişləndirilməsi və yeni axtarış əlamətlərinin nəzərə alınması ilə bağlıdır. Bir çox neftli-qazlı hövzələrdə geniş yayılmış evaporit süxurlar karbohidrogen yataqlarının saxlanması kömək edən xassələrə malikdir. Düzlu formasiyaların quruluş xüsusiyyətlərindən asılı olaraq onların neft və qaz yataqlarının yerləşməsinə təsiri müxtəlifdir. Evaporit süxurlar ilə əlaqəli olan yataqlar analiz edilmişdir. Əsas əmələgəlmə amili evaporit olan tələlərin növləri müəyyən edilmişdir. Belə tələlərin ayrı kateqoriyaya ayrılması təklif olunmuşdur.

Açar sözlər: evaporit süxurlar; qeyri-struktur və kombinasiya olunmuş tələlər; karbohidrogen yığılması; tələ təsnifatı; tektonik üslub; bağlanmış yataqlar.