

УДК 001.8:552.578.061.4

**Гмид Л.П., Шибина Т.Д.**ФГУП «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (ВНИГРИ), Санкт-Петербург, Россия [ins@vniigri.ru](mailto:ins@vniigri.ru)

## ЛИТОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ

*Использование комплексного литолого-петрографического изучения осадочных пород-коллекторов в совокупности с геофизическими методами способствует более рациональному прогнозу нефтегазоносности бассейнов. Предлагается методическое руководство по комплексному изучению осадочных пород-коллекторов, разработанное коллективом отдела литологии ВНИГРИ.*

**Ключевые слова:** литология, петрография, коллектор, трещиноватость, нефтегазоносность.

Литолого-петрографическое изучение пород имеет большое значение в практике поисково-разведочных работ на нефть и газ. При оценке перспектив нефтегазоносности новых районов широко применяются исследования фациально-литологических особенностей благоприятных структур и ловушек, способных аккумулировать и сохранять залежи углеводородов. Поскольку фации, прежде всего, являются горными породами (Д.В. Наливкин), то их изучение представляет основную задачу литолого-петрографических исследований, а с ними и условий формирования ёмкостных, фильтрационных и экранирующих свойств этих пород.

На протяжении многих лет институтом ВНИГРИ велись научные работы по разработке методов изучения условий формирования и закономерностей распространения природных резервуаров УВ. Теоретические основы методик изучения и прогнозирования трещинных коллекторов, прогноза неструктурных ловушек были заложены учёными Е.М. Смеховым, В.А. Гроссгеймом, К.К. Гостинцевым, В.С. Муромцевым, Е.С. Роммом и другими. Ими созданы крупные направления во ВНИГРИ в области изучения литологических критериев нефтегазоносности. Коллектив авторов (Л.П. Гмид, Л.Г. Белоновская, Т.Д. Шибина, Н.С. Окнова, А.В. Ивановская) используя опыт своих предшественников и свои собственные разработки составили **«Методическое руководство по литолого-петрографическому и петрохимическому изучению осадочных пород-коллекторов»**.

В методическом руководстве изложены методы исследования осадочных пород-коллекторов и поиска углеводородов, на основании которых делаются выводы по литолого-петрографическим критериям о нефтегазоносности изучаемого объекта. Представлены

классификации терригенных, глинистых, кремнистых и карбонатных пород различных школ. Они положены в основу комплексного литолого-петрографического изучения осадочных пород-коллекторов нефтегазоносных провинций: Тимано-Печорской, Волго-Уральской, Прикаспийской, Восточной и Западной Сибири; Терско-Каспийской области, Казахстана и других районов России. В определении пород-коллекторов отмечается вещественный состав, структурно-текстурные особенности, цементирующее вещество, присутствие органического вещества (битумов), органических и растительных остатков, а также, что является новым, важным достижением лаборатории петрографии института представлены результаты изучения структуры пустотного пространства породы для определения её коллекторского потенциала.

**I. Обломочные породы.** При картировании гранулометрических индексов условий осадконакопления, снятых с динамо-генетической диаграммы Г.Ф. Рожкова в районе Ухты в Тимано-Печорской провинции была реконструирована сеть донных, слабых и сильных речных течений, застойных зон и зоны смешанных выделенных динамических условий седиментации. После анализа имеющегося материала была получена реконструкция палеodelты веерообразной формы, сильно выдвинутая в море. Очертания палеodelты подтверждаются данными акцессорного минералогического анализа (Н.С. Окнова). Ареалы распространения лейкоксена, основного минерала тяжелой фракции, повторяют контуры дельты и аванделты. Следовательно, по данным анализа акцессорных терригенных минералов выделяются береговые линии, дельты, аванделты и шельф. Коллекторские свойства пород в районе палеodelты высокие: открытая пористость нередко превышает 20-25%, проницаемость составляет несколько сотен и даже более тысячи миллидарси. В прибрежных отложениях коллекторские свойства пород также высокие. Формирование песчаных тел, выклинивание прибрежных отложений, совместно с общим региональным подъемом создают благоприятные условия для скопления углеводородов. Отмечено изменение аутигенных минералогических показателей по мере удаления от контура нефтегазоносности. Такие аутигенные минералы, как пирит и сидерит, приурочены чаще всего к нефтегазоносным районам. Изучение вертикальной и горизонтальной зональности пирита помогает наметить ореолы вторжения углеводородов вокруг залежей и оконтурить их.

**II. Органическое вещество в шлифах.** Наряду с изучением вещественного состава пород, диагностики минеральных компонентов, коллекторского потенциала, в шлифах определяется органическое вещество (ОВ) и битумы. В нефтяной геологии петрографическое

определение органического вещества и наличие в породах битума является одним из важнейших факторов наблюдения повышенного их содержания, поскольку это позволяет выделить в разрезах пласты основных уровней накопления ОБ и уровней, обогащенных битумом (путей миграции углеводородов), тем самым потенциально определяя уровни пород преимущественно газонефтематеринской стадии в литогенезе материнских пород и уровни пород-резервуаров, способных содержать скопления углеводородов.

Привязка данных о повышенном содержании ОБ и битумопроявлении к характеристике разреза, сопоставление разрезов по площади изучаемого бассейна седиментации нередко показывает, что эти интервалы отвечают нефтегазоносным пластам. В каждом нефтегазоносном бассейне основная часть ресурсов обычно локализуется в сравнительно узких, как правило, относительно выдержанных интервалах разреза. И здесь неопределимая роль принадлежит петрографии с ее детальной диагностикой как самой породы, так и взаимоотношению ее с ОБ различных генераций.

Расчеты баланса привноса-выноса элементов на древних водо-нефтяных контактах (ВНК) газонефтяных месторождений позволяют реконструировать онтогению нефтяных залежей. Поскольку битум является индикатором, при помощи которого можно восстановить историю формирования и разрушения залежей нефти, последовательность и взаимоотношение его как с обломочными минералами, так и с минералами цемента, постольку можно и воссоздать последовательность формирования газо-нефтяной залежи. Этапность складывается из соотношения положения древних ВНК к положению современного ВНК. Древние ВНК являются тем инструментом, который позволяет выяснить современное состояние залежи, восстановить первоначальные ее контуры. Зональность строения древних ВНК изучалась коллективом сотрудников под руководством Р.С. Сахибгареева.

На примере Средне-Ботуобинского, Таас-Юряхского, Верхне-Чонского месторождений были изучены процессы растворения на древних ВНК. Рассчитываются ряды подвижности элементов по степени выноса элементов в зоне растворения при переходе от битумосодержащей в безбитумную подзону и зону цементации на древних ВНК. В зоне растворения происходит привнос Са и Mg и вынос Na, при переходе из безбитумной подзоны растворения в зону цементации наблюдается обратная картина. Рассматривая привнос–вынос вещества на древнем ВНК из зоны растворения в зону цементации, отмечаются различия в миграции СаО и MgO, что связано с разницей в количественном отношении ангидритового и доломитового цемента. Таким образом, удастся

реконструировать процесс формирования и разрушения залежи по положению древнего ВНК и восстановить онтогению залежи.

**III. Метод больших шлифов.** Разработанный во ВНИГРИ в 1960-е годы и совершенствующийся доныне метод больших шлифов является единственным методом количественного подсчета параметров трещиноватости: плотности трещин, трещинной пористости и трещинной проницаемости. Изучаются ёмкостные и фильтрационные свойства пород-коллекторов, структура пустотного пространства (поры, каверны, трещины), типы коллекторов (простой - поровый и сложный, нетрадиционный - трещинный). Метод больших шлифов разрабатывался сначала для пород-коллекторов карбонатных отложений, в настоящее время его применяют и для изучения терригенных, вулканогенно-осадочных и магматических пород-коллекторов.

Ранее разработанные методики по изучению коллекторов порового и трещинного типов использовались и используются геологами и литологами многих производственных организаций: Архангельскгеология (Л.П. Черкес), Гипровостокнефть (Б.И. Колганов, профессор К.Б. Аширов), Ухтинский Политехнический Университет (д.г.-м.н. Л.В. Пармузина), Беларусьнефть (Т.Х. Цекаева), ТатНИПИНефть (Е.А. Козина, Г.Н. Гурьянов), Башкирский Нефтяной институт (НИС) (профессор Н.Ш. Хайретдинов), ГрозНИИ (К.И. Смольянинова, В.А. Станулис), Геологическое Управление Болгарии (Р. Венева, В. Вычев, А. Монахов), УкрНИГРИ (Львов) (В.М. Бортницкая).

Во ВНИГРИ разработана также генетическая классификация трещин применительно к трещиноватым породам, которые могут рассматриваться как потенциальные коллекторы нефти и газа. Роль трещиноватости в фильтрации флюидов особенно возрастает в плотных низкопоровых разностях с малой межзерновой проницаемостью. Такие породы могут образовывать трещинно-поровый, порово-трещинный, а в отдельных случаях и чисто трещинный (по классификации ВНИГРИ) тип коллектора, где фильтрация флюидов осуществляется преимущественно по трещинам. Предложенный метод изучения трещиноватости дает предварительную оценку фильтрационных и емкостных возможностей для интересующей части разреза, зная лишь ее литологию и текстуру пород. Как показали исследования трещиноватости в зонах дизъюнктивных нарушений, проводившиеся как в обнажениях Карпат, Копет-Даг, так и по керну Вуктыльского месторождения Тимано-Печорской провинции в узкой зоне порядка нескольких десятков метров густота открытых трещин возрастает в 1,5-2 раза. Повышение густоты трещин по сравнению с фоновыми значениями может наблюдаться в зонах разуплотнения различного генезиса. Важным

фактором в изучении трещиноватости пород является стадия их генерации, что решает одну из главных ролей в миграции углеводородов (УВ) при формировании нефтяных и газовых месторождений.

**IV. Деформационные процессы.** Важное значение имеет изучение как первичных литолого-фациальных условий осадконакопления, так и вторичных постседиментационных преобразований, принимающих участие в формировании коллекторских свойств осадочных пород. В лаборатории физики пласта и петрографии был проведен научный эксперимент по влиянию деформационных процессов на коллекторские свойства осадочных пород, возникающие при разработке месторождений нефти и газа. Экспериментальные работы и литолого-петрографические исследования были проведены для пашийских песчаников франского яруса верхнего девона Ново-Елховского и Ромашкинского месторождений, известняков верхнетурнейского подъяруса Чегодайской площади и известняков среднего карбона Ромашкинского месторождения (Татарстан). После всестороннего сжатия в терригенных породах произошли следующие необратимые (пластические) деформации: чем больше глинистая составляющая в терригенной породе, тем интенсивней проявляются в них необратимые (пластические) деформации. Карбонатные породы-коллекторы были разделены на две группы, в которых по-разному проявились необратимые деформации. К первой группе относятся комковатые, сгустково-комковатые, органогенно-водорослево-комковатые, слабо сцементированные, слабо уплотненные известняки, высокопористые с гранулярной структурой пустотного пространства. Главным породообразующим компонентом таких известняков являются комки размером 0,25 - 1,5 мм, сложенные тонкозернистым (менее 0,01 мм) кальцитом (микритом).

Как показывают экспериментальные исследования, в условиях увеличивающегося эффективного давления в процессе разработки залежи карбонатные породы с большим содержанием микрита приобретают способность пластически деформироваться. При этом нарушается первичная межгранулярная структура пустотного пространства. Часть комков разрушается, поры частично запечатываются микритом, уменьшается полезная емкость пород, а также уменьшается поровая проницаемость матрицы. Вторую группу пород составляют уплотненные, сильно сцементированные органогенные, органогенно-водорослево-детритовые, шламово-детритовые известняки. Упругие деформации в известняках второй группы возникают преимущественно в результате изменения раскрытости трещин. При этом сжимаемость трещин зависит от присущей им раскрытости, микрошероховатости стенок трещин, их протяженности, конфигурации, величины и

направления эффективных напряжений. При увеличении эффективного напряжения раскрытость трещин уменьшается, соответственно уменьшается и проницаемость. При уменьшении эффективного напряжения раскрытость трещин увеличивается, повышается проницаемость.

Таким образом, (необратимые) пластические деформации как в терригенных, так и в карбонатных породах приводят к уменьшению полезной емкости пород и проницаемости матрицы, т. е. оказывают отрицательное влияние на коллекторские свойства пород. Упругие (обратимые) деформации способствуют образованию сложного порово-трещинного типа коллектора. Масштабы создания области упругих деформаций в осадочных породах зависят от первичных условий осадконакопления и вторичных постседиментационных преобразований.

**У. Геохимические параметры.** Геохимические параметры и отношения ряда элементов являются показателями интенсивности выветривания, дифференциации вещества, палеоклимата, палеосолености.

На примере верхнерифейских отложений Учуро-Майского прогиба на р. Мая (лахандинская серия, кумахинская, мильконская, нельканская, игниканская подсветы) и на р. Кандык (уйская серия, кандыкская свита) были получены отношения наименее подвижных элементов  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ , наиболее подвижных элементов  $\text{K}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O}$  и менее подвижных к более подвижным  $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Na}_2\text{O}$ . Отношение  $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{TiO}_2$  как двух элементов гидролизата показали палеоклимат, при котором формировались данные отложения. Отношение средних значений  $\text{CaO} / \text{MgO}$  как фациальных показателей «мористости», а также различная геохимическая история Sr и Ba в зоне гипергенеза позволили использовать величину их отношений для выяснения фактора пресноводности морских обстановок. Рассеянные элементы, такие как Ga и Sr, показывающие большую концентрацию в пресноводных осадках и содержание бора явились наиболее надежными индикаторами, указывающими на палеосоленость, и позволили отделить морские осадки от солоноватоводных, провести границу между солоноватоводными и пресноводными осадками.

**Подводя итоги** детальных литологических исследований, и увязывая их с геологическими, тектоническими условиями развития изучаемой территории и характером нефтепроявлений, проводится оценка перспектив нефтегазоносности. На основе комплексирования результатов литолого-петрографического, фациального, палеоструктурного анализов, с данными ГИС и сейсмоки строятся прогнозные карты развития ловушек УВ для продуктивных комплексов изучаемых нефтегазоносных

провинций. На картах показывается размещение перспективных зон нефтенакпления. Все вышеперечисленные данные литолого-петрографических критериев нефтегазоносности нашли своё отражение в методическом руководстве по изучению осадочных пород - коллекторов. Научная значимость методического руководства заключается в том, что оно является необходимым пособием для геологов, литологов и петрографов в решении ряда теоретических и практических задач нефтяной геологии.

### Литература

*Батулин В.П.* Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М., Гостоптехиздат, 1947.

*Булач М.Х., Гмид Л.П., Белоновская Л.Г.* Роль трещиноватости при изучении сложных порово-трещинных коллекторов //Нефтяная литология. Неструктурные ловушки и нетрадиционные типы коллекторов. – СПб.: Недра, 2004. - С. 167-182.

*Ивановская А.В.* Вторичные изменения состава олигомиктовых кварцевых комплексах позднего докембрия Сибирской платформы в седименто-литогенезе //Методы оценки сложных коллекторов. Л.: ВНИГРИ, 1988. - С. 121-128.

Карбонатные породы-коллекторы фанерозоя нефтегазоносных бассейнов России и ее сопредельных территорий (в 2-х книгах) /*Белонин М.Д. и др.* - СПб.: Недра, 2005. – Книга 1. – 260 с. – Книга 2. – 156 с.

Методические рекомендации по изучению и прогнозу коллекторов нефти и газа сложного типа /ред. М.Х. Булач, Л.Г. Белоновская. - Л.: ВНИГРИ, 1989. – 102 с.

Методы палеогеографических реконструкций (при поисках залежей нефти и газа) /Гроссгейм В.А. и др. - Л.: Недра, 1984. - 271 с.

*Окнова Н.С.* Литолого-палеогеографические и геодинамические реконструкции при поисках неантиклинальных ловушек углеводородов (на примере Тимано-Печорской провинции). – СПб.: СПбГУ. – 1998. – 108 с.

*Сахибгареев Р.С.* Вторичные изменения коллекторов в процессе формирования и разрушения нефтяных залежей. - Л.: Недра, 1989. – 258 с.

*Смехов Е.М.* Теоретические и методические основы поисков трещинных коллекторов нефти и газа. - Л.: Недра, 1974. - 190 с.

**Рецензент:** Окнова Нина Сергеевна, доктор геолого-минералогических наук.



**Gmid L.P., Shibina T.D.**

All Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), St.-Petersburg, Russia [ins@vnigri.ru](mailto:ins@vnigri.ru)

## LITHOLOGIC-PETROGRAPHIC CRITERIA OF PETROLEUM POTENTIAL

*The complex lithologic-petrographic study of sedimentary rocks – reservoir rocks - together with geophysical researches makes possible to receive more reliable forecast of basin petroleum potential. The methodical guide on the complex study of sedimentary rocks – reservoir rocks, developed by the specialists of the VNIGRI department of lithology, is proposed.*

**Key words:** *lithology, petrography, reservoir rocks, petroleum potential, thin sections, fracturing.*

### References

*Baturin V.P.* Petrografičeskij analiz geologičeskogo prošlogo po terrigenym komponentam. M., Gostoptehizdat, 1947.

*Bulač M.H., Gmid L.P., Belonovskaâ L.G.* Rol' trešinovatosti pri izučenii složnyh porovo-trešinnyh kollektorov //Neftânaâ litologiâ. Nestruturnye lovuški i netradicionnye tipy kollektorov. – SPb.: Nedra, 2004. - C. 167-182.

*Ivanovskaâ A.V.* Vtoričnye izmeneniâ sostava oligomiktovyh kvarcevyh kompleksah pozdnego dokembriâ Sibirskoj platformy v sedimento-litogeneze //Metody ocenki složnyh kollektorov. L.: VNIGRI, 1988. - S. 121-128.

Karbonatnye porody-kollektory fanerozoâ neftegazonosnyh bassejnov Rossii i ee sopredel'nyh territorij (v 2-h knigah) /Belonin M.D. i dr. - SPb.: Nedra, 2005. – Kniga 1. – 260 s. – Kniga 2. – 156 s.

Metodičeskie rekomendacii po izučeniû i prognozu kollektorov nefti i gaza složnogo tipa /red. M.H. Bulač, L.G. Belonovskaâ. - L.: VNIGRI, 1989. – 102 s.

Metody paleogeografičeskikh rekonstrukcij (pri poiskah zaležej nefti i gaza) /Grossgejm V.A. i dr. - L.: Nedra, 1984.- 271 s.

*Oknova N.S.* Litologo-paleogeografičeskie i geodinamičeskie rekonstrukcii pri poiskah neantiklinal'nyh lovušek uglevodorodov (na primere Timano-Pečorskoj provincii). – SPb.: SPbGU. – 1998. – 108 s.

*Sahibgareev R.S.* Vtoričnye izmeneniâ kollektorov v processe formirovaniâ i razrušeniâ neftânyh zaležej. - L.: Nedra, 1989. – 258 s.

*Smehov E.M.* Teoretičeskie i metodičeskie osnovy poiskov trešinnyh kollektorov nefti i gaza. - L.: Nedra, 1974. - 190 s.