

УДК 552.578.261.42

ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ВЕРХНЕЮРСКИХ ПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КРАПИВИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Е.А. Жуковская, Г.Г. Кравченко

ОАО «ТомскНИПИнефть», г. Томск
E-mail: ZhukovskayaEA@nipineft.tomsk.ru

Приводится оценка вторичного минералообразования и изменения верхнеюрских пород-коллекторов Крапивинского месторождения Томской области с позиции стадийного анализа. Установлены как стадийные изменения песчаных пород до стадии среднего катагенеза, так и наложенные. Фациальный контроль наблюдается для стадийных преобразований пород; наложенные процессы обусловлены тектоническим фактором и процессами существования залежи нефти. Определена степень влияния вторичных процессов на коллекторские свойства.

Ключевые слова:

Терригенные породы, коллекторы нефти, Крапивинское месторождение, вторичные преобразования пород.

Key words:

Terrigenous sediments, oil reservoir, Krapivinskoe oilfield, epigenesis.

Исследованиями продуктивных отложений Крапивинского месторождения Томской области установлена сильная изменчивость в коллекторских свойствах пласта Ю₁³. Так, по данным лаборатории физики пласта института «ТомскНИПИнефть» открытая пористость пород пласта Ю₁³ изменяется от 13 до 21 %, проницаемость – от 0,8·10⁻³ до 1,0 мкм². Построенная сотрудниками сектора седиментологии этого же института по результатам фациального анализа керна седиментологическая модель отложений не объясняет такие существенные различия по проницаемости пород.

Согласно этой модели, продуктивные пласты залегают в юрском терригенном комплексе отложений васюганской свиты прибрежно-морских и морских мелководных палеогеографических фаций седиментогенеза. Снизу вверх в разрезе пласта Ю₁³ наблюдается следующая смена фациальных обстановок:

ФЗ – фации нижней части предфронтальной зоны пляжа и мутьевых потоков. Представлены они в основном тонкозернистыми, реже алевроитовыми и тонко-мелкозернистыми песчаниками с частыми глинистыми прослоями мощностью до нескольких мм, иногда первых см. В песчаниках наблюдается четкая косая слойчатость ряби волнения, реже слойчатость разнообразных потоков: градационная и однонаправленная косая, подчеркнутая углисто-глинистым материалом. Биотурбация пород от слабой до интенсивной. Внизу песчаники постепенно переходят в тонкое равномерное переслаивание алевролитов, аргиллитов и тонкозернистых песчаников. Повсеместно в разрезе ФЗ большинства скважин встречается глинисто-алевритовый пропласток мощностью в десятки см, реже до 1...2 м.

Ф2 – фация верхней части предфронтальной зоны пляжа. Это тонко-мелкозернистые, мелкозернистые песчаники, не содержащие глинистых слоев с косой слойчатостью ряби волнения, об-

условленной тонкими глинистыми намывами. Биотурбация умеренная. Иногда в составе Ф2 встречается глинисто-алевритовый пропласток мощностью в первые десятки см.

Ф1 – фации нижнего и верхнего пляжа. Представлены они мелкозернистыми и средне-мелкозернистыми песчаниками. Слойчатость выражена неотчетливо. Биотурбация практически отсутствует. К кровле в песчаниках увеличивается количество растительного детрита.

Для пород пласта Ю₁³ характерно образование в морских относительно мелководных условиях. Это фации предфронтальной и переходной зоны пляжа – биотурбированные «шельфовые» осадки.

Отложения межугольной толщи, сформированные в прибрежно-морских условиях (приморских болот, маршей и приливно-отливных отмелей) и в континентальных условиях (поймы, протоки, прирусловые валы), не являются нефтеносными.

Данная типизация разреза на фации позволила обосновать большинство полученных по керну петрофизических зависимостей. Однако, среди отложений фации Ф1 отмечаются как породы с типичными для такой фациальной принадлежности коллекторскими свойствами, так и высокопроницаемые. Для объяснения явно выраженных значительных неоднородностей коллекторских свойств пород и локально проявленных высоких дебитов нефти в скважинах месторождения был выполнен литолого-петрографический анализ этих пород.

Фактическим материалом для литолого-петрографических исследований послужили результаты исследований керна Крапивинского месторождения, выполненных как в институте «ТомскНИПИнефть» (петрографический анализ – 75 шлифов, гранулометрический – 47, рентгенофазовый – 40), так и сторонними организациями по договорам с недропользователями (петрографический – 320 шлифов, гранулометрический – 49).

В результате исследований установлено, что вверх по разрезу пласта Ю₁³ в целом наблюдается закономерное увеличение зернистости осадков, улучшение или стабилизация степени сортированности пород, рост количества кварца среди обломков и регенерационного кварца в цементе, снижение в цементе карбонатных минералов (сидерит, кальцит) и пирита. Следует отметить, что для большинства скважин с керном для фаций Ф1 и Ф2 также отмечается вверх по разрезу укрупнение зернистости песчанников, улучшение их сортировки и, как правило, увеличение доли кварца среди обломков.

Для пород фации Ф1 содержание кварца резко повышено до 88 % в верхних частях фациального профиля Ф1, особенно в северной части месторождения. Различия могут достигать в разрезе одной скважины двух и более раз. Наименьшим количеством кварца среди обломков характеризуется район скважин №№ 192, 230, 199, что, вероятно, отражает первичный состав осадка.

Как показали многолетние исследования различных авторов, характер фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) алеврито-песчаных пород обусловлен их структурными, текстурными и минералогическими особенностями, которые определяются условиями осадконакопления (первичные седиментологические факторы) и характером постседиментационных процессов (вторичные изменения как стадийные, так и наложенные).

К *первичным факторам* могут быть отнесены:

- зернистость пород (как показатель — медианный диаметр);
- сортированность пород;
- количество глинистого цемента (межобломочный материал — матрикс);
- зрелость пород (количество кварца среди обломков).

К *вторичным факторам*:

- уплотнение пород;
- вторичное минералообразование (цементация);
- растворение (выщелачивание);
- катаклаз;
- растворение под давлением (микростилолитизация) и пр.

Первичные седиментологические факторы находят свое отражение в составе и строении продуктивных отложений Крапивинского месторождения. Так, содержание обломочного кварца находится в прямой зависимости от зернистости пород: коэффициент корреляции $K_{\text{корр.}}=0,45$. Особенно четко это наблюдается для пород фаций Ф1 и Ф2. От сортированности пород содержание кварца зависит слабее ($K_{\text{корр.}}=0,31$), при этом только для фации Ф3 наблюдается значимое увеличение содержания кварца в лучше отсортированных песчани-

ках. В других фациях и пачках такой закономерности не наблюдается, т. е. количество обломочного кварца в хорошо отсортированных породах варьирует в пределах от 30 до 87 %. Следует отметить, что для осадков фации Ф3 характерно улучшение сортировки пород в более крупнозернистых разностях.

Наиболее крупнозернистые из изученных пород изначально должны обладать улучшенными коллекторскими свойствами, т. к. отмечена выраженная корреляционная связь между количеством пелитовой фракции и медианным диаметром ($K_{\text{корр.}}=-0,64$), сортировкой ($K_{\text{корр.}}=0,74$), обломочным кварцем ($K_{\text{корр.}}=-0,55$). Промытость от глинистого материала и хорошая сортированность пород свидетельствует о преобладании волновой деятельности при формировании осадков (фации пляжа и пр.).

Пористость пород-коллекторов практически не зависит от первичных факторов, за исключением отложений пласта Ю₁², где наблюдается незначительное увеличение пористости с ростом зернистости. Очевидно, эти породы менее преобразованы постседиментационными процессами.

Для пород пласта Ю₁³ такие первичные факторы, как медиана ($K_{\text{корр.}}=0,52$, указаны только значимые коэффициенты корреляции) и сортировка ($K_{\text{корр.}}=-0,41$) однозначно положительно влияют на $\lg K_{\text{пр}}$ пород, а пелитовая фракция ($K_{\text{корр.}}=-0,4$) — отрицательно, рис. 1, 2.

Как видно из диаграммы (рис. 1) для отложений всех фаций наблюдается схожая зависимость проницаемости от размерности зерен. Наиболее отчетлива она для пород пласта Ю₁². Рассматривая влияние фациальной принадлежности пород (через сортировку осадка) на проницаемость, следует отметить, что в пласте Ю₁³ максимально это проявлено для фации Ф1 и практически отсутствует в фациях Ф2 и Ф3, рис. 2.

Рост пелитовой (глинистой) фракции в составе песчаника однозначно отрицательно влияет на проницаемость пород, как это видно для осадков пласта Ю₁². Для алеврито-песчаных пород пласта Ю₁³ такое влияние в значительной мере нивелируется вторичными преобразованиями.

Зависимость проницаемости от количества обломочного кварца установлена только для фации Ф1 пласта Ю₁³, что указывает на лучшую промытость пород под действием волновых процессов и косвенным образом отражает влияние вторичных процессов, т. к. количество кварца в этих породах повышено за счет уменьшения количества обломков пород вследствие растворения под давлением при микростилолитизации, на что указывалось и предыдущими исследователями Крапивинского месторождения.

Минералы цемента алеврито-песчаных пород имеют различное происхождение [1–5 и др.]. Один и тот же минерал, образованный в результате различных процессов, по-разному заполняет пустот-

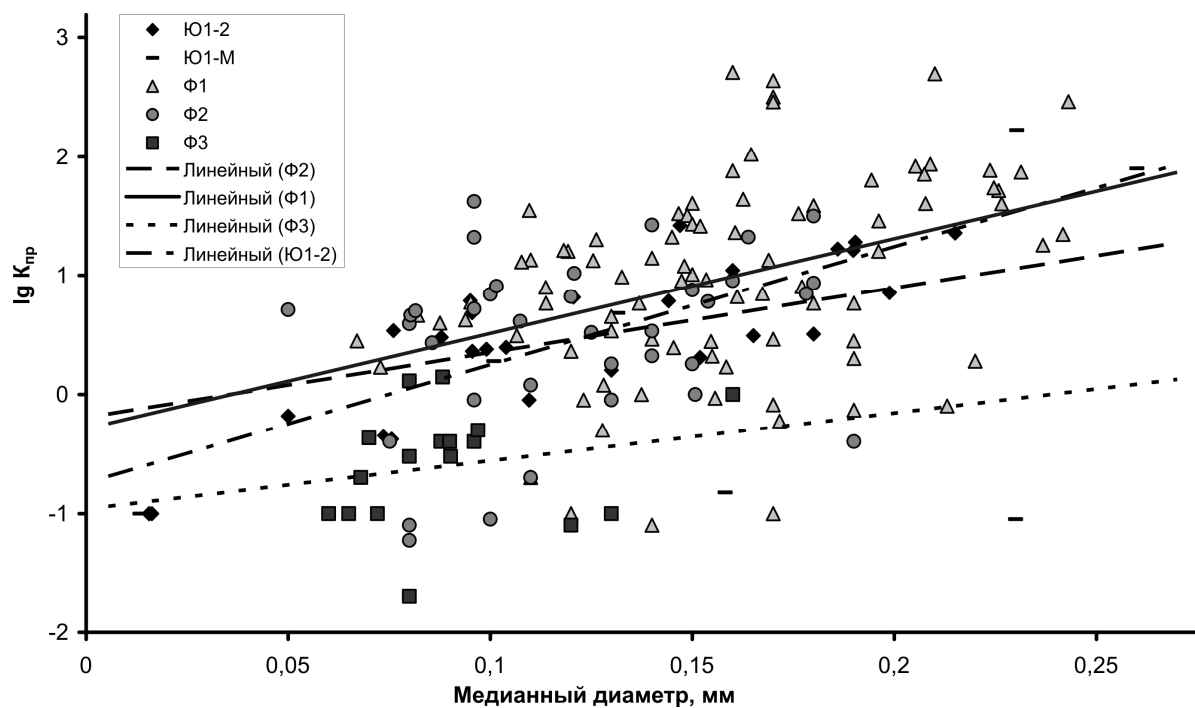


Рис. 1. Зависимость проницаемости песчаных коллекторов Крапивинского месторождения от зернистости пород

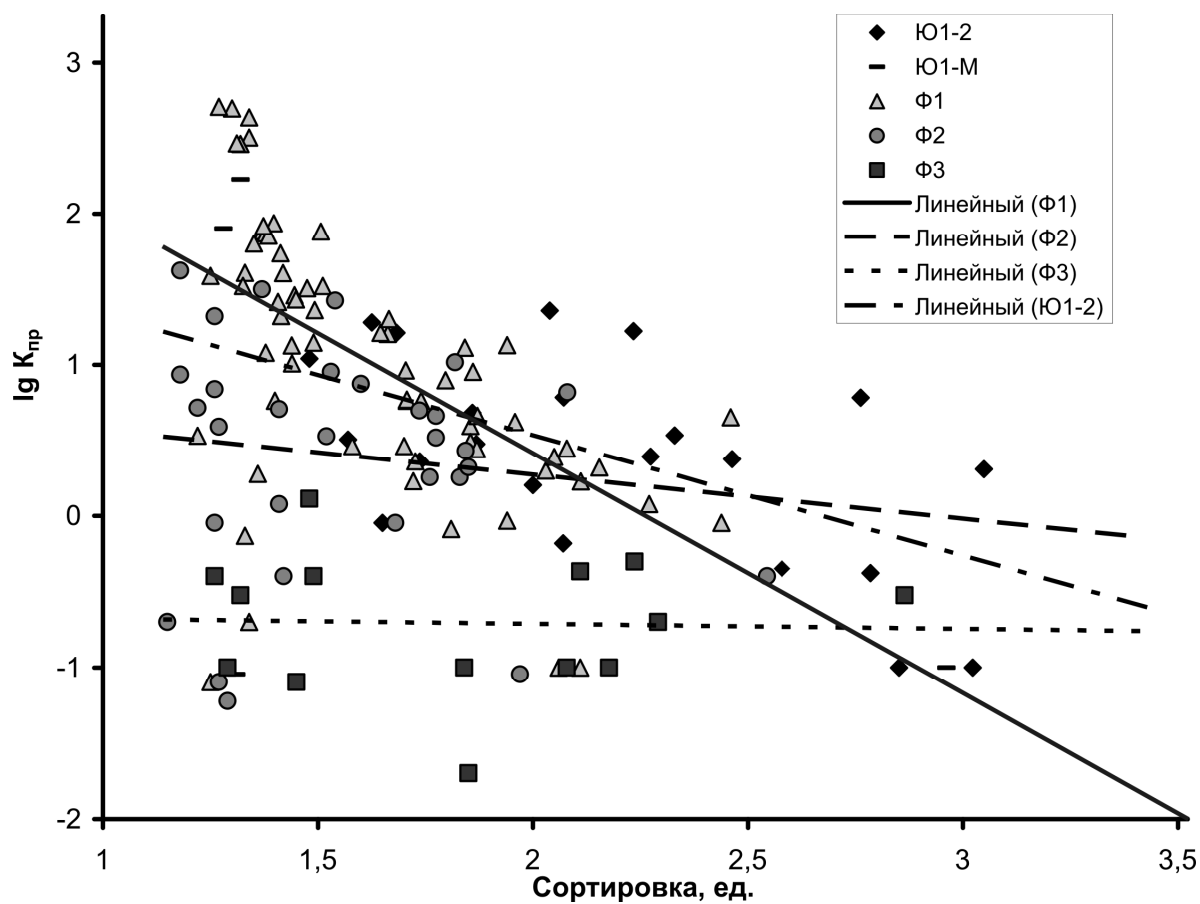


Рис. 2. Зависимость проницаемости песчаных коллекторов Крапивинского месторождения от сортировки пород

ное пространство и соответственно влияние его на фильтрационные свойства пород-коллекторов тоже будет зависеть от генезиса [1, 3].

В результате проведенного стадийного анализа алеврито-песчаных пород установлено, что наименьшему преобразованию подверглись отложения пласта Ю². Их преобразования носят преимущественно стадийный характер, чего нельзя сказать о песчаниках пласта Ю³. На стадии диагенеза в последних сформировались скопления пелитоморфного сидерита, стяжения пирита и марказита, титанистые минералы (лейкоксен), глауконит. Со стадией катагенетического преобразования пород связано образование следующих минералов цемента: каолинита (частично), гидрослюда, хлорита, кальцита (?), с наложенными процессами – регенерационного кварца, кальцита и частично каолинита. Причем кальцит зачастую носит следы растворения, что может свидетельствовать о неоднократных изменениях уровня водонефтяного контакта. К наложенным процессам также отнесены процессы выщелачивания полевых шпатов, обломков пород и растворения под давлением кварцевых зерен.

Поскольку у авторов не было возможности изучить все шлифы, а только использовать результаты уже выполненного петрографического анализа, не удалось проследить влияние всех вышеперечисленных минералов на коллекторские свойства пород. Остановимся лишь на тех, по которым была собрана представительная выборка.

Каолинит, не типичный для морских отложений пластов Ю² и Ю³ минерал цемента, имеет постседиментационное (катагенетическое и эпигенетическое) происхождение. Следует отметить, что каолинит не контролируется первичными факторами – сортировкой и медианным диаметром, однако, его значительно меньше в породах с первичным глинистым цементом.

Каолинит в целом по пласту Ю³ не ухудшает коллекторских свойств, четких закономерностей изменения проницаемости пород от содержания каолинита по фациям не установлено, говорить можно только о трендах изменения. Так, для пород всех фаций имеет место большой разброс данных, и указанные на рис. 3 тренды этих фаций пласта имеют малую достоверность. Для наиболее преобразованных вторичными процессами пород с ростом содержания каолинита наблюдается отчетливый тренд на увеличение проницаемости.

Глинистый цемент песчаников и алевролитов однозначно мешает движению флюидов в пласте, уменьшая пористость и проницаемость пород ($K_{\text{корр.}} = -0,4$), заполняя поровое пространство при уплотнении практически полностью. Предлагаемое рядом исследователей в качестве критерия влияния наложенных процессов на ФЕС пород отношение содержания каолинита к гидрослуде в данном случае не показательно.

Наличие регенерационного кварца в песчаниках практически не связано с его количеством среди обломочной части, не смотря на то, что имеет

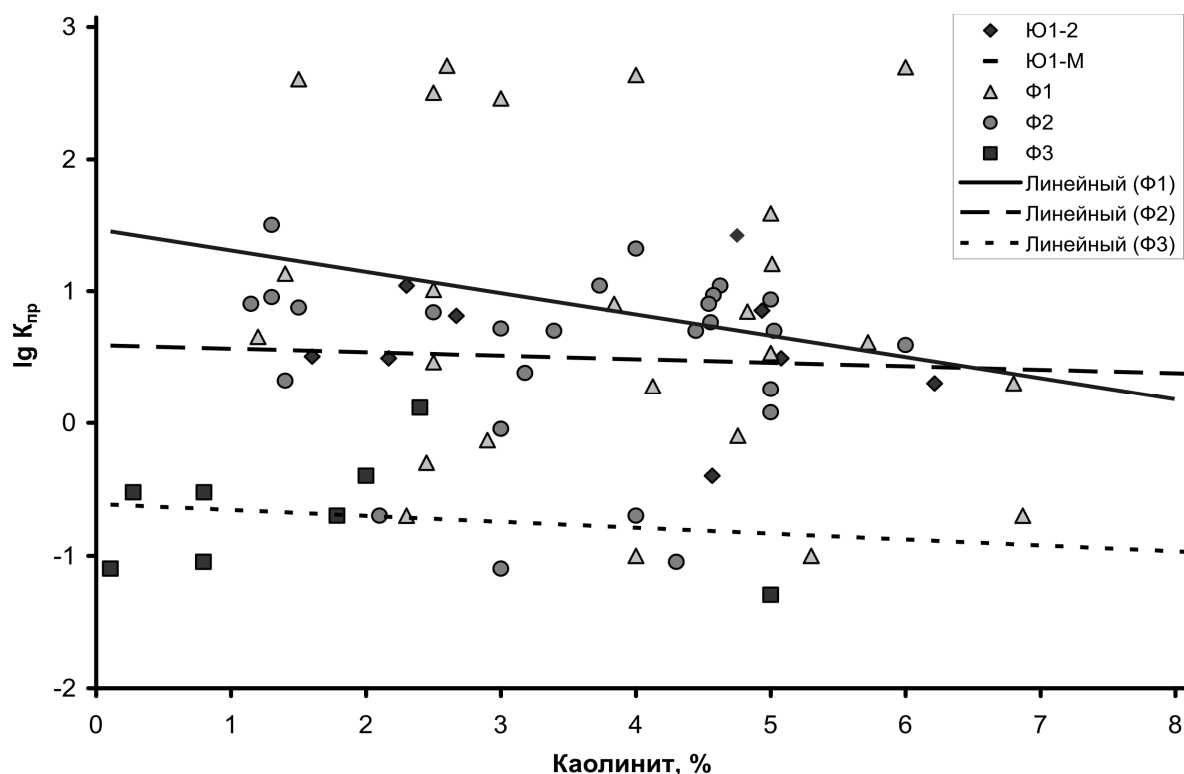


Рис. 3. Зависимость проницаемости от содержания каолинита в цементе пород различных фаций Крапивинского месторождения

значимое $K_{\text{корр.}}=0,52$. От зернистости пород наблюдается положительная корреляционная связь ($K_{\text{корр.}}=0,56$), т. к. в более проницаемых породах за счет большего количества растворов и возможности их миграции ярче выражено вторичное минералообразование. Зависимость проницаемости от количества регенерационного кварца для пород разной степени преобразованности распадается на 2 тренда, рис. 4: в условно выделенной пачке Б – устойчиво возрастает, в пачке А (наиболее преобразованной) – практически не зависит. Подобным образом влияет регенерационный кварц и на пористость песчаников.

Установлено, что открытая пористость и проницаемость алевро-песчаных пород продуктивных отложений зависит как от первичных, так и от вторичных (постседиментационных) факторов.

Так, коллекторские свойства (пористость и проницаемость) возрастают с увеличением медианного диаметра обломков. Положительным фактором является также хорошая сортировка обломков. Песчаные породы с преобладанием в составе каркасных компонентов менее подвержены уплотнению, и, следовательно, уменьшению порового пространства. Кроме того, поверхность обломков кварца обладает наименьшей, по сравнению с другими минералами, адсорбционной по отношению к нефти способностью. Для изученных пород-коллекторов наиболее характерен полевошпато-лито-

кластито-кварцевый состав с преобладанием каркасных компонентов (75...90 %) и высоким содержанием кварца (до 88 % в породах фации Ф1). Алевро-песчаные породы такого состава характеризуются высокими ФЕС и величиной их нефтеотдачи. Корреляционная зависимость между количеством кварца и проницаемостью пород – положительная ($K_{\text{корр.}}=0,42$). В породах с преобладанием каркасных литокластов также наблюдается положительная корреляция содержания обломков пород с открытой пористостью, в меньшей степени – с проницаемостью. Увеличение количества пластичных обломков приводит к ухудшению фильтранционно-емкостных параметров.

Седиментационный цемент представлен в основном глинистыми минералами. В целом, чем больше цемента в обломочной породе, тем ниже ее коллекторские свойства. Рост пелитовой (глинистой) фракции в составе песчаника однозначно отрицательно влияет на проницаемость пород. При небольшом (<10 %) количестве цемента в породах сохраняется часть открытого порового пространства, и они могут содержать промышленные скопления углеводородов. Раннедиагенетические скопления пелитоморфного сидерита характерны для отложений фации Ф3 и низов Ф2. Для этих пород наблюдается положительная связь его с пелитовой фракцией и слюдой, с содержанием кальцита, отрицательная – с количеством каолинита и регене-

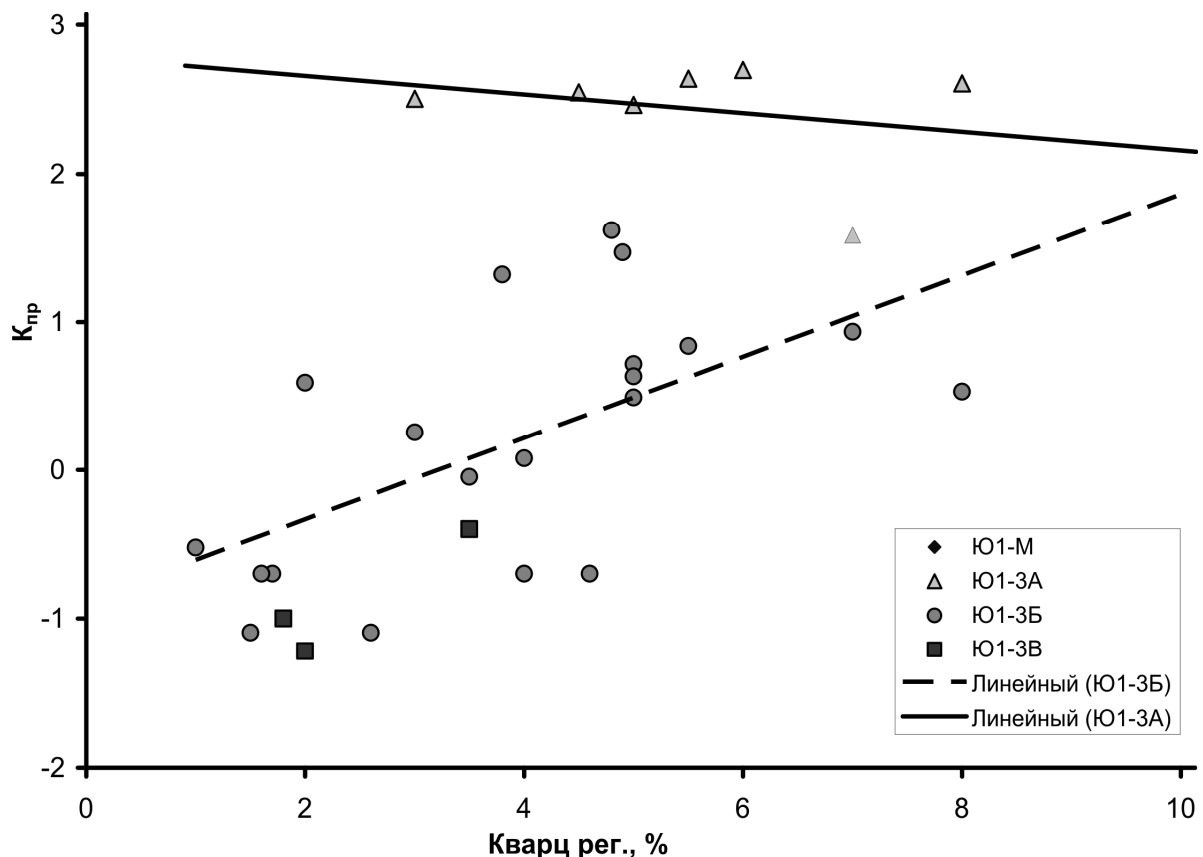


Рис. 4. Зависимость проницаемости от количества регенерационного кварца в цементе пород Крапивинского месторождения

рационного кварца, зернистостью пород, а, следовательно, и с проницаемостью.

Следует отметить, что для алевро-песчаных пород пласта Ю₁³ влияние седиментационных факторов в значительной мере нивелируется вторичными преобразованиями. С постседиментационными преобразованиями связано появление пор и трещин выщелачивания. Они возникают при растворении компонентов песчаных пород (особенно полевых шпатов) под действием растворов, а также при растворении кальцита, ранее корродировавшего обломки.

Например, в породах фации Ф1 и Ф2 широко развиты протяженные микростилолитовые швы. Для этих же пород характерно большое (до 10 %) содержание регенерационного кварца, сформированного при перераспределении вещества от растворения обломочных зерен под давлением, скрепляющего каркас породы и препятствующего дальнейшему уплотнению. Другим из проявлений такого процесса перераспределения вещества является образование в поровом пространстве хорошо раскристаллизованного каолинита. Наличие в пакетах каолинита микропористости не позволяет ему ухудшать проницаемость пород. Все это отражается в хороших коллекторских свойствах пород с таким типом цемента.

Вторичное карбонатообразование (кальцит) однозначно отрицательно влияет на ФЕС. Это связано с новообразованием минералов в свободном пустотном пространстве породы и его закупориванием. Отрицательная связь между наличием каолинита и кальцита показывает, что эти минералы являются результатом разнонаправленных процессов. В то же время кальцит и регенерационный кварц довольно часто встречаются вместе.

Породы фации Ф1 пласта Ю₁³ подверглись интенсивным наложенным изменениям — растворению части обломков пород и полевых шпатов, формированию микростилолитовых швов, образова-

нию каевок регенерации на кварцевых зернах, выщелачиванию кальцита цемента, развитию каолинита и его перекристаллизации. В результате этого измененная верхняя часть пласта (часть фации Ф1) приобрела высокие коллекторские свойства и является высокодебитной, т. е. верхнее песчаное тело может иметь свойства как обычного коллектора, так и очень хорошего коллектора. Эти породы пространственно локализованы в северо-западной части месторождения (особенно в районе скважин №№ 201Р, 208Р, кустов 1 и 2). Выраженной зависимости распространения высокодебитной части пласта от фациальных условий и от сейсмически обоснованных разломов пока не выявлено. В керне большинства высокодебитных скважин фиксируется рассланцевание песчаников на тонкие плитки, что трактуется нами как свидетельство наличия малоамплитудных разломов.

Выводы

Установлено существование значимых корреляционных связей между литологическими и коллекторскими свойствами песчаников. Показано, что решающая роль в возникновении повышенных фильтрационно-емкостных свойств песчаников Крапивинского месторождения Томской области принадлежит процессам порового выщелачивания, приводящим к минеральным (каолинит, регенерационный кварц) и структурным изменениям песчаников; условия осадконакопления имеют подчиненное значение. Наиболее вероятной причиной контрастных проявлений процессов порового выщелачивания являются многочисленные малоамплитудные дизъюнктивные нарушения, обнаруженные на Крапивинском месторождении.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 09-05-99036р-офи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуковская Е.А., Недоливко Н.М., Ежова А.В. Глинистые минералы песчано-алевритовых пород юрских отложений юго-востока Нюрольской впадины // Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. — Томск, 2000. — Т. 1. — С. 214–216.
2. Лебедев Б.А. Геохимия эпигенетических изменений. — М.: Недра, 1992. — 126 с.
3. Недоливко Н.М., Жуковская Е.А., Баженов В.А. Вторичные карбонаты в юрских отложениях юго-восточной части Нюрольской впадины (Томская область) // Геология и геофизика. — 2001. — № 3. — С. 491–502.
4. Сахибгареев Р.С. Вторичные изменения коллекторов в процессе формирования и разрушения нефтяных месторождений. — Л.: Недра, 1989. — 260 с.
5. Япаскерт О.В. Стадиальный анализ литогенеза. — М.: Изд-во МГУ, 1995. — 138 с.

Поступила 26.10.2009 г.