



ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД БОТУОБИНСКОГО ГОРИЗОНТА ВЕНДА СЕВЕРО-ВОСТОКА НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

И. В. Вараксина*, Е. М. Хабаров*, М. М. Пушкарева*

На основании детальных петрографических и электронно-микроскопических исследований изучено поровое пространство песчаников ботуобинского продуктивного горизонта. Установлено, что формирование порового пространства обусловлено главным образом составом обломочной части и постседиментационными преобразованиями.

Ключевые слова: *Непско-Ботуобинская антеклиз, ботуобинский продуктивный горизонт, песчаники, поровое пространство, фильтрационно-емкостные свойства.*

INFLUENCE OF STRUCTURAL AND MATERIAL PARAMETERS ON RESERVOIR AND PERTAINING PROPERTIES OF VENDIAN BOTUOBA HORIZON ROCKS, THE NORTH-EASTERN NEPA-BOTUOBA ANTECLISE

I. V. Varaksina, E. M. Khabarov, M. M. Pushkareva

The pore space in sandstones of Botuoba producing horizon was studied on the basis of detailed petrographic examinations and electron microscopy. Formation of the pore space was defined to be determined mainly by the composition of clastic component and postsedimentation transformations.

Key words: *Nepa-Botuoba anteclise, Botuoba producing horizon, sandstones, pore space, reservoir properties.*

Актуальная задача при разработке нефтяных месторождений – детальное изучение фильтрационно-емкостных характеристик (ФЕС) коллекторов. Известно, что характер коллекторских свойств пород обусловлен их структурно-вещественными особенностями, которые формируются под влиянием условий осадконакопления и постседиментационных процессов. В данной работе приведены результаты литолого-петрофизических исследований терригенных отложений венда одного из наиболее крупных месторождений северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы (НБА) – Среднеботуобинского. Основным объектом нефтегазодобычи здесь является ботуобинский продуктивный горизонт, отложения которого соответствуют нижней подсвите буюкской свиты венда и представляют собой крупное песчаное тело, вытянутое вдоль восточного борта НБА [1–3]. Новые данные, полученные в результате глубокого бурения в 2008–2010 гг. на территории Среднеботуобинского месторождения, позволяют расширить представления о качестве коллектора.

Литологическая характеристика

Ботуобинские песчаники залегают на отложениях курсовской свиты, представленной в основном алевролитами и аргиллитами. Переход от нижележащей толщи постепенный и фиксируется по возрастанию роли песчаников и алевролитов

вверх по разрезу. Отложения горизонта перекрываются доломитами и ангидритами верхней подсвиты буюкской свиты, переход к которым также постепенный. В песчаниках увеличивается содержание доломита, и далее в разрезе начинают преобладать доломиты с прослоями ангидритов.

Горизонт, средняя мощность которого около 30 м, характеризуется выдержанностью строения и подразделяется на три пачки (рис. 1). В *нижней* наблюдается переслаивание аргиллитов и песчаников с постепенным возрастанием количества последних вверх по разрезу. *Средняя*, наиболее мощная часть сложена темными нефтенасыщенными песчаниками, которым свойственна микрослоистость, обусловленная чередованием различных фракций (от алевритовой до крупнопесчаной). Сортировка в слоях хорошая. Наблюдается чередование пакетов метрового масштаба (0,5–1,5 м) с укрупнением зернистости вверх по разрезу, типичных для баровых отложений. В целом в этой части преобладают средне- и мелкозернистые фракции. *Верхняя* пачка горизонта представлена серыми плохо- и среднесортированными (с доминированием крупно- и среднезернистых фракций) песчаниками, переход к вышележащим доломитам постепенный. Здесь также фиксируются последовательности метрового масштаба с укрупнением зернистости вверх по разрезу.

Слоистость в песчаниках горизонта в основном субгоризонтальная и очень пологая кося, реже разнонаправленная кося и волнистая.

* ИНГГ СО РАН (Новосибирск)

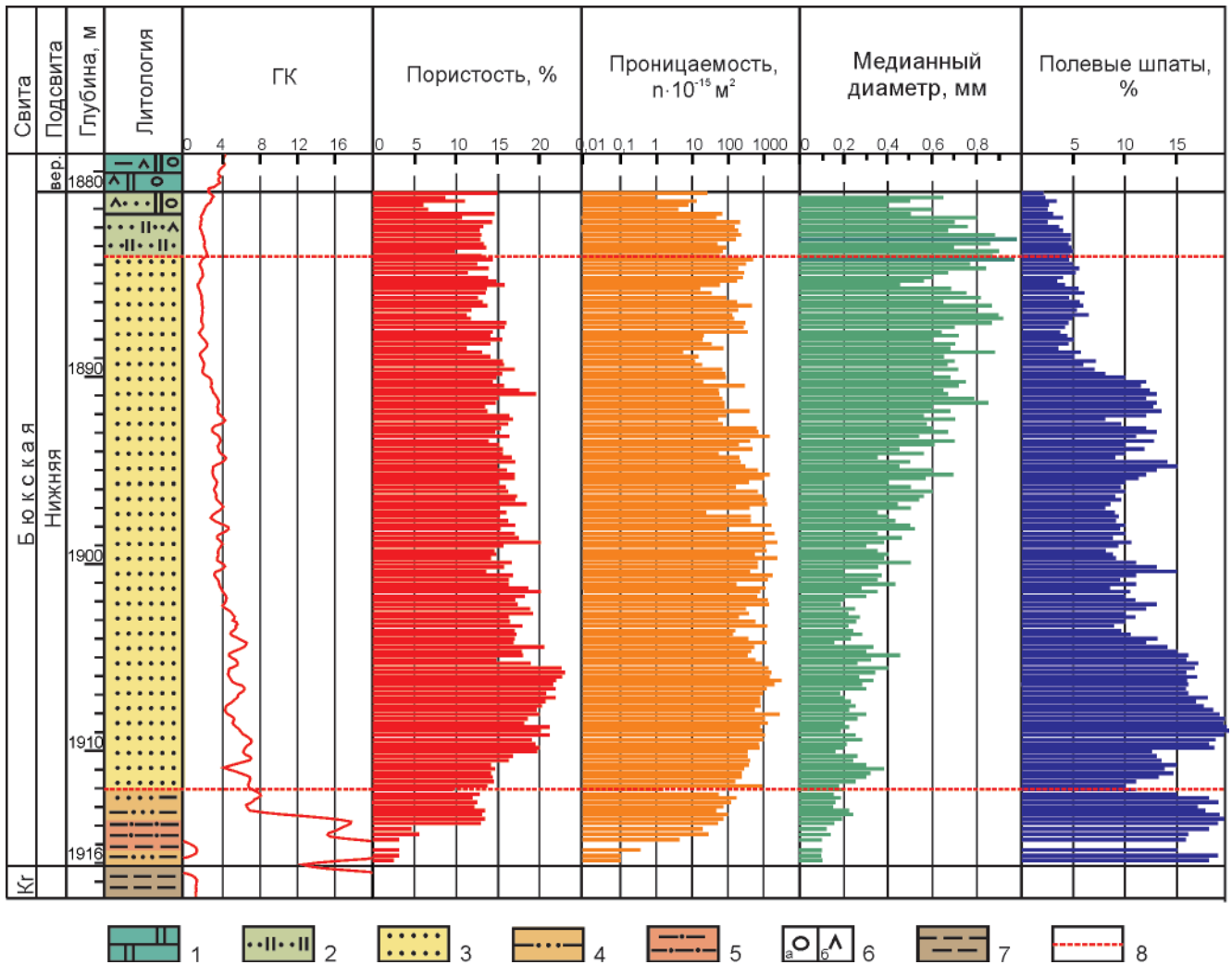


Рис. 1. Распределение пористости, проницаемости, гранулометрического состава и содержания полевых шпатов в ботубинском горизонте на примере одной из скважин северо-востока Непско-Ботубинской антеклизы (Кг – курсовская пачка)

1 – доломиты; 2 – песчаники доломитовые; 3 – песчаники; 4 – алевропесчаники; 5 – алевролиты; 6 – оолиты (а) и ангидриты (б); 7 – аргиллиты; 8 – границы между пачками

В целом толщина прослоев с косой слоистостью достигает 20–30 см. Косые серии мощностью от 1,5 до 7,0 см разделены примазками аргиллитов. Слоистость часто связана с тонкими (до 2 мм) слоями аргиллитов. Иногда эти слои двойные, что свидетельствует о влиянии приливно-отливных течений, перераспределяющих песчаные осадки. Кроме того, в породах наблюдаются фрагменты знаков волновой ряби. Формирование ботубинского горизонта происходило в пределах крупной баровой системы, периодически подвергавшейся воздействию приливно-отливных течений и волн, что предопределило относительно высокую первичную пористость пласта.

В ботубинском горизонте по размерности зерен выделяются следующие типы пород: аргиллиты (до 0,01 мм), алевролиты мелко- (0,01–0,05 мм) и крупнозернистые (0,05–0,1 мм), песчаники мелко- (0,1–0,25 мм), средне- (0,25–0,5 мм) и крупнозернистые (0,5–1 мм). Если содержание ни одного из компонентов не превышает 50 %, то породы называются смешанными.

По составу ботубинские песчаники полевошпат-кварцевые и кварцевые. Кварц в основном монокристаллический, чистый. Полевые шпаты (ПШ) представлены главным образом калиевыми разновидностями, реже плагиоклазами. Состав цементирующего материала сложный. Выделяется несколько типов цемента: регенерационный кварцевый; поровый и пойкилитовый ангидритовый и/или доломитовый; пленочный и пленочно-поровый хлорит-гидрослюдистый; поровый битуминозный. Развитие различных цемента по разрезу неравномерное.

Анализ распределения гранулометрического и минералогического состава песчаников показал следующее. Вверх по разрезу зернистость постепенно возрастает, хотя и нарушается отдельными ритмами более мелкого масштаба (см. рис. 1). В нижней части пласта наблюдаются повышенные концентрации обломков полевых шпатов (до 15–20 %). Вверх по разрезу количество их уменьшается и в кровле не превышает 3–5 %. Пик содержания ПШ совпадает с преобладанием

мелкозернистой песчаной фракции (см. рис. 1). Во всех песчаниках фиксируется регенерационный кварцевый цемент, содержание которого в основном варьирует в пределах 2–6, редко до 15 %. Ангидрит-доломитовый поровый цемент также встречается по всему разрезу в виде выделений, часто пойкилитовых, размером 1 мм и менее, редко до 2–3 мм. Его количество обычно не превышает 5–6 %, в основании и прикровельной части горизонта выше, на отдельных участках достигает 20–25 %. Пленочно-поровый хлорит-гидрослюдистый цемент отмечается повсеместно, но его доля в большинстве случаев не более 5 %, поскольку в цементе песчаников барового типа количество глинистой составляющей минимально. Относительно повышенное содержание глинистого цемента (до 10 %) характерно только для нижней пачки разреза. Наиболее широко в породах горизонта развит битуминозный поровый цемент, содержание которого варьирует от 3–5 до 10–15 %. Максимальные концентрации битума приурочены к средней части пласта.

Необходимо отметить незначительное засоление ботубинских песчаников. Небольшое количество галита ($\leq 1-2\%$) в межзерновом пространстве встречается практически повсеместно, а в прикровельной части в некоторых скважинах фиксируется маломощный (менее 30 см) слой, в котором практически все открытые поры выполнены галитом. Выпадение соли на границе различных пластов (доломиты–песчаники), возможно, связано с техногенными причинами. В целом столь малое содержание соли в ботубинском горизонте не оказывает какого-либо существенного влияния на коллекторские свойства слагающих его пород.

Фильтрационно-емкостные свойства

Горизонт в целом характеризуется хорошими коллекторскими свойствами (см. рис. 1). Наиболее высокие значения пористости (до 20–23 %) и про-

ницаемости (до $(1500-2800) \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$) отмечаются в песчаниках самой нефтенасыщенной средней части разреза. В нижней и верхней пачках горизонта ФЕС песчаников ниже. Пористость вверх по разрезу сначала быстро возрастает до максимальных значений и далее постепенно уменьшается, как и проницаемость. Во всех изученных скважинах наибольшим значениям пористости, как правило, соответствуют наиболее высокие показатели проницаемости (рис. 2, а). Наблюдается хорошая корреляция между остаточной водонасыщенностью и пористостью (см. рис. 2, б). Преобладание образцов с низкой остаточной водонасыщенностью ($>12\%$) свидетельствует о благоприятной структуре порового пространства.

Строение порового пространства и типы цементации

Во всех песчаниках отмечаются открытые поры размером от сотых долей до 0,35 мм, редко до 0,55 мм. По данным микроскопического исследования окрашенных шлифов и образцов в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) рассматриваемые породы характеризуются относительно простым строением порового пространства. Поры преимущественно межзерновые и имеют трех-четырёхугольную, трапециевидную или удлиненно-продолговатую форму сечений (рис. 3). Соединены поры каналами шириной от 0,1 мм до 5 мкм и меньше.

Поры и каналы в основном унаследованы от седиментогенных пустот, которые в результате постседиментационных процессов претерпели существенные изменения. В результате катагенеза в породах широко проявились процессы стилолитизации, регенерации, развития конформных, инкорпорационных и микростилолитовых межзерновых контактов, что в целом привело к неоднородному распределению пор. В шлифах и СЭМ часто наблюдаются участки с достаточно плотной упаковкой зерен (см. рис. 3).

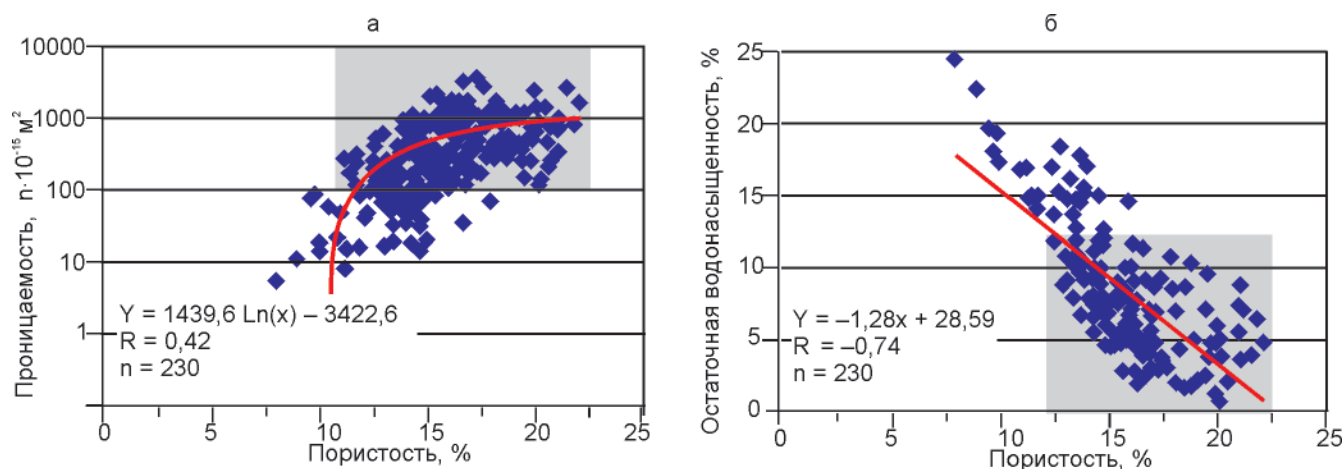


Рис. 2. Связь открытой пористости и других петрофизических параметров

а – связь открытой пористости и проницаемости; серым цветом показана область концентрации образцов с пористостью $\geq 10\%$ и проницаемостью $\geq 100 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$, б – связь открытой пористости и остаточной водонасыщенности (ОВ); серым цветом показана область концентрации образцов с ОВ $\leq 12\%$

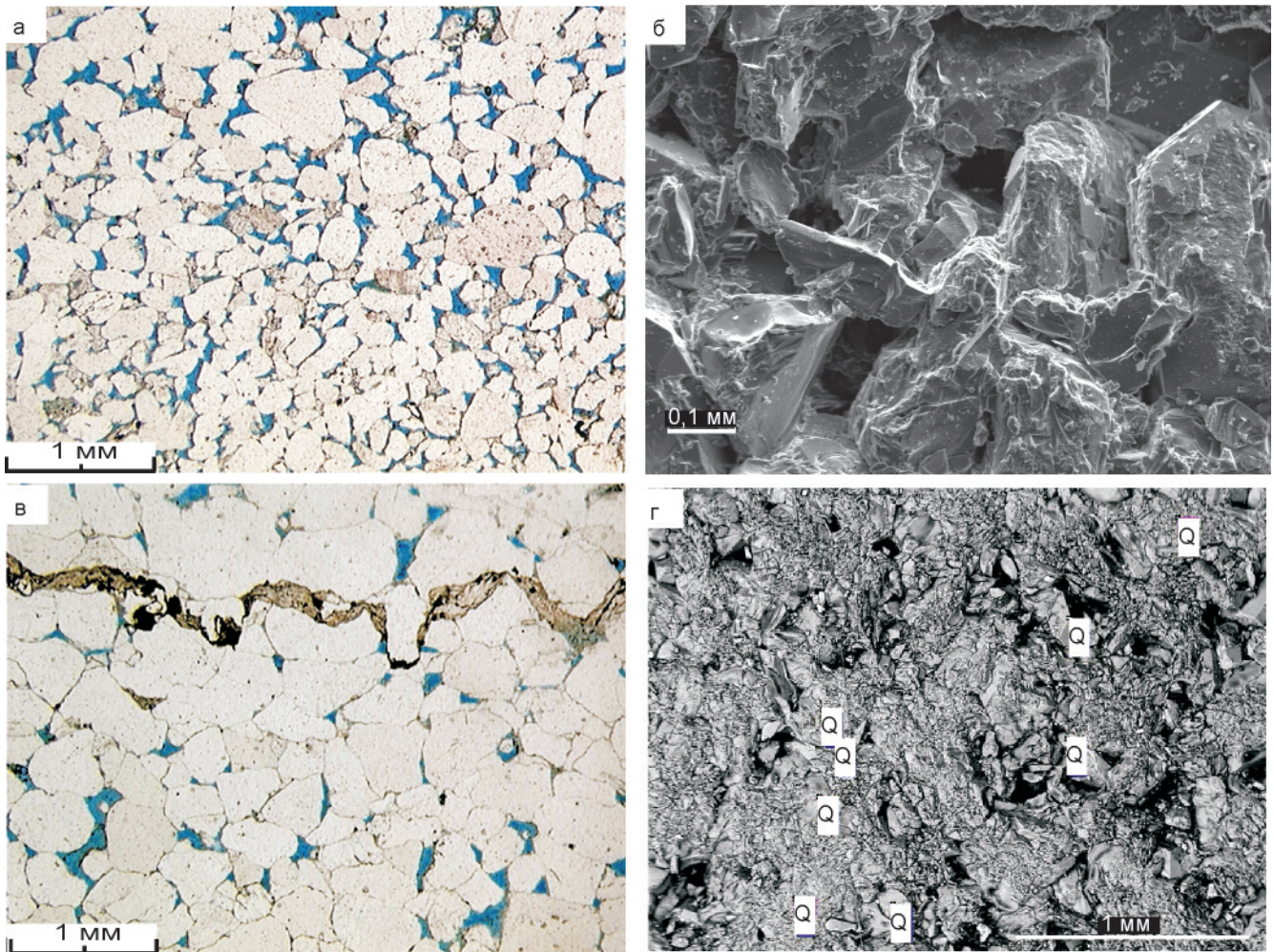


Рис. 3. Структура порового пространства
а, б – песчаник полевошпат-кварцевый мелко-среднезернистый, в, г – песчаник кварцевый среднекрупнозернистый (Q – кварц)

В анализируемых породах постоянно фиксируется аутигенный кварц, который, несмотря на малые количества, существенно изменяет конфигурацию и усложняет сообщаемость пор. Его образование происходило в несколько этапов. В шлифах отчетливо выделяется наиболее ранняя, вероятно, диагенетическая регенерация с захватом пленочных форм битумного вещества вокруг обломочных ядер (рис. 4, а). Новообразованные каемки, судя по реликтам, были в основном полными, однако в дальнейшем подверглись существенному растворению. Более поздняя регенерация кварца происходила на зернах, которые формировали стенки пор, и нарастала на них без видимых переходов. По данным электронной микроскопии практически на всех обломках видны каемки нарастания с формированием кристаллографических граней кварца в свободном поровом пространстве (см. рис. 4, б).

Регенерация ПШ наблюдается крайне редко и в виде очень тонких каемок. Обломки ПШ в разной степени подвержены трещиноватости, пелитизации, коррозии и выщелачиванию. При полной пелитизации ПШ легко деформируются и, выжимаясь в поровое пространство, переходят в це-

мент. Однако в большинстве случаев отмечаются частичная пелитизация и растворение обломков ПШ по двойниковым швам и трещинам спайности (см. рис. 4, в). В результате интенсивного растворения от некоторых зерен остаются только реликты и образуется вторичная пористость (см. рис. 4, г). Этот процесс объясняет повышенные значения ФЕС в интервале с максимальным содержанием ПШ (см. рис. 1).

Ангидритово-доломитовая цементация также изменила первичное поровое пространство. В рассматриваемых породах одновременно могут присутствовать выделения и ангидрита, и доломита, но в целом преобладает доломит, иногда фиксируется замещение его ангидритом. Сульфатно-карбонатный цемент выполняет отдельные поры и часто замещает окружающие обломки с образованием пойкилитовых структур размером до 1, редко до 2–3 мм (см. рис. 4, д, е). Несмотря на незначительное содержание данного цемента в основной части разреза, он сокращает число свободных пор и каналов, изолирует их друг от друга и несколько ухудшает коллекторские качества песчаников. На интервалах с более широким развитием ангидритово-доломитового

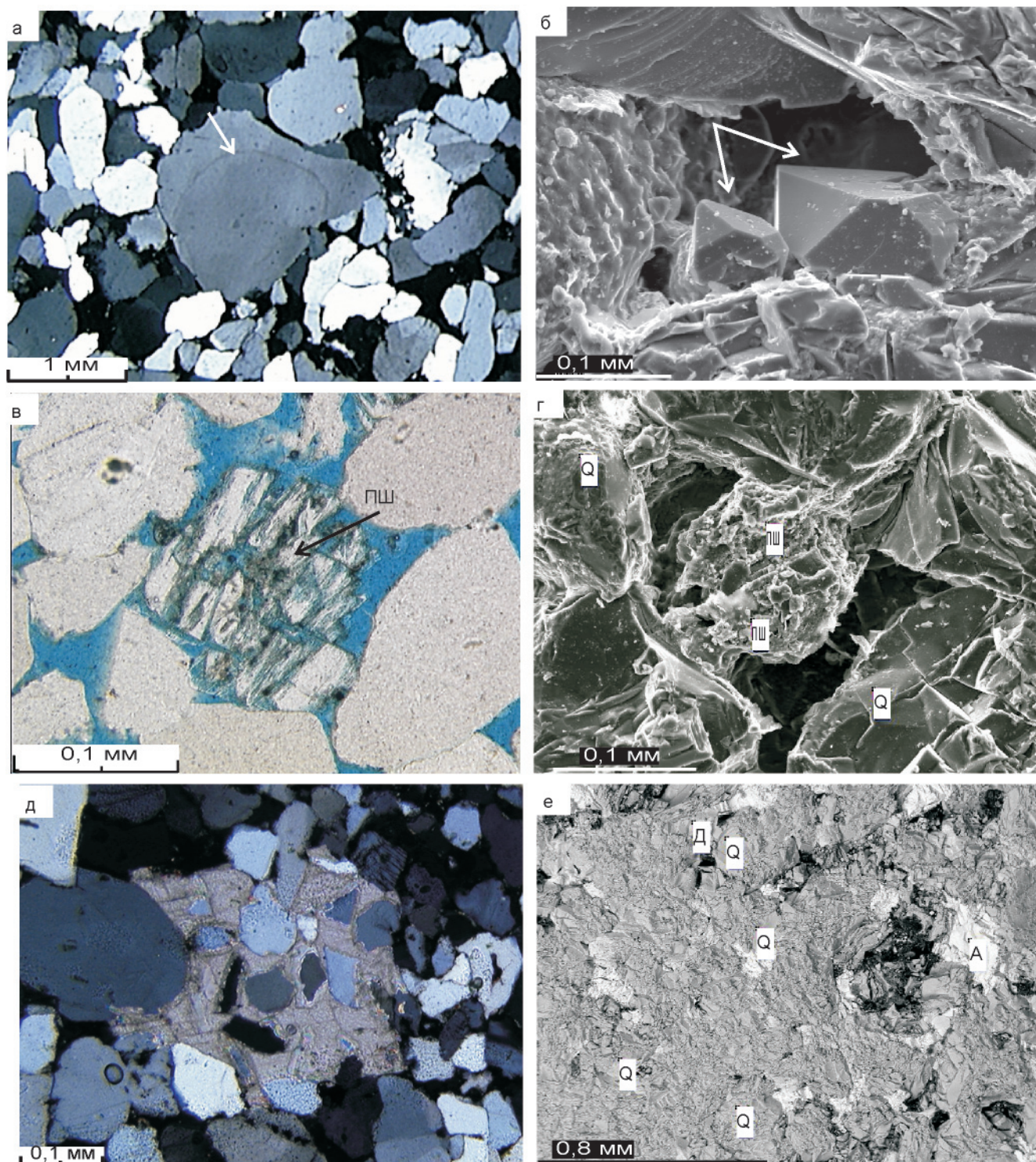


Рис. 4. Влияние вторичных процессов на структуру порового пространства

а – регенерационная каемка вокруг окатанного зерна кварца, отделенная от него пленкой битумного вещества и подвергшаяся частичному растворению (николи скрещены); б – рост кристаллографических граней кварца в межзерновом пространстве; в – выщелачивание ПШ вдоль спайности и увеличение порового пространства за счет растворения краевых частей; г – следы растворения на поверхности обломка ПШ; д – выделения пойкилитового доломитового цемента в песчанике мелкозернистом полевошпат-кварцевом (николи скрещены); е – выполнение пор ангидритом (А) и доломитом (Д) в мелко-среднезернистом кварцевом песчанике

цемента (верхняя и нижняя части горизонта), фиксируются пониженные значения пористости и проницаемости.

Часть пор в песчаниках заполнена битуминозным веществом. В шлифах оно распространено неравномерно, заполняя в основном мелкие

поры, а в крупных пустотах – только в краевых частях. Это связано, по-видимому, с потерей легких фракций нефти при извлечении керна и изготовлении шлифов. Сохранившиеся тяжелые битуминозные компоненты часто ассоциируют с пиритом. Пористость, рассчитанная по шлифам, вклю-

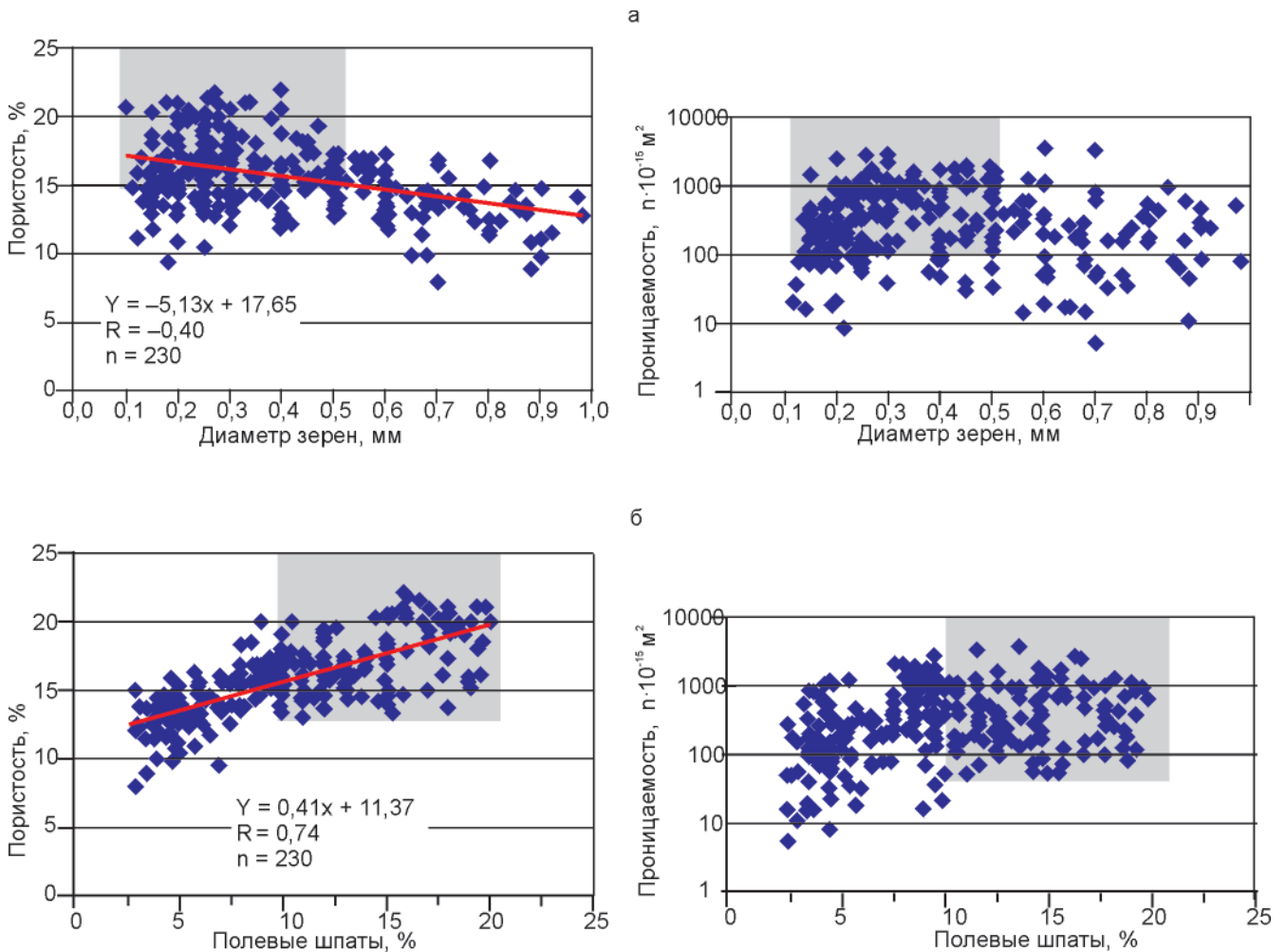


Рис. 5. Связь пористости и проницаемости со структурно-вещественными параметрами

а – связь с гранулометрическим составом пород, серым цветом показана область концентрации образцов с диаметром зерен 0,1–0,5 мм и пористостью $\geq 15\%$, проницаемостью $\geq 100 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$, б – связь с содержанием полевых шпатов, серым цветом показана область с концентрацией образцов с содержанием ПШ $\geq 10\%$

чающая свободные пустоты и поры, выполненные битумом, в целом совпадает со значениями, полученными аналитическим путем.

Факторы, определившие коллекторские свойства

Анализ показал, что фильтрационно-емкостные свойства пород ботубинского горизонта имеют сложные взаимосвязи с их структурно-вещественными характеристиками, наиболее тесную – с пористостью, а с проницаемостью – значительно ниже. Исходя из этого, линии трендов, уравнения и коэффициенты корреляции показаны только на диаграммах с пористостью.

В первую очередь были прослежены зависимости ФЕС от гранулометрического состава. На диаграммах видно, что прямой связи между распределением зерен по размеру и коллекторскими свойствами нет (рис. 5, а). Однако, несмотря на относительно низкие коэффициенты корреляции, четко выделяется область с максимальными значениями пористости и проницаемости, которые тяготеют в основном к мелко-среднезернистым фракциям.

Наблюдается хорошая корреляция фильтрационно-емкостных свойств с содержанием полевых шпатов. Графики изменения этих параметров по разрезу показывают, что в продуктивной части горизонта в интервалах, где содержание ПШ выше 10%, значения пористости в целом очень высокие (15–25%). Значения проницаемости в большинстве случаев более $100 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$, хотя тесная прямая связь с проницаемостью не прослеживается (см. рис. 1). Повышенное содержание ПШ препятствовало развитию регенерационного кварца и в совокупности с процессами растворения зерен ПШ обеспечило наиболее высокие значения ФЕС (см. рис. 5, б). Хотя количество ПШ в основании горизонта велико, коллекторские свойства песчаников понижены из-за довольно высокого содержания карбонатного цемента, что привело к некоторому уменьшению корреляционного коэффициента.

Содержание цемента в песчаниках ботубинского горизонта в целом относительно низкое, тем не менее имеется определенная зависимость между составом цементирующего материала и коллекторскими свойствами. Процесс регенерации кварцевых зерен отрицательно повлиял на

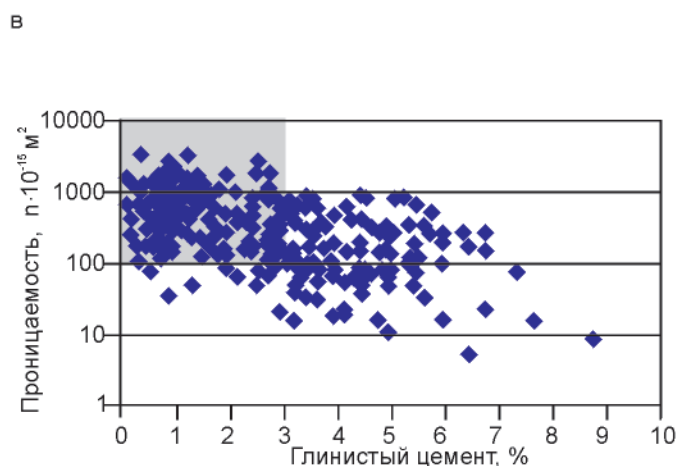
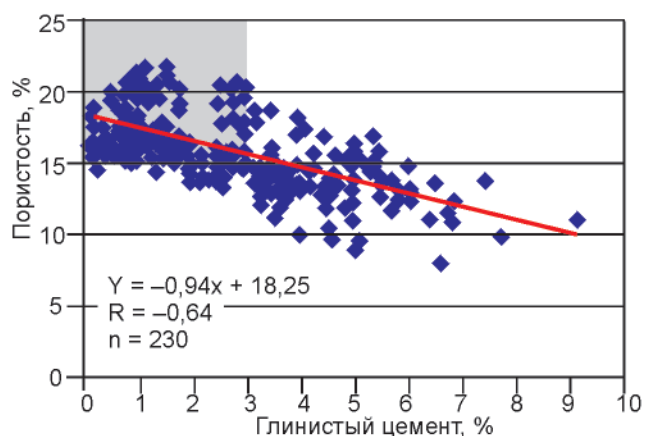
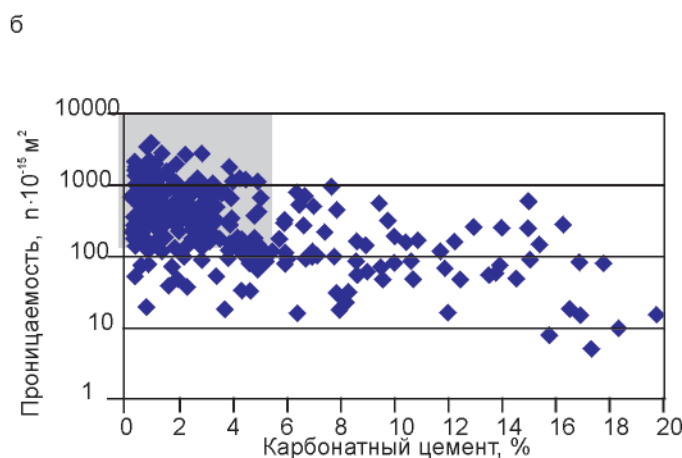
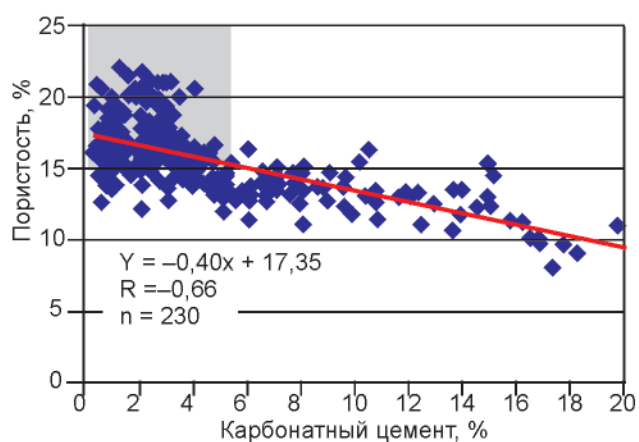
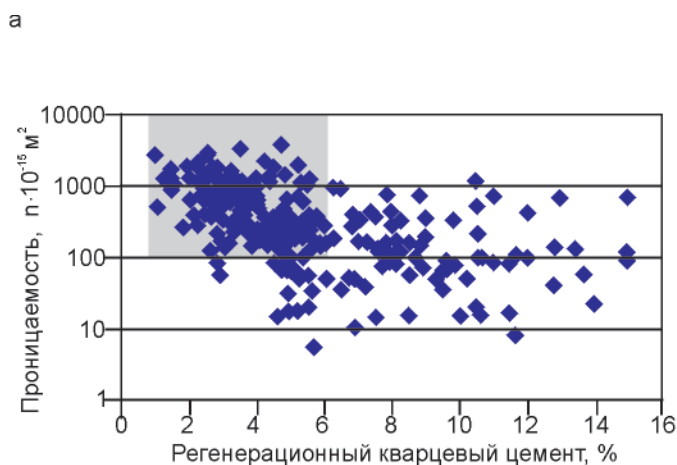
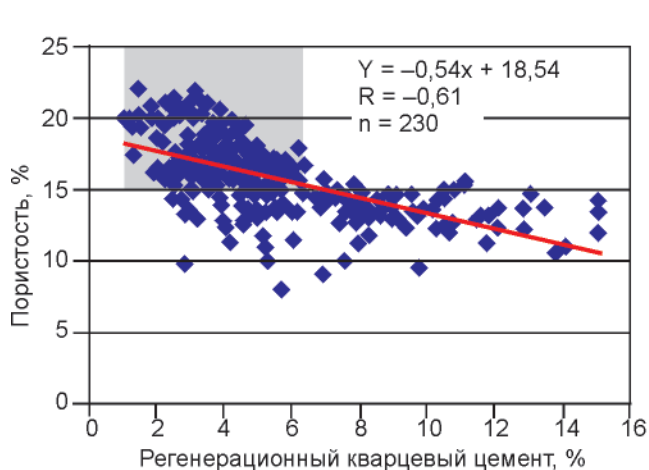


Рис. 6. Связь пористости и проницаемости с различными типами цемента: а – с регенерационным кварцевым (РКЦ), б – с поровым карбонатным (КЦ), в – с пленочно-поровым глинистым (ГЦ); серым цветом выделены области концентрации образцов с пористостью $\geq 15\%$, проницаемостью $\geq 100 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$, а также с содержанием РКЦ $\leq 6\%$, КЦ $\leq 5\%$ и ГЦ $\leq 3\%$

формирование пустотного пространства. На графиках зависимости этих параметров видно, что область наиболее высоких значений пористости и проницаемости локализуется главным образом в пределах низкого ($\leq 6\%$) содержания регенерационного кварцевого цемента (рис. 6, а). При увеличении количества этого цемента значения ФЕС в целом понижаются. Связь между коллек-

торскими свойствами и сульфатно-карбонатным цементам довольно тесная (см. рис. 6, б). Если содержание цемента более 5% , пористость и проницаемость снижаются. В интервалах с содержанием сульфатно-карбонатного цемента более 10% фиксируются минимальные значения ФЕС. Глинистый цемент также вносит свою долю в снижение коллекторских свойств: Диаграммы показы-



вают существенное снижение значений пористости и проницаемости в интервале, где содержание глинистой составляющей превышает 3 %.

Таким образом, структурно-вещественные параметры в значительной мере повлияли на коллекторские свойства изученных песчаных пород. Анализ зависимостей показал, что фильтрационно-емкостные свойства ботуобинского горизонта контролируются в основном составом обломочного материала и типом цемента, а не размерностью и степенью сортировки зерен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрина, К. С. Особенности строения и коллекторские свойства вендского резервуа-

ра нефти и газа южной части Сибирской платформы [Текст] / К. С. Кондрина, Л. С. Чернова, Т. Н. Дергачева // Литология резервуаров нефти и газа в мезозойских и палеозойских отложениях Сибири. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1982. – С. 15–27.

2. Литология и условия формирования резервуаров нефти и газа Сибирской платформы [Текст] / Т. И. Гурова, Л. С. Чернова, М. М. Потлова [и др.]. – М. : Недра, 1988. – 254 с.

3. Непско-Ботуобинская антеклизы – новая перспективная область добычи нефти и газа на востоке СССР [Текст] / Под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. – Новосибирск : Наука, 1986. – 245 с.

© И. В. Варакина, Е. М. Хабаров, М. М. Пушкарева, 2012



Россия, Иркутск,
ул. Рабочая, 2а
Бизнес-центр «Премьер»,
6–7-й этаж
Адрес для корреспонденции:
664011, Иркутск, а/я 129,
ЗАО «ИЭРП»
Телефоны:
+7 (3952) 780-183;
780-185
факс: (3952) 780-185
Сайт: www.ierp.ru
E-mail: info@ierp.ru

Электроразведочные работы при решении разнообразных геологических задач:

- структурные и региональные исследования,
- поиск и разведка месторождений углеводородов,
- прогноз условий бурения скважин,
- рудные, инженерные, геоэкологические задачи,
- мониторинг.

Аппаратура, программное обеспечение.

Консалтинг, разработка методик.

Обработка и интерпретация данных.

