

ПЕТРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КВАРЦА НЕФТЕНАСЫЩЕННЫХ ПЕСЧАНИКОВ ВАСЮГАНСКОЙ СВИТЫ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)

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

Петроструктурным анализом зерен кварца установлено, что нефтенасыщенные песчаники васюганской свиты сформировались в прибрежно-морских условиях. Активная динамическая обстановка водной среды способствовала формированию анизотропного внутреннего строения песчаного тела, что находит отражение в предпочтительных ориентировках удлиненных зерен кварца как по форме, так и внутреннему строению. Установленная анизотропия нефтенасыщенных песчаников определяет вектор их наибольшей проницаемости.

Ключевые слова: песчаники; кварц; петроструктурный анализ; фациальные и динамические условия.

Обзор ранее проведенных исследований. Петроструктурное изучение кварца в обломочных породах до настоящего времени является ограниченным и носит в основном методический характер. Впервые предпочтительная ориентировка зерен кварца по форме и внутреннему строению была установлена в песчаниках Б. Зандером (1930), которая оказалась параллельна оси знаков ряби. Анализ ориентировок кварца по форме зерен при палеогеографических реконструкциях осадочных пород рассмотрен в ряде работ (Кулямин, 1970; Pettijohn и соавт., 1976). Экспериментально структурные признаки осадочных и слабометаморфизованных кварцосодержащих пород изучались И.С. Делициным [1]. Результаты этих исследований позволили выявить внутреннее строение исследуемых пород, а также пространственную ориентировку слагающих ее зерен, что дало возможность проанализировать поведение породообразующего кварца и эволюцию кварцосодержащих пород от возникновения исходного осадка до его преобразования в условиях метаморфизма. А.И. Родыгин обобщил данные по микроструктурному анализу кварца и типизировал его предпочтительные оптические ориентировки [2].

Анизотропия осадочных песчаных пород, очевидно, является отражением преобладающего движения среды, формирующей упаковку зерен. Это, несомненно, влияет на проницаемость породы, которое в направлении, параллельном донному течению, вероятно, будет максимальной, а перпендикулярном – минимальной. Соответственно, удлиненные зерна обломочного материала выстраиваются субпараллельно направлению течения и способствуют формированию в этом направлении максимального количества проводящих каналов. Такая зависимость проницаемости от внутреннего строения осадочных отложений была показана для коллекторов среднего девона Усинского месторождения (Гроссгейм и соавт., 1984).

Общей тенденцией осадочных частиц и обломков является фиксация их в осадке в определенном положении относительно потока. Потенциальным элементом текстуры является каждое обломочное зерно, однако текстуру осадка определяют в основном удлиненные зерна. При этом наиболее благоприятными для изучения являются зерна кварца, микроструктурный анализ которых позволяет установить взаимоотношение его ориентировок по форме и внутреннему строению, которое зависит от многих факторов и свидетель-

ствует о динамическом режиме формирования осадка. Так, степень выраженности предпочтительных ориентировок зерен кварца в прибрежно-морских условиях может быть обусловлена морфологией дна, энергией волн, образованием струй, ряби и т.д. Ориентировка песчаных зерен может определяться конседиментационной деформацией осадков, а также их постседиментационными преобразованиями. Все эти факторы необходимо учитывать при воссоздании обстановки осадконакопления.

Микроструктурный анализ кварца в обломочных средне- и мелкозернистых осадочных кварцосодержащих породах проводится исходя из предположения о том, что этот минерал не испытывает заметных тектонических воздействий и обнаруживает только специфическую ориентировку – ориентировку отложений. Подобная ориентировка во многом определяется пространственным распределением кварцевых зерен по форме. Как правило, удлиненная форма зерен обуславливает предпочтительную картину ориентировки. Ориентирующий процесс зависит также от соотношений размеров, окатанности, плотности частиц, природы скорости и направления транспортирующей среды.

Степень упорядоченности расположения зерен свидетельствует о большом разнообразии в направлениях потоков. Причина заключается в том, что слабые течения и волны, которые не способны образовывать заметных текстур в осадках, могут все же влиять на ориентировку песчаных зерен. Ориентировка песчаных зерен является более чувствительным параметром по сравнению с прочими текстурными особенностями и более информативна в отношении частных деталей и мельчайших изменений в направлении потока (Рейнек, Сингх, 1981).

Результаты исследований. Нами проведено петроструктурное исследование в образцах керна песчаных пород пласта Ю₁² Игольской площади. Изученные образцы пространственно ориентированы палеомагнитным методом. Проведенное петроструктурное изучение заключается в анализе ориентировок зерен обломочного кварца по форме (морфологический анализ) и внутреннему строению (собственно петроструктурный анализ) в двух взаимно перпендикулярных ориентированных шлифах из образцов керна, которые располагаются нормально и вдоль оси керна.

Морфологический анализ включает в себя измерение ориентировки удлинения зерен в ориентированных шлифах. При этом анализ распределения удлинений вытянутых

зерен кварца проводится в двух плоскостях, одно из которых является близким напластованию, а другое перпендикулярно слоистости. Суть таких измерений сводится к замерам азимутов простирания удлиненных зерен относительно выбранного направления. Минимальное количество измерений, необходимых для получения достоверной ориентировки зерен в породе, составляет 100 зерен в одном шлифе. Полученные результаты после статистической обработки выносятся на круговые диаграммы.

Микроструктурный анализ основывается на выявлении ориентировки оптических осей зерен кварца. Методика измерения заключается в определении координат оптической оси кварцевых зерен на Федоровском столике. Для получения представительного петроструктурного узора оптических осей необходимо измерение не менее 100 зерен кварца в шлифе. Анализ полученных петроструктурных узоров на круговых диаграммах позволяет выявить особенности характера распределения оптических осей кварца, их соотношение с ориентировками кварца по форме зерен и установить геологические условия формирования пород.

Анализом распределения удлиненных зерен кварца в плоскости напластования в изучаемых песчаниках выделяются два типа преимущественных направлений ориентировки их длинных осей. Первый тип является преобладающим и характеризуется двумя преимущественными направлениями удлинений зерен, одно из которых доминирует. Для второго типа, имеющего ограниченное распространение, выявляется одно преимущественное направление удлиненных зерен кварца при очень незначительном развитии их поперечных ориентировок.

Первый тип с бимодальной ориентировкой удлиненных зерен кварца выявлен в большей части исследуемых шлифов (рис. 1, обр. 83, 93, 111, 116, 142, 152). Характеризуется наличием двух максимумов распределения удлиненных зерен с резко выраженным в одном направлении (14–19%) и слабовыраженным в другом (обычно менее 10%), с углами между максимумами от 30 до 90°. Подобная ориентировка кварца по форме зерен характерна для прибрежных (внутренних) зон водных бассейнов, подвергающихся действию волн [3]. В.Т. Фроловым [4] было показано, что прибойный поток, подходящий к берегу под углом, состоит из двух направляющих – сгонно-нагонных (ориентирующих часть удлиненных зерен субнормально к береговой линии) и вдольбереговых (ориентирующих зерна субпараллельно). Интерпретация бимодальных ориентировок дана Р. Градзинским и соавт. [5]. Продольную ориентировку чаще всего приобретают зерна кварца плоской и удлиненной формы, в то время как цилиндрические и веретенообразные зерна, благодаря легкости перемещения качением, занимают в потоке поперечное положение и проявляются на диаграммах в виде восторщенного максимума.

Второй тип ориентировки удлиненных зерен кварца характеризуется наличием одного либо двух сближенных максимумов по удлинению (рис. 1, обр. 98, 121). Интенсивность статистических максимумов достигает 18–20% с углами между главными сближенными максимумами в пределах 30°. Данный тип ориентировки отражает предпочтительное расположение квар-

цевых обломков согласно направлению движения быстрого водного потока. Подобную ориентацию зерен может создавать умеренная до сильной движущая среда, например вдольбереговые течения. Было установлено, что в условиях достаточно сильных течений углы между длинными осями зерен могут достигать 20–40° (Кулямин, 1970). При этом следует отметить, что на вариации ориентировок удлиненных зерен кварца могут влиять различные неоднородности потока. Наложение этих факторов может обуславливать более сложную картину ориентировки, однако и в таких случаях сохраняется общая закономерность в предпочтительном расположении удлиненных зерен кварца.

Таким образом, каждому типу осадкодвижущей среды соответствуют вполне определенные типы ориентировки удлиненных песчаных зерен. В комбинации с другими характеристиками осадков (текстурно-структурными, гранулометрическими и др.) ориентировка удлиненных осадочных зерен может быть использована для уточнения фациальной природы отложений.

Изучение предпочтительных ориентировок удлиненных кварцевых зерен исследуемых пород показало, что практически для всех образцов обнаруживается их бимодальное распределение.

Таким образом, устанавливается, что существенное влияние на формирование упорядоченного строения пород пласта Ю₁² Игольско-Талового месторождения оказывали вдольбереговые течения и прибойные потоки. Преимущественной ориентировкой удлинения обломочных зерен является ориентировка северо-восточного направления. Вдольбереговые течения способствуют расположению удлиненных зерен кварца параллельно береговой линии (L₁). Прибойный поток в зоне торможения волн на мелководье состоит из вдольбереговой и перпендикулярной к берегу прибойной составляющей. Подходя к берегу под углом, поток часть удлиненных зерен ориентирует субнормально к берегу (L₂), а часть – параллельно береговой линии, что приводит к более выраженному проявлению линейности L₁. Набегающая волна (накат) имеет большую энергию и скорость, чем обратный поток (отток), поскольку при последнем часть энергии тратится на трение, фильтрацию и др. [4]. Это приводит к появлению серии локальных максимумов вблизи линейности меньшей интенсивности L₂. С учетом данных предыдущих исследователей полученные результаты позволяют определить условия осадконакопления на месторождении как прибрежно-морские.

Петроструктурный анализ. Предполагаемые механизмы формирования линейных ориентировок удлиненных зерен согласуются с результатами проведенного нами изучения петроструктурных узоров оптических ориентировок кварца. Ранее проведенными исследованиями было установлено, что оптические оси кварца располагаются преимущественно вдоль удлинения зерен [6]. Отмечено, что значительная часть проекций выходов оптических осей кварцевых зерен располагается в плоскости напластования пород с отклонениями в интервале 5–25°. В исследуемых нами нефтенасыщенных породах петроструктурным анализом выделяются три типа предпочтительных ориентировок оптических осей кварцевых зерен.

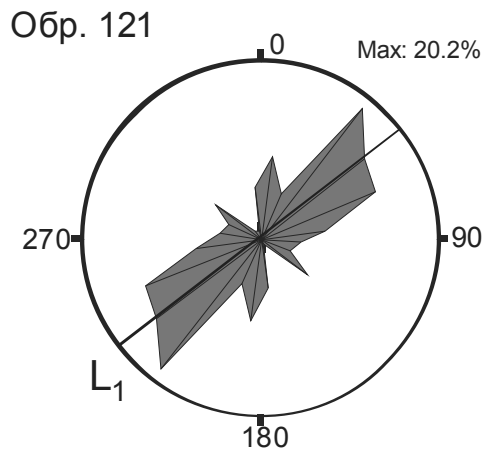
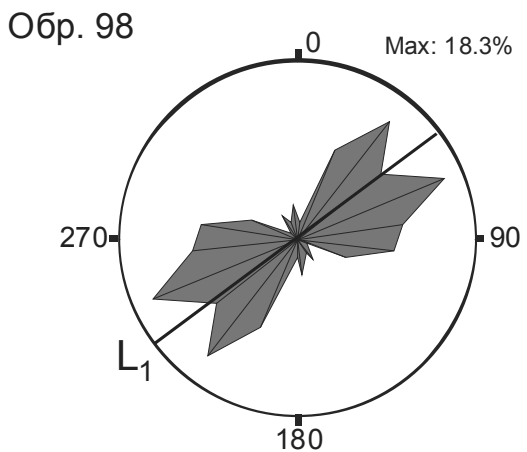
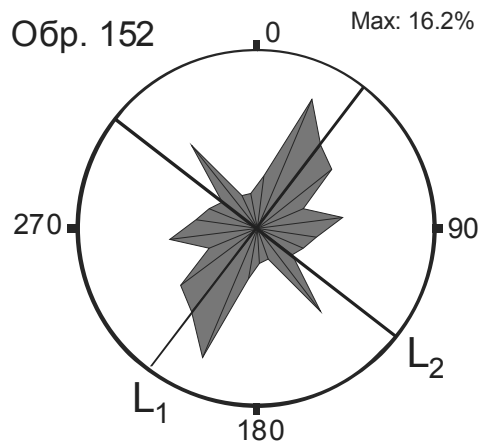
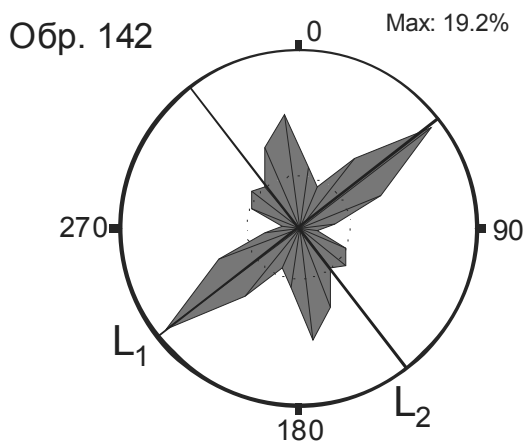
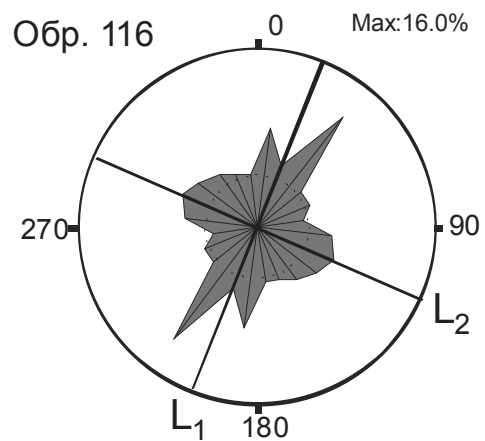
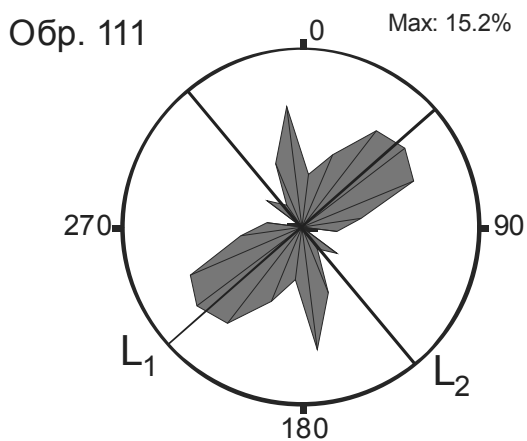
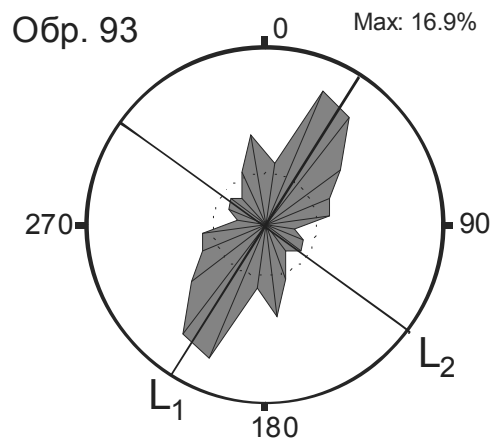
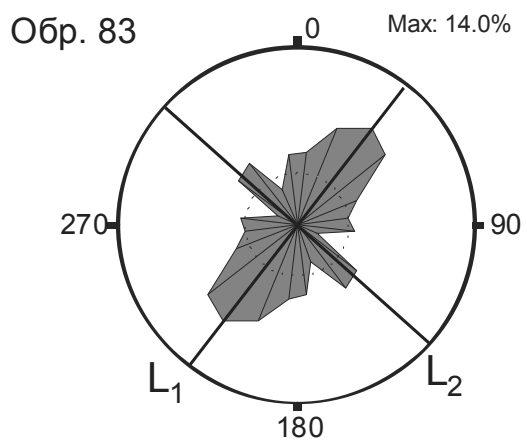


Рис. 1. Ориентировка удлинений зерен кварца в нефтенасыщенных песчанниках

Первый тип характеризуется наличием двух поясов концентрации оптических осей (рис. 2, обр. 116). В субгоризонтальном поясе обнаруживает коническое рассеивание оптические оси вокруг линейности L_1 с радиусом примерно 30° . В этом поясе отмечаются два максимума высокой плотности, которые располагаются симметрично к L_1 под углом $20\text{--}25^\circ$. Другой пояс концентрации оптических осей ориентирован нормально в L_1 . В этом поясе отмечается максимум, расположенный вблизи линейности L_2 .

Фациальная интерпретация этого петроструктурного типа позволяет предположить следующий механизм осаждения терригенного материала. При перекачивании удлинённых зерен кварца оптические оси в них будут стремиться располагаться перпендикулярно течению либо образовывать с ним малый угол, выражающийся на диаграмме в виде конического рассеивания. Причем чем интенсивнее перекачивание обломочных частиц, тем меньше диаметры малого круга и более отчетливые концентрации ориентировок оптических осей. Направление линейности L_1 в этом случае дает направление параллельно береговой линии. Максимумы, расположенные на дуге большого круга, указывают на волноприбойный механизм формирования осадка – осаждение зерен обратным смывом, происходящим перпендикулярно относительно берега. Проявление линейности L_2 , субнормально к линейности L_1 , указывает направление волноприбойных течений. В соответствии с этим определяется береговая линия, соединяющая центры малых дуг. Береговая линия имеет северо-восточное простираение, что согласуется с палеомагнитными данными и результатами изучения зерен по удлинению.

Второй тип ориентировок отличается концентрацией оптических осей кварца в субвертикальный пояс, нормальной слоистости (рис. 2, обр. 98). При этом большая часть оптических осей в виде локальных максимумов (до 9%) рассеивается по дуге малого круга с центром, совмещенным с L_1 . Угол максимального рассеивания составляет до 40° . Полученный узор, видимо, отражает направленные течения умеренной и высокой энергии – вдольбереговые либо сильные донные течения, образующие косую слоистость в отложениях. Течения мощных линейных потоков способствуют формированию ориентировки оптических осей, которая характеризуется их концентрацией по дуге малого круга с центром, совмещенным с предпочтительной линейностью удлинённых индивидов. При этом рассеивание оптических осей вытянутых зерен кварца и их удлинений в плоскости напластования с тенденцией их поясового расположения, очевидно, свидетельствует о подвижности среды осадкоосаждения и является признаком течения переменного направления [2]. Согласно Т.Е. Грязновой [3], появление отчетливо выраженного максимума характерно для отложений потоков, при этом песчаные зерна под действием струи воды ориентируются острым концом вниз по течению, не образуя плотнейшую упаковку. Наклон песчаных зерен в ориентированном потоке, так же как и углы наклона, зависят от энергии потока и тем выше, чем выше скорость течения (Mast, Potter, 1963). Направления течения устанавливаются на диаграммах по наиболее выраженному максимуму удлинений зерен либо по биссектрисе острого угла между максимумами удлинений. Ориентировка потоков, переносящих терригенный материал по течению, таким образом, характеризуется северо-восточным направлением ($30\text{--}60^\circ$).

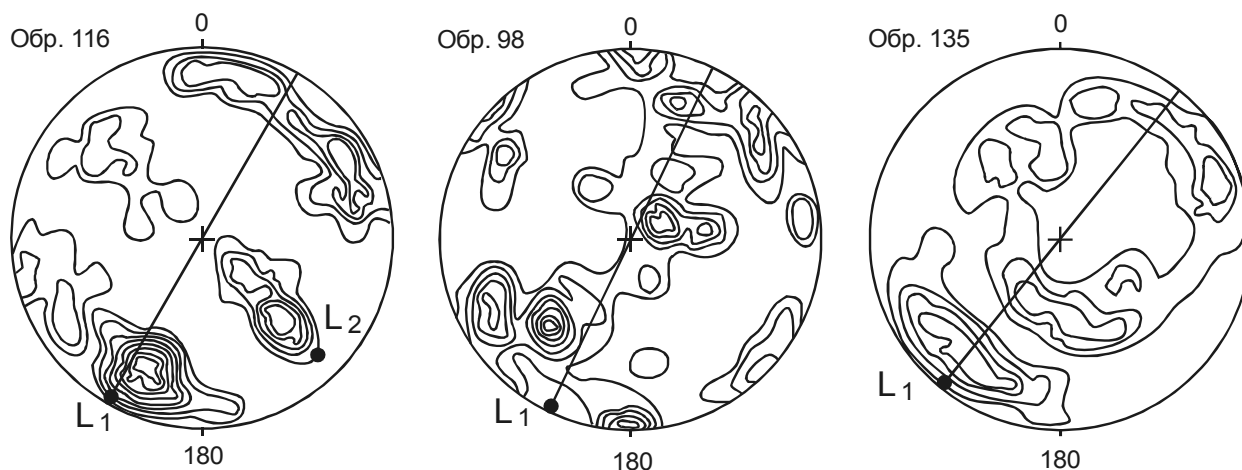


Рис. 2. Диаграммы ориентировки оптических осей кварца. L – линейность удлинённых зерен кварца. Изолинии: 1–2–4–6–8–10–12–14% на 1% сетки Шмидта. Проекция на верхнюю полусферу. Диаграммы построены по 100 замерам

Третий тип ориентировок оптических осей кварца характеризуется развитием одного четкого максимума (10%), а также их концентрацией в локальные максимумы (до 6%), для которых отмечается тенденция к поясовому расположению (рис. 2, обр. 135). Интерпретация петроструктурного узора этого типа представляется затруднительной. Возможно, на образование таких ориентировок оптических осей кварцевых зерен значительное влияние оказали постседиментаци-

онные (диа-, катагенетические) процессы, которые затронули осадочные породы после их образования. Подобные ориентировки предположительно характерны для регенерационного кварца, которые фиксируются наличием поясового распределения оптических осей кварца по дуге малого круга радиусом $\sim 30^\circ$, с центром, ориентированным нормально к плоскости напластования. Такая ориентировка, вероятно, может возникнуть в результате повышенной температуры в

пласте (до 90–105°) в условиях одностороннего давления и обусловлена частично рекристаллизацией кварца. Учитывая современную глубину залегания пласта, величина ориентированного давления здесь может составлять 300 МПа (Казаков, 1987). При этом в таких породах проявляется микротрещиноватость и наблюдается катаклаз кварцевых зерен.

Таким образом, проведенный анализ петроструктурных исследований кварцевых зерен по форме и внутреннему строению в коллекторах пласта Ю₁² Игольской площади Игольско-Талового месторождения позволил установить их седиментогенную природу. Фациальные и динамические условия осадконакопления определяются шельфовой водной средой, носящей волноприбойный характер в комплексе с вдольбереговыми течениями. Скорость волновых течений варьирует от умеренной до вы-

сокой. По данным микроструктурного анализа отслеживаются направления береговой линии северо-восточного направления. В дальнейшей эволюции исходный осадок при погружении под воздействием вышележащих пластов и возрастающей температуры уплотняется, превращаясь в плотную породу. По мере уплотнения в условиях одностороннего давления она подвергается различным процессам: кристаллизации, перекристаллизации и деформации минералов. Характерной особенностью минералов, подвергшихся одностороннему давлению, являются хрупкие и пластические деформации. Сформировавшаяся за столь длительную эволюцию пространственная ориентировка обломочных удлиненных зерен минералов предопределяет структуру поровой матрицы нефтенасыщенных песчаников и анизотропию ее фильтрационной характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Делицин И.С. Структурообразование кварцевых пород. М.: Наука, 1985. 192 с.
2. Родыгин А.И. Микроструктурный анализ кварца. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1994. 217 с.
3. Грязнова Т.Е. К методике изучения ориентировки частиц в песчаных отложениях (на материале кембро-силурийских песчаников с р. Саблинки, Ленинградская область) // Доклады АН СССР. 1947. Т. 58, № 4. С. 647–650.
4. Фролов В.Т. Литология. М.: Изд-во МГУ, 1993. Кн. 2. 432 с.
5. Градзинский Р., Костецкая А., Радомский А. и др. Седиментология. М.: Недра, 1980. 646 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 9 октября 2009 г.