МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

Всесоюзный научно-исследовательский институт
гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО)

Утверждены
Ученым Советом ВСЕГИНГЕО
12 декабря 1970 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ОПОЛЗНЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Москва 1972

gost.e-ecolog.ru

Составили А.М. Царева, В.В. Пономарев

Научный редактор Г.К. Бондарик

Литературный редактор И.А. Демьянова
Технический редактор А.П. Жаркова
Корректор И.А. Демьянова

Ротапринтная серия № 185

Л. 61075 . Подписано к печати 13/III -72г. Тираж 500 экз.
Уч.-изд.л.3,5. Зак.35. Ротапринт ВСЕГИНГЕО.

ПРЕДИСЛОВИЕ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При оценке инженерно-геологических условий территорий, сложенных глинистыми породами, в районах опасных в оползневом отношении весьма существенную роль играют минералого-петрографические характеристики этих пород. Как показали исследования последних лет, поведение глинистых пород в откосе во многом зависит от минералогического состава глинистой фракции (А.Я. Туровская, П.В. Царев, А.М. Царева и др.), а деформация в глинистых породах приводит к необратимым текстурным изменениям в них.

Таким образом, исследования минералогического состава по фракциям дают возможность прогнозировать поведение глинистых пород на склонах, а изучение структурно-текстурных особенностей глинистых пород - выявить зоны деформации или поверхности смещения оползневых тел.

При изучении минералого-петрографическим методом глинистых пород оползней Черноморского побережья в период 1968-1970 гг. было установлено, что метод позволяет: а) определить границы оползневого тела в горизонтальном и вертикальном направлениях оползневого склона; б) установить местонахождение и мощность зоны деформации или поверхности смещения; в) выявить участки оползневых тел, в пределах которых породы ранее претерпели деформации.

В последнее время многие исследователи оползневых явлений пытаются привлечь различные методы оценки состава и структуры глинистых пород с целью более глубокого познания оползневого процесса для его прогнозирования и выявления методов борьбы с ним. Так, было установлено, что в зоне смещения и максимальной деформации глинистых пород оползневого склона содержание легкорастворимых солей резко снижается по сравнению с содержанием последних в породах, незатронутых оползнями. Местоположение этих зон легко устанавливается после сплошного опробования пород по глубине выработки методом водных вытяжек.

Однако, такое опробование целесообразно применять лишь в случае, если глинистые породы оползневого склона содержат значительное (не менее 3-4%) количество легкорастворимых солей.

Проведение массовых минералого-петрографических исследований не требует больших затрат средств и времени, сложного оборудования и специальной подготовки исследователей. Из разработанного комплекса методов оценки минералого-петрографических особенностей для общей характеристики пород оползневого склона достаточно использовать один, наиболее простой, оптический метод, который может быть внедрен в лабораторию любой оползневой станции инженером-геологом, знакомым с петрографическим изучением пород в шлифах.

При проведении исследований может появиться необходимость детального изучения минералогического состава и текстурных особенностей с получением количественной оценки этих показателей. В этом случае тщательно отобранные и представительные образцы могут быть направлены в специализированные петрографические лаборатории для изучения их комплексом методов с применением рентгеноструктурного анализа.

При описании структурно-текстурных особенностей часто употребляются термины структура (макроструктура, мезоструктура и микроструктура) и текстура (макротекстура, мезотекстура и микротекстура). Так как имеется несколько определений этих понятий, следует отметить, что под текстурой мы понимаем взаимное расположение структурных элементов - частиц, агрегатов, блоков, а под структурой - размер, форму и соотношение этих элементов (определение А.Н. Заварицкого, 1932).

Под макротекстурой и макроструктурой понимаются структурно-текстурные особенности, изучаемые визуально или с помощью лупы, увеличивающей в 10 раз.

Под мезотекстурой и мезоструктурой понимаются структурно-текстурные особенности, изучаемые с помощью поляризационного микроскопа.

Под микротекстурой и микроструктурой понимаются структурно-текстурные особенности, поддающиеся изучению только с применением рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии. Это связано с тем, что микроструктурные элементы (элементарные частицы глинистых минералов и микроагрегаты) очень малы (< 5 микрон).

Минералого-петрографические исследования оползневых накоплений проводятся в два этапа: а) полевые, б) лабораторные исследования.

Глава I

ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Минералого-петрографическое изучение пород, слагающих оползневые склоны, сводится к описанию пород в обнажениях, шурфах, расчистках и визуальному описанию керна из скважин.

Выработки, проходимые при стационарных наблюдениях за оползневыми смещениями, могут быть использованы и для проведения минералого-петрографических исследований. Только в отдельных случаях требуется проходка некоторого числа скважин и шурфов специального назначения.

Единственное требование к проходке скважин, намеченных для минералого-петрографических исследований, заключается в том, что проводится сплошной отбор керна задавливаемым или обуривающим грунтоносом. Непрерывный отбор связан с тем, что, как показали исследования предыдущих лет, зоны сдвига- зоны деформации в глинистых породах Черноморского побережья имеют, как правило, небольшую (I5-30 см) мощность.

Если проходить скважины с принятым при инженерно-геологических исследованиях отбором монолитов из каждой литологической разности и через I метр внутри одной разности, зону сдвига легко пропустить. Следует очень внимательно описывать керн. Нередко даже при очень тщательном визуальном описании не удается отметить изменения, свидетельствующие о наличии зоны смещения. В таких случаях требуется микроскопическое изучение всего разреза. При полевом описании пород в горных выработках, обнажениях и по керну весьма полезным является применение очень простых и эффективных методов оценки однородности пород таких, как сплошное опробование микропенетрометром, искиметром или простым ножом.

I.I. Документация обнажений и горных выработок

При описании обнажений и горных выработок наряду с основными визуальными характеристиками цвета, влажности, плотности, степени однородности, выветрелости, ожелезнения и органических включений следует обращать внимание на трещиноватость пород, характер излома, слоистость и сланцеватость, форму, строение и состав неглинистых включений и т.д.

Требуется особое внимание уделять описанию макроструктур и макротекстур, для изучения которых используются естественные обнажения (откосы оврагов, берега рек, горные уступы и т.д.) и специально заложенные горные выработки (скважины, шурфы, расчистки).

При описании макротекстуры и макроструктуры необходимо проследить за их изменениями от дневной поверхности вглубь откоса вплоть до невыветрелой породы. При этом детально характеризуются изменения трещиноватости, раскрытие трещин, их ориентация в пространстве, степень заполнения и состав заполнителя, тип, размер и форма структурных элементов, а также взаимоотношение между отдельными элементами.

Характеристики структурных элементов породы из зоны тонкого дробления сопоставляются с характеристиками элементов породы, залегающей ниже этой зоны, так как нередко размеры и форма структурных элементов зоны тонкого дробления значительно отличаются от этих показателей ненарушенной породы, залегающей ниже.

Необходимо учитывать, что, если в зоне тонкого дробления макротекстура глинистых пород хорошо проявляется, то в свежем разрезе ненарушенной породы макротекстура на первый взгляд кажется монолитной и лишь при тщательном рассмотрении свежего разлома можно выделить отдельные структурные элементы, слагающие породу.

В случае, если сразу после проходки горной выработки макротекстура не проявляется (порода кажется однородной, отсутствуют видимые трещины, не выделяются структурные элементы), стенкам выработки следует дать подсохнуть в течение двух-трех дней. Если макротекстура массивная, то проявляющиеся при ее высыхании трещины не будут иметь никакой системы ориентации в пространстве, а порода будет разбита этими трещинами на бесформенные различные по размерам элементы. Если же макротекстура не массивная, то после подсыхания должны проявиться структурные элементы, ее слагающие. Как правило, в стенках выработки появляются трещины, позволяющие выделить отдельные элементы и оценить основные компоненты (их форму, размеры, пространственную ориентацию). Все эти компоненты заносятся в полевой журнал, а также результаты проверки свежего разреза пород на однородность методами микропенетрометра, ручного искиметра и др.

При документации естественных обнажений описывается также осыпь у подножья с указанием размера и формы отдельностей, слагающих осыпь и мощность слоя осыпи.

Керн из скважин исследуется непосредственно на месте буровых работ тотчас после извлечения его из грунтоноса и очистки от шлама. Острым ножом или скальпелем в керне-монолите делается вырыв по всей поверхности сверху вниз, в котором простым глазом или с помощью 10^{x} лупы можно легко определить основные компоненты. Особо выделяются наиболее увлажненные и дисперсные прослойки, отличные от общей массы породы.

Описание обнажений и горных выработок сопровождается фотографированием и зарисовками всех стенок шурфа и изученных участков обнажения. Детально зарисовываются места отбора монолитов для лабораторных исследований. Очень важно, чтобы при зарисовках не были пропущены включения, гнезда солей, гумуса, подтеки железа. Эти детали будут использованы при расшифровке результатов исследования. В результате полевого описания пород составляется таблица (табл.I).

Сведения, полученные при характеристике макротекстуры, помогут обоснованно выявить место отбора образцов для детального лабораторного исследования, расшифровки мезо- и микротекстуры.

I.2. Отбор образцов для лабораторных исследований

Лабораторные минералого-петрографические исследования включают определение минералогического состава и структурно-текстурных особенностей пород, а иногда и изучение солевого состава. Для определения минералогического и солевого состава могут быть отобраны образцы как с нарушенной, так и ненарушенной структурой, а для изучения структурно-текстурных особенностей необходимы только ненарушенные ориентированные в пространстве образцы.

Образцы желательно отбирать в виде ориентированных монолитов, затем их необходимо упаковать, т.е. парафинировать для сохранения их естественной влажности. Из обнажений, шурфов и расчисток вырезаются монолиты квадратной формы с указанием верха, а также стрелки на боковой грани монолита, направленной вверх. Стрелку следует ставить на стороне монолита, соответствующей низовой части оползневого тела.

Монолиты отбираются из стенки выработки сплошной колонкой или в шахматном порядке, но так, чтобы иметь весь разрез шурфа.

Размер монолита определяется анализами, которые необходимо провести для этого образца. Если монолит отбирается только для минералого-петрографических исследований, достаточен размер 70x70x70мм.

Таблица I

Полевая характеристика минерального-петрографических особенностей оползневых накоплений

Наименование выработки, местоположение и глубина	Интервалы глубин	Наименование породы индекс	Естественная влажность	Твердость	Показатель прочности по микропенетрации	Цвет и его изменение	Компоненты текстуры и структуры										Характер взаимосвязи и контактов между структурными элементами и включениями
							Трещиноватость				Структурные элементы			Включения			
							Ориентация трещин	Раскрытие	Степень заполнения	Состав заполнения	Тип	Форма	Размер	Форма	Размер	Состав	
I. Обнажения																	
а) верхний слой																	
б) свежий разрез																	
в) осыпь																	
2. Расчистки																	
а) верхний слой																	
б) свежий разрез																	
3. Шурфы																	
а) верхний слой																	
б) свежий разрез																	
4. Скважины																	

Таблица 2

Наименование анализов, намеченных для определения свойств пород	Размер образца, мм:		d грунтоноса, мм	Примечание
	естественной структуры	нарушенной структуры		
Петрографические и физические свойства:				
а) шлиф	20x20x20		86, I07	
б) объемный вес	30x30x40			
в) удельный вес		обрезки		
г) влажность				
д) показатели пластичности		обрезки		
е) минералогический состав		-"-		
Петрографические и инженерно-геологические свойства:				
а) шлиф	20x20x20			
б) объемный вес	30x30x40			
в) удельный вес		обрезки	I27	
г) влажность		-"-		
д) показатели пластичности		-"-		
е) минералогический состав		-"-		
ж) прочностные свойства	d = 80 мм			

Диаметр грунтоноса выбирается также с учетом показателей, которые намечено получить для данного образца (табл.2).

При отборе монолитов грунтоносом отмечается нарушение текстуры породы в I5-миллиметровой зоне, прилегающей к стенке грунтоноса. Эта зона непригодна для исследований.

После удаления зоны нарушенного сложения от края керна по всей его высоте тонкой проволокой отрезается полоска, отсекающая от него 25 мм. Полоска по высоте делится на отдельные 20-миллиметровые штуфики, предназначенные для изготовления прозрачных шлифов. В связи с тем, что из каждого керна в направлении его продольной оси изготавливают IO-40 шлифов, образец должен быть строго ориентирован в вертикальном направлении с указанием верха. Каждый штуфик получает дополнительный номер, позволяющий уточнить местоположение шлифа (рис.I).

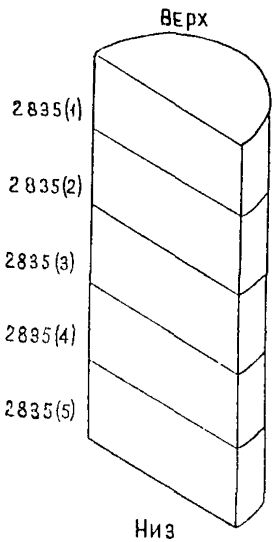


Рис.I. Схема отбора образцов из керна

После отбора штуфиков, предназначенных для изготовления шлифов, остаток монолита парафинируется или сразу отправляется на анализы для определения показателей инженерно-геологических свойств пород. Так как для определения минералогического состава глинистой фракции и состава легкорастворимых солей нет необходимости сохранять естественное сложение и влажность, для этих анализов могут быть использованы обрезки породы.

Глава II

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Минералого-петрографические особенности образцов желательно исследовать в лаборатории по изучению инженерно-геологических свойств пород, так как это обеспечит необходимую координацию результатов комплекса методов исследований. Лучше всего показатели физико-механических свойств, минералогического состава и текстурных особенностей определять для одних и тех же образцов. Это облегчает увязку и анализ полученных результатов.

Как уже отмечалось, основными минералого-петрографическими компонентами, имеющими важное значение при изучении пород из оползневых откосов, являются минералогический состав и текстурные особенности.

В связи с тем, что наиболее активное влияние на поведение пород в откосе оказывают глинистые минералы, концентрирующиеся во фракции $< 0{,}005$ мм, эта фракция и подвергается детальному минералогическому изучению.

Из известных в настоящее время методов определения минералогического состава глинистой фракции наиболее достоверным является метод рентгеноструктурного анализа, позволяющий получать как качественную, так и количественную характеристику глинистых минералов. При мономинеральном составе или резком преобладании какого-то одного минерала минералогическую характеристику породы можно получить оптическим методом в прозрачных шлифах. Однако, эта оценка качественная, весьма приближенная и может быть использована лишь для выделения участков породы с одинаковым минералогическим составом и отбора характерных образцов с целью определения для них минералогического состава рентгеноструктурным методом.

Текстурные особенности определяются комплексом методов (оптическим, рентгеноструктурным и электронно-микроскопическим). Для детального исследования оползневых склонов основным является оптический метод, с помощью которого качественно изучается мезотекстура всего разреза глинистых пород, слагающих склон, и выделяются отдельные участки - зоны с резко отличной от основной массы породы текстурой.

Для этих участков, а также одного-двух образцов основной массы определяется количественный показатель мезотекстуры - показатель ориентации – оптическим методом. Кроме того, образцы могут быть направлены в специализированные петрографические лаборатории для получения количественных показателей микротекстуры рентгеноструктурным методом и морфологических характеристик породы электронно-микроскопическим методом.

Если оползневой склон сложен глинистыми породами, засоленными легкорастворимыми солями, то следует провести сплошное определение состава и содержания легкорастворимых солей методом водных вытяжек, изложенным в методическом пособии (под редакцией Е.М.Сергеева и др., I968).

При организации минералого-петрографических исследований в лабораториях инженерно-геологических станций, осуществляющих стационарные наблюдения за оползнями, следует иметь набор оборудования.

Работы с микроскопом можно организовать и в помещении, где проводится выполнение других видов анализов, но обязательным условием является хорошее дневное освещение, отсутствие работ с сухим порошком глинистых пород и наличие вытяжного шкафа. Желательно для проведения этих исследований выделить отдельную комнату площадью I0-I2 м^2 (микроскопную).

Микроскопная оборудуется поляризационным микроскопом типа МИН. Последняя марка МИН-8 вполне удовлетворяет требованиям минералого-петрографических исследований глинистых пород. Хорошо иметь бинокулярную лупу типа МБС-2, микрофотонасадку типа МФН-I или МФН-2 или пленочный фотоаппарат с переходником, позволяющим насадить его на тубус микроскопа, и набор иммерсионных жидкостей.

При объеме работ I000-I500 шлифов в год желательно иметь шлифовальную мастерскую, для которой необходима отдельная комната с хорошей вентиляцией и вытяжным шкафом.

Шлифовальная мастерская оборудуется *любым шлифовальным станком*, позволяющим работать с набором шлифовальных порошков марок М-7, М-I0, М-4 и М-I50 и должна иметь набор указанных порошков, канадский бальзам и ксилол. Площадь, занятая шлифовальной мастерской, должна состоять из двух комнат размером по 6-8 м^2. В одной из комнат устанавливается шлифовальный станок и вытяжной шкаф.

П.I. Подготовка образцов для лабораторных минералого-петрографических исследований

Поступившие в лабораторию образцы-монолиты визуально описываются. Это дает возможность оценить сохранность их при транспортировке и герметичность упаковки. Кроме этого сразу при описании намечаются виды инженерно-геологических анализов, необходимые для данного образца, и устанавливается очередность выполнения этих анализов. Анализы выполняются в такой последовательности, чтобы в процессе их проведения еще до полного завершения работ иметь возможность увязать необходимые показатели. Например, необходимо сопоставить между собой показатели текстуры пород, которые по визуальному описанию отнесены к породам участков, не затронутых деформациями и к породам из зоны сдвига - зоны деформации или плоскости оползневого смещения.

Визуальное описание сопровождается схематической зарисовкой монолитов, на которой отмечаются места отбора проб для различных видов анализа. Зарисовка облегчает сопоставление результатов испытаний и их анализ. После визуального описания образцы подготавливаются для петрографического изучения.

П.I.I. Подготовка образцов для изучения в прозрачных шлифах

В верхней части каждого штуфика, предназначенного для приготовления шлифа, срезается правый уголок, что означает верх, а на боковой поверхности, секущей образец вкрест напластования и предназначенной для изучения в шлифе, карандашом наносится крестик, что обозначает место закрепления образца на предметном стекле. Затем заготовки оставляются на воздухе для подсыхания до воздушно-сухого состояния. С подсушенных образцов снимается скальпелем или бритвой двухмиллиметровый слой, нарушенный при разрезании его во влажном состоянии.

Подготовленная таким образом пластинка передается в шлифовальную мастерскую.

Дальнейшие операции по приготовлению шлифа производятся в следующем порядке:

I. Высушенная пластинка глинистой породы имеет слабую цементацию, при обработке на шлифовальном станке она раскрошится. Для

укрепления пластинка проваривается в растворе канифоли с ксилолом. Во время проварки канифоль проникает в поры породы и, не нарушая структуры, увеличивает ее прочность [x].

2. Заготовленные пластинки по одной укладывают в огнеупорные пронумерованные тигели, заливают приготовленным раствором таким образом, чтобы пластинка целиком утопала в нем и ставят на электроплитку для проварки под тягой вытяжного шкафа.

3. Во время проварки необходимо следить за тем, чтобы не было бурного кипения раствора, так как ксилол обладает свойством быстро испаряться. При быстром испарении ксилола канифоль не успевает проникнуть в поры на нужную глубину,и образец оказывается несцементированным.

4. Температура подогрева раствора во время проварки должна поддерживаться все время такой, чтобы раствор находился на грани кипения.

Для этого накал электроплитки регулируется реостатом, а тигели устанавливаются не непосредственно на плитку, а на песчаную баню.

5. Продолжительность проварки составляет 6-7 часов.

6. Окончание проварки проверяется следующим образом. Каплю раствора канифоли достают концом пинцета. Если эта капля после остывания рассыпается при нажатии пальцами, проварку можно считать законченной. В случае, если в плотной породе при одной проварке канифоль проникает в поры недостаточно глубоко, проварка повторяется несколько раз.

7. Остывший после проварки образец очищается от канифоли скальпелем и подготовляется к наклейке на предметное стекло. Подготовка образца к наклейке на стекло состоит в следующем: берется стеклянная доска толщиной I-2 см размером 30х30 см, смачивается водой или глицерином (в случае изготовления глин) и посыпается мелким шлифовальным порошком марки М-7 или М-I0. При изготовлении шлифов из монтмориллонитовых глин применение воды не допускается, вместо нее употребляют смесь глицерина и спирта I:I. Осторожным движением по доске отшлифовывается одна сторона пластинки. Шлифовка продолжается до тех пор, пока пластинка не станет совершенно гладкой.

---

x) Для приготовления канифоли в ксилоле берется I кг канифоли и растирается в ступке до мелкого порошка. Порошок канифоли высыпается в фарфоровую кружку и заливается I кг ксилола. Если канифоль по прошествии I-2 часов растворилась неполностью,раствор следует подогреть до 60-70°С, помешивая, до полного растворения

8. Подготовленная таким образом пластинка отшлифованной стороной с помощью особо полученного канадского или пихтового бальзама наклеивается на подогретое предметное стекло. Для этого кусочком бальзама (на стеклянной палочке) мажут центр стекла со стороны матовой поверхности. Матировка предметных стекол производится заранее на шлифовальном станке при помощи абразивного порошка М-I4. Непосредственно после наклейки пластинки на стекло ее нужно слегка прижать так, чтобы между поверхностью пластинки и стеклом не оставалось пузырьков воздуха. После остывания бальзам затвердевает и приклеивает пластинку к стеклу.

9. Приклеенная на стекло пластинка обрабатывается на шлифовальном станке. Диск станка смачивается водой или глицерином (для монтмориллонитовых глин), посыпается грубым шлифовальным порошком марки М-I50, смоченным в воде или глицерине, и приводится в движение электромотором (600-700 оборотов в минуту). Снимают с пластинки основную часть породы, доводят ее до толщины ~ I,5-2,0 мм. Для дальнейшей шлифовки порошок М-I50 смывается с диска и диск снова посыпается также смоченным порошком М-I4, которым и обрабатывается пластинка до толщины 0,05-0,07 мм.

На этом обработка на шлифовальном станке заканчивается.

I0. Дальше пластинка обрабатывается ручным способом. Для этого берется стеклянная доска, смачивается водой или глицерином и посыпается мелким порошком марок М-I0 или М-7. Постепенным медленным движением вручную пластинку шлифуют на доске до возможно меньшей толщины, т.е. 0,02-0,03 мм. В процессе ручного шлифования готовность шлифа проверяется под поляризационным микроскопом, чаще всего по зернам кварца (кварцевые зерна толщиной 0,02 мм под микроскопом при скрещенных николях бледно-серого цвета). Если шлиф имеет большую толщину, то цвет кварца под микроскопом в скрещенных николях желтоватый или фиолетовый.

II. После достижения нужной толщины, шлиф тщательно промывается водой и покрывается покровным стеклом. Для этого шлиф слегка подогревается на спиртовке и поверхность его смазывается подогретым канадским или пихтовым бальзамом. Бальзам для наклейки образца на предметное стекло и покрытия покровным стеклом готовится следующим образом: истолченный бальзам заливают равным объемом ксилола и кипятят до получения в холодном состоянии консистенции густого ме-

да. Бальзам для наклейки пластинки на предметное стекло готовится таким же способом, но до консистенции вара в холодном состоянии и наматывается на стеклянную палочку. При накладке покровного стекла нужно тщательно следить за тем, чтобы пространство между изготовленным шлифом и покровным стеклом было целиком заполнено бальзамом и в нем не оставалось пузырьков воздуха, мешающих просмотру шлифа. Закрытый покровным стеклом шлиф высушивается, зачищается скальпелем, промывается спиртом и документируется алмазным карандашом на конце предметного стекла. После этого шлиф считается готовым.

II.I.2. Подготовка образцов для изучения минералогического состава по фракциям

Для детального изучения минералогического состава глинистых пород они разделяются на фракции, каждая из которых анализируется отдельно. Для разделения на фракции берется навеска породы нарушенного сложения от 20 до 100 г. Величина навески связана с содержанием в породе глинистой фракции (чем порода богаче глинистой фракцией, тем меньше навеска образца).

Для определения минералогического состава глинистой фракции выделяется фракция мельче 0,005 мм, а в случае необходимости количественного определения минералогического состава песчаных и алевритовых зерен выделяются фракции 0,005-0,01; 0,01-0,05; 0,05-0,1 и крупнее 0,1 мм.

Фракции крупнее 0,1 мм выделяются ситовым способом.

II.2. Изучение минералогического состава

Общая оценка минералогического состава глинистых пород дается оптическим методом в прозрачных шлифах, оценка глинистой составляющей - рентгеноструктурным методом по фракции мельче 0,005 мм, а оценка алевритовой и песчаной составляющих - иммерсионным методом по соответствующим фракциям.

II.2.I. Оптический метод

Оптическим методом в прозрачных шлифах изучается качественный минералогический состав алевритовой и песчаной фракций. Состав неглинистых минералов определяется по оптическим свойствам и морфо-

логии зерен минералов. Как показали многочисленные исследования глинистых пород, примерно 90-98% неглинистых включений составляют кварц и полевые шпаты, остальное кальцит, слюды, карбонаты, глауконит, хлорит, пирит, окислы и гидроокислы железа, очень мало тяжелых минералов из групп пироксенов и амфиболов.

Методика определения оптических свойств алевритовых и песчаных включений неглинистых минералов изложена в работах Н.В. Логвиненко (I962) и В.Т. Фролова (I969). Ниже приводится таблица оптических свойств некоторых наиболее распространенных в глинистых породах неглинистых минералов (табл.3).

После описания неглинистых включений в шлифах оптическим методом может быть получена общая характеристика основной глинистой массы. Однако судить о составе глинистых минералов по результатам оптического изучения можно только при мономинеральном составе глинистой фракции или преобладании в ней какого-то одного минерала.

При полиминеральном составе глинистой составляющей оптический метод может быть использован только для расчленения разреза на однородные слои. Однако, несмотря на малую эффективность метода при диагностике глинистых минералов, он весьма прост, полезен и незаменим для получения общего представления о породе.

Определение минералогического состава в шлифах основывается, главным образом, на оптических свойствах (показателях преломления и двупреломления) основной массы и на отдельных характерных особенностях сложения для каждого минерала. В табл.4 приведены оптические свойства отдельных наиболее распространенных глинистых минералов [x].

По результатам оптического изучения шлифов разреза пород, слагающих оползневые склоны, выделяются однородные по минералогическому составу слои и отдельные характерные для каждого слоя образцы для детальной характеристики минералогического состава глинистой фракции в агрегатах ориентированных частиц. Преимущество этого метода перед методом шлифов в том, что в основе его лежит способность глинистых частиц в процессе осаждения ориентироваться в силу своего чешуйчатого строения.

Для проведения анализа ориентированных агрегатов в посуду, в которой выпаривается выделенная методом отмучивания глинистая фракция, помещают I-2 предметных стекла.

---

x) Детальные характеристики каждого из минералов можно найти в работах М.С. Швецова (I958), Р.Е. Грима (1959)

На эти стекла оседают тонким слоем глинистые частицы, образуя как бы монокристалл.

В иммерсионных жидкостях по нарезанным бритвой полоскам и нитям из ориентированного слоя глинистых частиц определяются показатели преломления и двупреломления. По табл.4 оценивают преобладающие в глинистой фракции минералы. Полученные таким образом оптические показатели усреднены и могут несколько отличаться от показателей, полученных непосредственно для отдельных чистых глинистых минералов. Последнее связано с тем, что агрегаты, как правило, состоят из полиминеральных разностей. Кроме того, определение оптических показателей затрудняют такие примеси, как окислы железа и органические вещества, постоянно сопутствующие глинистым минералам. Количественно минералогической состав неглинистых минералов определяется в иммерсионных жидкостях для фракций 0,25-0,I; 0,I-0,05; 0,05-0,0I мм после разделения их по удельному весу на легкую и тяжелую. При изучении легкой фракции применяются иммерсионные жидкости с показателем преломления I,540-I,542, а при изучении тяжелой фракции часто, кроме этой основной жидкости, приходится пользоваться жидкостью с показателем преломления I,700.

Изучение образцов в иммерсионных жидкостях позволяет определить кроме количественного состава фракций форму отдельных зерен и характер их поверхности. Как правило, в жидкостях просматривается 500-700 зерен. Количественное содержание каждого минерала определяется по отношению числа зерен этого минерала к общему числу изученных зерен этой фракции.

П.2.2. Рентгеновский метод

Рентгеновская дифракция является физическим методом исследования глинистых минералов и часто используется совместно с другими физическими методами, такими как электронная дифракция, электронная микроскопия, дифференциальный термический и петрографический методы и инфракрасная спектроскопия, для кристаллографического и фазового анализа.

В основе методов рентгеновской идентификации минералов лежит тот факт, что каждое кристаллическое вещество имеет характерную атомную структуру, обусловливающую появление определенной дифракционной картины. Сопоставляя дифракционную картину неизвестного

Таблица 3

Оптические свойства нетлинистых минералов, распространенных в глинистых породах

Минерал	Химическая формула	Сингония	Показатели преломления		Показатель двупреломления $N_g - N_p$	Спайность
			N_p	N_g		
Кварц низкотемпературный	Si_2O_3	Тригональная	I,544	I,538	0,009	Практически не видна
Полевые шпаты плагиоклазы	$(100-n)Na[AlSi_3O_8]\cdot nCa[Al_2Si_2O_8]$	Триклинная	I,525–I,575	I,536–I,588	0,0II–0,0I9	Совершенная по 00I и 0I0
Ортоклазы	$K[AlSi_3O_8]$	Моноклинная			0,007	–"–
Микроклин	$K[AlSi_3O_8]$	Триклинная			0,007	
Карбонаты						
Кальцит	$CaCO_3$	Тригональная	I,486	I,658	0,I72	Совершенная по ромбоэдру
Доломит	$CaMg(CO_3)_2$	–"–	I,500	I,68I	0,I8I	–"–
Сидерит	$FeCO_3$	–"–	I,633	I,875	0,242	–"–
Глауконит	$K_{<1}(Fe^{III},Fe^{II},Al,Mg)_{2-3}[Si_{3,5}(Si,Al)O_{10}][OH]_2\cdot nH_2O$	Моноклинная	I,590–I,6I2	I,6I0–I,644	0,02–0,032	Устанавливается редко
Хлорит	$(Mg,Fe)_{6-p}(Al,Fe)_{2p}Si_{4-p}O_{10}[OH]_8$	Моноклинная	I,57 – I,64	I,575–I,645	0,003–0,007	Весьма совершенная
Пирит	FeS_2	Кубическая		непрозрачный		
Окислы и гидроокислы железа		Гексагональная		обычно непрозрачный		
Гематит	Fe_2O_3		2,94 – 2,752	3,22 – 2,988	0,28 – 0,245	По-видимому отсутствует
Гетит	$Fe_2O_3H_2O$	Ромбическая	2,303–2,I85	2,447–2,304	0,II9–0,I44	Совершенная по 0I0
Магнетит	Fe_3O_4	Кубическая		непрозрачный		Отсутствует
Гипс	$CaSO_4\cdot 2H_2O$	Моноклинная	I,520	I,529	0,009	Хорошая по 0I0 и I00
Слюды						
Мусковит	$KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$	Моноклинная	I,552–I,572	I,588–I,6I5	0,036–0,043	Весьма совершенная по 00I, несовершенная по II0 и 0I0
Биотит	$K(Mg,Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH,F]_2$	Моноклинная	I,56 –I,60	I,60 – I,66	0,04 – 0,06	–"–

Таблица 4

Оптические свойства глинистых минералов по М.С. Швецову и Грину

Минералы	Химическая формула	Показатели преломления N_p	Показатели преломления N_g	Показатели двупреломления $N_g - N_p$	*Характерные особенности*
Каолинит	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ $Al_2O_3 2SiO_2 2H_2O$	I,553–I,563	I,560–I,570	0,006	Белый, жирный на ощупь. Низкое двупреломление. В шлифе часто видны агрегаты в виде пачек
Гидрослюда (иллит)	$K_2Al_4Si_6Al_2O_{20}(OH)_4$	I,545–I,63	I,57 –I,67	0,022–0,055	В шлифе видны сравнительно крупные пачки со светлыми пестрыми интерференционными цветами. Наблюдается плеохроизм
Монтмориллонит	$Al_4(Si_4O_{10})_2(OH)_4 \cdot xH_2O$	I,480–I,590	I,515–I,630	0,025–0,040	В шлифах видны сравнительно крупные в виде мазков агрегаты с высоким двупреломлением (интерференционная окраска второго и третьего порядка)
Глауконит		I,545–I,63	I,57 –I,66	0,022–0,030	Характерный зеленый цвет
Хлорит	$nO(Mg,Fe)O \cdot 2Al_2O_3 \cdot 8H_2O$	I,57 –I,64	I,575–I,645	0,003–0,007	В шлифе при параллельных николях–зеленоватый, в скрещенных – низкая интерференционная окраска в светлосерых тонах; плеохроичен
Вермикулит	$Mg_3(Al,Si)_4O_{10}(OH)_2Mg_{0,05} \cdot 4,5H_2O$	I,525–I,56	I,545–I,585	0,020–0,030	В шлифах зеленовато–коричневый, плеохроичен
Пальгорскит	$H_{16}Mg_{12}Al_2Si_{17}O_{58}$	I,527–I,550	I,500–I,513	0,015–0,030	Спутанно-волокнистый

минерала с дифракционной картиной эталона, можно определить этот минерал (Михеев, 1957).

Дифракционный метод не требует разрушения вещества и большого количества материала. Его можно использовать для качественного и количественного анализа смесей глинистых минералов.

Глинистые минералы имеют свои особенности, отличающие их от других кристаллических веществ, исследуемых рентгеновскими методами. Их исследование осложнено наличием структурного подобия многих глинистых минералов, а также тем, что многие глинистые минералы обнаруживают отклонения от строгой трехмерной периодичности.

Дифракционная картина от глинистых минералов характеризуется многими перекрытиями линий в результате их низкой симметрии, малой интенсивностью линий, в частности, на больших углах, где их трудно отличить от фона. Линии на малых углах имеют большие d - расстояния. Характерными для глинистых минералов являются сильная преимущественная ориентация, уширение профилей линий вследствие малого размера кристаллитов, различный уровень фона по обе стороны линии, ассиметрия линий за счет дефектов структуры и другие необычные особенности, которых нет в хорошо окристаллизованных веществах.

Для проведения рентгеновского анализа предназначены рентгеновские аппараты: УРС-55, УРС-70-К-I, УРС-60, УРС-50И, УРС-50ИМ,ДРОН-I (три последних называются дифрактометрами). В первых трех аппаратах для регистрации рентгеновских дифракционных отражений используется рентгеновская камера с фотопленкой. В последние годы рентгеновский метод был значительно усовершенствован путем применения счетчиков (гейгеровского, пропорционального, сцинтилляционного), которые в значительной мере вытесняют фотографические методы. При анализе глинистой фракции фотографическим методом образцы готовят в виде цилиндрических столбиков диаметром 0,5-1 мм или плоских препаратов из ориентированных и неориентированных частиц. В дифрактометре используют плоские образцы. Ориентированные препараты можно приготовить различными способами: осаждением на стеклянную пластинку из суспензии, центрифугированием диспергированной глины, одноосным сжатием глинистой пасты между двумя пластинками под прессом и т.д. Стеклянные пластинки с ориентированным слоем глины устанавливаются непосредственно в дифрактометр, или ориентированный слой, отделенный в виде тонких полосок лезвием безопасной бритвы, помещается в рентгеновскую камеру (*Nagelschmidt*, 1941).

Абсолютно произвольную ориентировку частиц в образце глины получить намного сложнее, чем достаточно хорошую ориентировку. Неориентированные образцы в форме столбика для рентгеновского метода приготавливаются следующим способом: сухой порошок насыпают в тонкостенные капилляры при легком постукивании для уплотнения порошка. Плоские неориентированные образцы для дифрактометра трудно приготовить. Существуют особые способы приготовления образца либо путем смешивания его с различными дезориентирующими веществами (Engelhardt, 1955; Дьяконов, 1963; Brindley , 1961), либо путем специального приготовления образца легким прессованием его в держателе (кювете) и выравниванием шероховатой поверхностью пластинки (Norrish , 1962).

В связи с тем, что некоторые глинистые минералы имеют одинаковые или близкие межплоскостные расстояния, для разделения их на дифрактограммах необходимо проводить предварительную обработку исследуемого образца (насыщение глицерином, прокаливание при $t=600^0$, обработка HCl).

После получения рентгенограммы производят расчет углов отражений θ , а затем по специальным таблицам (Гиллер, 1966) определяют межплоскостные расстояния d , необходимые для идентификации минералов.

Измерение расстояний между рефлексами на рентгенограмме производится с помощью компараторов или специальных линеек. Техника вычисления по рентгенограмме угла θ сравнительно проста, благодаря прямолинейной зависимости между θ и расстоянием между рефлексами ($\kappa = \frac{90}{2\pi r}$ – постоянная величина для камеры данного радиуса). При этом необходимо учитывать различные погрешности, связанные с техникой эксперимента (за счет ширины линии, поглощения образцом рентгеновских лучей, изменения размера пленки в результате обработки и т.д.).

При дифрактометрическом методе отсчет углов θ производится непосредственно, а оценка интенсивности отражений является количественной.

Для диагностики глинистых минералов с помощью рентгеновского анализа часто вполне достаточно сведений о базальных межплоскостных расстояниях.

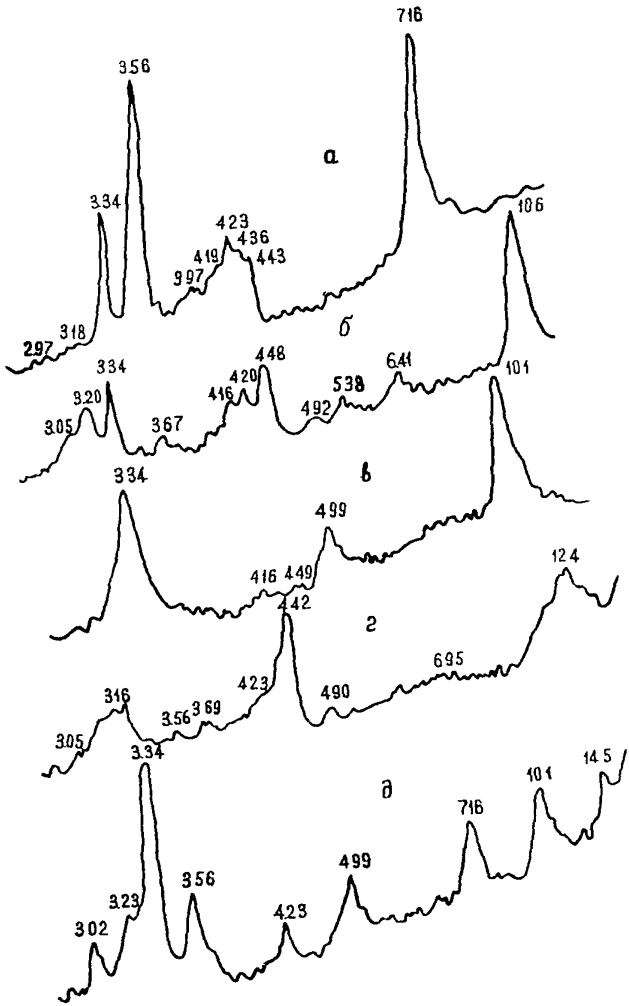


Рис.2. Дифрактограммы малоугловых областей мономинеральных образцов. Условия съемки: $Cu\,K_\alpha, N_i$ – фильтр; 35 кв, 10 ма; щели, I, 0,5; 0,25х8 мм; 1000имп/сек; I град/мин, RC -IУ; а) каолинит положский; б) палыгорскит черкасский; в) иллит; г) Na-аскангель; д) полиминеральный образец № 2681 г. Хоста (каолинит+гидрослюда+хлорит+кварц+ +кальцит+полевой шпат)

Таблица 5

Значения $d_{00\ell}$ Å и интенсивности (J) базальных рефлексов основных групп глинистых минералов

Каолинит			Гидрослюда		Монтмориллонит		Хлорит		Палыгорскит			Сепиолит		
00ℓ	J	d	J	d	J	d	J	d	hk0	J	d	hk0	J	d
001	100	7,15	100	10,0	100	12,5-15,5	70	14,0	110	100	10,5	110	100	12,3
002	100	3,57	50	5,0	15	6,2-7,8	100	7,0	200	60	6,45	130	40	7,6
003	56	2,37	70	3,33	40	4,2-5,2	40	4,8	130	40	5,44	060	100	4,6
004	35	1,76	25	2,50	40	3,1-3,9	100	3,5	-	-	-	-	-	-
005	20	1,43	60	2,00	25	2,5-3,1	50	2,82	-	-	-	-	-	-
006	-	-	30	1,66	-	-	-	-						

На рис.2 и в табл.5 приведены дифрактограммы и значения базальных рефлексов основных групп глинистых минералов.

Ниже приводится характеристика минералов глинистой фракции по их рентгенограммам.

Минералы группы каолинита. На дифрактограмме ориентированного препарата каолинита резко выделяются базальные рефлексы (001) и (002), которым соответствуют межплоскостные расстояния 7,14 и 3,57^{0}А. Для того, чтобы не спутать их с базальными рефлексами (002) и (004) хлоритов с межплоскостными расстояниями 7,0 и 3,5 А, необходимо растворить хлориты в теплой HCl или нагреть образец в течение 30 минут до температуры 600^{0}, при которой каолиниты переходят в аморфное состояние, а хлориты не изменяются.

Минералы группы монтмориллонита. Положение общих линий на рентгенограмме не зависит от состояния вещества (влажности и т.д.), базальные же отражения монтмориллонита сильно изменяются при этом. Система полос hk характеризует индивидуальность минерала, а линии 00ℓ-его состояние. Положение рефлексов 00ℓ у монтмориллонита изменяется в связи с изменением расстояний между слоями, которое зависит от обменных катионов, от природы и количества жидкости, находящейся в межслоевых промежутках, от природы самого образца. Для определения монтмориллонита используют образцы, насыщенные глицерином или этиленгликолем. Это приводит к появлению на рентгенограмме рефлекса 17,5 Å. Иногда такая картина характерна для хлорита. В этом случае необходимо нагреть образец до 600^{0}, при этом для хлорита межплоскостное расстояние d становится равным 14 Å, а для монтмориллонита 10,0Å.

Минералы группы гидрослюды. На дифрактограммах ориентированных образцов присутствуют базальные отражения первого порядка с d~10Å и полный ряд отражений: 5,0; 3,3; 2,5; 2,0Å и т.д ;второй порядок часто бывает слабым. Нагревание до 600^{0}, слабая химическая обработка и насыщение глицерином не изменяют положения рефлексов.

Хлоритовые минералы. Хорошо диагностируются по отражению (001) с d=14,0Å и отражениям с d = 7,0; 4,7; 3,50; 2,80Å. Межплоскостные расстояния при нагревании образца до 600^{0}, при насыщении глицерином и колебаниях влажности не изменяются.

Высокодисперсные неглинистые минералы (кварц, полевые шпаты и др.) почти всегда присутствуют в глинистой фракции, это всегда отражено на рентгенограммах.

Для полиминеральных образцов характерна сложная дифракционная картина, состоящая из наложенных дифракционных картин отдельных минералов.

Следует отметить, что получение качественных дифрактограмм требует точной регулировки гониометра, выбора оптимальных условий съемки и т.д. Эти вопросы подробно рассмотрены Хейкером и Зевиным (1963), Пэрриш (1965) и др.

Исследования глинистых пород часто требуют не только качественного, но и количественного минералогического анализа, так как точное количественное знание присутствующих минералов имеет зачастую решающее значение для объяснения инженерно-геологических процессов.

Количественное определение кристаллических минералов в поликомпонентных смесях основано на том, что интенсивности характерных для каждого минерала дифракционных отражений пропорциональны (с учетом поглощения и других факторов) концентрации минерала в смеси.

Существует ряд методов количественного рентгеновского анализа: метод стандартных смесей, метод внешнего стандарта, метод внутреннего стандарта, метод добавок и т.д. Эти методы, а также практические рекомендации рассмотрены, в частности, в работе В.В. Пономарева (1970).

Следует отметить, что количественные методы минералогического анализа являются достаточно трудоемкими.

II.3. Изучение структурно-текстурных особенностей пород

При изучении глинистых оползневых накоплений структурно-текстурную характеристику получают как для пород, испытавших деформации в ходе оползневого смещения, так и для пород ненарушенного сложения.

Во ВСЕГИНГЕО разработан комплекс методов качественной и количественной оценки текстурных показателей глинистых пород (Райтбурд, Царева, Пономарев, 1968). В табл.6 перечислены методы разработанного комплекса и их возможности.

Таблица 6

Комплекс методов для изучения структурно-текстурных особенностей глинистых пород

Метод	Условия изучения	Получаемые характеристики
Визуальная характеристика	Визуальное описание породы в полевых условиях в горных выработках, в лаборатории по образцам	а) Качественная характеристика макроструктуры и макротекстуры; б) Выбор образцов для изучения мезоструктуры и мезотекстуры.
Оптический	Изучение породы в прозрачных шлифах под микроскопом с применением микронасадки МФЭ-I или микрофотометра Берека	а) Характеристика мезопор; б) Качественная характеристика мезоструктуры и мезотекстуры; в) Полуколичественная характеристика мезотекстуры; г) Выбор образцов для изучения микротекстуры
Рентгеноструктурный	Изучение характера пространственной ориентации глинистых частиц и агрегатов с построением полюсных фигур	Количественная оценка микротекстуры
Электронно-микроскопический	а) Изучение глинистых частиц и агрегатов в суспензии; б) Изучение пространственной ориентации частиц и агрегатов с помощью реплик	а) Характеристика микроструктурных элементов; б) Качественная характеристика микротекстур

Примечание. Электронно-микроскопический метод разработан в МГУ Г.Г. Ильинской

П.3.I. Визуальное описание

При визуальном описании пород с естественной влажностью должное внимание уделяется особенностям макротекстуры. К таким особенностям относятся: а) окраска образца, равномерность ее распределения и изменения; б) крупные (до I см и больше) пустоты, их форма, ориентация, характер стенок; в) наличие включений, их характер, состав, форма, взаимодействие с окружающей массой; г) наличие выцветов окислов железа, солей и т.д.

Визуальная характеристика макротекстуры и макроструктуры дается на основании исследования внешней поверхности образца, а затем описывается свежий разрез. Результаты изучения записываются по следующей форме (табл.7).

Таблица 7

№ п.п.	№ образца	Вид испытания	Цвет породы и изменение его по высоте образца	Основные показатели макротекстуры и макроструктуры	Местонахождение в образце пустот, включений, выцветов

После визуального описания образцов из пластинок, подготовленных для оптического изучения мезотекстуры, изготавливаются прозрачные шлифы.

Перед оптическим изучением изображение шлифа с помощью увеличителя проектируется на белый лист бумаги.

Наиболее эффективно увеличение шлифа в 8-I0 раз, большее увеличение дает нечеткие границы стенок пор, а меньшее - лишает возможности уловить мезопоры размером 0,05 мм. Такой просмотр позволяет оценить характер распределения, размер, форму и направление ориентации пор крупнее 0,05 мм практически всего шлифа.

При анализе шлифа по форме пор, характеру их стенок, ориентации, трещиноватости вокруг пор и по другим признакам легко отличить естественные поры образца от пустот, образовавшихся при изготовлении шлифа. По негативному снимку определяется удельное количество пор размером крупнее 0,05 мм, приходящихся на единицу пло-

щади. Такое определение проводится следующим образом. На листе бумаги вырезаются квадраты с учетом увеличения, соответствующие площади шлифа в I мм^2, 2 мм^2 и т.д. Эти квадратные рамки накладываются на нужный участок фотографии шлифа и внутри него подсчитывается число пор и распределение их по размерам. Поры делятся на четыре основные группы по размерам: I) крупнее 0,5 мм; 2) 0,5-0,3 мм; 3) 0,3-0,I мм; 4) 0,I-0,005 мм.

Общее количество пор на единицу площади принимается за I00%. Исходя из этого, подсчитывается процентное содержание пор каждой группы.

Описание пористости позволяет выделить участки породы, претерпевшие структурно-текстурные изменения в процессе деформации, которые неизбежно приводят к перераспределению размера, формы и пространственной ориентации мезопор.

Если порода содержит значительное количество прозрачных неглинистых включений различной формы (алевритовые и мелкопесчаные включения кварца, полевых шпатов и др.), оценка мезопористости по негативным снимкам затруднена. Это связано с тем, что зерна прозрачных включений на негативном снимке могут быть приняты за мезопоры.

II.3.2. Оптический метод

Мезотекстура породы исследуется в шлифах с помощью микроскопа. Изучение начинают с общей качественной характеристики текстурных особенностей породы при увеличении в 80-I00 раз, включая структурные и текстурные характеристики неглинистых (песчаных и алевритовых) включений. Описываются их размер, форма зерен, распределение в глинистой массе, характер взаимосвязи между собой и с цементирующей глинистой массой. Большое внимание уделяется оценке характера и направления пространственной ориентации как песчаных и алевритовых зерен, так и структурных элементов (частиц, агрегатов и блоков) самой глинистой массы.

После общей характеристики структурно-текстурных особенностей начинается детальное качественное изучение текстуры основной глинистой массы, так как при деформации породы изменения происходят в первую очередь именно в ней. Чтобы оценить однородность мезоструктуры и мезотекстуры глинистой массы всего образца в шлифе,

просматривается несколько вертикальных и горизонтальных сечений. При этом выделяются участки, мезотекстура которых отличается от мезотекстуры остальной площади шлифа. При выделении таких участков определяется их форма, положение по отношению к направлению, принятому при данном исследовании за исходное (направление слоистости, откоса, ось выработки и т.д.).

Для характеристики мезо- и, частично, микротекстуры основной глинистой массы шлифы изучаются при увеличении 600-900 раз. При этом исследуются особенности структурных элементов (отдельных глинистых агрегатов и блоков), позволяющие оценить мезоструктуру и мезотекстуру, а именно: оцениваются их размер, форма, взаимосвязь, характер контактов, направление преимущественной ориентации, количество осей ориентации и, по возможности, угол между отдельными осями. Все эти показатели определяются непосредственными измерениями в шлифах.

Подробная качественная характеристика глинистой массы в шлифах дает возможность довольно детально оценить строение породы и выделить участки, на которых порода претерпела какие-то нарушения или изменения, вызвавшие перестройку пространственной ориентации отдельных структурных элементов.

Дальнейшее детальное изучение структурно-текстурных особенностей глинистой массы на этих участках позволит в первом приближении определить вид деформаций, который претерпела порода.

Изучение мезотекстуры выделенных участков можно проводить с получением количественной оценки показателей мезотекстуры.

В основу получения количественных показателей текстуры глинистых пород оптическим методом положена оптическая анизотропность кристаллов глинистых минералов и ориентированных микроагрегатов, ведущих себя в скрещенных николях как один псевдокристалл.

Количественное определение показателя ориентации выполняется с помощью микрофотометра Берека или микронасадки ФМЭ-I при относительной однородности мезо- и микротекстуры показатель ориентации определяется по точкам в вертикальном направлении сверху вниз в центре шлифа и в горизонтальном направлении справа налево также в центре шлифа. В случае послойной неоднородности ориентации глинистых частиц и агрегатов для выделяющихся прослоек промеряется еще один горизонтальный разрез и значения показателя для этого разреза

даются особо с указанием местоположения прослоя в образце. В зависимости от однородности текстуры и размеров микроагрегатов и блоков применяется увеличение в 160-480 раз.

Во время замеров показателя ориентации в каждой точке шлиф должен быть строго закреплен держателями все время до получения полной характеристики ориентации. После определения показателя ориентации в данной точке шлиф перемещается в нужном направлении снизу вверх или справа налево так, чтобы нижний или правый край изученного поля зрения оставался вверху или слева наблюдаемого поля. Таким образом точка за точкой определяется показатель ориентации по разрезам, намеченным для исследования. В среднем, в зависимости от увеличения в вертикальном направлении описывается тридцать-пятьдесят точек, а в горизонтальном - до восьмидесяти. Эта операция занимает не более получаса. В каждой точке определяется яркость поля в положениях полного погасания и полного просветления. Показатель ориентации С глинистых частиц и агрегатов определяли по формуле:

$$C = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} 100\%,$$

где T_{min} - значение яркости поля в положении погасания, полученное с помощью визуального микрофотометра Берека или ФМЭ-1;

T_{max} - значение яркости поля в положении полного просветления (Райтбурд, 1958).

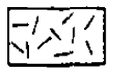
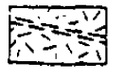
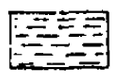
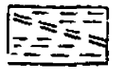
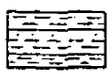
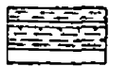
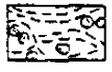
Коэффициентом С для шлифа в целом в случае однородной мезо-и микротекстуры является среднее арифметическое значение С от значения его во всех точках. В случае, когда отмечается послойная неоднородность, среднее значение коэффициента С определялось для каждой отдельной прослойки.

Коэффициент С хорошо отражает действительную степень ориентации глинистых частиц и агрегатов и дает хорошую сходимость с показателями ориентации, полученными рентгеновским фотографическим и дифрактометрическим методами.

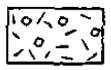
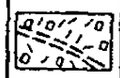
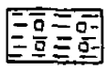
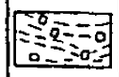
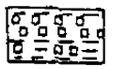
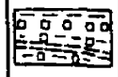
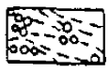
В табл.8 приводятся краткие характеристики мезотекстур, наиболее часто встречающиеся в глинистых породах, слагающих оползневые склоны Черноморского побережья, а также характеристики изменений мезотекстур в ходе деформаций пород при оползневых смещениях.

Таблица 8

Характер текстурных изменений, вызванных в некоторых глинистых породах оползневыми смещениями

Тип текстуры		Схематическое изображение текстуры породы *in situ*	Краткая характеристика текстуры	Показатель ориентации С	Схематическое изображение текстуры, сформировавшейся при оползневом смещении	Краткая характеристика изменений текстуры, вызванных оползневым смещением	Показатель ориентации С		Примечание
По гранулометрическому составу	по пространственной ориентации						породы	зоны смещения	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO
Пелитовая	Беспорядочная		Преимущественная пространственная ориентация структурных элементов отсутствует	0–I5		На фоне беспорядочного распределения в пространстве отдельных структурных элементов в зоне оползневого смещения появляются участки, нередко прерывистые, с упорядоченным расположением структурных элементов. Мощность участков различна от 5 до 30–40 см	0–I5	50–85	Структурными элементами, слагающими пелитовую текстуру глинистых пород являются отдельные глинистые частицы и агрегаты размером до I0 мк
	Упорядоченная		Основная часть структурных элементов имеет преимущественную пространственную ориентацию. Ось ориентации чаще всего перпендикулярна направлению слоистости породы	50–85		В зоне смещения отмечается большая дисперсность материала, лучшая ориентация, чем в основной породе, и направление оси ориентации в зоне смещения отклоняется от оси ориентации основной массы породы на угол, равный углу наклона зоны *смещения*	50–85	70–95	
	Блочная		Отдельные структурные элементы собраны в блоки размером 20–60 мк. Внутри блоков расположение структурных элементов может быть либо хаотическим, либо с преимущественной пространственной ориентацией	I0–50		В зоне смещения наблюдается разрушение блоков и образование прерывистых участков с упорядоченным расположением структурных элементов	I0–50	30–70	
	Послойно-упорядоченная		Расположение структурных элементов упорядоченное, имеет преимущественную пространственную ориентацию. Однако вся масса разбита на отдельные прослойки мощностью от 2 до I0 мм. Между прослойками могут быть присыпки мучнистого песка или просто гладкие поверхности	в прослоях 50–85		В послойно-упорядоченных глинах оползневое смещение проходит чаще всего по отдельным прослойкам. Смещаются либо прослойка по прослойке, либо по присыпкам мучнистого песка	50–85	50–85	
	Смешанная		Распределение структурных элементов различно, часть из них собрана в блоки, беспорядочно разбросанные в глинистой массе. Сама глинистая масса может иметь упорядоченное или беспорядоченное пространственное расположение	Меняется в широких пределах		В зон оползневого смещения появляется прослойка с четко выраженной пространственной ориентацией частиц вдоль зоны смещения. Мощность прослойки колеблется в широких пределах от I до 30–40 см	Меняется в широких пределах	50–85	

Продолжение табл.8

I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO
Алевро-пелитовая	Беспорядочная		Преимущественная пространственная ориентация структурных элементов в породе отсутствует. Отмечается наличие ориентированных глинистых пленок вокруг песчаных и алевритовых включений	0-20		На фоне беспорядочного пространственного распределения структурных элементов намечается прерывистая зона смещения с участками упорядоченного расположения глинистых структурных элементов. Мощность зоны 5-25 см	0-20	50-70	Структурными элементами, слагающими алевро-пелитовую текстуру глинистых пород, являются отдельные глинистые частицы, глинистые агрегаты размером до IO мк и алевритовые частицы неглинистых минералов
	Упорядоченная		Отмечается четкая преимущественная ориентация глинистых структурных элементов, что в меньшей степени распространяется на алевритовые	50-85		В зоне смещения отмечается большая дисперсность материала, более совершенная пространственная ориентация, ось ориентации структурных элементов в зоне смещения отклоняется от оси ориентации породы на угол, равный углу наклона зоны смещения. Мощность зоны смещения до 30 см	50-85	70-95	Показатель ориентации определялся только для глинистых участков
	Послойно-упорядоченная		Отмечается чередование прослоек глинистого и алевритового состава различной мощности от I до десятков сантиметров. Внутри прослоев, как правило, пространственная ориентация структурных элементов имеет упорядоченный характер	50-85		В послойно-упорядоченных текстурах зона оползневого смещения проходит чаще всего в глинистых прослойках ближе к контакту с алевритовыми. Выделяется зона смещения по более совершенной ориентации по отклонению оси ориентации основной массы на угол, равный углу наклона зоны смещения	50-85	70-95	
	Пятнистая		Неглинистые структурные элементы распределяются в пространстве в виде сгустков - пятен концентрации. Глинистые структурные элементы заполняют промежутки между этими сгустками. Пространственная ориентация в них может быть как упорядоченной, так и беспорядочной	Меняется в широких пределах		Зона смещения проходит, как правило, по глинистым прослойкам, чаще всего обходя участки концентрации неглинистого материала, реже разрушая их. В зоне смещения наблюдается упорядоченное пространственное расположение отдельных структурных элементов. Часто ориентированные прослойки вдоль зоны смещения имеют прерывистый характер	Меняется в широких пределах	70-80	

Текстуры псаммо-алевро-пелитовая и псаммо-пелитовая аналогично текстуре алевро-пелитовой делятся на 4 типа по характеру пространственной ориентации структурных элементов. Показатели ориентации С для каждого из типов двух последних текстур соответствуют показателям аналогичных типов алевро-пелитовых текстур

Структурными элементами, слагающими псаммо-алевро-пелитовую текстуру являются отдельные глинистые частицы, агрегаты размером до IO мк, алевритовые и песчаные частицы неглинистых минералов, а псаммо-пелитовую-глинистые частицы агрегаты до IO мк и песчаные зерна

С помощью рентгеновского метода можно получить полную количественную характеристику показателей текстуры глинистых пород.

П.3.3. Рентгеноструктурный метод

Возможность изучения кристаллографической ориентации зерен поликристаллического материала заложена в основе самого метода рентгеноструктурного анализа поликристаллов.

Кристалл по отношению к рентгеновским лучам играет роль дифракционной решетки с огромным числом штрихов. Рентгеновские лучи, пройдя через монокристалл, дают на фотопластинке совокупность дифракционных пятен. Расстояния между периодически повторяющимися в пространстве системами атомов, образующими кристаллическую решетку, определяют геометрию дифрекционной картины.

При исследовании поликристаллических образцов, состоящих из бесконечного множества хаотически расположенных зерен - монокристаллов, дифрагированные лучи образуют в пространстве непрерывную поверхность конуса с углом $2\theta_{hke}$ от оси, с которой совпадает направление первичного луча (θ_{hke}- угол отражения от какой-либо кристаллографической системы плоскостей (hke).

Если такой конус пересечен фотопленкой, расположенной в плоскости, перпендикулярной направлению первичного луча, на ней зафиксируется концентрическая окружность, центром которой будет след первичного пучка. Поскольку систем атомных плоскостей (hke) много, то на рентгенограмме получается система таких концентрических окружностей.

В случае, если в образце имеется возникшая по какой-либо причине преимущественная ориентировка кристаллов одной из кристаллографических систем плоскостей (hke), тогда не весь конус с углом $4\theta_{hke}$ будет заполнен отраженными лучами, а только та часть его поверхности, для которой нашлись соответствующим образом по отношению к первичному рентгеновскому пучку расположенные плоскости (hke).

Таким образом, наличие преимущественной ориентации кристаллографических плоскостей может проявиться в общем усилении, ослаблении или отсутствии линий рентгенограмм при изменении положения образца по отношению к падающему рентгеновскому лучу.

Удобно рассмотреть наличие преимущественных ориентировок с помощью стереографической проекции (см.рис.I). Поликристалл помещает-

ся в центр сферы, а кристаллографические плоскости (hke) заменяются нормалями к ним.

Тогда нормали к плоскостям (hke) поликристалла при пересечении с воображаемой сферой оставят на ней каждая свою точку выхода

В случае, если кристаллы не имеют преимущественной пространственной ориентации, эти точки (выходы нормалей) будут равномерно расположены на сфере; если имеют - на сфере появятся аномалии. Для удобства оценки пространственной ориентации рассматривается не распределение нормалей на сфере, а берется экваториальная проекция, на которую проектируются все точки выхода нормалей верхней полусферы.

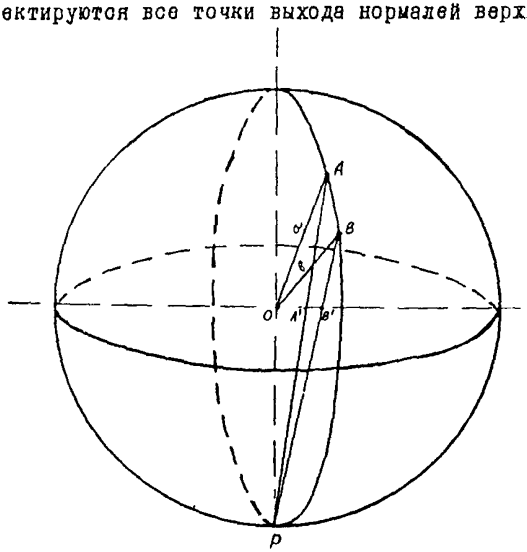


Рис.3. Принцип стереографической проекции
A' и B' - стереографические проекции точек A и B на сфере. Плоскость образца совпадает с плоскостью проекции. Линии a и b - нормали к плоскостям решетки

Как показано на рис.3, "a" и "b" являются нормалями к плоскостям решетки образца, плоскость которого совпадает с плоскостью проекции. A, B - выходы нормалей на сфере, а A' и B' - стереографические их проекции при проектировании из точки P южного полюса сферы.

Если таким образом спроектировать все выходы нормалей к кристаллографическим плоскостям *hkℓ* сферы на стереографическую проекцию, получим полюсную фигуру, характеризующую распределение ориентировок в пространстве.

Это распределение полюсной плотности (нормалей к плоскостям *hkℓ*) связано с экспериментально регистрируемой интенсивностью отражений (*hkℓ*) на рентгенограммах или дифрактограммах.

Построение полюсной фигуры при фотографическом методе рентгеновского анализа очень трудоемко и требует не менее 10 снимков, т.е. приходится проходить интервал в 90^0 съемкой через 10^0 или еще чаще.

Ц.М. Райтбурд (1958, 1960, 1962) была разработана методика полуколичественной оценки аксиальных микротекстур глин без построения полюсной фигуры, а путем съемки двух рентгенограмм. Это возможно в том случае, если направление оси ориентации известно. Первый снимок получается при условии, когда образец установлен так, что ось ориентации перпендикулярна направлению рентгеновского луча и второй – ось ориентации параллельна рентгеновскому лучу. С помощью методики можно получить полуколичественные показатели текстуры: С – степень ориентации ($C = \frac{J_{max}}{J_{min}}$, где J_{max} и J_{min} – максимальная и минимальная интенсивности кольца рентгенограммы(*ooℓ*), оцениваемые визуально) и угол разброса текстуры α , характеризуемый половиной угловой области по кольцу рентгенограммы, в пределах которой $J^{ooℓ} > 0{,}75\ J^{ooℓ}_{max}$.

В последние годы стал широко применяться рентгеновский дифрактометрический метод изучения текстур, позволяющий:

а) с большой скоростью строить полюсные фигуры, которые полностью характеризуют пространственное распределение кристаллитов относительно любого заданного направления, например, направления приложения нагрузки;

б) вводить количественные показатели текстуры, что особенно важно для изучения изменений текстур при различных деформациях;

в) изучать изменения микротекстур непосредственно в процессе воздействия нагрузки на специально разработанных приставках;

г) полностью автоматизировать процесс получения всех данных.

Геометрия съемки текстуры дифрактометрическим методом ("на отражение") приведена на рис.4. Для изучения текстур глин используется специальная приставка к дифрактометру (Пономарев, 1963;

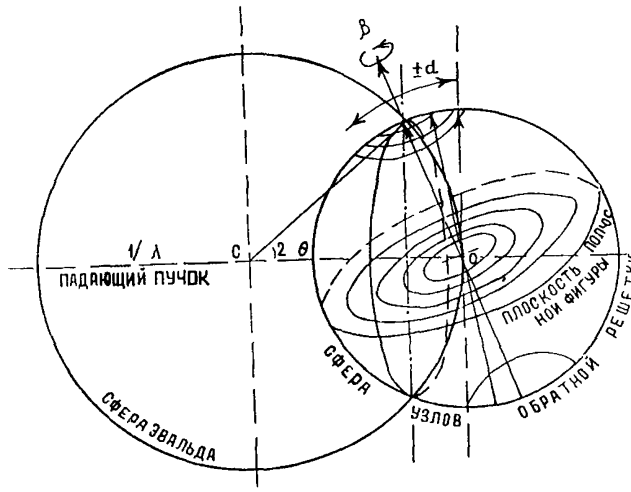


Рис.4. Геометрия съемки текстуры дифрактометрическим методом ("метод на отражение")

Пономарев, Райтбурд, 1966), в основу конструкции которой положена приставка института ЦНИИЧермет (Бородкина, 1958), но с изменениями держателя образца, учитывающими особенности глинистых минералов.

В настоящее время дифрактометр ДРОН-1 комплектуется текстурной приставкой ГП-2, однако для работы с глинистыми минералами требуется переделка всей конструкции держателя образца из-за перекрытия малоугловой области отражений, существенной для глин.

Как видно из рис.4, наклоны α и вращения β, осуществляемые с помощью приставки, позволяют зафиксировать полную картину ориентации и построить полюсную фигуру. При этом ведется автоматическая запись дифрагируемой интенсивности для каждого значения α в интервале углов β от 0 до 360^0. Время, необходимое для построения полной полюсной фигуры (с учетом внесения поправок на поглощение), примерно 2-2,5 часа.

При исследовании текстуры методом наклона нужно использовать пучки с большой горизонтальной расходимостью, для чего используется дополнительная узкая щель перед образцом. Так, например, для ли-

нии 002 каолинита высота освещаемой части образца должна быть не более I,5 мм.

При изменении положения образца при наклонах приходится вводить поправки на поглощение рентгеновских лучей в образце и дефокусировку. Поправочный коэффициент определяется на образцах того же состава, но лишенных текстуры. Запись проводится в тех же условиях, что и для исследуемых образцов.

В дальнейшем каждая записанная интенсивность на дифрактограмме должна быть прокорректирована с учетом поправочного коэффициента. Для определения истинной интенсивности измеряется фон после изменения угла θhke примерно на $2\text{-}4^0$ при различных углах наклона и затем эти значения вычитаются из интенсивности рефлекса hke исследуемого образца.

Запись текстурдифрактограмм производится следующим образом. Наклоны образца осуществляются вручную через $5\text{-}I0^0$. Это соответствует прохождению по радиусу полюсной фигуры от центра. Образец вращается в своей плоскости, при этом регистрируются точки по концентрическим кругам полюсной фигуры. В случае аксиальной текстуры, ось ориентации которой совпадает с нормалью к плоскости образца (с направлением приложения нагрузки), можно не проводить запись на 360^0 ввиду того, что полюсная фигура при этом центрально-симметрична. Достаточно установить уровень интенсивности с учетом необходимой статистики для каждого из значений углов наклона α . Для каждого из полученных уровней интенсивности вводится поправка на поглощение и вычитается фон. Таким образом, получают сечение полюсной фигуры вдоль одного из диаметров.

При построении полной полюсной фигуры поправки на поглощение вводятся для ряда точек на дифрактограмме в интервале углов β от 0 до 360^0. Эта операция проводится для всех углов наклона α. Далее все точки полученных текстурдифрактограмм переносятся на полярную стереографическую сетку с нанесенными на ней углами α и β . Каждая из точек на полярной проекции имеет количественное выражение в импульсах в секунду или в относительных уровнях интенсивности. Точки равной интенсивности обводятся изолиниями и строится полюсная фигура. Интерпретация полюсной фигуры позволит получить количественные показатели ориентации, характеризующие текстуру.

Рентгеновский количественный анализ ориентировок основан на том, что интенсивность отраженных образцом лучей с учетом поправки на поглощение и рассеяние ($J_{испр.}$) пропорциональна той доле облучаемого объема образца, которая участвует в отражении, т.е. $J_{испр.}$ пропорциональна полюсной плотности исследуемых кристаллографических плоскостей на сфере проекций. Полюсные фигуры представляют собой стереографическую проекцию полюсов атомных плоскостей (hke) зерен на выбранную плоскость образца.

Для количественного исследования текстуры недостаточно найти ее тип и получить полюсные фигуры. Необходимо от них перейти к параметрам, характеризующим рассеяние ориентировок поликристаллов и положение осей ориентации. Анализ диаграмм полюсного распределения (полюсных фигур) позволяет оценить тип и степень преимущественной ориентации, оценить направление осей ориентации относительно определенных направлений, с которыми связана полюсная фигура (направление приложений нагрузки и т.д.), по локализации пиков ,остроту этих пиков, относительные величины интенсивностей в случае нескольких осей ориентации. Изменения в текстуре, вызванные уплотнением, сдвигом и т.п., обусловливают изменение координат (α ,β) осей ориентации, величины интенсивности пика и рассеяния (дисперсии) пиков на полюсной фигуре. Все это необходимо учесть в аналитической форме, удобной для расчетов. Суммарная интенсивность отраженных образцом лучей приравнивается к объему V над плоскостью проекций, ограниченному криволинейной поверхностью, проекция которой является полюсной фигурой. Доля объема V , сооответствующая изолированному максимуму какой-либо ориентации V_i , пропорциональна объему образца, имеющего данную ориентацию.

Для полного описания текстуры необходимо ввести характеристику рассеяния ориентировки частиц. Данн ($Дунн$, 1954) за эту характеристику принимал величину стандартного отклонения ρ для изолированной концентрации полюсов на полюсной фигуре, связанную с параметрами отклонений по осям σ_x и σ_y :

$$\rho = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^{\frac{1}{2}}$$

Стандартное отклонение дает численную меру остроты полюсной концентрации. Эта формула справедлива только при наличии изолированных максимумов, ограниченных поверхностями Гаусса.

В общем случае при исследовании текстур глинистых минералов форма максимумов на полюсных фигурах довольно сложна и может значительно отличаться от нормального распределения. Поэтому для определения остроты полюсной концентрации (ее дисперсии) при любой конфигурации полюсной фигуры в общем случае надо перейти в сферическую систему координат и определять величину

$$\rho = \left(\alpha^2_{1/2} + \beta^2_{1/2}\right)^{1/2},$$

где $\alpha_{1/2}$ и $\beta_{1/2}$ – углы на полюсной фигуре, соответствующие уровню интенсивности, равному I/2 ее максимального значения.

На рис.5 в качестве примера показаны полюсные фигуры (с учетом коррекции интенсивности) для образцов каолинитовой пасты с "идеальной" аксиальной текстурой, образовавшейся при одноосном раздавливании образца между двумя пластинками и с типичной аксиальной текстурой образца, подвергнутого одноосному сжатию. Полюсные фигуры показывают, что в первом случае ось ориентации совпадает с направлением приложения нагрузки (центр полюсной фигуры), а во втором случае – отклонена на 25^0 от направления нагрузки, приложенной перпендикулярно к поверхности исследуемого образца. Координаты максимума на полюсной фигуре $\alpha = 0^0$, $\beta = 0^0$ и $\alpha = 25^0$, $\beta = 165^0$, соответственно. Полюсные фигуры изображены в уровнях интенсивности, которая прокорректирована по поглощению и дефокусировке образца при наклонах α и вращениях β с помощью специально приготовленного образца с беспорядочной текстурой. Фон указан на полюсных фигурах и должен при аналитических расчетах вычитаться.

Зависимость $J_{испр}$ от α, т.е. сечение полюсной фигуры (или сферы нормалей) дает характеристику текстуры, т.е. локализацию осей ориентации относительно определенных направлений в пространстве, величину интенсивности и рассеяние (дисперсию). В случае "идеальной" аксиальной текстуры (рис.5) любое сечение полностью описывает полюсную фигуру, так как она центрально-симметрична. Дисперсия $\rho = \alpha_{1/2} = 45^0$ в этом случае. По полюсной фигуре образца, подвергнутого одноосному сжатию, определяем дисперсию $\rho = (\alpha^2_{1/2} + \beta^2_{1/2})^{1/2} = 146^0$. В случае сложных полюсных фигур с несколькими осями ориентации приходится делать несколько сечений полюсной фигуры.

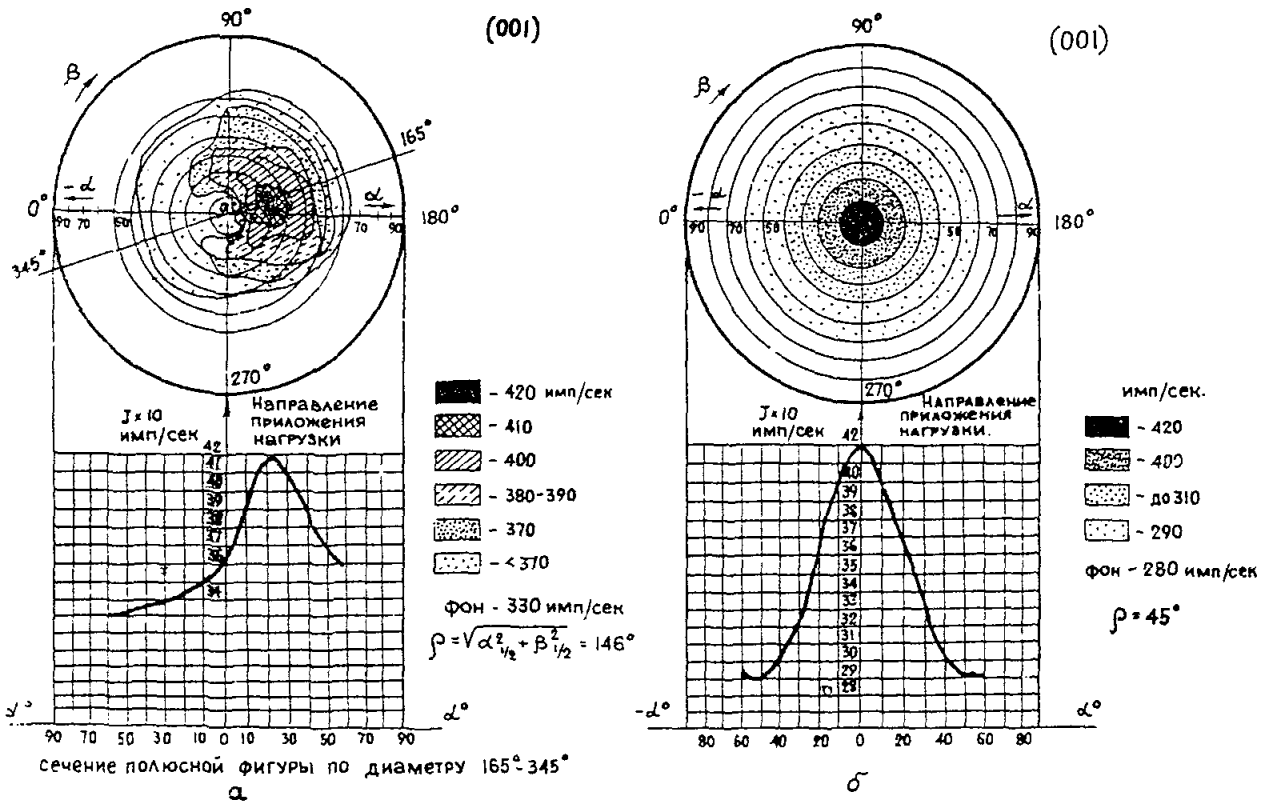


Рис.5. Полюсные фигуры и сечения полюсных фигур, плоскостей (001) образца каолинитовой пасты

а) подвергнутого одноосному сжатию;
б) с идеальной аксиальной текстурой

Рассмотрим кратко еще один метод количественной оценки ориентации частиц. Это метод обратных полюсных фигур.

При исследовании преимущественной ориентировки часто интересуются не распределением в пространстве нормалей к какой-либо системе плоскостей hke , а кристаллографическими направлениями, совпадающими с некоторыми определенными направлениями в исследуемом объекте. Поэтому возникает потребность в способе описания текстур (аналогичном обычным полюсным фигурам), при котором индексы основных направлений определяются непосредственно, а рассеяние текстуры характеризуется количественно. Этим требованиям удовлетворяют обратные полюсные фигуры, которые начинают широко использоваться (*Harris*, 1952; *Jetter*, 1956).

Если ранее устанавливалось распределение полюсной плотности относительно системы координат, связанной с образцом, то в случае обратных полюсных фигур находят распределение осей образца относительно кристаллической решетки обычно в пределах характеристического треугольника. В случае аксиальной текстуры строят только одну полюсную фигуру для распределения аксиальной оси.

Обратная полюсная фигура представляет собой стандартную гномостереографическую проекцию кристаллов исследуемого образца, на которой нормалям к кристаллографическим плоскостям придается вес, определяемый степенью совпадения направления этих нормалей с некоторым интересующим нас направлением в образце, например, направлением приложения нагрузки. Как и в случае обычных полюсных фигур, точки с одинаковым весом соединяют линиями, а ограниченные ими области штрихуют с разной плотностью. В текстурированном образце нормали, имеющие вес $P > 1$, преимущественно ориентированы перпендикулярно поверхности образца, для образца с беспорядочной текстурой $P = 1$. Величину веса P для нормалей к различным кристаллографическим плоскостям определяют на основании уравнения Харриса (*Harris*, 1952)

$$P = \frac{J(hke)}{J'(hke)} \cdot \frac{\Sigma J'(hke)}{\Sigma J(hke)} ,$$

где $J(hke)$ – интенсивность рефлекса текстурированного образца,
а $J'_{(hke)}$ – образца с беспорядочной текстурой;
$\Sigma J(hke)$ и $\Sigma J'(hke)$ – сумма интенсивностей отражений для тех же образцов.

Рассчитанные по вышеприведенной формуле значения P наносятся на стандартную гномостереографическую проекцию кристалла.

Можно ввести коэффициент ориентации $K = \frac{P_{00e}}{P_{oko}}$, показывающий отношение взаимноперпендикулярных плоскостей $00e$ и ОКО, ориентированных параллельно поверхности или перпендикулярно направлению приложения нагрузки. Чем лучше ориентация базальных поверхностей частиц в направлении, перпендикулярном направлению приложения нагрузки, тем больше будет P_{00e}, меньше P_{oko} и больше K.

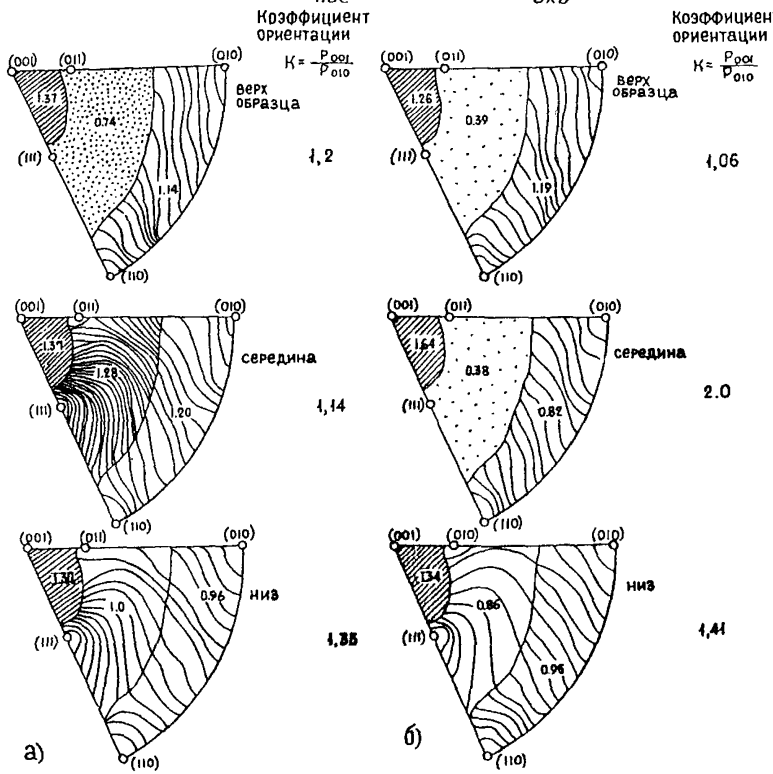


Рис.6. Обратные полюсные фигуры образцов каолинитовой пасты с беспорядочной текстурой

а) исходный образец, не подвергнутый испытаниям(образец № 2608)

б) образец, подвергнутый одноосному сжатию (образец № 2611)

На рис.6 показано количественное изучение текстурных изменений методом обратных полюсных фигур для различных по высоте участков образца, подвергнутого прочностным испытаниям.

Из рис.6 видно, что исходный образец имеет довольно слабую преимущественную ориентацию. Коэффициенты ориентации верхней, средней, нижней частей К = I,2; I,I4; I,35 соответственно. Коэффициенты P_{001} для всех участков примерно равны: I,37; I,37; I,30. Слабая ориентация отмечена и по данным прямых полюсных фигур и оптического анализа.

При доведении образца до разрушения отмечается значительное улучшение ориентации граней (001) перпендикулярно направлению приложения нагрузки, особенно в центральной части образца (К = 2,0), что свидетельствует об интенсивной перестройке ориентации частиц в центральной части образца.

Глава Ш

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении минералого-петрографических исследований правильная расшифровка полученных результатов во многом зависит от обработки фактического материала.

Основными требованиями и пожеланиями к обработке материалов исследования являются:

I. Строгая фиксация местоположения изученных образцов в разрезе скважины и выделение слоев однородных по минералого-петрографическим характеристикам (минералогическому составу основной массы, составу и характеру включений и структурно-текстурным особенностям). Для этого по каждой изученной скважине строится геолого-петрографическая колонка (табл.9), в которой наряду с геологическим разрезом и краткой литологической характеристикой пород добавляются следующие графы: номера образцов, краткая минералогическая характеристика и графа, в которой выделяются участки измененной текстуры (зоны деформации, зоны перемятия, плоскости смещения).

В табл.9 в качестве примера приводится такая геолого-петрографическая колонка, составленная по результатам исследования оползня "Финбанк" (г.Хоста). Для построения колонок используется весь петрографический материал как полевых, так и лабораторных исследований.

Таблица 9

Минералого-петрографическая характеристика пород оползневого участка "Финбанк" по скважине I8

№ слоя	Глубина, м	Литологический разрез	№ образцов	Краткое описание разреза	Минералогический состав	Характеристика текстуры	Зона сдвига		
							Местопол.	Мощность, см	Текстура
I	2.40		2701 2702 2703 2704	Глина бурая, серовато-бурая с редкими пятнами синей, в нижней части количество пятен синей увеличивается с частыми включениями осколков песчаника и аргиллита. Осколки угловатые, неправильной формы размером от 0,5 до I0-I2 см	Глинистая составляющая: (фракция<0,005) Гидрослюда, каолинит, примесь хлорита, монтмориллонит. Неглинистая: (фр.<0,005) Кварц, кальцит, примесь полевых шпатов. Песчано-алевритовая: Кварц, реже полевые шпаты, осколки раздомившихся карбонатов, глауконит, мусковит. Обломки: Песчаника, аргиллита	Мезотекстура псамо и алевропелитовая, беспорядочная. Наблюдаются ориентированные пленки вокруг крупных зерен и включений: редкие, беспорядочные невыдержанные следы течения (2703)			
2	4.3		2705 2706 2707 2708	Переходный слой. Глина пестро-цветная, содержащая почти равное количество участков бурой и синей с включением осколков песчаника и окатышей аргиллита	Глинистая составляющая: (фракция<0,005) Гидрослюда, каолинит примерно в равных количествах, в верхней части примесь хлорита. Неглинистая: (фр<0,005) Кварц, много кальцита, полевые шпаты Песчано-алевритовая: Кварц, полевые шпаты, карбонаты, редкие зерна глауконита. Обломки: Песчаника, аргиллита, алевролита	Мезотекстура псаммо- и алевро-пелитовая, беспорядочная с ориентированными пленками вокруг крупных включений и зерен. На глубине 3,2 зона в 2 см с идеальной ориентацией частиц внутри. На контакте с синей глиной четко выраженная зона смещения	3,2-3,22	2	
							3,9-4,I	20	Упорядоченная
3	8.40		2710 2712 2713 2714	Глина пестроцветная с преобладанием синей, с включением осколков песчаника и окатышей выветрелого аргиллита с точечными гумусированными включениями. В нижней части слоя - 20 см глина синяя, почти без включений	Глинистая составляющая: (фракция<0,005) Гидрослюда, каолинит в равных количествах. Неглинистая: Кварц, кальцит, слабая примесь полевых шпатов. Песчано-алевритовая: Кварц, полевые шпаты, глауконит. Обломки: Песчаника, аргиллита, алевролита	В верхней части слоя до глубины 5,60 упорядоченная, алевропелитовая текстура с явными следами течения. Ниже текстура алевропелитовая, беспорядочная	5,6-5,6I	I	
4	7.80		2716 2717 2718 2719 2720 2721	Глина серая пятнами и разводами бурая, с включением осколков песчаника и аргиллита. В нижней части на контакте с аргиллитами зона смещения со следами передвижения (зеркало скольжения)	Глинистая составляющая: Гидрослюда меньше каолинита, слабая примесь хлорита. Неглинистая: Кварц, кальцит, в верхней части примесь полевых шпатов. Песчано-алевритовая: Кварц, полевые шпаты, карбонаты, редкие зерна глауконита. Обломки: Аргиллита, алевролита	Текстура алевропелитовая, равномерно упорядоченная, с глубины 6,9 четко выделяются следы течения в виде прослоек мощностью I,5-2 см. Расстояние между отдельными прослоями I5-20 см	7,4-7,6	4	Упорядоченная со следами течения

2. Планово-высотная привязка скважин. По колонкам скважин строятся инженерно-геологические продольные и поперечные разрезы. При построении разрезов должны быть использованы все минералого-петрографические характеристики. Особое внимание следует уделять участкам, на которых отмечены текстурные изменения, вызванные деформациями оползневых смещений.

Инженерно-геологические разрезы сопровождаются пояснительной запиской и детальным описанием минералогического состава и структурно-текстурных особенностей пород, слагающих изучаемый оползневой склон. Пояснительная записка содержит такой материал, как таблицы, графики, фотографии шлифов и керна и др.

При наличии инженерно-геологических разрезов с пояснительной запиской можно составить детальную минералого-петрографическую характеристику оползневого участка с выделением зон деформации и установлением границ массива, в пределах которого строение пород нарушено в ходе оползневого смещения.

В случае, если количества петрографически изученных скважин недостаточно для построения инженерно-геологических разрезов, минералого-петрографический материал приводится на геологических профилях в виде колонок, без выделения петрографических горизонтов и зон деформаций. В этом случае минералого-петрографическая характеристика оползневого участка дается по отдельным сечениям. Иногда при достаточной геологической однородности пород оползневого участка она может быть условно распространена по разрезу.

На рис.7 приведен геолого-петрографический профиль, построенный по результатам минералого-петрографического исследования оползня "Финбанк".

3. В связи с тем, что наряду с минералого-петрографическими исследованиями проводится, как правило, изучение инженерно-геологических свойств пород оползневых накоплений, желательно, чтобы при построении инженерно-геологических разрезов на них были нанесены результаты исследований прочностных и физических свойств изучаемых пород. Наличие такого профиля обеспечивает возможность выявить зависимость изменений инженерно-геологических свойств от изменений минералого-петрографических особенностей. Кроме того, при сплошном определении прочностных показателей в скважинах как полевыми, так и лабораторными методами выявляются участки ослабленных

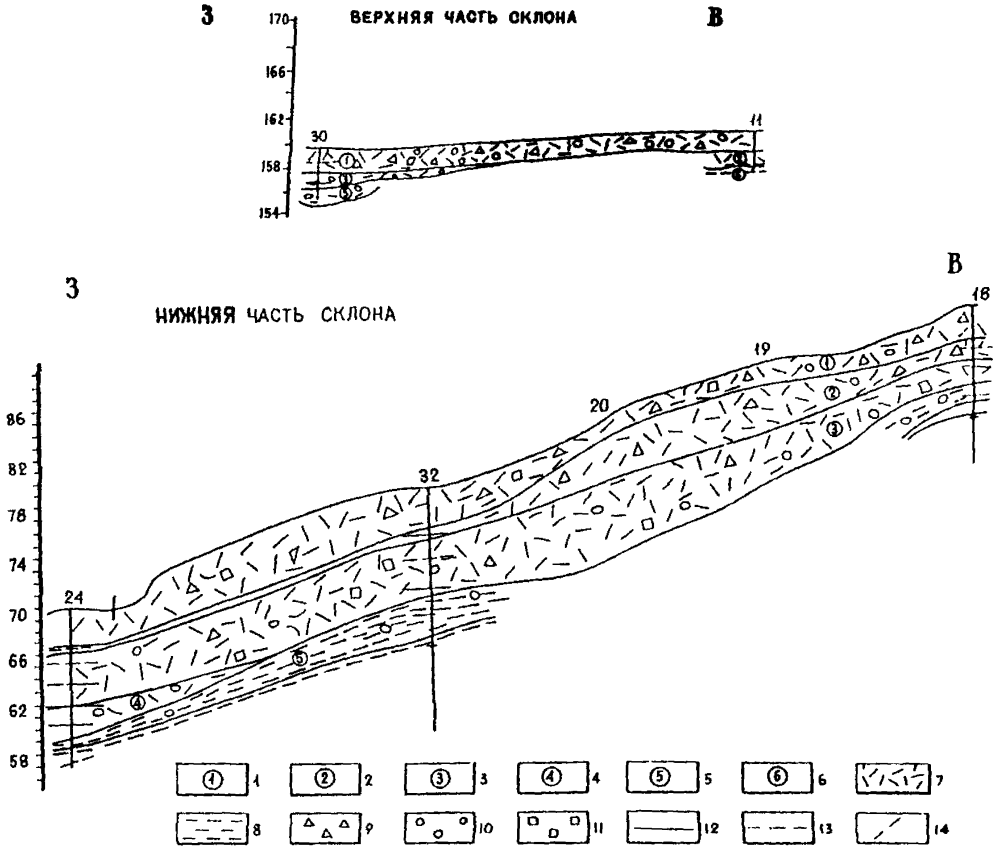


Рис.7. Геологический разрез оползневого склона "Финбанк" г.Хоста

I - суглинки бурые, полиминерального состава (гидрослюда, каолинит, хлорит, монтмориллонит); 2 - переходный слой того же состава без монтмориллонита; 3 - глины синие каолинитово-гидрослюдистого состава; 4 - переходный слой того же состава; 5 - глины серые гидрослюдисто-каолинитового состава; 6 - аргиллиты того же состава; 7 - текстура беспорядочная; 8 - текстура послойно-упорядоченная; 9 - включения песчаника; I0 - включения аргиллита; II - включения алевролита; I2 - зона смещения мощностью 20-30 см; I3 - зона смещения мощностью 5-I0 см; I4 - трещина откола

пород (ослабленные зоны). Эти ослабленные зоны совпадают с зонами измененных текстур (зонами деформаций). Так, при изучении оползня "Финбанк" (Царева, Коренева, 1970) в 1,5 метрах от скважины, изученной петрографическим методом, была пробурена скважина, в которой методом крыльчатого зондирования определялись прочностные и деформационные свойства пород *in situ*.

Результаты крыльчатого зондирования позволили выделить 4 ослабленные зоны в изучаемых отложениях. Эти зоны с точностью до 2-3 см совпали с зонами деформаций, выделенными петрографическим методом.

На рис.7 эти зоны отмечены крестиком.

Таким образом, применение минералого-петрографического метода совместно с другими методами является весьма полезным при решении ряда вопросов, возникающих при изучении оползневого процесса, в том числе:

а) установление зон деформации в породах, слагающих оползневое тело;

б) наличие или отсутствие деформированности пород в прошлом на участках, в настоящее время стабильных в отношении оползневых подвижек;

в) установление взаимосвязи между структурно-текстурными особенностями глинистых пород и показателями их свойств;

г) выбор метода борьбы с оползнями и прогноз поведения оползневых склонов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

Б о р о д к и н а М.М. Приставка для изучения текстур на рентгеновской установке УРС-50И. "Заводская лаборатория", 1958,№ 5.

Г и л л е р Я.Л. Таблицы межплоскостных расстояний. Изд-во "Недра",*М*,1966.

Г р и м Р.Е. Минералогия глин. Изд-во ин.лит.,М., 1959.

Д ь я к о н о в Ю.С. О возможности количественного рентгенографического определения каолинитов, гидрослюд и монтмориллонитов. Рентгенография минерального сырья. Сб.8, Изд-во "Недра", М., 1963.

З а в а р и ц к и й А.Н. Введение в петрографию осадочных пород. Гос.науч.-техн.изд., М.-Л., 1932.

Л е в и н с о н - Л е с с и н г Ф.О, С т р у в е Э.В. *Петрографический словарь. Госгеолтехиздат*, М., 1963.

Л о г в и н е н к о Н.В. Основы методики исследования осадочных пород. Харьков. Изд.ХГУ, 1962.

Л о г в и н е н к о Н.В. Петрография осадочных пород. Изд-во "Высшая школа", М., 1967.

Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т.I, Изд.МГУ, 1968.

М и х е е в В.И. Рентгеновский определитель минералов. Госгеолтехиздат, М., 1957.

Петрография СССР. Под ред. Ф.О. Левинсон-Лессинга. Изд.АН СССР СССР, М.-Л., 1938.

П о н о м а р е в В.В. Приставка к дифрактометру УРС-50И для изучения микротекстур глин. Труды ВСЕГИНГЕО, УШ конференция мл.науч .сотр., аспирантов и инженеров, ч.П, Изд.ВСЕГИНГЕО, М.,1963.

П о н о м а р е в В.В. Рентгеновский количественный минералогический анализ глинистых пород. Сб."Современные методы изучения физико-механических свойств горных пород". ВСЕГИНГЕО, М., 1970.

П о н о м а р е в В.В., Р а й т б у р д Ц.М. Методика дифрактометрического изучения аксиальных текстур глин. Рентгенография минерального сырья, вып.5. Изд-во "Недра", М., 1966.

Р а й т б у р д Ц.М. Применение рентгеноструктурного анализа для изучения кристаллографической ориентировки глинистых минералов.Изучение текстур деформаций пасты каолинитовой глины. Тр.совещ. по изуч. и использованию глин.Изд.Львовск.ГУ,1958.

Р а и т б у р д Ц.М. Изучение микроструктуры глинистых пород рентгеноструктурным методом. Сб.докл.к симпозиуму комиссии по глинам Межд.геол.конгр., М., Изд.АН СССР, 1960.

Р а й т б у р д Ц.М. Методика изучения ориентированных агрегатов глинистых минералов при рентгеноструктурном анализе. Сб. "Рентгенография минерального сырья", № 2, Изд-во "Недра", М.,1962.

Р а й т б у р д Ц.М., Ц а р е в а А.М., П о н о м а р е в В.В. Методика изучения текстуры глинистых пород. Современные методы изучения физико-механических свойств горных пород. Изд. ВСЕГИНГЕО, М., 1968.

Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов. Под ред.Брауна Г. Изд-во "Мир", М., 1965.

Рентгеновские методы определения и кристаллическое строение минералов глин.Под ред.Бриндли Г.В., М., ИЛ,1955.

Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Гостоптехиздат, т.I,II,, Л., 1958.

Т у р о в с к а я А.Я. Исследование прочности первичных каолинитов. Научное сообщение № 4. Днепропетровск, ДИИТ, 1959.

Ф р о л о в В.Т. Руководство к лабораторным занятиям по петрографии осадочных пород, МГУ, 1964.

Х е й к е р Д.М., З е в и н Л.С. Рентгеновская дифрактометрия. Физматгиз, М., 1963.

Ц а р е в П.В. и др. Методы изучения инженерно-геологических свойств глинистых пород Предкавказья в связи с оценкой оползневых и просадочных процессов. Изд-во "Наука", М., 1967.

Ц а р е в а А.М., К о р е н е в а С.Л. Применение петрографического метода выявления ослабленных зон оползневого массива. Сб."Современные методы изучения физико-механических свойств горных пород". Изд.ВСЕГИНГЕО, М., 1970.

Ш в е ц о в М.С. Петрография осадочных пород , М., Госгеолтехиздат, 1958.

Brindley G.W., Kurtossy S.S. „Quantitative determination of kaolinite by x-ray diffraction." Am. Miner. 46 NN 11-12, 1961.

Dunn C.G. „The analysis of quantitative Pole-Figure Data." Journ. Appl. Phys. 25. 1954, pp 233-236

Engelhardt W.v. „Über die Möglichkeit der quantitative Phasenanalyse von Tönen mit Röntgenstrahlen" Zeit. für Krist, 106, h 6, 430, 1955.

Harris K. „Quantitative Measurement of preferred orientation in Rolled Uranium Bars" The Philos Mag., 43 7th ser, N 336, 1952, pp 113-123

Jetter K.K., Mc Hargue C.J. und Williams R.O „Method of Representing preferred Orientation Data" Journ Appl. Phys. 27. 1956, p 2368

Nagelschmidt G. „Identification of clay minerals by aggregate diffraction diagramms" Journ. Sci. Instr., 18, 1941, pp 100-101.

Norrish K., Taylor R.M. „Quantitative analysis by x-ray diffraction". Clay mineral bulletin, vol. 5. N 28, 1962, pp 98-109.

Parrish W. „Advances in x-ray diffractometry of clay minerals" in „X-ray analysis papers" Ed. by W. Parrish. 1965. Eindhoven.

gost.e-ecolog.ru