

СВОЙСТВА ЛЬДА И МЕРЗЛЫХ ПОРОД

УДК 551.343

**ВЛИЯНИЕ КРИОГЕНЕЗА НА ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ**

**В.Н. Конищев, В.В. Рогов**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический ф-т,  
119992, Москва, Воробьевы горы, Россия, konishev@geogr.msu.ru*

Представлены результаты влияния переменного промерзания–оттаивания на глинистые минералы по данным рентгеновского, термического, электронно-микроскопического методов и метода инфракрасной спектроскопии. Установлено, что в ходе 50-кратного промерзания–оттаивания происходит активная диспергация и деградация глинистых частиц. Наибольшие изменения наблюдаются для гидрослюда, у которой деградация сопровождается трансформацией в смешанно-слоистое слюдо-сметитовое образование.

*Криогенез, криосфера, глинистые минералы, температура, криогенная устойчивость*

**THE INFLUENCE OF CRYOGENESIS ON CLAY-TYPE MINERALS**

**V.N. Konishev, V.V. Rogov**

*Lomonosov Moscow State University, Department of Geography,  
119992, Moscow, Vorobyovy Gory, Russia, konishev@geogr.msu.ru*

The results of study of the influence of repeated freezing-thawing on clay-type minerals according to the data of X-ray crystal and thermal analyses, infra-red spectroscopy and electronic microscopy are presented. It is established that during 50 freezing-thawing cycles, active dispersion of kaolinite and montmorillonite particles has occurred. The most substantial changes are observed for hydromica, the degradation of which is accompanied by the transformation into mica-smectite matrix.

*Cryogenesis, cryosphere, clay-type minerals, temperature, cryogenic stability*

**ВВЕДЕНИЕ**

В пределах криолитозоны и особенно в различных районах тундры, лесотундры и северной тайги широко распространены пылеватые суглинки, обладающие в талом состоянии ярко выраженными тиксотропными и пльвунными свойствами. Последние играют большую роль в процессах солифлюкции, криогенного оползания, в формировании структурных форм микрорельефа, например пятен-медальонов и др.

Исследование тиксотропных свойств покровных лессовидных суглинков Большеземельской тундры, представляющих собой типичные грунты слоя сезонного оттаивания, показало, что эти свойства в первую очередь определяются составом грунтов, в частности, высоким содержанием пылеватых фракций и наличием значительного количества высокодисперсных глинистых минералов, коллоидов железа, алюминия и органического вещества [Попов, 1956; Конищев, 1964]. Криогенная природа пылевой фракции, высокодисперсного и аморфного материала в покровных лессовидных

образованиях, развитых на севере Европейской России, на севере Западной Сибири, а также синкриогенных толщ ледового комплекса северной и центральной части Якутии обоснована во многих работах [Попов, 1967; Конищев, 1981].

Что же касается влияния криогенных факторов на формирование тонкодисперсных компонентов пылеватых грунтов, также обеспечивающих их тиксотропию, то этот вопрос изучен недостаточно. В первую очередь это относится к глинистым минералам. Анализ процессов, происходящих при криогенном выветривании, с учетом современных представлений о взаимодействии воды с различными группами минералов в зависимости от температуры и льдообразования в грунтах, позволяет сделать вывод, что структуры слоистых силикатов, в том числе и глинистых минералов, не являются стабильными при воздействии процесса попеременного промерзания–оттаивания, а существенно изменяются, при этом образуются новые структурные виды [Конищев, 1973]. Кроме того, химико-

минералогическая сущность процесса криолитоге-неза исследована слабо в силу недостаточной изученности состава отложений, формирующихся в условиях длительного и устойчивого промерзания земной коры.

### СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Вопрос о поведении глинистых минералов в зоне криогенеза можно разделить на две части. В первой рассматривается, в какой мере криогенные факторы влияют на новообразование глинистых минералов при выветривании массивно-кристаллических пород в условиях холодного климата, а во второй – какие изменения испытывают глинистые минералы, возникшие в иных климатических обстановках в сфере криогенного выветривания.

Ответ на первую часть вопроса можно найти в работе В.О. Таргульяна [1971], посвященной почвообразованию и выветриванию на массивно-кристаллических и песчаных полимиктовых породах в холодных гумидных областях. Химико-минералогический состав фракции <1 мкм подбуровпочв, развитых на водоразделах территорий, характеризующихся максимальной напряженностью мерзлотных процессов в верхних горизонтах литосферы, убедительно доказывает, что конечным продуктом преобразования эндогенных минералов являются аморфные соединения  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Синтетическое новообразование глинистых минералов крайне затруднено или полностью отсутствует. Помимо причин, затрудняющих синтез, существенное значение имеют многократное чередование процессов промерзания и оттаивания почвы и связанное с этим циклическое изменение степени гидратации минерального вещества. Это также не способствует формированию структур глинистых минералов.

Ответ на вторую часть вопроса можно получить как экспериментальным путем, так и в результате изучения глинистых минералов из отложений, сформировавшихся в зоне криогенеза. Имеются результаты экспериментальных исследований, которые могут служить основанием для вывода о преобразовании глинистых минералов под воздействием криогенных факторов. В работе А.Л. Дидовой и Н.М. Кругловой [1970] приведены данные по изменению минералогического состава фракции <1 мкм супесчаных отложений III террасы р. Томь. До промораживания в составе фракции установлены гидрослюда и каолинит с примесью органики и окислов железа. После 15 циклов промерзания (влажность 12–25 %) помимо исходного комплекса обнаружена примесь монтмориллонита, после 50 циклов его количество увеличилось. Для диагностики минералов применялись различные методы, в том числе электрон-микроскопический и рентгеноструктурный. На

основе эксперимента авторами сделан вывод о том, что в результате циклического промерзания–оттаивания происходит деградация гидрослюда до монтмориллонита.

Другой вывод был сделан Ф.Н. Лещиковым и Т.Г. Рященко [1973], которые также изучали изменение состава и свойств дисперсных глинистых грунтов при многократном промораживании и оттаивании. Термическим и рентгеноструктурным анализами фракции <1 мкм установлено появление новых компонентов, в частности каолинита и монтмориллонита, в образцах, испытавших многократное промерзание. Качественные изменения глинистой фракции авторы связывают с ее количественным увеличением, происходящим при разрушении песчаных и алевроитовых сильнопелитизированных зерен полевых шпатов, что вызывает обогащение пелитовой фракции каолинитом и монтмориллонитом. Важно подчеркнуть, что пелитизация зерен полевых шпатов не связывается авторами с криогенными процессами.

Интересные эксперименты проведены Т.С. Зверевой и И.В. Игнатенко [1983]. Авторами отмечено, что в результате 200-кратного промерзания–оттаивания глинистых минералов в растворах щавелевой и лимонной кислот происходит заметная диспергация каолинита, бентонита и гидрофлогопита. При этом рентгенодифрактометрический анализ показал, что образцы каолинита в ходе циклического промерзания–оттаивания не претерпели существенных изменений, а у монтмориллонита увеличилась степень хлоритизации и возросло значение  $d_{001}$  (первое межслоевое расстояние в глинистых минералах) по сравнению с исходными образцами. Дифрактограммы гидрофлогопита опытных фракций <1 мкм показали наличие хорошо окристаллизованного хлорита, вероятно, гиббситовых прослоев, что, возможно, обусловлено высокой кислотностью раствора в данном опыте на фоне циклов промерзания–оттаивания.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Авторами был проведен эксперимент с целью изучения изменений минералогического состава фракций <1 мкм, 1–5 мкм и 0,010–0,005 мм суглинистого увлажненного грунта после 50 циклов промерзания–оттаивания. Фракция <1 мкм исходного образца по данным рентгенодифрактометрического анализа, проведенного на установке УРС-50 ИМ по известным методикам [Горбунов, 1963; Шлыков, 2006], включала различные минеральные группы: монтмориллонитовую, слюдистую, каолинитовую, хлоритовую. После эксперимента во фракции не обнаружена группа чистого хлорита и зафиксированы смешанно-слоистые образования хлорит-монтмориллонитового типа с различным переслаиванием пакетов. Анализ экс-

периментальных данных не позволяет однозначно судить о качественных изменениях различных глинистых минералов под воздействием многократного замораживания и оттаивания, за исключением хлорита, который превращается в смешанно-слоистые образования. Основанием для такого суждения является то, что эксперименты проводились на дисперсных грунтах сложного состава, включавших глинистые минералы различных групп и, что особенно важно, более крупные песчаные и алевритовые частицы, состоящие из обломков первичных минералов, которые могли быть изменены под воздействием иных, не криогенных факторов. Кроме того, в естественном состоянии песчаные и алевритовые частицы дисперсных грунтов несут пленку тонкодисперсных образований, которые под воздействием промораживания–оттаивания могут отделяться и обогащать пелитовую фракцию.

Для более обоснованного суждения о влиянии криогенных процессов на глинистые минералы была проведена серия экспериментов, в которых использовались мономинеральные глины: монтмориллонитовые Асканского месторождения, гидрослюдистые и каолинитовые Черкасского месторождения. Комплексное изучение (рентгенография, термография, инфракрасная (ИК)-спектроскопия, электронная микроскопия) перечисленных объектов показало, что все они практически однородны.

Две серии образцов мономинеральных глин, одна из которых была увлажнена дистиллированной водой до предела текучести, а другая имела максимальную гигроскопическую влажность, подвергались промораживанию при  $t = -7^\circ\text{C}$  и последующему оттаиванию при  $t = +18^\circ\text{C}$  – всего 50 циклов. Влажность образцов на протяжении эксперимента не менялась, промораживание длилось 6–7 ч, оттаивание – 5–6 ч. После эксперимента образцы глин исследовались различными методами: рентгеноструктурным, электронно-микроскопическим, термическим и методом ИК-спектроскопии [Конищев и др., 1974].

При сравнении рентгенодифрактограмм исходных и промороженных образцов каолинита и монтмориллонита изменений рефлексов отражений не обнаружено.

На рентгенодифрактограммах образцов гидрослюды, подвергшихся промораживанию, по сравнению с исходным наблюдается смещение  $d_{001}$  отражения до 10,7 Å и появление дополнительных рефлексов 20,53 и 16,0 Å с влажностью предела текучести и гигроскопической влажностью соответственно. Отмеченные изменения могут быть вызваны увеличением дисперсности гидрослюды под влиянием попеременного промерзания–оттаивания и ее деградацией, которая сопровождается трансформацией в смешанно-слоистое (неупорядо-

ченное с тенденцией к упорядоченности) слоюдосмектитовое образование.

Инфракрасные спектры исследуемых образцов получены на установке ИК-20 с использованием различных способов приготовления препаратов. Один способ состоял в получении таблеток из смеси вещества с бромистым калием. ИК-спектры промороженных образцов гидрослюды с влажностью предела текучести имели качественное отличие от исходных. В них не отмечаются частота колебания  $445\text{ см}^{-1}$ , соответствующая колебанию группы Si–O–Si, а также частоты колебания OH-групп ( $3600\text{--}3800\text{ см}^{-1}$ ), связанных с Al и Mg октаэдрами. Изменения в колебательном спектре промороженных образцов можно объяснить сдвигом колебаний OH-групп в результате аморфизации вещества и появления высокодисперсной фазы, так как при аморфизации полосы поглощения расширяются, исчезает их тонкая структура. ИК-спектры промороженных образцов каолинита и монтмориллонита по полученным данным не изменяют своих характеристических частот колебаний.

Практически не различаются и дифференциальные кривые нагревания исходных и промороженных образцов всех трех минеральных групп.

Электронно-микроскопическое изучение образцов глин проведено на растровом (сканирующем) электронном микроскопе МРЭМ-100. Исследования показали, что каолинит в исходных образцах представлен скоплением частиц и агрегатов размером от 5 до 50 мкм в поперечнике. Форма их, как правило, изометричная, границы ясно выражены. Крупные агрегаты имеют слоистое строение. Таков же в целом характер структуры и образцов с гигроскопической влажностью, но испытывавших 50 циклов промерзания–оттаивания. Строение промороженных в увлажненном состоянии образцов каолинита характеризуется значительно большей дисперсностью. Агрегаты глинистых частиц редко достигают 10 мкм в поперечнике, основная масса представлена агрегатами и частицами в несколько микрометров. Форма их разнообразная: встречаются изометричные, вытянутые и сложные по конфигурации агрегаты с извилистыми границами (рис. 1, а, б).

Под влиянием промерзания–оттаивания в увлажненных образцах монтмориллонита также уменьшается размер агрегатов (от 100–500 до 1–50 мкм), появляются частицы удлиненной формы.

Гидрослюда в исходных образцах представлена агрегатами и частицами разной величины и формы – от мелких удлиненных частиц размером 1 мкм до более крупных агрегатов (10–15 мкм) изометричной формы с извилистыми границами. Наблюдается, как правило, только межагрегатная пористость (рис. 2, а). Образцы гидрослюды с гигроскопической влажностью, промороженные



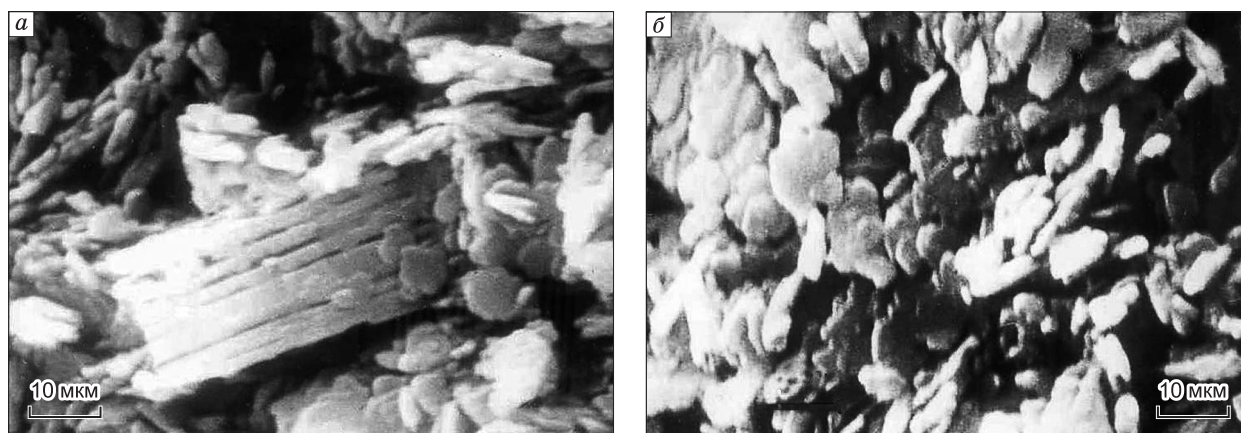


Рис. 1. Каолинит до (а) и после (б) циклов промораживания–оттаивания.

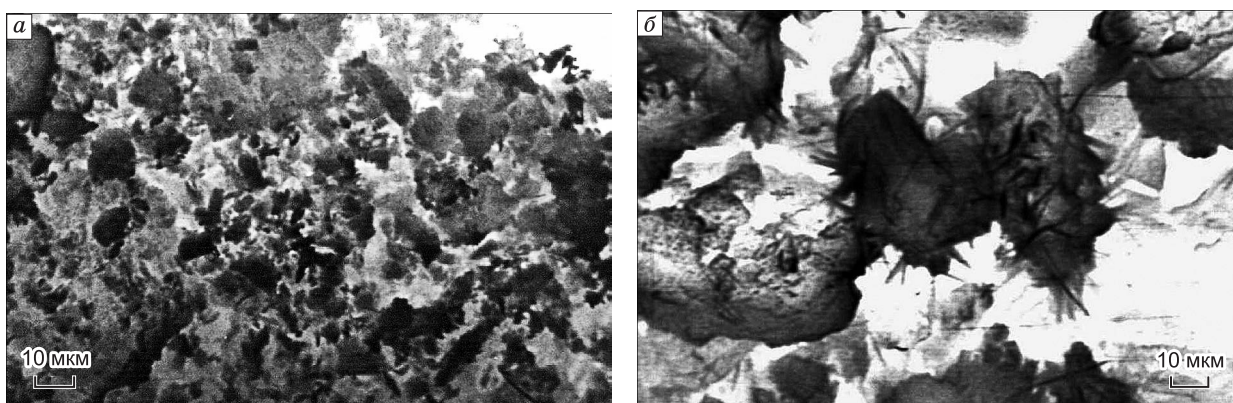


Рис. 2. Гидрослюда до (а) и после (б) циклов промораживания–оттаивания.

50 раз, практически не отличаются от исходных. В то же время увлажненные до предела текучести и многократно замороженные образцы отличаются своеобразным строением – наблюдаются крупные агрегаты (до 50–100 мкм в поперечнике) разнообразной формы и слоистой структуры. На поверхности многих из них наблюдаются качественно новые образования – тонкие иглообразные и звездчатые частицы, которые иногда покрывают всю поверхность агрегатов (см. рис. 2, б). Морфологически они весьма сходны с гетитом и гематитом [Рекишнская, 1966]. Можно предположить, что их появление связано с разрушением поверхности кристаллической решетки, освобождением железа из октаэдров и образованием кристаллических форм железа; установить их состав и характер формирования предстоит в дальнейших экспериментах. Вместе с тем присутствие таких кристаллов уже сейчас можно считать косвенным подтверждением деградации слюд.

Подытоживая результаты проведенного исследования, можно сделать следующие выводы.

1. Минералы всех трех типов (гидрослюда, каолинит, монтмориллонит) испытывают изменения под влиянием 50-кратного промерзания–оттаивания.

2. Из результатов экспериментов следует, что в увлажненном состоянии все три минеральные группы испытывают более значительные изменения; поэтому собственно термические напряжения в минеральной массе не являются единственной причиной установленных изменений.

3. Структура каолиновой и монтмориллонитовой глин изменилась существенно – увеличилась дисперсность агрегатов и кристаллов (более чем в 10 раз), изменилась их морфология. Однако, судя по данным ИК-спектроскопии и рентгенодифрактометрии, диспергация этих минералов не достигла той стадии, когда можно говорить о разрушении собственно кристаллической решетки.

4. Степень и характер изменений для различных минералов неодинаковы; наиболее существенные изменения фиксируются для гидрослюда, у которой деградация и аморфизация сопровожда-

ются трансформацией в смешанно-слоистое слюдо-сметитовое образование.

Результаты эксперимента подтверждают точку зрения о деградации унаследованных глинистых минералов в ходе криолитогенеза и объясняют некоторые особенности состава субаэральных отложений, формирующихся в условиях вечной мерзлоты. В основе их криогенного преобразования лежат такие явления, как изменение поверхностной энергии минерального скелета, миграция воды и ее фазовые преобразования и, как следствие, колебание расклинивающего давления тонких водных пленок (криогидратационное разрушение). Эти выводы очень важны для палеогеографической и генетической интерпретации данных по составу тонкодисперсных фракций отложений древних перигляциальных зон.

С этой точки зрения существенный интерес представляет сравнительное изучение глинистых минералов из различных горизонтов кайнозойской толщи, слагающей обширные пространства Приморских низменностей Северо-Востока России. Преимущественно континентальный генезис и большая роль субаэральных отложений в разновозрастных горизонтах кайнозойской толщи предопределяют значительное участие продуктов выветривания в их составе. Исключительное разнообразие ландшафтно-климатических условий на протяжении кайнозоя, постепенный переход от теплых гумидных условий выветривания к все более холодным, а также определяющее значение мерзлотных процессов в литогенезе отложений в конце рассматриваемого периода являются благоприятным условием для решения поставленной задачи. Особый интерес представляет изучение глинистых минералов, входящих в состав льдистых сингенетических мерзлых толщ, широко развитых в этих районах и являющихся наиболее характерным продуктом криолитогенеза. Криогенные процессы играли существенную роль на всех стадиях литогенеза; минеральная составляющая этих отложений на стадии выветривания, переноса и седиментации постоянно находилась в условиях многократно сменявшихся процессов промерзания и оттаивания.

Состав фракции <1 мкм изучался из отложений, вскрывающихся в ряде известных обнажений Приморской низменности и в ряде скважин, расположенных на Яно-Омолойском междуречье. Изучение проводилось различными методами: термическим, дифрактометрическим, химическим и электронно-микроскопическим. Комплексное исследование состава глинистого вещества позволило установить, что основу его составляет ассоциация минералов в основном гидрослюдистой, каолининовой, хлоритовой групп. Генетическая интерпретация состава глинистой фракции (кроме

констатации ее сложного полиминерального характера) без сравнительного изучения разных горизонтов кайнозойской толщи вряд ли возможна.

Глинистые минералы в палеогеновых отложениях изучались по разрезу скв. 3 в верховьях р. Ильдикилээх, левого притока р. Яна. Согласно результатам исследования термическим и рентгенодифрактометрическим методами, преобладающим минералом является каолинит, в несколько меньшем количестве содержится гидрослюда. При этом электронно-микроскопический анализ показал, что каолинит представлен в виде кристаллов псевдогексагональной формы и их обломков, а гидрослюда представлена в виде крупных изометрических, призматических и удлиненно-призматических пластинок с четкими гранями; в качестве примеси присутствует некоторое количество галлузита.

Глинистые минералы в плиоценовых отложениях изучались по разрезу скв. 152 ЯНГРЭ на Яно-Омолойском междуречье. Исследования термическим и рентгенодифрактометрическим методами показали, что преобладающим минералом является гидрослюда. Кроме того, отмечаются различные смешанно-слоистые образования как упорядоченного, так и неупорядоченного типов, представленные слюдомонтмориллонитовыми и хлорит-монтмориллонитовыми группами и незначительное содержание набухающих минералов. Изучение глинистых минералов в электронном микроскопе показало, что они представлены в основном изометрическими и призматическими пластинками гидрослуды с четкими гранями.

Глинистые минералы льдистых четвертичных алевритов изучались по разрезам известных обнажений Приморской низменности: Мус-Хая, м. Чукокий и в других однотипных разрезах. Исследование гранулометрического состава льдистых алевритов позволило установить, что коллоидно-дисперсные минералы в них составляют не более 10 % (обычно 3–6 %) тонкодисперсной минеральной массы.

В отличие от палеогеновых и плиоценовых отложений особенностью состава фракции <1 мкм рассматриваемых алевритов, по данным термического и рентгенодифрактометрического методов, является преобладание набухающих минералов хлорит- и слюдомонтмориллонитового типов, различающихся по переслаиванию пакетов с лабильными и стабильными межпакетными промежутками. Помимо этого в ней отмечены также аморфные вещества, органическое вещество и люторные окислы.

Электронно-микроскопические исследования на микроскопе просвечивающего типа показали, что во фракции <1 мкм доминируют комковатые облачные и хлопьевидные агрегаты с расплывча-

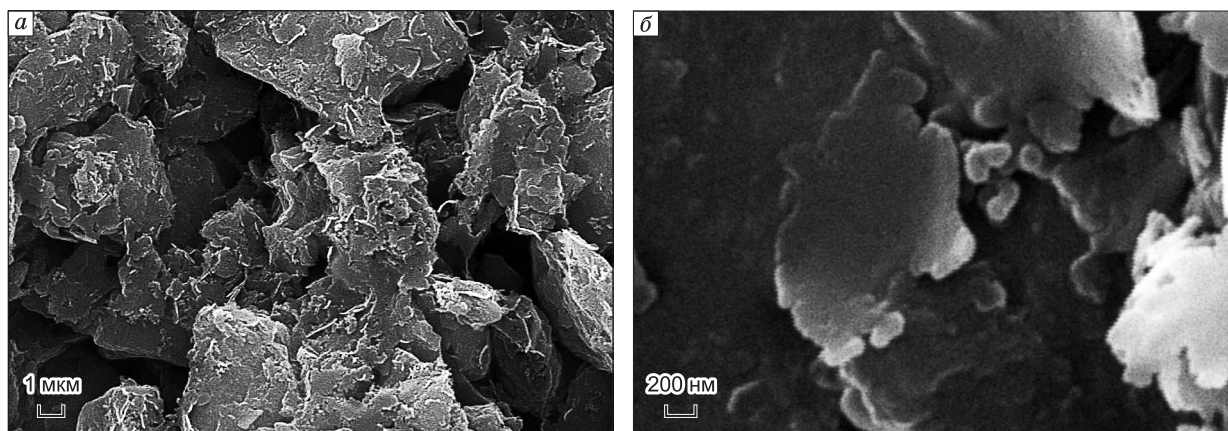


Рис. 3. Гидрослюда во фракции <1 мкм в образцах льдистых алевритов (м. Чукочий):

а, б – разные фрагменты и увеличения.

тыми краями, принадлежащие, по-видимому, минералам группы монтмориллонита, и гидрослюда, которая обычно сильно гидратирована, имеет расплывчатые края в отличие от крупных изометрических и призматических пластинок с четкими гранями, которые характерны для палеогеновых и плиоценовых отложений. Единичные включения составляют мелкие обломки кристаллов каолинита и трубочки галлуазита. Просмотр этих же образцов на микроскопе растрового типа показал, что разрушение гидрослюды идет путем расслаивания пакетов, утончения отдельных пластинок, появления в них “окоп” и закручивания краев пластинок (рис. 3, а). Края пластинок гидрослюды, разрушаясь, аморфизуются и утолщаются за счет гидрата-

ции, затем отрываются от самой пластинки, образуя сферические стяжения, весьма похожие на формы коллоидного железа (см. рис. 3, б).

Ранее [Конищев, 1973; Конищев, Шурина, 1974] было высказано предположение, что преобладающий в синкриогенной толще льдистых алевритов минерал или целая группа смешанно-слоистых минералов с подвижной решеткой, а также аморфные соединения являются своеобразными криогенными образованиями. Это измененные формы различных структурных групп минералов, возникших в процессе криогенного видоизменения исходной ассоциации глинистых минералов дочетвертичных и докайнозойских осадочных пород.

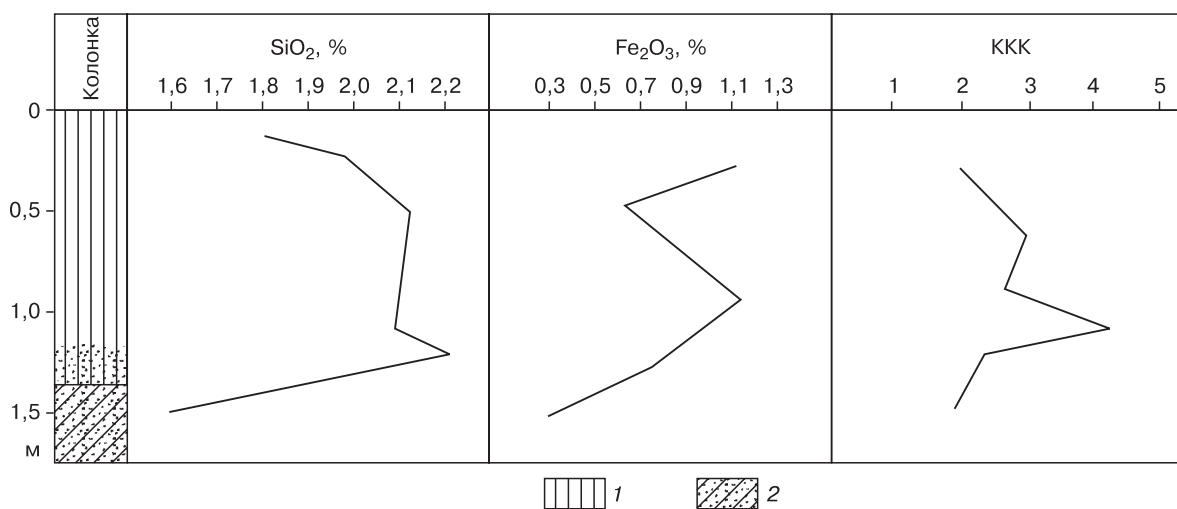


Рис. 4. Распределения содержания SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и коэффициента криогенной контрастности в разрезе покровных суглинков Большеземельской тундры:

1 – покровные суглинки, 2 – подстилающие валунные суглинки.



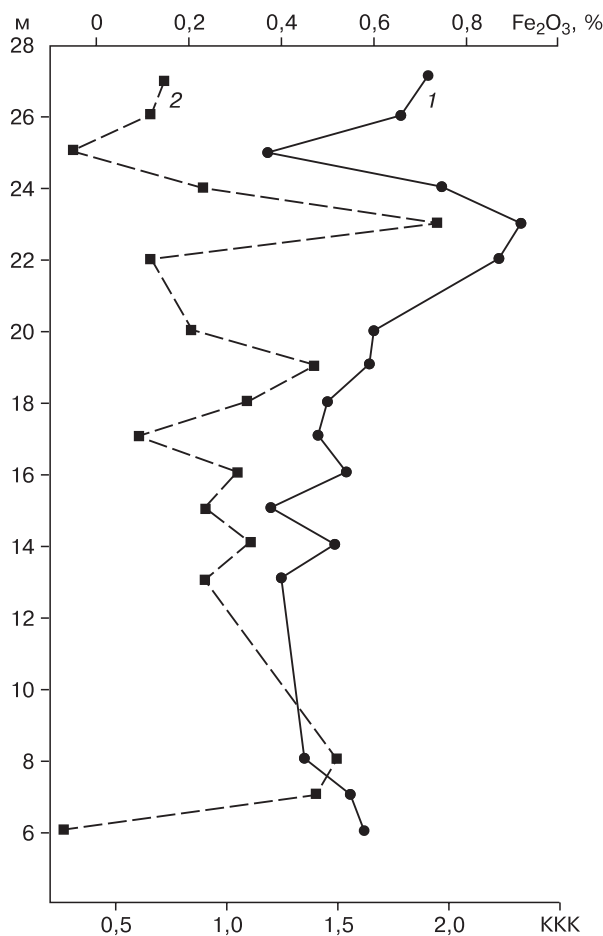


Рис. 5. Распределения Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (линия 1) и ККК (линия 2) в разрезе льдистых алевритов (м. Чукочий).

Это предположение получает еще более четкое обоснование, если сравнить интенсивность криогенного преобразования основных минералов, составляющих песчаную и пылеватую фракцию с выходом аморфных образований полоторных окислов. Ранее авторами для оценки степени криогенного воздействия на рыхлые отложения был предложен коэффициент криогенной контрастности (ККК), основанный на поведении двух основных породообразующих минералов (кварца и полевых шпатов) в ходе криогенеза [Конищев, Рогов, 1994]. Если сопоставить распределение ККК по глубине разреза покровных суглинков, то наблюдается определенная связь воздействия криогенеза на разрушение минералов и образование аморфных SiO<sub>2</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 4). Еще более четкая связь между ККК и выходом аморфного железа имеет место для льдистых алевритов, что следует из сопоставления указанных величин по данным разреза м. Чукочий (рис. 5).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно полученным материалам, общим направлением изменения унаследованных глинистых минералов, подверженных попеременному промерзанию–оттаиванию, является разрушение всех типов их структурных групп. На этом основании выявленные различия в минералогическом составе между сингенетической мерзлой толщей льдистых алевритов и более древними отложениями объясняются прежде всего тем, что в процессе криогенного выветривания происходят существенные структурные изменения глинистых минералов.

С этой позиции очевидно, что присутствующая в сингенетической мерзлой толще группа смешанно-слоистых минералов с подвижной решеткой – своеобразное криогенное образование. Она представляет собой измененные формы минералов различных структурных групп, возникших в процессе криогенного выветривания исходной ассоциации глинистых минералов дочетвертичных осадочных пород. С этими образованиями, видимо, имеют тесную генетическую связь и аморфные соединения, характерные для фракции <1 мкм сингенетической мерзлой толщи.

Изложенные выше данные необходимо иметь в виду при палеогеографических построениях и выводах о генезисе отложений. Например, если не принимать в расчет процессов криогенного изменения глинистых минералов, можно сделать вывод об экзотичности льдистых алевритов Северо-Востока по сравнению с более древними толщами. Отсюда может последовать вывод об их эоловом генезисе, хотя в действительности своеобразие минералогического состава глинистой фракции объясняется криогенными факторами. Представляется, что приведенные в этой работе данные необходимо учитывать при генетико-палеогеографической интерпретации результатов исследованной глинистых минералов и других районов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-05-64408-а) и программы “Ведущие научные школы”.

## Литература

- Горбунов Н.И. Высокодисперсные минералы и методы их исследования. М., Изд-во АН СССР, 1963, 145 с.
- Дидова А.Л., Круглова Н.М. Некоторые результаты изучения влияния сезонного промерзания на состав и структурные особенности лессовых пород // Изв. вузов. Сер. геология и разведка, 1970, № 12, с. 88–92.
- Зверева Т.С., Игнатенко И.В. Внутрипочвенное выветривание минералов в тундре и лесотундре. М., Наука, 1983, 230 с.
- Конищев В.Н. Покровные лессовидные образования юго-восточной части Большеземельской тундры // Проблемы палеогеографии и морфогенеза в полярных странах и высокогорье. М., Изд-во Моск. ун-та, 1964, с. 27–48.

- Конищев В.Н.** Криогенное выветривание // II Междунар. конф. по мерзлотоведению: Докл. и сообщ. Якутск, 1973, вып. 3, с. 53–59.
- Конищев В.Н.** Формирование состава дисперсных пород в криолитосфере. Новосибирск, Наука, 1981, 195 с.
- Конищев В.Н., Рогов В.В.** Методы криолитологических исследований. М., Изд-во Моск. ун-та, 1994, 135 с.
- Конищев В.Н., Рогов В.В., Щурина Г.Н.** Влияние криогенных процессов на глинистые минералы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География, 1974, № 4, с. 40–46.
- Конищев В.Н., Щурина Г.Н.** Глинистые минералы в кайнозойских отложениях Яно-Индибирской низменности // Проблемы криолитологии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1974, вып. IV, с. 149–163.
- Лещиков Ф.Н., Рященко Т.Г.** Изменение состава и свойств глинистых грунтов при промерзании // II Междунар. конф. по мерзлотоведению: Докл. и сообщ. Якутск, 1973, вып. 3, с. 35–43.
- Попов А.И.** Полярный покровный комплекс // Вопросы физической географии полярных стран. М., Изд-во Моск. ун-та, 1956, вып. 1, 132 с.
- Попов А.И.** Мерзлотные явления в земной коре (криолитология). М., Изд-во Моск. ун-та, 1967, 189 с.
- Рекшинская Л.Г.** Атлас электронных микрофотографий глинистых минералов и их природных ассоциаций в осадочных породах. М., Недра, 1966, 158 с.
- Таргульян В.О.** Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях (на массивно-кристаллических и песчаных полимиктовых породах). М., Наука, 1971, 268 с.
- Шлыков В.Г.** Рентгеновский анализ минерального состава дисперсных грунтов. М., ГЕОС, 2006, 175 с.

*Поступила в редакцию  
12 сентября 2007 г.*