

И. Б. САВЕЛЬЕВ

**АКТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕРЗЛОГО ДИСПЕРСНОГО
ОСНОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ ПРИКОНТАКТНОГО СЛОЯ
НАМОРОЖЕННОГО ЛЬДА***(Представлено академиком В. И. Смирновым 12 X 1970)*

Считается, что поверхность твердого гетероморфного основания лишь пассивно оказывает влияние на формирование структуры намерзающего льда ⁽³⁾ и такие его свойства, как минеральный и химический состав, дисперсность, наличие некомпенсированных зарядов, дислокации кристаллической решетки и т. п., практически не отражаются в структуре льда. С целью проверки этого положения было проведено моделирование намерзания воды на некоторых мерзлых дисперсных грунтах в холодильной камере с последующим изучением структуры ледяных образований в приконтактных слоях и на более удаленных горизонтах ледяного покрытия. В качестве контрольных образцов для сопоставления структуры льда, образованного на мерзлой породе, были взяты стеклянная и шлифованная кварцевая пластинки.

Исходными (резко различными по своей поверхностной активности) материалами для намораживания льда служили песок, каолин и аскангель. Песок представлен средне-мелкозернистой кварцевой разновидностью с преобладающим размером частиц от 0,10 до 0,25 мм. Следует заметить, что в отличие от кварцевой пластины песчаные частицы обладают определенным электрическим зарядом, возникающим в результате сил трения ⁽²⁾. Две глинистые породы, используемые нами, очень резко отличаются друг от друга как по составу и строению, так и по физико-химическим свойствам. Каолинит представлен каолином положительным, имеющим в своем составе незначительную примесь галлуазита. Основным показателем, отражающим активность поверхности образца, является эффективная поверхность S_0 . Определенная по адсорбции паров воды для каолинита $S_0 = 36 \text{ г/м}^2$. Аскангель представляет собой породу, глинистая фракция которой полностью состоит из монтмориллонита. Его эффективная удельная поверхность, так же определенная по адсорбции паров воды, равна 320 г/м^2 ⁽¹⁾.

Мерзлые основания для намерзания льда готовились следующим способом. Глины в воздушно-сухом виде растирались до пылеобразного состояния, затем они, а также песок, увлажнялись дистиллированной водой. Количество добавляемой влаги не превышало определенного предела, что гарантировало образование мерзлой породы с массивной текстурой (для каолина влажность составляла 32,8%, для аскангеля 61,3%). Замораживание увлажненных грунтов осуществлялось при определенной температуре в кюветах из органического стекла. Приготовленные таким способом мерзлые образцы имели размеры $10 \times 10 \times 3 \text{ см}^3$.

Намораживание льда проводилось послойно в холодильном шкафу, имеющем заданную температуру. Было проведено три серии намораживания при температурах -5 , -12 и -25°C . Регистрация температуры осуществлялась высокочувствительным полупроводниковым датчиком. Образцы выдерживались до заданной температуры, после чего пипеткой проводился залив охлажденной до 0° дистиллированной водой слоями по 1,5 мм. Новый слой заливался только после того, как предыдущий приобретал установленную температуру.

Четвертая серия образования ледяного покрытия осуществлялась в холодильной камере при температуре -5°C из капельно-парообразной фазы с ветровым уплотнением. Распыление воды достигалось при помощи пульверизатора, а действие ветра моделировалось вентиляционным устройством.

Таблица 1

Результаты определения элементов структуры ледяных покрытий

Материал основания	Температура намерзания, $^{\circ}\text{C}$	Расстояние шлифа от поверхности основания, см	Число кристаллов в единице объема, R	Поверхность кристаллов на единицу объема P , cm^2/cm^3	Коэффициент извилистости, C
Аскагель	-5	0	3 864	100,77	2,56
	-5	3	278	27,43	3,40
	-12	0	4 456	100,70	2,24
	-12	3	347	40,97	2,97
	-22	0	74 627	244,04	2,44
	-5^*	0	2 645	109,52	2,00
Каолин	-5	3	1 176	67,06	2,51
	-5	0	1 299	67,53	2,37
	-5	3	54	21,92	2,52
	-12	0	2 004	82,97	2,25
	-12	3	893	56,11	2,47
	-22	0	15 625	143,59	2,74
Песок	-5^*	0	2 941	82,64	2,19
	-5	3	5 882	106,47	2,52
	-5	0	565	56,50	2,37
	-5	3	115	30,24	2,93
	-12	0	2 041	78,17	2,26
	-12	3	540	49,71	2,36
Кварц Стекло	-12	0	1 388	58,02	2,05
	-12	0	847	56,78	1,60
	-12	3	1 190	64,28	2,25

* Лед, полученный из капельно-парообразной фазы.

Изучение структуры образцов льда проводилось в холодильной камере при температуре -15°C при помощи микроскопов МИН-8 (в отраженном) и МИН-5 (в проходящем свете). Аншлифы и шлифы вырезались параллельно и перпендикулярно поверхности основания намерзания из различных горизонтов ледяного покрытия: непосредственно у контакта с основанием и на расстоянии 10 и 30 мм. Данные по ориентировке оптических осей кристаллов были получены при помощи федоровского столика ФС-5 в сочетании с микроскопом. Параметры форм и размеров кристаллов определялись по микрофотографиям, полученным с помощью аппарата «Зенит», установленного на микроскопе. Кристаллографические параметры оценивались в виде средних значений из измерений, число которых было не меньше 100.

Смоделированные ледяные покрытия имеют гипидиаморфнозернистую или аллотриаморфнозернистую структуру, близкую к равномернотернистой. В плоскости контакта зерна имеют более или менее правильную форму с достаточно равными ребрами, а в плоскости перпендикулярного среза вытянуты — их высота приблизительно в 2—4 раза больше поперечника. Пористость и включения жидкой фазы под микроскопом не отмечались.

Ориентировка оптических осей кристаллов тяготеет к поясной, за исключением двух случаев, когда намерзание велось из капельно-парообразной фазы. Большинство кристаллов имеет отрицательное удлинение.

Результаты проведенного комплекса исследований структуры ледяных покрытий на разных грунтовых мерзлых основаниях приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют, что одним из основных факторов, влияющих на формирование структуры приконтактных слоев ледяных покрытий, является воздействие инородной подложки (мерзлого основа-

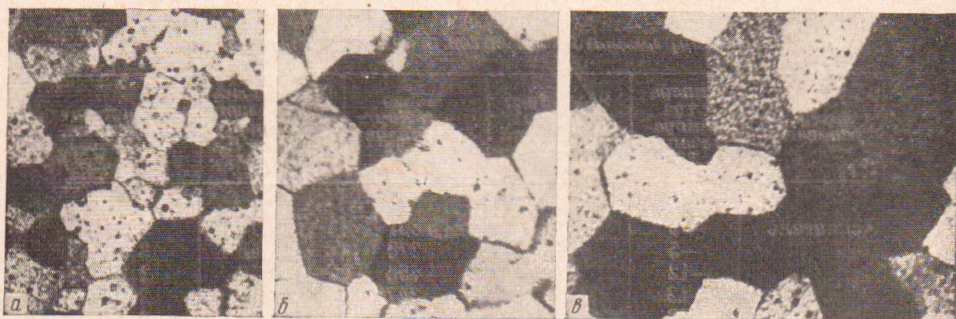


Рис. 1. Структура намороженного при температуре -5° приконтактного слоя льда на аскангеле (а), каолине (б) и песке (в). $20\times$

ния). По характеру активности материалы основания располагаются в последовательности стекло — кварцевая пластинка — песок — каолин — аскангель. Самые крупные кристаллы образовались на охлажденном стекле, наиболее мелкие — на мерзлом аскангеле (рис. 1). Кристаллы приконтактных слоев льда уменьшаются с повышением электрических и адсорбционных свойств подложек, но наиболее резкие изменения наблюдаются при температуре намораживания, равной -5°C . По-видимому, в режиме высоких отрицательных температур структура льда наиболее

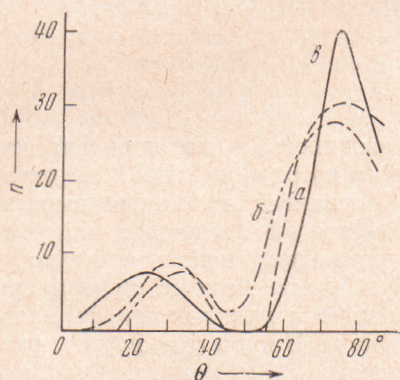


Рис. 2. Ориентировка оптических осей кристаллов приконтактных слоев льда, образованных при $t = 5^{\circ}\text{C}$ на монтмориillonите (а), каолине (б) и песке (в); n — число кристаллов, θ — углы ориентировки оптических осей относительно горизонтальной плоскости

максимальна, и именно в таких условиях максимально сказывается активное воздействие основания на формирование кристаллов ледяного покрытия. С понижением температуры замораживания уменьшаются размеры кристаллов и сглаживается различие в величине их, что свидетельствует об уменьшении влияния активной поверхности.

Можно считать, что воздействие поверхности на льдообразование обусловлено строением и составом минеральной составляющей мерзлой породы. На границе с одними веществами определяющее влияние оказывают электростатические силы (песок), с другими — преобладают кристаллохимические формы воздействия (глина), а третьи лишь индуктивно влияют на внешние термодинамические условия льдообразования (стеклянная пластинка).

Влияния подложки на кристаллизацию осложняются наличием промежуточного структурированного слоя прочносвязанной воды или жидкообразного слоя на поверхности самого льда. Присутствие жидкообразного слоя обнаружено новейшими методами и в настоящее время признается большинством специалистов-гляциологов. Заметного влияния подложки на ориентировку кристаллов нами не обнаружено. Кристаллы ориентиро-

ваны оптическими осями преимущественно в плоскости контакта независимо от качества подложки (рис. 2). По-видимому, этот компонент структуры ледяного покрытия определяется только термическими характеристиками среды.

Согласно данным, приведенным в табл. 1, структура льда закономерно меняется по мере удаления от контакта с мерзлой подложкой. В силу ортотропного роста кристаллов, они значительно крупнее на расстоянии 3 см от поверхности подложки, чем в приконтактных слоях. Но размеры кристаллов в плоскости 3 см от контакта не одинаковы, что особенно обнаруживается на значениях усредненного объема кристаллов.

От структуры приконтактного слоя льда зависят механические, физические и физико-химические свойства мерзлой породы. Особенно сказывается влияние приконтактного льда на адгезию, значение которой в зависимости от размеров кристаллов может меняться на целый порядок.

Таким образом, мерзлое основание оказывает активное воздействие на формирование структуры ледяного покрытия;

в структуре ледяного покрытия влияние поверхности основания отражается на размерах и формах кристаллов и заметно не сказывается на характере преобладающей ориентировки оптических осей. Размеры кристаллов уменьшаются с увеличением степени активности основания;

с понижением температуры замерзания уменьшаются размеры кристаллов и воздействие поверхности основания на структуру льда становится менее заметным.

Отмеченный факт позволяет считать, что даже на таком удалении поверхность инородного основания воздействует через промежуточные слои льда на формирование его структуры.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
8 X 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Р. И. Злочевская, Связанная вода в глинистых грунтах, М., 1969. ² Чжао Цзэ-сань, Электрические заряды на поверхности минеральных частиц и их влияние на формирование связей в дисперсных грунтах. Автореф. кандидатской диссертации, М., 1963. ³ П. А. Шумский, ДАН, 93, № 1 (1953).