

УДК 551.793(470.1)

А. С. ЛАВРОВ

СУБГЛЯЦИАЛЬНЫЕ КОМПРЕССИОННЫЕ МОРЕНЫ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ШИТА

В сложном комплексе краевых ледниковых образований европейского Северо-Востока, сформированных южным сектором Баренцевоморского ледникового покрова, широко распространены напорные морены, выраженные в рельефе валами высотой до 50—70 м, шириной 2—5 км, протяженностью десятки километров. Валы, имеющие, как правило, изогнутую форму, выпуклостью обращены к югу, юго-востоку или юго-западу в направлении движения ледника (рис. 1). Поверхность их осложнена холмиками и грядами, вытянутыми параллельно оси валов. Относительная высота грядок от 2—5 до 10—15 м, протяженность 0,1—0,5 км при ширине 20—50 м. Грядки сложены валунным суглинком, реже — песками, или глинами.

Валы напорных морен слабо расчленены эрозией, вследствие чего разрезы этого типа краевых ледниковых образований чрезвычайно редки. Тем больший интерес представляет и тем большее значение имеет поэтому громадный разрез одного из валов, расположенный на правом берегу р. Печоры в 150 км от ее устья — так называемый Вастьянский Конь. Давно известный и изучаемый разрез имеет высоту 70—95 м над урезом Печоры и длину свыше 2 км (рис. 2).

Строение разреза Вастьянский Конь, а также возраст и генезис вскрываемых им отложений интерпретировались по-разному [Попов, 1963; Яхимович, 1970; Зархидзе и др., 1970; и др.]. Наиболее правильна, по нашему мнению, трактовка разреза, предложенная С. Л. Троицким [Гольберт и др., 1973]. В интерпретации С. Д. Троицкого структура обнажения Вастьянский Конь квалифицируется как внешняя морена напора, по терминологии А. А. Асеева [1974], образованная боковым давлением свободного ледникового края. Ледниковый стресс был направлен с юго-востока на северо-запад в предполагаемом направлении движения поздневалдайского ледника.

Геоморфологическое изучение региона показало, что обнажением Вастьянский Конь вскрывается дистальная половина вала напорной морены, абсолютная высота которого достигает +100 м, относительная колеблется от 30 до 60 м, ширина составляет 2,5—3,5 км при общей протяженности вала свыше 50 км (см. рис. 1). На аэрофотоснимках ясно видно, что вал ориентирован с северо-запада на юго-восток и слегка выгнут к юго-западу. К его северо-восточному, проксимальному склону примыкает обширная слабо холмистая поверхность — гляциодепрессия, где располагался языковый выступ ледника. Перед валом располагается полоса холмистоморенного рельефа.

Верхняя часть вала сложена валунным суглинком — основной мореной поздневалдайского ледника с характерными гляциодинамическими текстурами. Мощность ее колеблется от 5 до 20—25 м (см. рис. 2). Морена залегает пологим антиклинальным сводом, на фоне которого хорошо

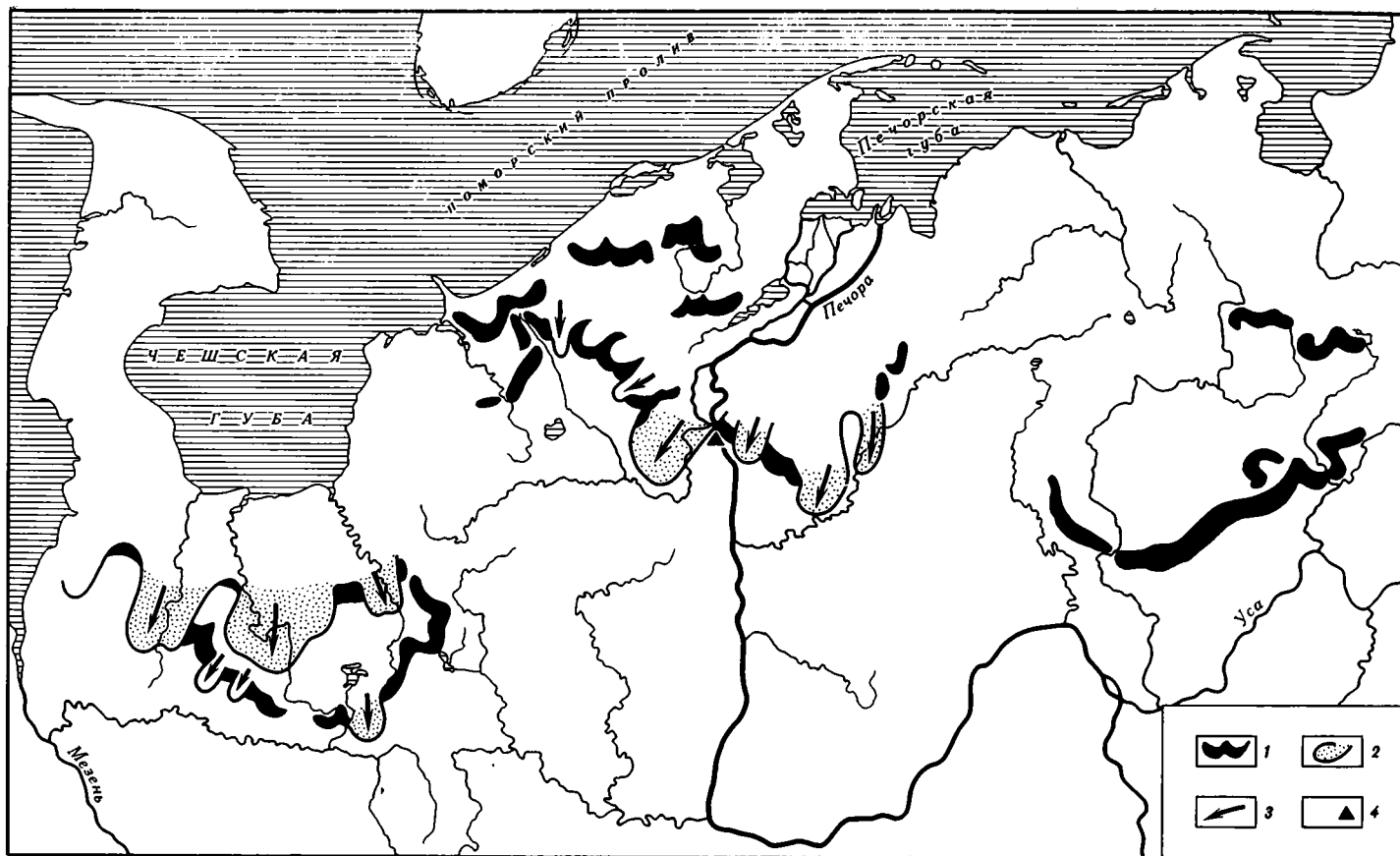


Рис. 1. Расположение субгляциальных компрессионных морен

заметны локальные изгибы ее подошвы, не отражающиеся непосредственно в кровле: Мореной сложено большинство грядок и холмиков на поверхности напорного вала. Облекая оба склона вала, морена в проксимальном направлении переходит в пределы языковой гляциодепрессии и выстилает ее, а с дистальной стороны вала образует полосу холмисто-моренного рельефа.

Под основной мореной залегают пески средней части разреза Вастьянский Конь (см. рис. 2). Они содержат многочисленные прослои аллохтонного торфа мощностью 0,5—3,0 м. Слои песков, хорошо выдержанные по простирацию, обычно занимают наклонное положение. Для текстур песков характерны многочисленные разрывные (микродвиговые микросбросовые) деформации. В левой части разреза песчаная толща смята в крупные неправильные складки (см. рис. 2).

Пески имеют крайне неравномерную мощность: от 15 до 55 м и более. Это обусловлено не столько изгибами лежащей на песках морены, сколько тем, что в нижней части песчаной толщи вдаются громадные, заостренные кверху клинообразные блоки черных оскольчатых глин с фауной морских моллюсков. Своими основаниями блоки глин уходят под урез Печоры, а их острые вершины поднимаются до высоты 20—50 м. Наиболее крупные блоки глин располагаются под наивысшей частью антиклинального изгиба основной морены. Блоки глин воздымаются к юго-западу, вследствие чего их верхние скаты падают на северо-восток под углами от 10° до 30°. Глины нередко, особенно в верхней заостренной части блоков, сильно перемяты. Часто наблюдаются многочисленные зеркала скольжения.

Кроме морских глин, песчаную толщу пересекают пласты валунного суглинка мощностью 0,5—4,0 м. Пласты имеют форму языков, отходящих от подошвы основной морены в местах ее перегибов и спускающихся сверху вниз под углом 25—75° навстречу остриям блоков морских глин (см. рис. 2). Глубины внедрения моренных языков в пески колеблются от 0,5—1,5 до 30—50 м и более. Нередко они полностью пересекают толщу песков и достигают заостренных окончаний блоков глин, входя с ними в непосредственный контакт. При этом глины всегда налегают сверху на моренные языки, которые как бы подклиниваются под них снизу.

В результате этого подморенная толща обнажения Вастьянский Конь оказывается разделенной на серию запрокинутых блоков-чешуй, основания которых образованы блоками морских глин, а верхние части — фрагментами песчаной пачки. Вся толща глин и песков распадается на 14 блоков-чешуй (см. рис. 2, 3).

Многочисленными замерами падения и простираания слоев глин, торфа и песков установлено, что надвигание блоков-чешуй происходило с северо-востока (40—60°) на юго-запад (220—240°). Так как ориентация плоскости обнажения Вастьянский Конь по отношению к странам света изменяется от северо-западной в левой части до юго-восточной в правой, блоки-чешуи рассечены эрозией под различными углами. На плоской зарисовке обнажения отражается поэтому лишь сам факт запрокинутого положения блоков-чешуй. Но при этом создается ложное впечатление о воздымании их к северо-западу (см. рис. 2). По-видимому, эта иллюзия и привела С. Л. Троицкого [Гольберт и др., 1973] к заключению о давлении ледникового края с юго-востока на северо-запад.

Нами была произведена трансформация детальной схемы-зарисовки обнажения с учетом замеров элементов залегания слоев песка, торфа, глин, а также ориентировки грядок на поверхности напорного вала и искривления плоскости обнажения. Посредством подобной трансформации первичная зарисовка была приведена к тому виду, какой бы она имела, если бы разрез пересекал напорный вал в поперечном направлении

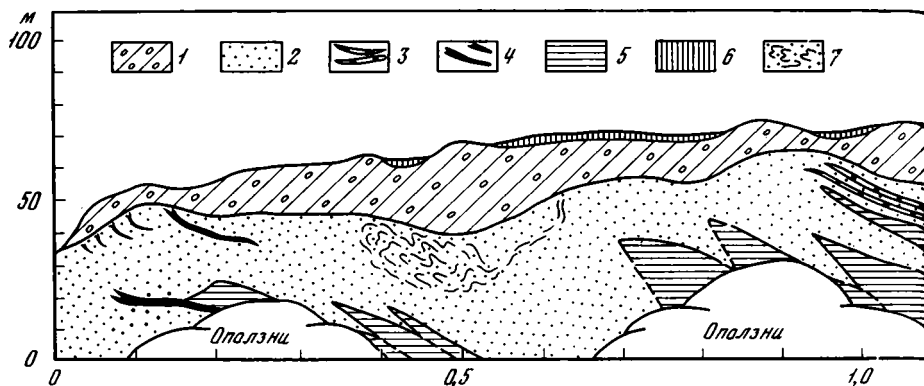


Рис. 2. Строение обнажения Вастьянский Конь

1 — основная морена (валунный суглинок); 2 — песчаная толща; 3 — прослой аллохтонного торфа в песках; 4 — моренные языки; 5 — морские глины; 6 — озерные и болотные отложения (пески, суглинки, торф); 7 — крупные дислокации в песчаной толще

(с юго-запада на северо-восток). Форма и ориентировка блоков-чешуй на трансформированном разрезе (см. рис. 3) не оставляет сомнений в том, что надвигание их происходило не в северо-западном, а в юго-западном направлении.

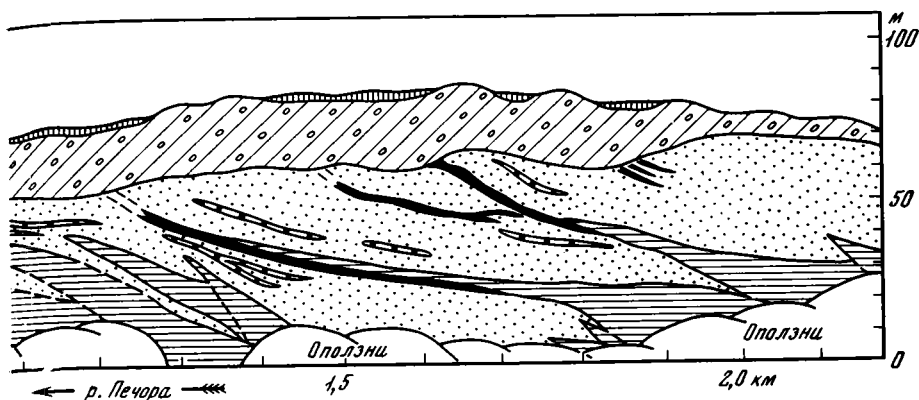
Морфология и взаимоотношения блоков-чешуй, запрокинутое залегание слоев, изгибы подошвы морены, перекрывающей блоки-чешуи, интенсивные пластические деформации глин в местах их выклинивания и ряд других особенностей структуры разреза Вастьянский Конь позволяют предположить, что чешуйчато-надвиговое сооружение рассматриваемого моренного вала — результат проявления смещений, квалифицируемых в инженерной геологии как «глубокий сдвиг» [Коломенский, 1956]. При появлении вертикальной нагрузки от сооружения в породах под фундаментом развиваются как нормальные, так и касательные усилия. Последние в том случае, когда удельное давление от сооружения превысит некоторую допустимую величину, зависящую от устойчивости пород, разрешаются сдвигом по криволинейной поверхности, захватывающей нередко весьма глубоко залегающие слои. Породы выдавливаются из-под основания сооружения с одной из его сторон, где образуется вспучивание, в то время как противоположная часть выдавленного блока (и само сооружение) оседает.

Имеются все основания каждый из блоков-чешуй разреза Вастьянский Конь рассматривать как результат «глубокого сдвига», приведшего к выдавливанию пород ледникового ложа из-под края ледника. Весь же напорный вал в целом представляет собой сложное сочетание последовательно выдавленных блоков.

Из этого следует, что напорные валы с линейно-грядовым рельефом поверхности образованы не горизонтальным давлением (динамическим воздействием) края активного льда, а вертикально действовавшей статической нагрузкой льда, находившегося в пассивном состоянии.

Данный вывод весьма важен в палеогляциологическом отношении. Он заставляет нас связывать образование моренных валов с линейно-грядовым рельефом поверхности не с периодами наступания активного ледника, а с тем или иным этапом стабилизации положения ледникового края при переходе его в пассивное состояние.

Изучение строения зон смещения, разделяющих блоки-чешуи, позволило сделать вывод, что формирование напорной морены Вастьянский.



Конь происходило в субгляциальных условиях. Развитие зон смещения разделяется на шесть основных этапов.

Этап 1. Начало надвига блока-чешуи: образование закрытых трещин в возникающей зоне смещения по всей ее протяженности (рис. 4, а).

Этап 2. Запрокидывание блока-чешуи в сторону источника давления. Раскрытие трещин верхней части зоны смещения (рис. 4, б). Развивается процесс обрушения стенок трещин. Вначале по вертикали вдоль локальных разрывов проседают отдельные куски. Затем они обрушиваются в виде глыб, хаотично располагающихся по отношению друг к другу. Полное отсутствие пластичных деформаций — изгибов и смятий слоев — и остроугольная форма песчаных глыб свидетельствуют о том, что песчаная толща находилась в этот момент в мерзлом состоянии.

Этап 3. Образование в верхней части зоны смещения синклинальной складки в результате пластической деформации слоев ледникового ложа, прилегающих к подошве мореносодержащего льда (рис. 4, в). Слои песков без разрыва их сплошности втянуты в полости зоны смещения блоков-чешуй. Здесь они запечатывают сверху хаотичное нагромождение глыб мерзлого песка. Глубина синклинальной складки увеличивается по мере развития процесса. Слои песка на крыльях складки все более и более растягиваются и утончаются. Обычно эти слои уничтожаются на следующем, четвертом этапе развития зоны смещения.

Этап 4. Внедрение в верхнюю часть зоны смещения языка моренного суглинка (рис. 4, г). Валунный суглинок моренных языков аналогичен основной морене, но в меньших по размеру (до 10 м) языках валунные суглинки характеризуются пониженной плотностью и бесструктурностью.

В начальную фазу инъектирования валунный суглинок заполняет синклинальную складку песков, образованную на третьем этапе. По мере углубления инъекции объемы валунного суглинка, введенного в зону смещения, растут. Размеры внедрившегося пласта достигают десятков метров. Структуры этапов 2 и 3 уничтожаются (рис. 4, д, е).

Этап 5. Отрыв языка валунного суглинка от основной морены и повторное втягивание в зону смещения отложений верхней части ледникового ложа (рис. 4, д, е). Отрыв моренного языка от основной морены наблюдается в большей части зон смещения. Основание языка всегда располагается в непосредственной близости от подошвы морены.

Этап 6. Вторичное внедрение языков валунного суглинка в зону смещения (рис. 4, е) фиксируется хорошо очерченным выступом подошвы основной морены клиновидной или округлой формы, направленным в сторону оторвавшегося основания первого моренного языка (рис. 5). Вто-

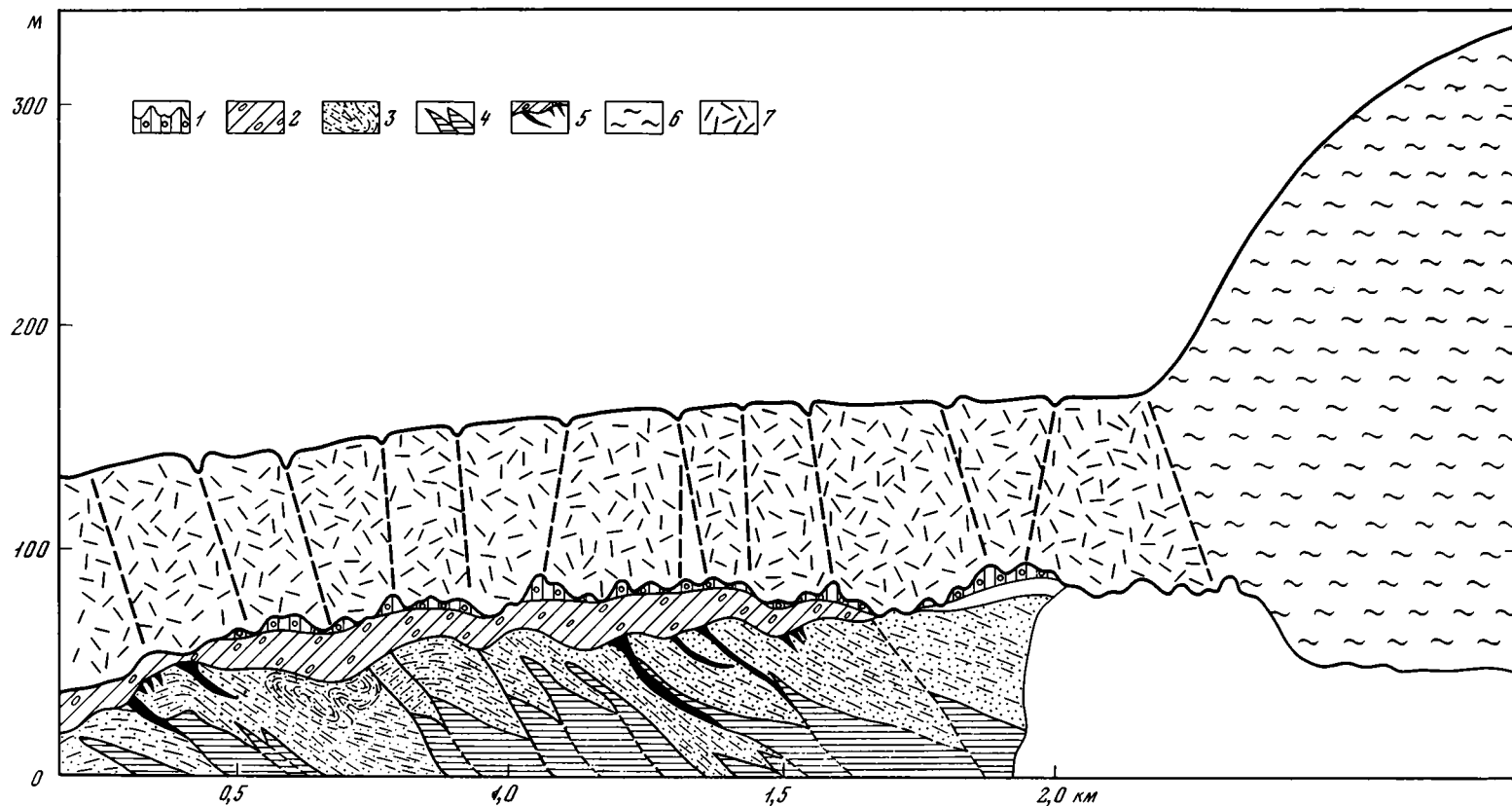


Рис. 3. Схема строения дистальной части вала субгляциальной компрессионной морены (на примере обнажения Вастьянский Конь)

1 — грядки и холмики на поверхности вала; 2 — горизонт основной морены; 3 — песчаная толща (штрихами показано залегание слоев и их деформация); 4 — блоки морских глин; 5 — моренные языки; 6 — пассивный лед; 7 — мертвый лед

ричное внедрение валунного суглинка наблюдается редко и не приводит к образованию крупных моренных языков.

Ряд характерных особенностей развития и структуры зон смещения свидетельствует о пассивной роли языков валунного суглинка в процессе их внедрения. Основные из них следующие.

1. Последовательность заполнения верхней части зоны смещения. Образование глыб мерзлых пород (этап 2) предполагает существование пустоты перед острием внедряющегося мореносодержащего льда, что маловероятно в случае активного внедрения.

2. Незначительные размеры многих языков валунных суглинков по сравнению с масштабами разрывных нарушений в зоне смещения и величиной горизонтальных и вертикальных смещений соседних блоков-чешуй.

3. Отрыв моренного языка от основной морены, который не мог бы произойти, если бы активным началом в процессе инъецирования было динамическое давление ледника на подстилающие породы.

4. Отсутствие деформаций пород в стенках зон смещения. При наличии активного начала со стороны моренных языков их проникновение в подстилающие породы привело бы к раздвиганию стенок трещин, что даже в мерзлых породах неизбежно сопровождалось бы появлением в слоях деформаций, поперечных направлению внедрения.

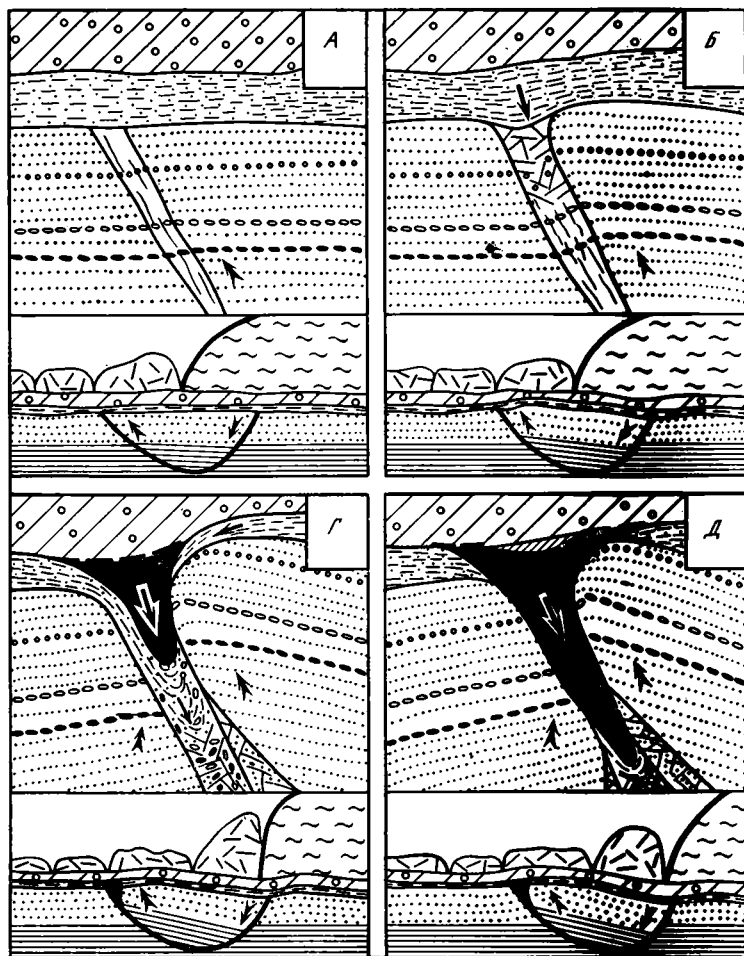
5. Обратные соотношения между направлением внедрения языков валунного суглинка и движением ледника в данном регионе. Падение моренных языков во всех без исключения случаях направлено вниз и навстречу движению ледника в фазу его активного состояния, что не согласуется с вектором ориентированного давления, создаваемым движущимся ледником.

Очевидно, что валунный суглинок моренных языков мог обладать необходимой пластичностью, граничащей с текучестью, только находясь еще в составе мореносодержащего льда, в приподошвенном слое последнего.

Представляется наиболее вероятным, что инъецирование мореносодержащего льда шло в раскрывавшиеся полости зон смещения при «глубоком сдвиге» блоков-чешуй. Статическое, вертикально направленное давление мертвого льда загоняло в возникавшие под ним пустоты сначала талые слои верхней части ледникового ложа (этап 3) и лишь затем запрессовывался мореносодержащий лед. Не исключено, что быстрое раскрытие трещин зоны смещения сопровождалось образованием в них области пониженного давления. Возникавший эффект всасывания мог заметно интенсифицировать заполнение пустот полуразжиженными слоями верхней части ледникового ложа и мореносодержащим льдом, а также провоцировать отрыв моренных языков от основной морены.

Условия и механизм формирования напорных морен, подобных вскрываемой в разрезе Вастьянский Конь, представляются в следующем виде.

В процессе деградации Баренцевоморского ледникового щита периодически происходило отчленение обширных участков его краевой зоны от области питания. Рубежи отчленения обычно контролировались зонами тектонических разломов литосферы [Лавров, 1976]. С дистальной стороны рубежей отчленения ледяной покров быстро терял свою мощность, в то время как располагавшийся с проксимальной стороны край ледника не утрачивал связи с областью питания и, переходя в пассивное состояние, сохранял относительно большую мощность. Различие в мощности приводило к появлению перепада давления на ложе вдоль стыка мертвого и пассивного льда. Вследствие неравномерной компрессии в породах ледникового ложа развивался процесс «глубокого сдвига», при-

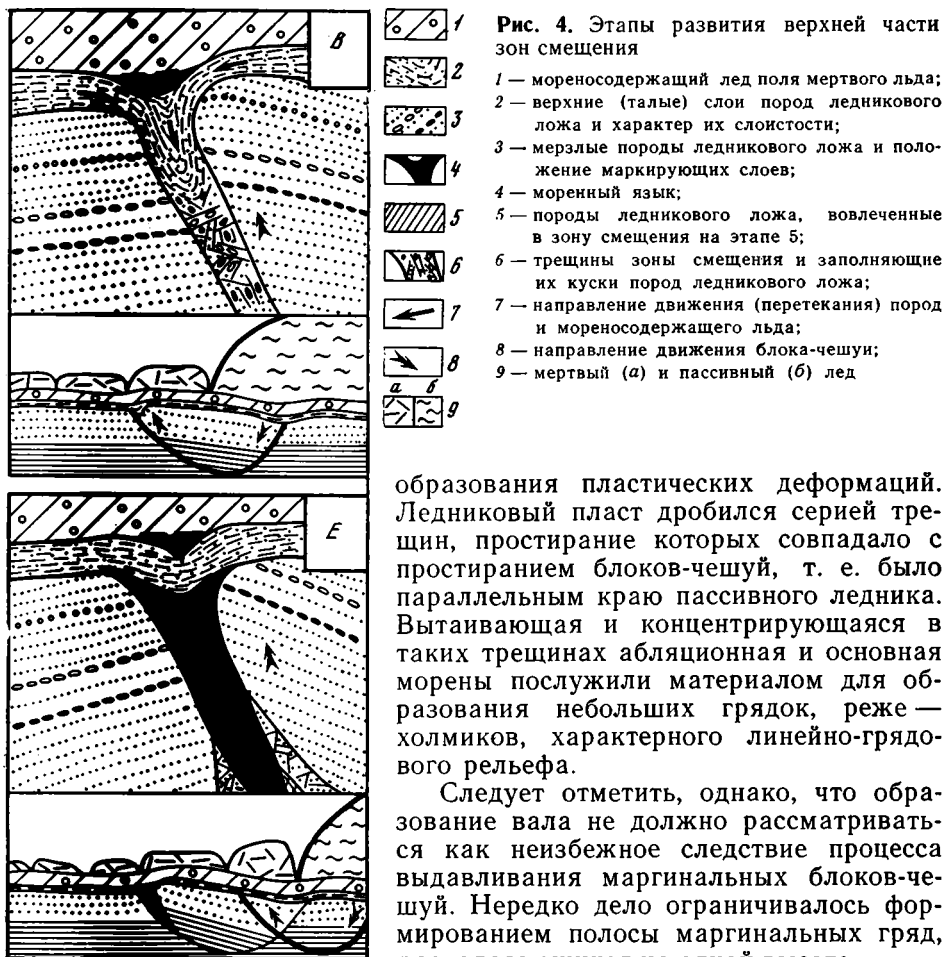


уроченный к зоне перепада давления, т. е. к линии контакта пассивного и мертвого льда. Механическим выражением этого процесса было выдавливание из-под края пассивного льда блоков-чешуй пород ледникового ложа.

Фронт пассивного льда постепенно разрушался путем проседания и отседания сегментов льда, располагавшихся непосредственно над выдавливаемыми блоками-чешуями пород ложа. Отчленившиеся сегменты переходили в состояние мертвого льда, теряли мощность, и это создавало условия для выдавливания очередного блока-чешуи (рис. 4, г, д, е). Фронт пассивного льда отступал, оставляя за собой зону маргинальных сдвиговых блоков-чешуй. Очертания зоны в плане очень точно и выразительно фиксируют положение края ледниковых языков и микроязыков (см. рис. 1).

Воздымание дистального края блоков-чешуй, передаваясь на пласт перекрывающего их мертвого мореносодержащего льда, нередко изгибало его в виде антиклинального свода различной амплитуды. После полного стаивания льда этот свод принимал вид пологого вала различной высоты.

Образование грядок и холмиков на поверхности вала, по-видимому, объясняется тем, что толща мертвого льда не могла или не успевала полностью воспринять давление выпирающих снизу блоков-чешуй путем



образования пластических деформаций. Ледниковый пласт дробился серией трещин, простирание которых совпадало с простиранием блоков-чешуй, т. е. было параллельным краю пассивного ледника. Вытаивающая и концентрирующаяся в таких трещинах абляционная и основная морены послужили материалом для образования небольших грядок, реже — холмиков, характерного линейно-грядового рельефа.

Следует отметить, однако, что образование вала не должно рассматриваться как неизбежное следствие процесса выдавливания маргинальных блоков-чешуй. Нередко дело ограничивалось формированием полосы маргинальных гряд, располагающихся на одной высоте.

Таким образом, напорная морена, вскрываемая обнажением Вастьянский Конь, формировалась в процессе глубокого сдвига многочисленных блоков пород ледникового ложа, происходившего в подледных, субгляциальных условиях. Исходя из этого, маргинальные валы с характерным линейно-грядовым рельефом поверхности, а также полосы линейно-грядового рельефа, не образующие заметного вала, следует рассматривать как субгляциальные компрессионные морены. Этот термин, весьма точно отражающий условия и причины образования данного типа напорных морен, отличается, к сожалению, некоторой тяжеловесностью. Приемлемым эквивалентом может служить термин «морена подледного выдавливания».

В заключение остановимся еще на одном факте, характеризующем динамическое состояние ледникового края, формировавшего субгляциальные компрессионные морены. На многих участках валы морен как бы обрублены в поперечном направлении (см. рис. 1). Изучение разрезов показало, что это явление обусловлено локальными подвижками ледникового фронта, носившими отчетливо выраженный пульсационный характер. Подвижки обуславливались, по-видимому, неравномерным таянием участков полей мертвого льда, примыкающих к фронту пассивного ледника и игравших по отношению к последнему роль контрфорсов. Пульсационные ледниковые языки на отдельных участках ледникового



Рис. 5. Основная морена (вверху) и подморенные пески. Фото автора

Песчаная толща разделена верхней частью зоны смещения с оторвавшимся первым моренным языком и развивающимся вторым

фронта прорывали субгляциальные компрессионные морены, ассимилируя их верхние части, но не затрагивая корней.

Возможно, что причина локального наступания ледника была иной. Но в любом случае оно свидетельствует о достаточно высокой способности ледника к возобновлению продвижения вперед, о том, что ледник находится в промежуточном состоянии между ярко выраженной активностью и полной неподвижностью.

ЛИТЕРАТУРА

- Асеев А. А.* Древние материковые оледенения Европы. М., 1974.
- Гольберг А. В., Гудина В. И. и др.* Новые данные о возрасте и генезисе четвертичных отложений в обнажении Вастьянский Конь на р. Печоре.— В кн.: Плейстоцен Сибири и смежных областей. М., 1973.
- Зархидзе В. С., Краснов И. И. и др.* Основные разрезы Нижней Печоры и их значение для познания последних этапов геологического развития северо-востока Европейской части СССР.— В кн.: Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Л., 1970.
- Коломенский Н. В.* Инженерная геология. М., 1956. Т. 2.
- Лавров А. С.* Петрографический метод датирования морен и результаты его применения при аэрофотогеологическом картировании северо-восточной части Русской равнины. Общая и региональная геология; геологическое картирование: Экспресс-информация, 1976, № 10.
- Попов А. И.* Плейстоценовые отложения в нижнем течении р. Печоры.— В кн.: Кайнозойский покров Большеземельской тундры. М., 1963.
- Яхимович В. Л.* К плейстоценовой истории Печорского бассейна.— В кн.: Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Л., 1970.