

УДК 624.131+551.79

**ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ  
ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ  
ЛЕДНИКОВОГО КОМПЛЕКСА БЕЛАРУСИ**

**Костюкович П.Н.**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

С целью более тесной увязки геохронологии и стратиграфии отложений ледникового комплекса разработана геодинамическая концепция их формирования, построенная на единстве термодинамических явлений, сопровождающих движение южной кромки ледника, с геологическими процессами непрерывного размыва ледникового склона и образования моренных и флювиогляциальных отложений.

The author developed a geodynamic concept of formation of glacial deposits for the relationship between the Geochronology and stratigraphy of the complex glacial deposits. This concept is based on the unity of the thermodynamic phenomena accompanying the movement of the southern edge of the glacier, with the geological processes of continuous erosion of the ice slope and the formation of moraine and glaciofluvial deposits.

Отсутствие достаточной геологической информации об антропогенных оледенениях Беларуси (напр., до сих пор неизвестны причины их появления и ухода, скорости наступания и отступления на

разных этапах развития ледника, изменение мощности ледника по пути его движения, продолжительность «стоянки»  $\Delta t_2$  у предельной границы распространения  $L$  перед отступанием на север и т.д.) приводит к тому, что многие стороны этого геодинамического явления не имеют однозначных решений или вообще не рассмотрены. В первую очередь это относится к важной теоретической проблеме – соотношению времени образования морен и флювиогляциальных отложений со стратиграфией их залегания в геологических разрезах. Проблема возникла из-за принципиального отличия морского осадконакопления (напр., напластований галоидов, известняков, доломитов, гипсов) от ледникового. Можно с большой достоверностью принять, что в морских условиях, где нет течений и кратковременных обмелений, осадконакопление происходит практически равномерно по площади и непрерывно во времени, что не ставит препятствий для увязки стратиграфии этих отложений с их геохронологией.

Совершенно иная «технология» осадконакопления присуща периодам континентальных оледенений, нерегулярно сменяющихся межледниковьями. Известны две концепции описания этой «технологии». Первую по ее содержанию, теоретическим основам и методологии можно назвать «геоморфологической». Она строится на результатах анализа движения и строения современных ледников и обнажений морен, выходящих на дневную поверхность и образующих ее рельеф. И как следствие принимается два важных положения. Согласно первому *при одном оледенении может формироваться множество различных (по местоположению, литологии и т.д.) морен* (основные, поверхностные, внутренние, донные, боковые, конечные, отложенные, перемещаемые и т.д.), количество которых достигает не менее 40 [6].

Согласно второму положению формирование отложений ледникового комплекса подчиняется *трехслойной модели*. В этой модели, в неявном виде составляющей основу современной стратиграфической схемы четвертичных отложений [1, 2, 5], флювиогляциальные отложения, залегающие между соседними моренами, относятся к «нерасчлененным» и по генезису принадлежат к этим двум оледенениям: наревско-березинские (*fInr-br*), березинско-днепровские (*fIbr-II dn*), днепровско-сожские (*fII dn-sz*), сожско-поозерские (*fIII sz-III pz*) (рис. 1). Отсюда можно заключить, что в «геоморфологиче-

ской» концепции граница между оледенениями проходит где-то между моренами по нерасчлененным флювиогляциальным отложениям и указывает на то, что при каждом оледенении формируется по три слоя: морена и два ее флювиогляциальных (под мореной и над нею). Некорректность «трехслойной» модели оледенений очевидна и заключается в допущении, что после отложения морены ледник не исчезает, а продолжает «жить» и формирует третий слой – надморенный флювиогляциальный (рис. 2).

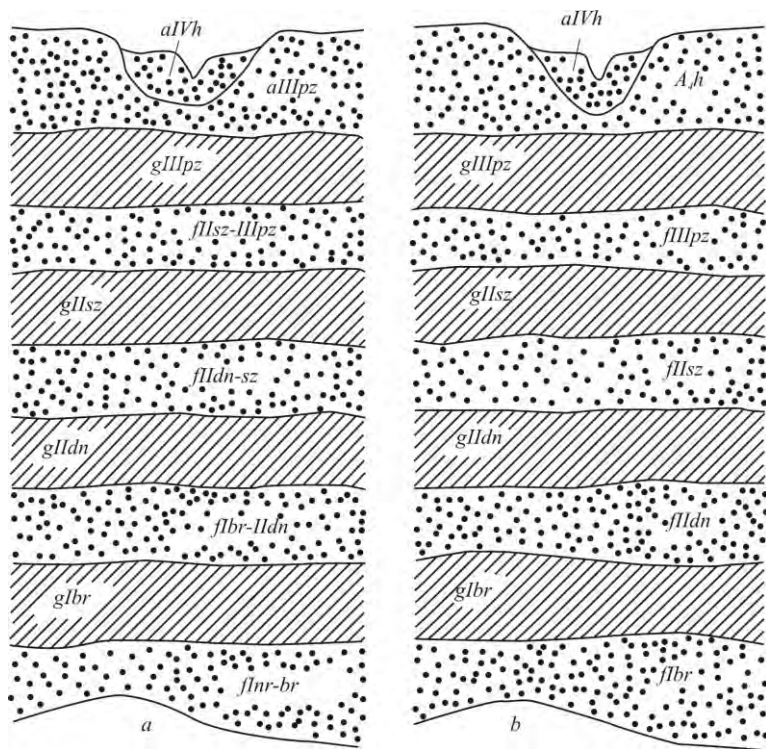


Рис. 1. Схема стратиграфического сопоставления морен (g) и их флювиогляциальных отложений (f) в геоморфологической (a) и геодинамической (b) концепциях формирования пород ледникового комплекса в зоне

$$L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = f(nr, br, dn, sz, pz):$$

a – каждая морена, т.е. каждое оледенение, формирует два пласта флювиогляциальных отложений: подморенный и надморенный; b – оледенения формируют (оставляют после себя) только по одному пласту флювиогляциальных отложений, залегающих непосредственно под своей «матерью-мореной»

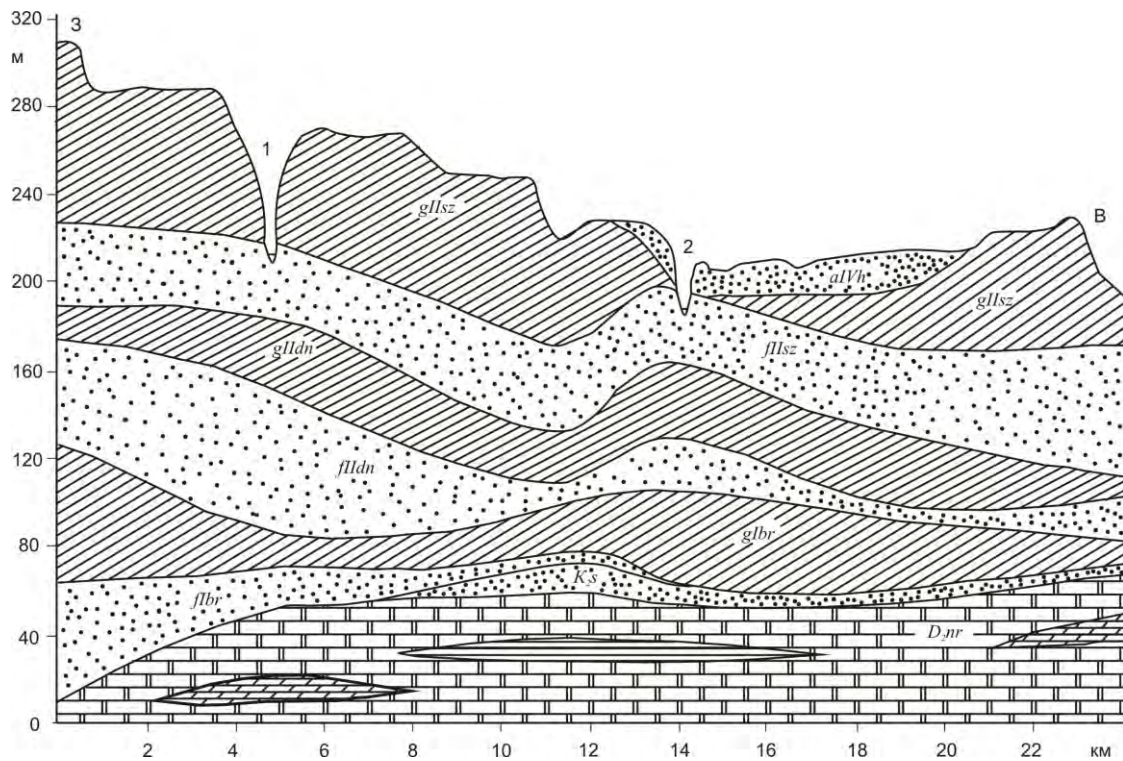


Рис. 2. Пример двухслойной модели формирования морен (*g*) и флювиогляциальных отложений (*f*) в геологическом разрезе «Запад-Восток» на междуречье «Птичь – Свислочь»: 1 и 2 – русла рек Птичь и Свислочь. По материалам Белнигри

Гидравлика водно-ледниковых потоков подсказывает, что генезис надморенных флювиогляциальных отложений можно объяснить другой, более реальной моделью. Вполне логично принять, что источником формирования морены и подморенных флювиогляциальных отложений является тело ледника. Но когда ледник оттаял и его скелет, состоящий из обломочного материала, превратился в морену, геологическая основа для появления мощных водных потоков и формирования надморенных флювиогляциальных отложений исчезает и начинается образование надморенных отложений, характерных для теплых периодов – межледниковий: торф с пыльцой и спорами, гиттии, супесь гумусированная с семенами растений, аллювиальный песок, мергель болотный и др. В то же время в геологических разрезах над моренами эти отложения отсутствуют, а залегают флювиогляциальные, представленные мощными пластами (рис. 3). Совершенно ясно, что это отложения следующего или последующих оледенений, подвергших экзарации и впитавших (точнее, вморозивших) в себя отложения межледниковья. Поэтому есть основание полагать, что при каждом оледенении формируется не три, а два слоя – морена и подморенные флювиогляциальные отложения, в составе которых содержится практически весь спектр образований предыдущего межледниковья (таблица).

Наши исследования площадных и временных режимов осадко-накопления в ледниковые и межледниковые периоды показали [3, 4], что теория геохронологии моренных и межморенных образований не учитывает такой важный фактор как соотношение (по температурному режиму и продолжительности) между летними и зимними сезонами года на южной кромке ледников (на движущейся окраине  $L(t)$  ледникового склона) при их наступании ( $\Delta t_1$ ), «стоянке» ( $\Delta t_2$ ) и отступании ( $\Delta t_3$ ). Данный фактор в совокупности с интенсивностью осадков, непрерывностью движения тела ледника, дискретностью замерзания – таяния его южной кромки  $L(t)$ , скоростью похолодания (при наступании) и потепления (при отступании) играет решающую роль в формировании водных потоков, геологического разреза, его геохронологии и стратиграфии.

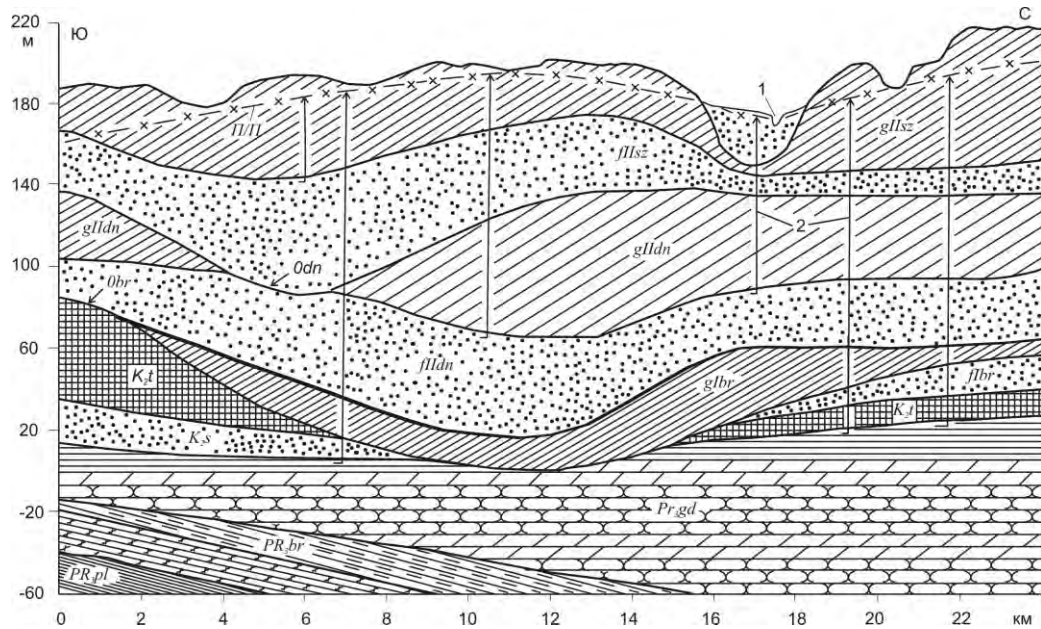


Рис. 3. Обширные литологические окна *Odn* и *Obr* в днепровской *glldn* и березинской *glbr* моренах объединяют артезианские водоносные горизонты осадочной толщи в единый водоупорный комплекс с общей пьезометрической поверхностью *III*:

1 – русло реки Уса в районе водозабора «Волма»

Положение морен (*g*), флювиогляциальных отложений (*f*) и образований межледниковий (*A<sub>1bs</sub>*, *A<sub>1nl</sub>*, *A<sub>2al</sub>*, *A<sub>2sk</sub>*, *A<sub>3mr</sub>*, *A<sub>4h</sub>*) в геохронологической шкале антропогена Беларуси в соответствии с геодинамической концепцией их формирования в зонах  $\Delta L_1$  и  $\Delta L_2$



С целью уточнения «геоморфологической» концепции формирования четвертичных отложений была разработана альтернативная – *геодинамическая*; она существенно отличается от первой и базируется на единстве термодинамических явлений, сопровождающих однонаправленное движение ледника, – с одной стороны, и геологических процессов, порождаемых сезонным таянием и разнонаправленным движением южной окраины ледникового склона  $L(t)$  – с другой, – с геодинамическими процессами постоянного размыва ледникового склона и оседания оттаявшего тела ледника (при отступании), приводящих к формированию морен, флювиогляциальных, озерно-ледниковых и других отложений ледникового комплекса. В итоге содержание геодинамической концепции сводится к следующим положениям [3, 4].

1. Необходимо различать два внешне схожих понятия: «движение ледника» и «движение южной границы (окраины) ледника» или, точнее, кромки ледникового склона  $L(t)$ . Движение ледника на протяжении всего периода оледенения  $T$  происходит в одном направлении – с севера на юг, движение окраины ледникового склона – в противоположных направлениях: в период наступания ледника ( $\Delta t_1$ ) – с севера на юг и совпадает с движением самого ледника; в период отступания ( $\Delta t_3$ ) – с юга на север и противоположно направлению движения ледника; в период «остановки» ледника ( $\Delta t_2$ ) однонаправленное движение южной кромки ледникового склона прекращалось, хотя сам ледник продолжал двигаться на юг.

2. С целью объективной характеристики временного и площадного формирования отложений в периоды оледенений в продольном геологическом разрезе тела ледника, совпадающем с направлением его движения (север-юг), необходимо выделять три характерные зоны:  $\Delta L_1$  – зона материкового ледника (северная зона оледенения), в которой ледник непрерывно движется на юг под действием прибывающего с севера льда, наполненного обломочным материалом; в этой зоне однонаправленное движение ледника на юг сопровождается мощной экзарацией ложа и имеет место на протяжении всего периода оледенения

$$T = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = t_4 - t_1, \quad (1)$$

в период наступания  $\Delta t_1 = t_2 - t_1$ , в период «остановки»  $\Delta t_2 = t_3 - t_2$  и в период отступания  $\Delta t_3 = t_4 - t_3$ , где  $t_1$  – время появления южной



окрайны наступающего ледника на северной границе Беларуси,  $t_2$  – время остановки движения южной окраины ледника у предельной границы распространения  $L$ ,  $t_3$  – время начала отступления ледника от границы  $L$ ,  $t_4$  – время ухода южной окраины ледника за пределы Беларуси;  $\Delta L_2$  – зона ледникового склона (южная зона оледенения): расположена южнее  $\Delta L_1$ , имеет в разрезе клиновидную форму с возрастающей мощностью в северном направлении и постоянно подвергается сезонному таянию и размыву тальми и дождевыми водами; обладая крутизной склона от 0,01–0,05 до 0,1–0,2 и более (у бровки), ледниковый клин как при наступании, так и при отступании ледника все время движется на юг с неравномерной скоростью и в зависимости от климатических и других факторов «растягивается» в ширину  $\Delta L_2$  на десятки – сотни километров;  $L = \Delta L_1 + \Delta L_2$  – предельная граница распространения ледника (точнее, его южной окраины), определяемая по предельной границе распространения морены этого ледника;  $\Delta L_3$  – сопредельная с южной окраиной ледникового склона *зона отсутствия морены, но развития продуктов ее размыва* – островных (локальных) флювиогляциальных и озерно – ледниковых отложений данного ледника, разнесенных и отложенных водными потоками за пределами границы его распространения  $L$ :

$$\Delta L_3 = f(nr, br, dn, sz, pz), \quad (2)$$

где сопредельные зоны  $\Delta L_3$  являются функциями интенсивности и продолжительности оледенений, а также сезонных (зимне-летних) режимов, геологического строения и рельефа подстилающего ложа.

3. Отложения ледникового комплекса (моренные, флювиогляциальные, озерно-ледниковые и др.) образуются преимущественно в теплые сезоны года и периоды, когда создаются условия для таяния ледника и годового функционирования непромерзающих водных потоков, размывающих ледниковый склон и формирующих соответствующие отложения. Отсюда следует, что южная окраина ледника (кромка его склона), движущаяся на юг вместе с ледником при его наступании и на север против движения ледника (навстречу движению) при его отступании, все время выполняет роль «сеялки» отложений: *при наступании – одноярусной, высеивающей первичные* (присущие периоду наступания ( $\Delta t_1$ ) флювиогляциальные отложения, которые, однако, тут же вмораживаются в тело наступающего

ледника, становятся его скелетом и переносятся южнее, частично оставаясь в мегаложбинах; *при отступании ледника его южная окраина выполняет роль «двухъярусной сеялки» отложений*: на нижнем ярусе «высеваются» вторичные (присущие периоду отступления  $\Delta t_3$ ) флювиогляциальные, на верхнем – ледниковые (морена).

4. Если при наступании ледника первичные флювиогляциальные отложения, образующиеся в результате размыва ледникового склона тальми и дождевыми водами, тут же вместе с отложениями межледниковья подвергаются экзарации и вмораживанию в телонадвигающегося ледника и, таким образом, исчезают из геологического разреза (за исключением территорий южнее предельной границы распространения данного ледника)

$$L(pz) < L(sz) < L(dn) < L(br) < L(nr), \quad (3)$$

то при отступании, наоборот, образовавшиеся (вторичные) флювиогляциальные отложения сразу же покрываются молодой мореной, которая только что сформировалась из уже «одряхлевшего», т.е. оттаявшего и практически остановившегося, но еще не размытого водами, тела ледника. Таким образом, в результате движения «двухъярусной сеялки» в зонах  $\Delta L_2$  и  $\Delta L_1$  окончательно формируется геологический разрез ледниковых периодов. Поэтому можно полагать, что образование флювиогляциальных отложений происходит непрерывно как при наступании, так и при отступании ледника, а морены формируются только в периоды отступления ледника  $\Delta t_3$ , залегая в геологических разрезах над «своими» флювиогляциальными отложениями и венчая собой закат ледниковых эпох. В (3):  $L$  – предельные границы площадного распространения оледенений соответственно поозерского ( $pz$ ), сожского ( $sz$ ), днепровского ( $dn$ ), березинского ( $br$ ) и наревского ( $nr$ ).

5. В период наступания ледника  $\Delta t_1 = t_2 - t_1$  на территориях, покрытых толщей материкового льда мощностью 0,5–2,0 км и более, действие геологических процессов по формированию пластов осадочных пород притормаживается, поэтому образование отложений, остающихся в геологических разрезах после ухода ледника, здесь в этот период не имеет места; в то же время при наступании ледника за пределами зоны оледенения идет образование первичных флювиогляциальных отложений впереди постоянно движущейся и сезонно тающей южной окраины ледника – в приграничной поло-

се  $\Delta L_3$  – в результате размыва ледникового склона талыми и дождевыми водами; в последующем, однако, эти отложения вместе с образованиями межледниковья снова захватываются наступающим ледником путем экзарации и вмораживания их в свое тело; поэтому первичные флювиогляциальные отложения могут появляться в геологических разрезах в основном в мегаложбинах и приграничных неледниковых областях  $\Delta L_3$ . В этих областях, продвинувшихся благодаря водным потокам и равнинному рельефу на десятки километров южнее границ  $L(g)$ , флювиогляциальные отложения более поздних морен, не существующих здесь в геологических разрезах, могут перекрывать более ранние или древние морены. Поэтому с позиции геодинамической концепции данные флювиогляциальные отложения будет нелогичным делать более «пожилыми» и относить к возрасту залегающих под ними морен. К примеру, южнее предельной границы распространения поозерской морены  $L(pz)=gIIIpz$  флювиогляциальные отложения этой морены  $fIIIpz$  нередко покрывают сожскую морену  $gIIIsz$  и, при условии их отнесения к  $fIIIsz$ , надо доказывать, что они являются продуктом размыва морены, залегающей непосредственно под ними. Отсюда следует, что в действительности существуют две границы предельного распространения отложений ледникового комплекса:

$$L(g) \text{ и } L(f)=L(g)+\Delta L_3. \quad (4)$$

Эти границы определяются с позиции двух соответствующих критериев: 1) по границе размещения морены данного оледенения  $L(g)$ , что лежит в основе геоморфологической концепции формирования отложений ледникового комплекса, и 2) по границе распространения флювиогляциальных отложений данного ледника  $L(f)$ , располагающейся значительно южнее  $L(g)$ .

Поскольку в зонах  $\Delta L_3$  имеют место совершенно другие, не характерные для северных областей  $L(g)$ , технологии осадконакопления и соответственно стратиграфические закономерности, то эти зоны можно относить к регионам геологических исключений, а не правил. Очевидно, для этих зон нужна своя теория осадконакопления. Поэтому с позиции объективности на картах нужно указывать обе границы (4).

При движении ледника происходит также образование *пластовых отторженцев* путем экзарации ложа более древних пород, по которым движется ледник. Пластовыми отторженцами нередко становятся тонкие слои и линзы пойменного аллювия, делювия, элювия, торфов, гиттий, сапропеля и других отложений с фауной и флорой теплых межледниковий. Будучи литологически и геохронологически «инородцами» среди более молодых ледниковых и флювиогляциальных образований, эти отторженцы часто ошибочно интерпретируются как признаки резких кратковременных потеплений в периоды оледенений.

6. Под продолжительностью «стоянки ледника»  $\Delta t_2 = t_3 - t_2$  будем понимать длительность «топтанья на месте» южной кромки ледника (южного края ледникового клина-склона), отсчитываемой от ее условной остановки в момент прекращения наступания  $t_2$  до начала ее устойчивого движения в обратном направлении (на север)  $t_3$ , принимаемого за начало отступления ледника (величина  $\Delta t_2$  у разных оледенений различная и определяется в первую очередь соотношением температур и длительности теплых и холодных сезонов года).

В период «стоянки» южной окраины ледника  $\Delta t_2$  (в это время сам ледник, однако, под действием увеличивающейся массы льда продолжает «наступать» и в зонах  $\Delta L_1$  и  $\Delta L_2$  движется на юг) по-прежнему идет сезонный размыв тальми и дождевыми водами поверхности ледникового склона (и размыв более интенсивный, чем при наступании); в результате в приграничной к леднику полосе  $\Delta L_3$ , не подвергнутой оледенению, продолжается напластование первичных флювиогляциальных отложений, которые тут же могут смешиваться потоками с более древними, оставшимися от предыдущего оледенения.

7. «Отступление ледника» – термин не совсем точный, поскольку не отражает реальной картины протекания основных геодинамических процессов в зонах  $\Delta L_1$ ,  $\Delta L_2$ , и  $\Delta L_3$  в период  $\Delta t_3 = t_4 - t_3$ . В действительности отступать с момента  $t_3$  начинает не весь ледник, занимающий территории  $\Delta L_1$  и  $\Delta L_2$ , а только его южная окраина в районе  $L$ , долгое время «топтавшаяся на месте» (в период «стоянки» ледника  $\Delta t_2$ ). В зоне  $\Delta L_1$  по-прежнему продолжают господствовать отрицательные среднегодовые (с теплыми сезонами) температуры, что создает условия для накопления ледниковой массы и продолжения ее течения, т.е. наступания, на юг; здесь по-

прежнему широкое развитие имеют экзарация ложа и образование *глыбовых и пластовых отторженцев*, их вмораживание в тело ледника и перенос далее в южные регионы.

В зоне ледникового склона  $\Delta L_2$  и прилегающих областей  $\Delta L_3$  в период отступления ледника  $\Delta t_3$  происходят несколько иные климатические и геодинамические процессы, порождаемые господством теплых сезонов над холодными. Здесь таяние ледника и размыв ледникового склона тальными и дождевыми водами принимают решающее значение для формирования флювиогляциальных отложений и морен и определяют режим и последовательность их образования. Благодаря этому практически одновременно (с позиций осадконакопления) протекают *два геологических процесса*. Первый обусловлен интенсивным таянием ледникового склона и формированием мощных водных потоков, размывающих тело ледника и образующих напластования из вторичных флювиогляциальных отложений.

Второй геологический процесс является следствием таяния тела ледника, надвигающегося с севера и выходящего на склон; под действием мощной солнечной радиации ледник становится макropористым и рыхлым, не способным к экзарации ложа и удержания на весу обломочного материала и отторженцев, ранее вмороженных в него. Поэтому параллельно с движением идет процесс формирования морены путем оседания скелета ледника (его обломочного материала и отторженцев) прямо на уже образованные напластования из вторичных флювиогляциальных отложений.

Из данной «технологии» образования морен, первичных и вторичных флювиогляциальных отложений видно, что при наступании ледника отложения межледниковий и первичные флювиогляциальные практически полностью срезаются движущимся ледником; вмораживаясь в его тело, они перемешиваются внутренними течениями с обломочным материалом и, становясь скелетом ледника, перемещаются вместе с ним далее на юг. Отсюда следует, что стратиграфически именно моренами заканчиваются ледниковые периоды, после которых начинаются межледниковья. Это значит, что границы между оледенениями проходят по кровле морен, а *ледниковые периоды оставляют после себя двухпластовые системы – морену и подморенные (вторичные) флювиогляциальные отложения*.

В заключение отметим, что в приведенных положениях геодинамической концепции впервые ставятся такие принципиальные

вопросы как соотношение стратиграфии и геохронологии отложений в зонах  $>L(g)$  и  $<L(g)$ ; площадная и временная последовательность формирования флювиогляциальных отложений в зонах  $\Delta L_3$ , где оледенения отсутствовали; картирование границ предельного распространения морен и флювиогляциальных отложений; технологии «высеивания» первичных и вторичных флювиогляциальных отложений при наступании и отступании ледников и др. Эти положения следует рассматривать как первую попытку (с позиции инженерной геологии и гидрогеологии) совершенствования существующих геоморфологических представлений о формировании отложений ледникового комплекса и прежде всего флювиогляциальных межморенных, над- и подморенных. Поэтому, естественно, в большинстве своем они требуют уточнений и дальнейшего развития.

## Литература

1. Геология антропогена Белоруссии. – Минск : Наука и техника, 1973. – 152 с.
2. Геология Беларуси. – Минск : Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
3. Костюкович П.Н. Геохронологическая дискретность при формировании морен ледникового комплекса Беларуси / П.Н. Костюкович П.Н., И.П. Крошнер // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. научных трудов Международного научно-методического межвузовского семинара. – Могилев, Белорусско-Российский университет, 2005. – С. 220–224.
4. Костюкович П.Н. Положение морен в геохронологической шкале ледникового антропогена / П.Н. Костюкович, И.П. Крошнер // Геотехника: актуальные теоретические и практические проблемы : межвузовский тематический сборник трудов. – СПб., СПбГАСУ, 2006. – С. 195–200.
5. Стратиграфическая схема четвертичных отложений Беларуси // Літасфера. – 2005. – № 1 (22). – С. 146–156.
6. Ярцев, В.И. Геологический словарь: понятия и термины / В.И. Ярцев. – Минск : Беларуская навука, 2010. – 686 с.