

УДК 551.435.42(476)

ВЛИЯНИЕ СОЛЯНЫХ СТРУКТУР НА ЗАЛОЖЕНИЕ ЛЕДНИКОВЫХ ЛОЖБИН В ПРЕДЕЛАХ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА (БЕЛАРУСЬ)

М. Е. КОМАРОВСКИЙ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Выявлена отчетливая зависимость между ледниковыми ложбинами и площадями расположения локальных структур верхнефаменской соленосной толщи на территории Припятского прогиба. Ложбины размещаются над теми соляными структурами, которые отличались новейшей активизацией в позднеолигоцен-четвертичный период. Большинство ложбин находятся над криптодирами, диапироидами и валами, остальные – в пределах синклиналей и мульд. На площади локальных поднятий ложбины чаще врезаются в их своды и склоны, обращенные навстречу движению ледника, у отрицательных форм они тяготеют к осевым частям и крыльям, сопряженным с поднятиями. Характерная особенность ложбин, взаимосвязанных с соляными структурами, – нередкая приуроченность к активным разломам. Эти разломы прослеживаются внутри отраженных складок в надсолевых верхнедевонско-кайнозойских осадочных отложениях с заметным смещением вплоть до поверхности дочетвертичных отложений, где наследуются ложбинами. Развитие соляных структур и разломов создавало в Наревскую ледниковую эпоху и днепровскую стадию Припятского оледенения в ледниковом ложе ослабленные зоны, которые способствовали процессам выдавливания, экзарации и эрозии субгляциальных потоков талых ледниковых вод.

Ключевые слова: ледниковые ложбины; соляные структуры; активные разломы; плейстоцен; Припятский прогиб.

Образец цитирования:

Комаровский М.Е. Влияние соляных структур на заложение ледниковых ложбин в пределах Припятского прогиба (Беларусь). *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2020;1:60–74.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-1-60-74>

For citation:

Komarovskiy M.E. Influence of salt structures on the location of glacial valleys within the Pripjat Trough (Belarus). *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2020;1:60–74. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-1-60-74>

Автор:

Михаил Евгеньевич Комаровский – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; доцент кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики.

Author:

Michail E. Komarovskiy, PhD (geology and mineralogy), doцент; associate professor at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics.
mkomarovskiy@mail.ru

INFLUENCE OF SALT STRUCTURES ON THE LOCATION OF GLACIAL VALLEYS WITHIN THE PRIPYAT TROUGH (BELARUS)

M. E. KOMAROVSKIY^a

^a*Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus*

It was found that glacial valleys in the Pripyat Trough are connected with the location of the halokinetic structures of the Upper-Famennian salt strata. Valleys were noticed over salt structures, which developed during the Quaternary. The most part of valleys is over salt diapires, pillows and swells, rarer they occur within synclinales and troughs. Within local anticlinales valleys focus mainly in its tops and limbs, which have incline down glacier. Within salt synclinales valleys lie over its axis and limbs, which are connected with adjacent anticlinales. The most typical regularities of the glacial valleys localization within the salt structures is their close connection with active fault systems. These faults propagate upwards from the tops and flanks of diapires across the Upper-Famennian and supra-salt overburden into the Quaternary, where underlie the valleys. The developing of salt structures and faults during the Narev and Dnieper glaciations created weakness zones in glacial bed that facilitated erosion by the glaciers and subglacial melt water.

Keywords: glacial valleys; salt structures; active faults; Pleistocene; Pripyat Trough.

Введение

Ледниковые ложбины представляют собой линейно вытянутые или слабоизвилистые понижения в основании ледниковых покровов. Несмотря на тот факт, что ложбины являются образованиями активно движущихся ледников и субгляциальных потоков талых ледниковых вод, причины и обстоятельства, предопределившие возникновение этих форм, остаются спорными: влияние рельефа, литологии, обводненности и деформационных свойств пород ледникового субстрата, структуры региона и др. Исследование ложбин важно для реконструкции направления движения древних ледниковых покровов, определения условий подледного дренажа талых вод, лучшего понимания распределения эрозионных процессов. В последнее время изучение факторов возникновения ложбин стало актуальным ввиду проблемы захоронения ядерных отходов, открытия залежей газа и нефти в пределах солянокупольных структур, наследуемых ложбинами, а также обнаружения других полезных ископаемых.

Связь между расположением ледниковых ложбин и соляными структурами была установлена на территории основных соленосных бассейнов Западной Европы (Центрально-Европейский бассейн, Среднепольский вал, Щецинский грабен, Померанский сброс) и Северной Америки (Мичиганский и Западно-Канадский бассейны). Приуроченность ложбин к соляным структурам положена в основу представления о том, что соляные структуры взаимодействовали с ледниковыми покровами и способствовали возникновению ледниковых ложбин [1–3]. На территории Беларуси в Припятском солеродном бассейне также были замечены рост соляных поднятий в плейстоцене и движения соли в настоящее время. Многие специалисты сходятся во мнении, что рост соляных поднятий в позднекайнозойскую эпоху оказывает воздействие на формирование локальных структур и гляциодислокаций, положение линий водоразделов крупных рек, конечных морен, массивов торфяников и дюн Припятского прогиба [4–7]. Несмотря на то что сейчас рельефообразующая деятельность соляной тектоники признается большинством исследователей, до сих пор в Беларуси не определена связь между расположением ледниковых ложбин и активными соляными структурами.

Цель данной статьи – исследовать влияние соляных структур Припятского прогиба на распределение, морфологию и характер геологического строения ледниковых ложбин. При этом ставились следующие задачи: рассмотреть методические приемы сопоставления ложбин и активных соляных структур, установить основные формы пространственного соотношения ложбин с соляными структурами различного типа и показать на конкретных примерах воздействие структур на плановый рисунок, морфологию и строение ложбин.

Исследуемый район

В Беларуси взаимосвязь в распределении ледниковых ложбин с соляными структурами прослеживается на территории Припятского прогиба. Этот тектонический бассейн расположен между Белорусской антеклизой и Жлобинской седловиной на севере и Украинским щитом на юге и простирается с востоко-юго-востока в западо-северо-западном субширотном направлении на 280 км при ширине до 150 км [8]. Как известно, Припятский бассейн начал прогибаться в позднефранское время позднего девона [9]. Самые глубокие части бассейна сегодня выполнены осадочным чехлом мощностью более чем 5–6 км,

представленным в основном герцинским структурным комплексом [10]. В разрезах верхнедевонских отложений выделяются две мощные соленосные толщи (франская и верхнефаменская), в которых проявилась соляная тектоника. Наибольшее влияние на заложение ледниковых ложбин в Припятском прогибе оказали процессы галокинеза в верхнефаменской соленосной толще.

Верхнефаменская соленосная толща развита в Припятском прогибе восточнее Микашевичско-Житковичского выступа и залегает на глубине от 353,7 м на северо-западе прогиба до 2722 м на востоке. Мощность толщи увеличивается от 150–200 м на северо-западе до 3237 м в северо-восточной части прогиба, составляя в среднем 1500–1800 м [11]. Верхнефаменская соленосная толща содержит пласты галита, которые представлены в основном в нижней части (галитовая подтолща), и галита, переслаивающегося с глинами и мергелями, местами – пласты калийных солей, расположенные в верхней части (глинисто-галитовая подтолща). Над глинисто-галитовой подтолщей залегают надсолевые верхнедевонские породы или более молодые неполно представленные и нередко размытые (в сводах соляных поднятий) каменноугольные, пермские, триасовые, юрские, меловые и кайнозойские дочетвертичные отложения.

Поверхность верхнефаменской соленосной толщи Припятского прогиба характеризуется широким развитием локальных соляных структур – антиклиналей, брахиантиклиналей, куполов, синклиналей и мульд. Как правило, они объединяются в протяженные валы и синклинальные зоны преимущественно субширотного простирания [10] (рис. 1).

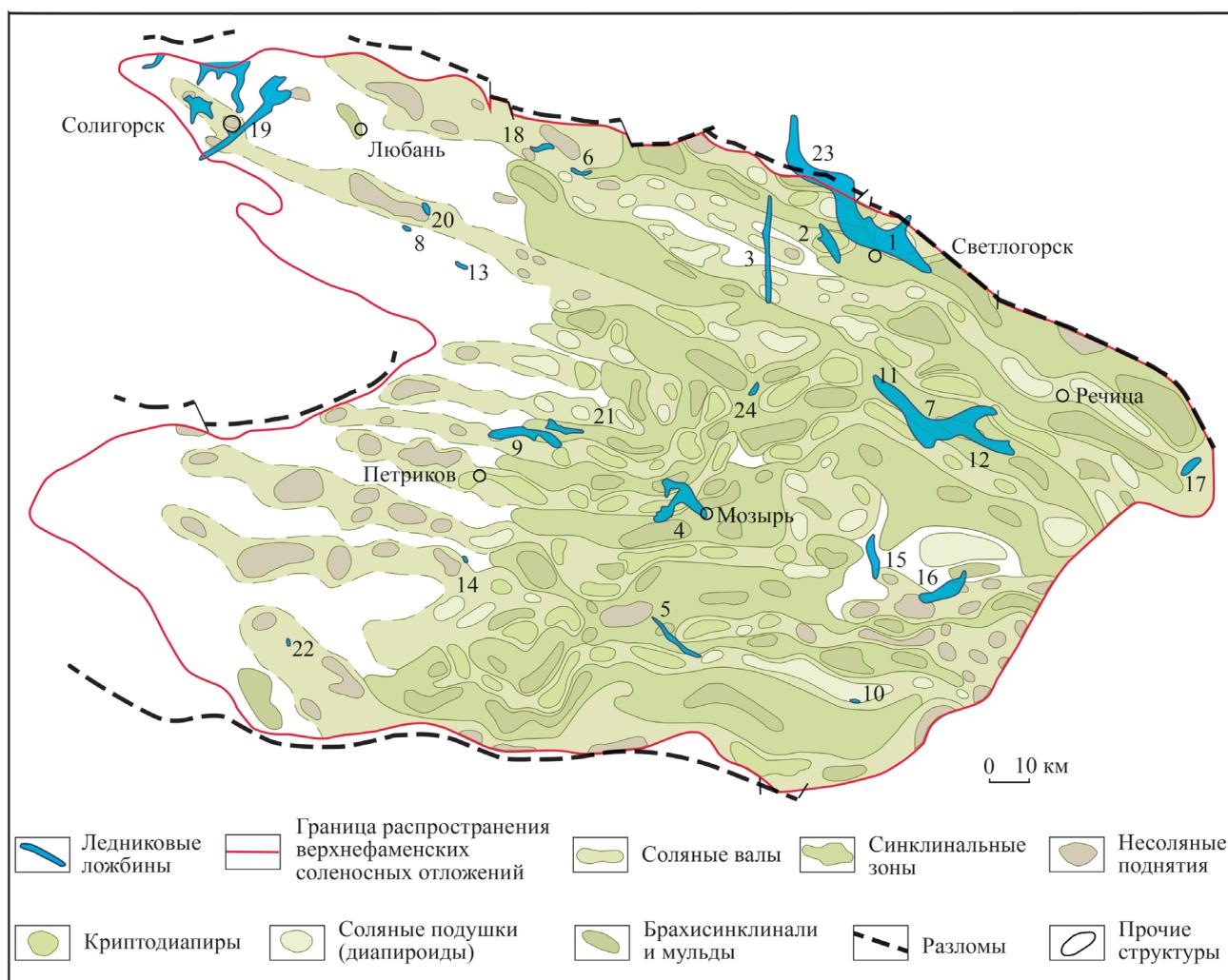


Рис. 1. Карта соотношения ледниковых ложбин с локальными структурами поверхности верхнефаменской соленосной толщи (составлена по [10; 11]).
 Обозначенные цифрами 1–24 ложбины см. в таблице

Fig. 1. Map showing the correlation between glacial valleys and local structures on the Upper-Famennian salt-rock surface (compiled by [10; 11]).
 Marked with numbers 1–24 glacial valleys see on table

В. С. Конищев [11] отмечал, что большинство соляных поднятий приурочены к линиям разломов и расположены преимущественно в их поднятых крыльях, реже – на моноклиналях и в прогибах подсолевого комплекса. По данным этого исследователя, примерно 59 % поднятий по генезису представляют собой отраженные приразломные структуры, осложненные галокинезом в различной степени, и соляные наложенные, т. е. частично или полностью соляные. Размещены они в центральной и юго-восточной частях прогиба. Около 41 % поднятий, развитых в западной и прибортовой частях, – отраженные приразломные, не осложненные галокинезом (несоляные поднятия). Отрицательные структуры между соляными валами, как правило, отраженные приразломные, часто в той или иной степени компенсационные [10].

Методика исследования

Для оценки влияния соляных структур проводилось сопоставление ледниковых ложбин в поверхности дочетвертичных пород с соляными структурами, развивающимися на новейшем этапе. Определение пространственного распространения, особенностей морфологии и геологического строения ледниковых ложбин в поверхности дочетвертичных отложений и четвертичной толще основывалось на анализе имеющихся разрезов буровых скважин. По буровым материалам были построены авторские карты поверхности дочетвертичных пород и ледниковых ложбин, мощности четвертичных отложений, а также комплект карт, включающий карты мощности, поверхности и ледниковых ложбин всех ледниковых горизонтов Припятского прогиба в масштабе 1 : 200 000.

Для выделения растущих соляных структур использовалась схема структурного районирования поверхности фаменских соленосных отложений [10]. Кроме того, анализировались опубликованные данные по неотектонике, геологическому строению четвертичной толщи и рельефу Припятского прогиба [4–7]. Деформации в кайнозойских отложениях над активными поднятиями и опусканиями, к которым приурочены ложбины, были представлены на геологических разрезах верхнедевонско-четвертичной толщи, пересекающих структуры в продольном и поперечном направлениях. Эти построения позволили продемонстрировать выражение развивающихся соляных структур в мезозойских и кайнозойских коренных отложениях, показать изменения в строении плейстоценового комплекса ложбин.

В основу диагностики соляных структур, которые в четвертичное время испытывали движения соли, были положены следующие признаки:

- отраженные складки палеоген-неогеновых пород, проникающие в толщу четвертичных отложений;
- разрывы самых верхних палеогеновых слоев в сводах соляных поднятий и прорывы на дочетвертичную поверхность нижележащих верхнемеловых пород;
- локальные поднятия дочетвертичной поверхности и заметное уменьшение мощности плейстоценового покрова, увеличение доли морен припятского возраста над соляными куполами;
- зоны повышенной мощности, наибольшего фациального разнообразия и полноты стратиграфического разреза четвертичного покрова над отрицательными структурами;
- более широкое развитие здесь водно-ледниковых, озерно-ледниковых, аллювиальных и озерно-болотных отложений и зон их повышенной мощности и др. (рис. 2).

Результаты исследований

Изучение ледниковых ложбин Припятского прогиба показывает, что 21 % ложбин расположен у локальных несоляных поднятий в западной и юго-восточной частях прогиба. Большинство ложбин (79 %) находятся в его восточной части, где приурочены к поднятиям и отрицательным структурам, образованным с участием соляной тектоники (см. рис. 2). Среди локальных соляных поднятий верхнефаменской соленосной толщи и надсолевого этажа прогиба выделяются диапироиды (соляные подушки) и криптодиапиры, причем большинство составляют первые. В ядрах диапироидов отмечается раздуть мощности соли галитовой подтолщи до 600–800 м, иногда – до 1400–1600 м при мощности в смежных синклиналях обычно несколько десятков метров, реже – от 200 до 400 м [10]. Характерным для диапироидов является то, что соляные массивы в их ядрах относительно слабо выражены и не выходят за пределы покрывающих их отложений – глинисто-галитовой подтолщи или надсолевых девонских пород. У криптодиапиров ядра соленосных отложений прорывают низы надсолевых отложений. Высота некоторых криптодиапиров достигает почти 2,5 км по отношению к соседним отрицательным локальным структурам. Обычно криптодиапиры перекрыты триасовыми и более молодыми отложениями, некоторые из них – среднеюрскими, реже – палеогеновыми аккумуляциями. Только у нескольких криптодиапиров (Копаткевичский и др.) палеогеновые породы прорваны на своде и на поверхность дочетвертичных отложений выступают более древние меловые породы. Основные типы соотношения ложбин с соляными структурами показаны в таблице.

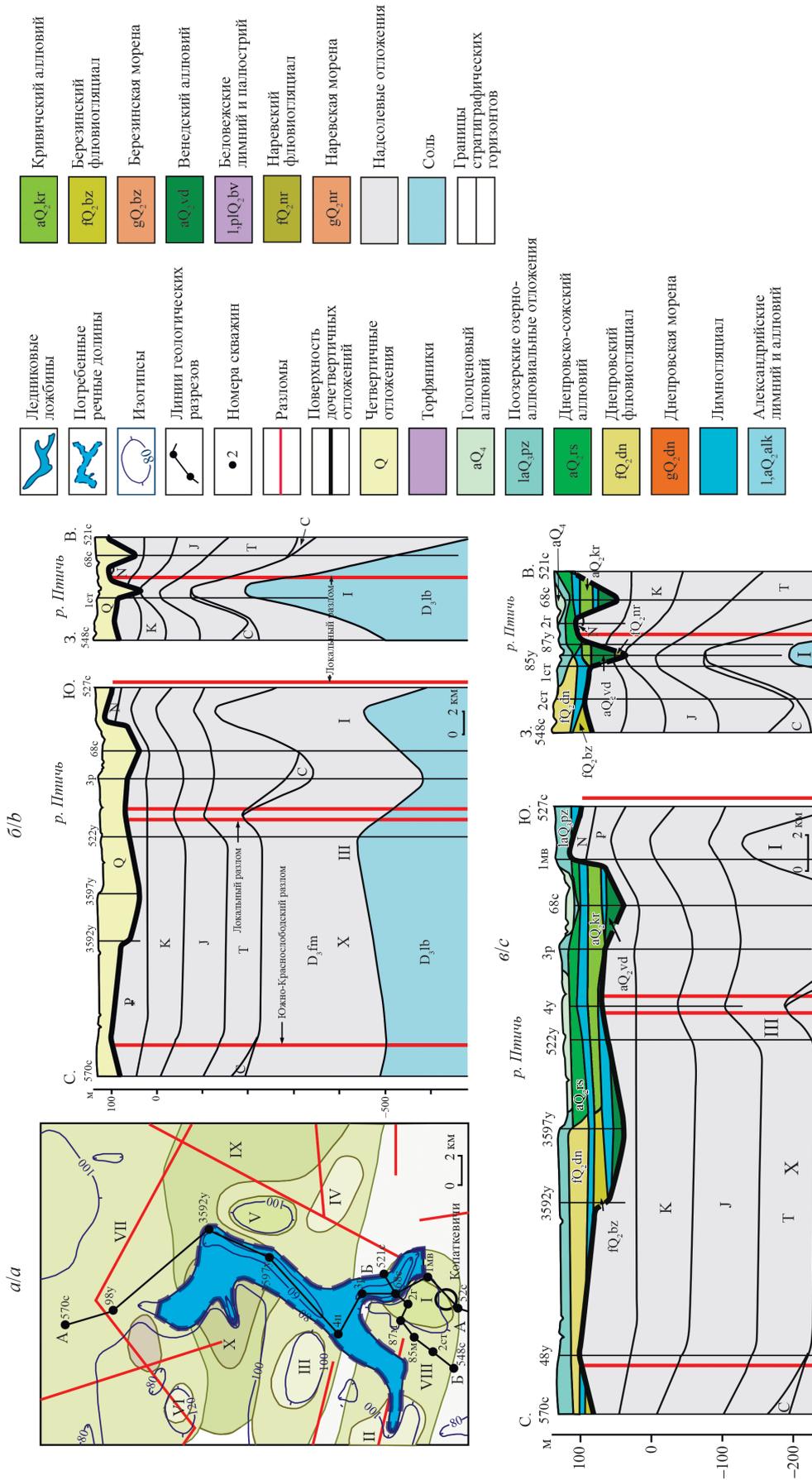


Рис. 2. Влияние растущих соляных структур на морфологию и геологическое строение погребенной долины р. Птичь: *a, б* – соляные антиклинальные структуры формируют морфо-фосструктурные поднятия в поверхности дочетвертичных отложений, долина огибает их своды и приобретает извилистую либо разветвленную форму в плане; *в* – синклиналильные структуры контролируют размещение зон повышенной мощности четвертичной толщи, древнейшего аллювия и лимногляциальных отложений. Дочетвертичные отложения: D_3lb – лебедянский горизонт верхнего девона; D_3fm – фаменский ярус; C – каменноугольные; P – пермские; T – триасовые; J – юрские; K – меловые; P – палеогеновые; N – неогеновые. Соляные структуры поверхности верхнефаменской соленосной толщи и надсолесых отложений: I – Копаткевичский криптодиапир; II – Залесский диапир; III – Заречинский диапир; IV – Дубняковский диапир; V – Комаровичский криптодиапир; VI – Кошевичский диапир; VII – Червонослободский вал; VIII – Копаткевичский вал; IX – Предчервонослободская синклиналильная зона; X – Северо-Заречинская мулда

Fig. 2. Influence of the growing salt structures on morphology and geological structure of the buried valley of the Ptich River: *a, b* – salt anticlines form the morphostructural heights on bed-rock surface, valley curves round the obstacles and takes the meandering or branching form in plan; *c* – the synclinal folds control the location of zones of growing in thickness of Pleistocene cover and the distribution of the oldest alluvium and glaciolacustrine deposits. Bedrock deposits: D_3lb – Lebedyansky horizon of the Upper Devon; D_3fm – Famennian stage; C – Carboniferous formation; P – Permian; T – Triassic; J – Jurassic; K – Cretaceous; P – Paleogene; N – Neogene System. Salt structures on surface of the Upper-Famennian salt- and within supra-salt sediments: I – Kopatkevichsky diapir; II – Zalesky diapir; III – Zarechinsky diapir; IV – Dubnyakovsky diapir; V – Komarovichsky diapir; VI – Koshevichsky diapir; VII – Chervonoslobodsky arch; VIII – Kopatkevichsky arch; IX – Predchervonoslobodskaya synclinal zone; X – North Zarechinskaya trough

Соотношение между ледниковыми ложбинами и соляными структурами
 верхнефаменинских соленосных отложений Припятского прогиба

 Correlation between glacial valleys and halokinetic structures
 of the Upper-Famennian salt strata in the Pripyat Trough

Характер соотношения	Ледниковые ложбины	Локальные структуры		Количество	
		Название	Тип	единиц	%
Пересекают своды или располагаются на сводах соляных поднятий	Светлогорская (1)	Березинская	Диapiroид	8	33
	Мольчанская (2)	Мольчанская	Криптодиaпир		
	Дубровская (3)	Кормянская Зальинская Мармовичская	Диapiroиды		
	Погостская (19)	Червонослободская	Вал		
	Боровская (22)	Выступовичская	Вал		
	Мозырская (4)	Прудокская	Криптодиaпир		
	Михальская (17)	Первомайская	Вал		
Андреевская (18)	Оресско-Глусская	Вал			
Огибают своды соляных поднятий	Светлогорская (23)	Искровская Судовицкая	Диapiroид Криптодиaпир	2	8
	Ельская (5)	Кустовницкая Ельская	Криптодиaпиры		
Располагаются на склонах соляных поднятий	Глуская (6)	Холопеничская	Диapiroид	6	25
	Калиновская (20)	Нижинская	Подняtie		
	Центральный участок Ведричской (7)	Золотухинская	Криптодиaпир		
	Петриковская (9)	Северо-Шестовичская Конковичская	Диapiroид Криптодиaпир		
	Хойникская (16)	Хойникская Северо-Хойникская	Поднятия		
	Кожушковская (10)	Восточно-Ельская	Диapiroид		
Находятся в осевых частях отрицательных структур	Млынокская (21)	Северо-Конковичская	Синклинальная зона	4	17
	Западный участок Ведричской (11)	Предречицкая	Обращенная синклиналь		
	Восточный участок Ведричской (12)	Южно-Тишковская	Обращенная мульда		
	Оресская (13)	Предчервонослободская	Синклинальная зона		
Размещаются на дистальном и проксимальном крыльях отрицательных структур	Манчицкая (14)	Преднаровлянская	Синклинальная зона	3	13
	Нежинская (8)	Предчервонослободская	Синклинальная зона		
	Домановичская (24)	Южно-Казанская	Компенсационная синклиналь		
Прочие	Витьинская (15)	Предмалодушинско-Преднаровлянская	Перемычка между синклинальными зонами	1	4
Всего				24	100

Примечание. Названия и типы локальных структур приведены по [10]. Цифры в скобках соответствуют обозначениям на рис. 1.

Большая часть ложбин (примерно 66 %) выявлены над соляными поднятиями. Как правило, ложбины врезаются в их своды и склоны. Ложбины над сводами поднятий составляют самую многочисленную группу на территории Припятского прогиба. При этом над сводами диапироидов и криптодиapiroидов ложбины встречаются реже и примерно в равном количестве, тогда как у валов их выявлено больше. Здесь установлены ложбины, которые ориентированы согласно простиранию соляных поднятий, а также ложбины, вытянутые диагонально или вкрест.

Ложбины, пересекающие с азимутальным несогласием своды соляных структур, составляют 75 % от общего числа надсводовых ложбин. В основном они ориентированы субмеридионально или диагонально по отношению к простиранию соляных структур, реже имеют субширотное направление согласно простиранию поднятий. Одни ложбины (например, Андреевская, Михальская) короткие, представлены только над сводами и выклиниваются над крыльями соляных поднятий. Другие (Погостская, Светлогорская, Мольчанская, Дубровская) – более крупные, пересекают несколько соляных поднятий, принадлежащих соседним соляным валам.

В вертикальных геологических разрезах под ложбинами в надсолевой верхнедевонско-неогеновой толще прослеживаются антиклинали полого-куполообразной формы. Большинство куполов выражены в поверхности дочетвертичных отложений поднятиями высотой 10–24 м, нередко с выходами неогеновых пород на вершине. Пересечение ложбинами сводов соляных поднятий происходит преимущественно вдоль активных разломов. Такое расположение имеют 62 % надсводовых ложбин – Светлогорская, Дубровская, Мозырская, Андреевская, Погостская и др. Этот факт может свидетельствовать о том, что активные разломы проникают из соляных куполов в основание четвертичных отложений ложбин.

В других случаях расположение ложбин контролируется развивающейся соляной антиклиналью, а активными разломами – нет. Например, над Мольчанским криптодиapiroидом в результате деформаций, вызванных движением соли в плейстоцене, сформировались антиклиналь и, возможно, ослабленная зона коренного субстрата. Они предопределили местоположение, простирание и в значительной степени морфологию Мольчанской ложбины (рис. 3).

Мольчанская и другие ложбины, пересекающие своды поднятий, имеют глубокие впадины, расположенные над соляными структурами. В зонах пересечения развивающихся поднятий резко (более чем в 2 раза) увеличивается мощность четвертичных отложений и ледниковых горизонтов, появляются наревский и березинский ледниковые горизонты у подошвы и александрийские межледниковые слои в среднем интервале заполнения ложбин, возрастает доля флювиогляциальных и лимногляциальных отложений и сокращается участие морен.

Ледниковые ложбины у склонов соляных структур также широко представлены в Припятском прогибе (25 %). Среди таких ложбин 50 % находятся на склонах диапироидов, 17 % – криптодиapiroидов и 33 % – соляных поднятий. Они встречаются в основном над крыльями, обращенными навстречу движению ледника, и изредка – у южных крыльев. Все ложбины вытянуты вдоль крыльев, относительно короткие, неглубокие и показывают идентичные направления с простиранием структур и линиями разломов. В качестве примера можно привести Глусскую ложбину, которая локализуется над северным крылом Холопеничского диапироида (рис. 4, а).

Эта соляная структура расположена в средней части Речицко-Шатилковской ступени на моноклинали по подстилающим отложениям, осложненной малоамплитудными разломами [10]. Диапироид ориентирован в направлении, близком к субширотному, согласно с простиранием контролируемых его разломов. По поверхности верхнефаменской соли его длина достигает 3,5 км, ширина – 2,0 км. В вертикальном сечении у диапироида наклон крыльев составляет 30 м на 1 км. Эта соляная структура входит на глубину до 170 м в перекрывающие верхнедевонские отложения, над которыми залегают пермские и мезокайнозойские породы. Покрывающие породы образуют отраженную складку (рис. 4, б). Слоистость и кровля разновозрастных слоев, строящих складку, изогнуты согласно с поверхностью соляного массива. При этом в своде диапироида верхнедевонские породы прорывают отложения перми и триаса и перекрываются юрскими отложениями.

В структуре Холопеничского диапироида имеются признаки заметного роста и влияния галокинеза на расположение и морфологию Глусской ложбины. Над сводом диапироида выражена пологая куполовидная складка в поверхности дочетвертичных отложений и всех ледниковых горизонтов размером 1,5 × 2,0 км. Амплитуда антиклинали составляет приблизительно 19 м по кровле наревского ледникового горизонта, 10 м – березинского и до 7 м – припятского ледникового горизонта (рис. 4, в). В современном рельефе эта структура выражена водораздельным моренно-флювиогляциальным возвышением с относительной высотой до 5–7 м. Глусская ложбина врезается в присводовую часть северного крыла диапироида, следует субпараллельно его оси. Крыло диапироида в этом месте расчленяет активный субширотный разлом, выраженный по подсолевым отложениям. Глусская ложбина расположена непосредственно вдоль разлома. Такое совпадение может служить косвенным доказательством удлинения глубинного разлома и достижения им подошвы четвертичных отложений и влияния на размещение ложбины при активизации

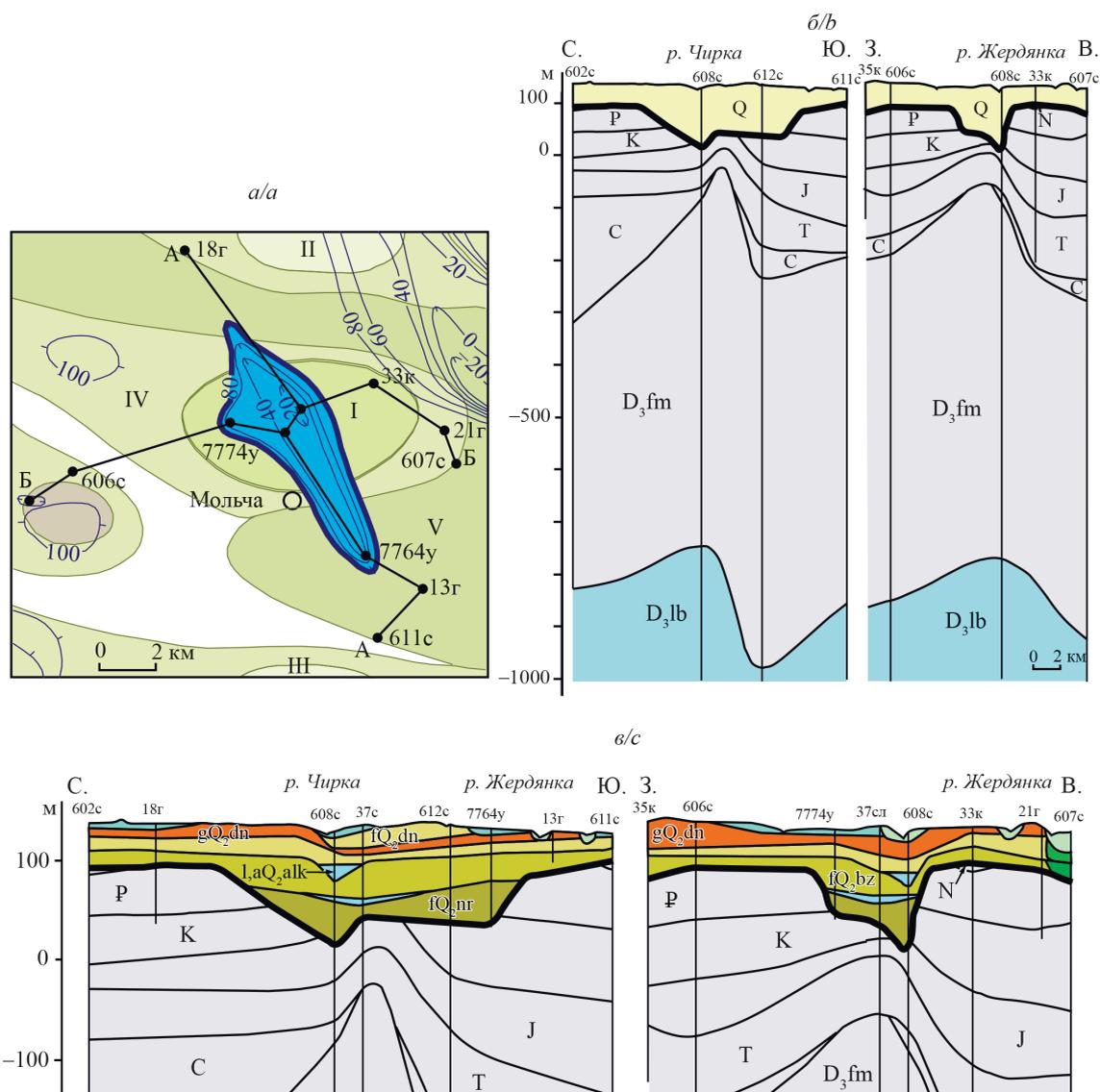


Рис. 3. Расположение Мольчанской ледниковой ложбины над воздымающимся соляным криптодиapiroм: *a* – поперечное пересечение ложбиной свода Мольчанского криптодиapiro; *б* – увеличение мощности четвертичных отложений над структурой; *в* – фациальное разнообразие в плейстоценовом покрове ложбины, связанное с расположением соляного криптодиapiro; I – Мольчанский криптодиapiro; II – Искровский диapiroид; III – Шатилковский диapiroид; IV – Чернинский вал; V – Предберезинская синклиналиная зона. Остальные обозначения см. на рис. 2

Fig. 3. Location of the Molchanskaya glacial valley over the growing salt diapir: *a* – the valley follows across a crest of the Molchansky diapir; *b* – increasing of the Pleistocene cover thickness over the salt structure; *c* – facies variability in the Pleistocene cover of the valley is connected with the location of salt diapir; I – Molchansky diapir; II – Iskra pillow; III – Shatilkovsky pillow; IV – Czernin arch; V – Predberezinskaya synclinal zone. Other symbols see on fig. 2

галокинеза в ледниковые эпохи. Рост Холопеничского диapiroида в четвертичное время воздействовал на длину, глубину, природу и другие особенности строения Глусской ложбины. Ее длина определяется протяженностью диapiroида. Самый глубокий участок ложбины отмечается с северной стороны свода структуры. В пользу проявления галокинетических процессов говорят также подледная водно-эрозионная природа ложбины, изменение характера строения четвертичного покрова (над растущим сводом диapiroида сокращается мощность четвертичных отложений), стратиграфический разрез и разнообразие фаций. Диapiroид явственно огибается погребенной и современной долинами р. Птичи, контролирует положение погребенных и голоценовых аллювиальных свит (см. рис. 4, в). Приведенные выше особенности строения четвертичного покрова отмечаются также на центральном отрезке Ведричской, Петриковской и других ложбинах, расположенных вдоль крыльев соляных поднятий. Схожее соотношение показали М. А. Хсейнет и С. Хэпшир [12] на примере ложбины Коссай в юго-западной части котловины Балтийского моря (рис. 5). Как видно из рис. 5, ложбина расположена над развивающейся соляной антиклиналью и вертикальными разломами, один из которых достигает подошвы четвертичных отложений.

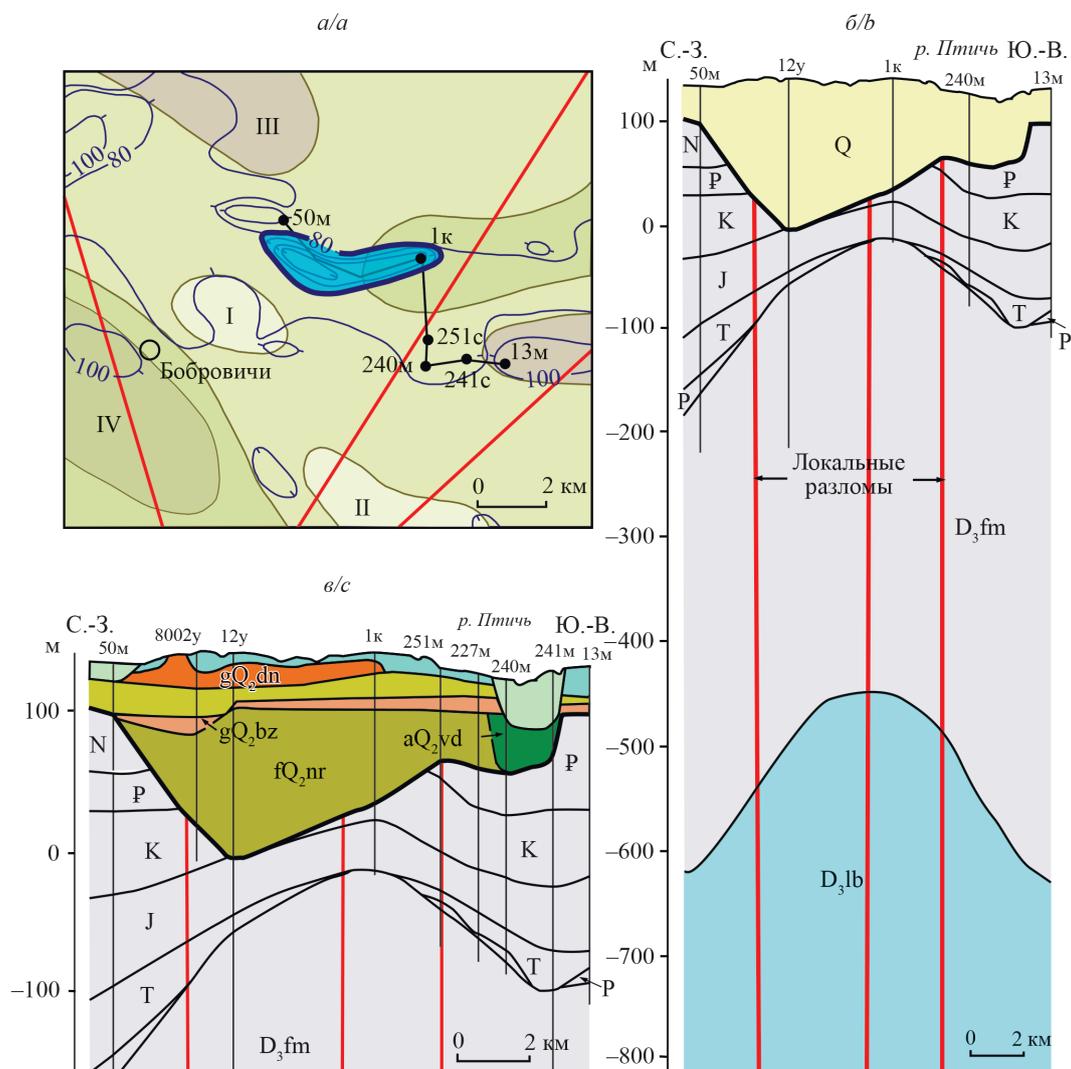


Рис. 4. Влияние галокинетических процессов в пределах Холопеничского диапириода на расположение и морфологию Глуской ложбины: а – ложбина врезаётся в присводовую часть северного крыла диапириода и следует параллельно его оси; б – крылья и вершина диапириода нарушены разломами, и ложбина прорезает кайнозойские и мезозойские породы; в – свод растущего диапириода в современном рельефе увенчан моренным возвышением, огибается погребенной и современной долинами р. Птичи; I – Холопеничский диапириод; II – Борисовский диапириод; III – Глуское поднятие; IV – Западно-Борисовская мульда. Остальные обозначения см. на рис. 2

Fig. 4. Influence of halokinetic processes within the Kholopenichsky pillow on the location and morphology of the Glusk valley: а – the valley cuts into the crest zone of the northern flank of salt pillow and follows parallel to its axis; б – faults influence limbs and roof of the diapir, the valley cuts into the Cretaceous and Cenozoic deposits; в – there is a morainic height in recent relief on a top of the growing pillow, the buried and recent valleys of the Ptich River curve round the pillow; I – Kholopenichsky pillow; II – Borisov pillow; III – Glusk dome; IV – West Borisov trough. Other symbols see on fig. 2

Продольные разрывы в надсолевых антиклиналях вполне могут быть представлены разрывами растяжения. Те из них, которые пересекают постверхнефаменскую толщу и достигают поверхности дочетвертичных пород, наследуются субпараллельно вытянутыми ложбинами на своде и крыльях антиклиналей.

Около 8 % ледниковых ложбин огибают места расположения сводов соляных структур. В большинстве случаев это соляные поднятия значительной интенсивности роста – криптодиапиры и диапириоды, у которых вершины приподнимают поверхность дочетвертичных отложений и приводят к образованию поднятий с относительными высотами до 25 м. Такая картина наблюдается чаще у протяженных ложбин, ориентированных по направлению движения ледника и пересекающих несколько соляных валов субширотного простирания (например, Светлогорской, Ельской).

Воздействие отрицательных локальных структур в верхнесоленосных и надсолевых отложениях прогиба сказывается на распределении 30 % ледниковых ложбин. Все они совпадают в плане с обращенными синклиналями, мульдами и синклинальными зонами (см. таблицу). В пределах рассматриваемых отрицательных локальных структур ледниковые ложбины распределяются следующим обра-

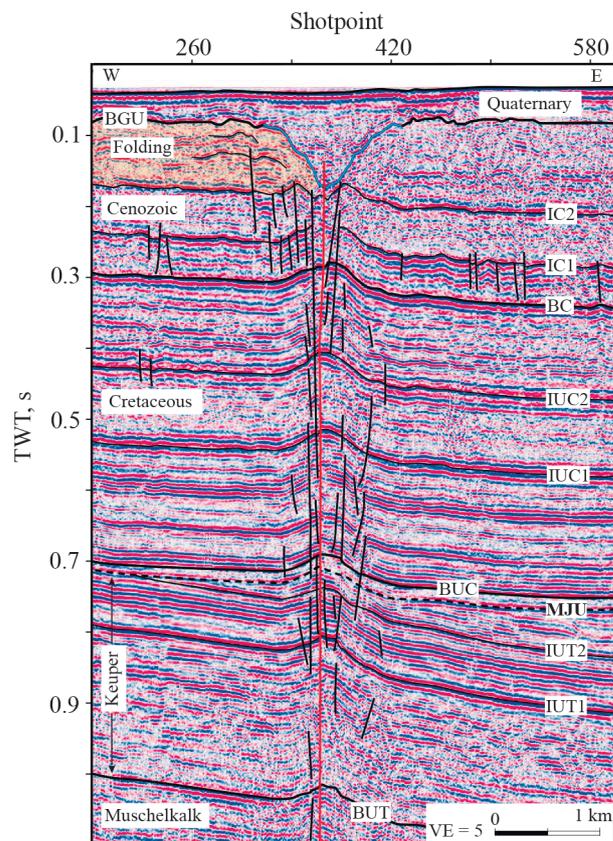


Рис. 5. Поперечный сейсмический профиль ложбины Коссай дна Кильского залива Балтийского моря.

Источник: [12]

Fig. 5. Seismic cross-section of the Kossay valley from the bottom of Bay of Kiel of the Baltic Sea.

Source: [12]

зом: 17 % располагаются над осевыми частями, а 13 % – на крыльях, сопряженных с поднятиями. На рис. 6 и 7 приведены примеры взаимосвязи между размещением ледниковых ложбин и отрицательными структурами.

Представленные на структурных картах и геологических разрезах примеры показывают, что ложбины приурочены к соляным структурам, развивающимся в плейстоцене. Расположение ложбин контролируется депрессиями в поверхности дочетвертичных отложений, совпадающими в плане с осевыми частями синклиналей и мульд либо с их крыльями, переходящими вверх по восстанию в склоны поднятий. Чаще они прислонены к склонам растущих соляных поднятий. Об этом свидетельствуют: 1) отраженные куполовидные складки с амплитудой до 19 м, проникающие в толщу четвертичных отложений; 2) разрывы самых верхних (палеогеновых) слоев в сводах соляных поднятий и прорыв на поверхность ложа четвертичных пород нижележащих верхнемеловых отложений; 3) формирование над соляными куполами возвышений в кровле коренного субстрата. С распределением отрицательных локальных соляных структур и поднятий связаны также изменения главных особенностей четвертичного покрова [13].

Участки синклиналей и мульд, имея наиболее низкое гипсометрическое положение, ограничивают латеральное распространение водно-ледниковых, озерно-ледниковых, аллювиальных и озерно-болотных отложений или отмечают зоны их повышенной мощности. Надсолевые поднятия, располагающиеся гипсометрически выше, обычно перекрываются более грубыми плейстоценовыми отложениями, состоящими преимущественно из морен. В результате процессов галокинеза над вершинами соляных структур плейстоценовый покров, как правило, представлен припятским и поозерским ледниковыми горизонтами, тогда как в пределах прилегающих синклиналей и мульд сохранились более древние плейстоценовые образования.

Активизированное ледником перемещение верхнедевонских соляных масс обуславливало опускание ледникового основания в осевых и краевых частях компенсационных мульд и синклиналей и подъем соляных куполов. Увеличение наклона поверхности надсолевых пород навстречу леднику на крыльях отрицательных структур, прислоненных к склонам соляных поднятий, благоприятствовало врезанию ледниковых ложбин. В большинстве случаев места заложения ложбин определялись разломами, обуславливающими оживление миграции соли.

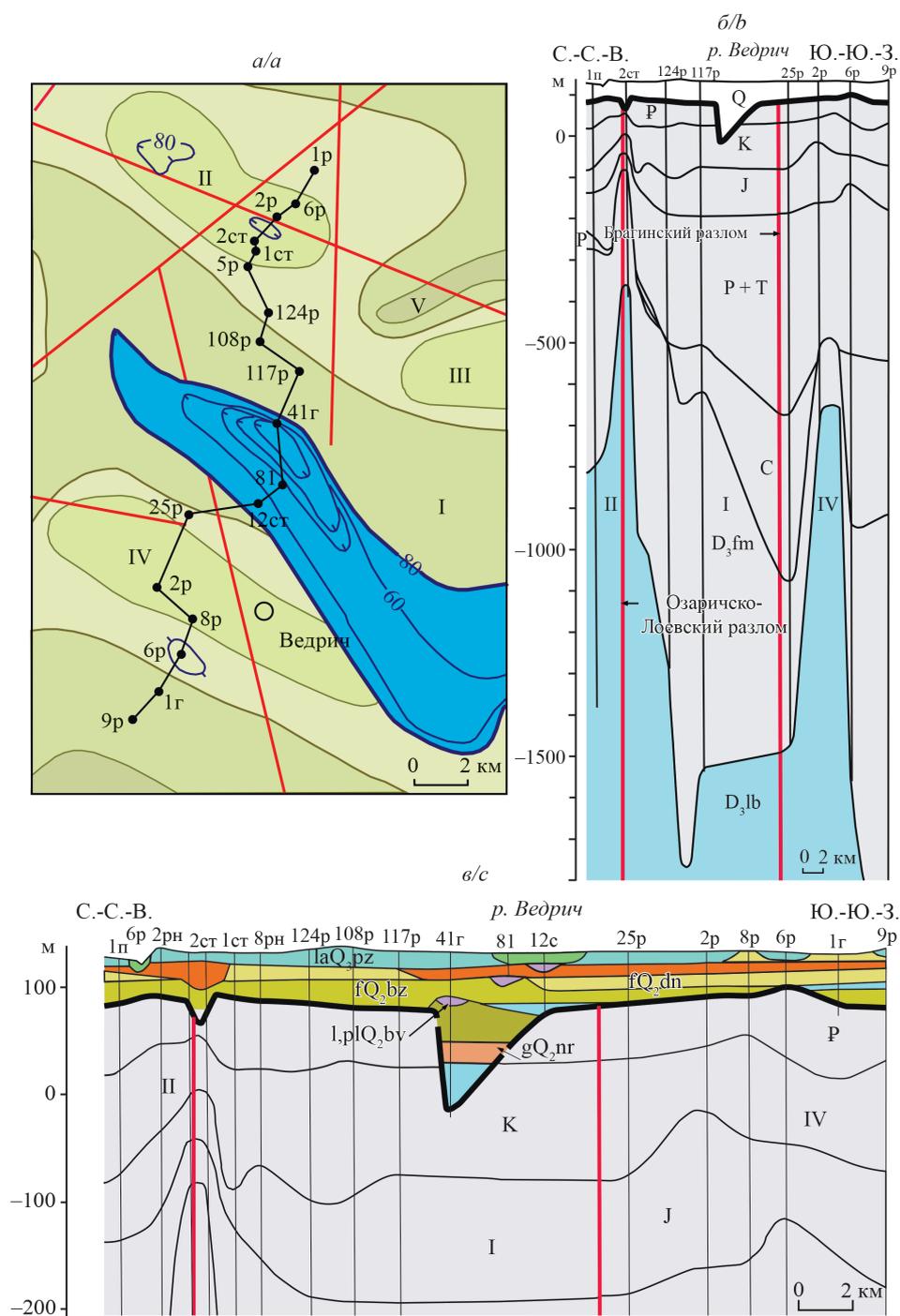


Рис. 6. Связь между расположением Ведричской ложбины и осевой частью Предричской синклинали, опускающейся в плейстоцене: а – расположение ложбины контролируется понижением в поверхности дочетвертичных пород над синклиналью; б, в – синклиналь определяет развитие зон повышенной мощности, наибольшего фациального разнообразия и полноты стратиграфического разреза четвертичного покрова; I – Предричская синклинали; II – Осташковичский криптодиапир; III – Тишковский криптодиапир; IV – Золотухинский криптодиапир; V – Северо-Тишковская синклинали. Остальные обозначения см. на рис. 2

Fig. 6. Correlation between location of the Vedrichskaya valley and an axis part of the Predrechitskaya synclinal zone, which rose down during Pleistocene: а – topographic low on the bedrock surface above synclinal influences on localization of the valley; б, с – spatial variability of facies, thickness and stratigraphic log of the Quaternary cover over the salt synclinal; I – Predrechitskaya synclinal zone; II – Ostashkovichsky diapir; III – Tishkovsky diapir; IV – Zolotukhinsky diapir; V – Severo-Tishkovskaya synclinal. Other symbols see on fig. 2

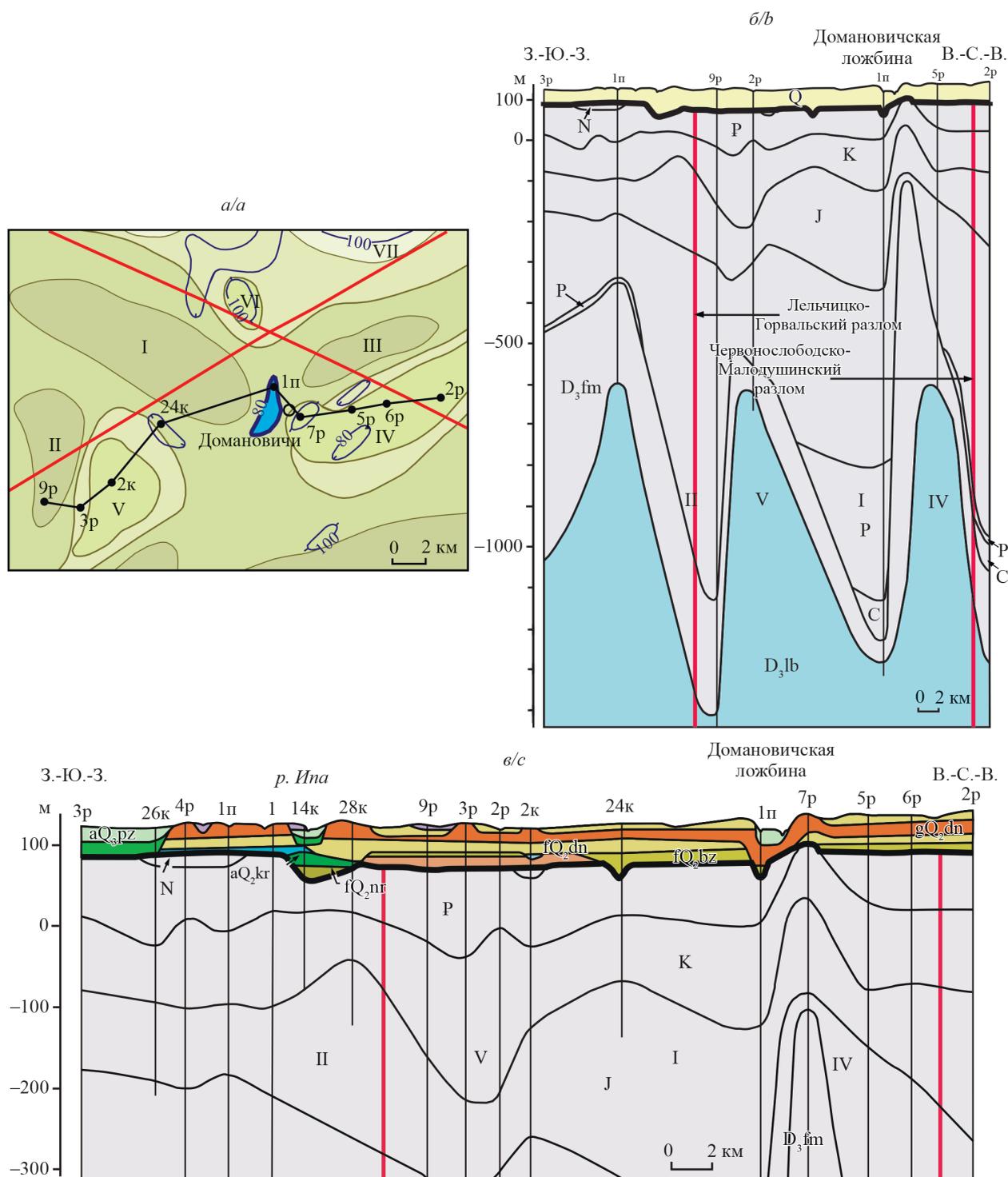


Рис. 7. Связь между Южно-Казанской мульдой, направлением и геологическим строением Домановичской ложбины: а – расположение Домановичской ложбины и основных соляных структур; б – увеличение мощности четвертичных отложений ложбины над растущим соляным криптодиapiroм; в – геологический разрез, показывающий дифференциацию четвертичной толщи (над вершиной соляного криптодиapiroра плейстоценовый покров состоит из днепровской морены, а в пределах Южно-Казанской мульды – также из более древних и молодых флювиогляциальных отложений); I – Южно-Казанская мульда; II – Западно-Савичская мульда; III – Западно-Притокская мульда; IV – Южно-Домановичский криптодиapiro; V – Савичский криптодиapiro; VI – Казанский криптодиapiro; VII – Корневский диапироид. Остальные обозначения см. на рис. 2

Fig. 7. Connection between the South Kazan trough and the course and geological structure of the Domanovitchskaya valley: а – location of the Domanovitchskaya valley and the main salt structures; б – the increase in the thickness of the Quaternary deposits of the valley over a growing salt diapir; в – geological section presenting differentiation of the Pleistocene cover (over the top of salt diapir the Pleistocene cover is consist of the Dnieper moraine, whereas within the trough – also from fluvio-glacial deposits of relatively older and younger age); I – South Kazan trough; II – West Savichsky trough; III – West Pritoksky trough; IV – Yuzhno-Domanovichsky diapir; V – Savichsky diapir; VI – Kazan diapir; VII – Korenevsky pillow. Other symbols see on fig. 2

Обсуждение результатов

По оценкам разных специалистов, в настоящее время в Припятском прогибе доля развивающихся форм составляет от 75 % [4] до 80–85 % [6] от общего числа соляных структур. Скорость роста соляных поднятий в среднем и позднем плейстоцене была не менее 20 м за 1 млн лет и по сравнению с эоценом возросла в несколько раз [5].

Исследованиями Я. А. Пиотровского [14; 15] было установлено, что некоторые ложбины в Северо-Западной Германии находятся прямо над периферическими участками синклиналей, расположенными между соляными диапирами. Ученый предположил, что основание ледника в синклиналях между диапирами прогибалось вниз в результате уплотнения надсолевых неконсолидированных пород, что нарушало динамику течения льда, создавало разницу градиентов давления. Названные процессы приводили к проявлению гляциотектоники, заложению ложбин в пределах краевых участков соляных синклиналей и возникновению гляциодислокаций над диапирами. Не исключая того, что под воздействием ледников увеличивались скорости миграции соли и рост соляных диапиров, Я. А. Пиотровский указал, что эти явления были не настолько интенсивны, чтобы влиять на динамику движения льда и контролировать ледниковые процессы.

Изучая проявления перемещения соли Лаврентийским ледниковым покровом, У. А. Уайт [16] подчеркнул интересную закономерность: почти все главные палеозойские соляные бассейны Северной Америки залегают вдоль края области, которая испытала сильную эрозию Лаврентийским ледниковым покровом и опоясывает 2/3 периметра Канадского щита. Ученый отметил широкое развитие гляциотектонических деформаций соли в этой области, представленных утолщениями, антиклиналями с соляными ядрами у границы ледника и ложбинами выдавливания позади ледникового края (заливы и впадины озер Эри, Онтарио, Гурон, Мичиган и др.). У. А. Уайт пришел к выводу, что отжатие соли из материнских пород происходило радиально из ложбин давлением ледника прежде, чем вмещающие породы были удалены ледниковой эрозией. На причинно-следственную связь между миграцией пермской соли, ростом соляных антиклиналей и преобразованием районов над их вершинами ледниковым выпаживанием и эрозией в Щецинском грабене в Польше указал М. Курзава [13].

Ф. Сирокко и другие немецкие ученые [2; 17] попытались объяснить частое совпадение ложбин и напорных конечных морен с крыльями соляных диапиров, обнаруженных в ФРГ на структурах Центрально-Европейского бассейна. В предложенном ими сценарии ледники активизировали не только перемещение соли в диапирах на глубине, но и разрывы на краях и над вершинами диапиров во вмещающих породах. Последние были дифференцированно приподняты по разрывам, иногда с образованием грабена на вершине. Участки дифференцированных перемещений субстрата по разрывам у края и над вершиной растущего диапира создавали благоприятные места для формирования ледниковых ложбин.

Геологические свидетельства взаимодействия ледников и соляных структур, проливающие свет на формирование ледниковых ложбин, привели также М. А. Хсейнет и С. Хэпшир [12]. В качестве примера была выбрана ложбина Коссай в юго-западной части Балтийского моря. Исследователи утверждали, что ледниковый покров активизирует глубинный подсолевой разлом, который обуславливает течение соли и рост соляной антиклинали. Этот процесс сопровождается смятием в антиклинальную складку вышележащей толщи, продолжением к поверхности глубинного разлома вдоль оси антиклинали и появлением разрывов на ее крыльях, что способствует врезанию ледниковой ложбины. Эта модель подходит для объяснения формирования ложбин, расположенных вдоль гребневых зон соляных структур над разломами (см. рис. 5).

В последнее время предпринимались попытки смоделировать взаимодействие между ледниковой нагрузкой и соляными структурами в целях установления их причастности к проявлению краевых ледниковых и подледниковых процессов. Оказалось, что в Центрально-Европейском бассейне над соляными диапирами в ходе наступания ледникового покрова возникают локальные топографические препятствия и дренажные градиенты, а над крыльями диапиров и прилегающих синклиналей возрастают давление поровых вод и наклон падения потенциальных детачментов [3]. Эти явления способствуют ледниковой деформации, аккумуляции и субгляциальной эрозии над диапирами и крыльями синклиналей. Модели с полным ледниковым перекрытием показывают погружение диапира, формирование депрессий в основании ледника и трещин в перекрывающей толще над диапиром и растворение соли напорными талыми водами. Подледное проседание соляных структур облегчает субгляциальную эрозию и врезание водно-эрозионных ложбин.

Большинством геологов признается, что деформации земной коры, связанные с гляциоизостатическими движениями, фокусируются вдоль существующих соляных структур и активизируют их рост, вызывая образование ослабленных зон в коренном субстрате, которые могут значительно влиять на процессы ледниковой экзарации, выдавливания, эрозии и аккумуляции, а также заложение ложбин.

Выводы

Ледниковые ложбины были сформированы во время подвижек наревского, березинского и днепровского ледников в Припятском прогибе. По буровым материалам на территории прогиба установлены 24 ложбины в поверхности коренных пород и четвертичной толще. В большинстве своем они представляют собой линейно вытянутые или слабоизвилистые, хотя и короткие, но относительно глубокие понижения.

Выявлена довольно отчетливая зависимость между геологическим строением Припятского прогиба и развитием ложбин. Установлено расположение над локальными структурами верхнефаменской соленосной толщи ледниковых ложбин: они размещаются над теми локальными структурами, которые проявляли активизацию в четвертичное время. В пределах Припятского прогиба большинство ложбин расположены над локальными соляными поднятиями (криптодиапирами, диапироидами, валами), меньшая часть – в границах отрицательных структур (синклиналей и мульд). На площади поднятий ложбины чаще всего выявляются на сводах и склонах, обращенных навстречу движению ледника. У отрицательных форм они тяготеют к осевым частям и крыльям, сопряженным с поднятиями. Характерная особенность ложбин, которые имеют взаимосвязь с соляными структурами, – нередкая приуроченность к активным разломам. Эти разломы зачастую прослеживаются внутри отраженных складок в надсолевых верхнедевонско-кайнозойских осадочных отложениях с заметным смещением вплоть до поверхности дочетвертичных отложений, где наследуются ложбинами.

Развитие солевых структур и разломов в Наревское оледенение и днепровскую стадию Припятской ледниковой эпохи создавало под ледниками ослабленные зоны, которые способствовали гляциотектоническим деформациям, ледниковой экзарации и эрозии субгляциальных потоков талых ледниковых вод.

Библиографические ссылки

1. Liszkowski J. The effects of Pleistocene ice sheet loading-deloadng cycles on the bedrock structure of Poland. *Folia Quaternaria*. 1993;64:7–24.
2. Sirocko F, Reicherter K, Lehné R, Hübscher Ch, Winsemann J, Stackebrandt W. Glaciation, salt and the present landscape. In: Littke R, Bayer U, Gajewski D, Nelskamp S, editors. *Dynamics of complex intracontinental basins. The Central European Basin System*. Berlin: Springer; 2008. p. 233–245.
3. Lang J, Hampel A, Brandes C, Winsemann J. Response of salt structures to ice-sheet loading: implications for ice-marginal and subglacial processes. *Quaternary Science Reviews*. 2014;101:217–233. DOI: 10.1016/j.quascirev.2014.07.022.
4. Горелик ЗА. О влиянии соляных структур Припятской впадины на распределение гидрографической сети и некоторые данные об их развитии в мезокайнозое. *Доклады АН БССР*. 1961;5(1):17–20.
5. Карабанов АК, Гарецкий РГ, Айзберг РЕ. *Неотектоника и неогеодинамика запада Восточно-Европейской платформы*. Минск: Беларуская навука; 2009. 182 с.
6. Матвеев АВ, Абраменко НН, Левков ЭА, Костко АА. *Неотектоника территории Припятского прогиба*. Крутоус ЭА, редактор. Минск: Наука и техника; 1980. 106 с.
7. Матвеев АВ. *История формирования рельефа Белоруссии*. Минск: Навука і тэхніка; 1990. 143 с.
8. Махнач АС, Гарецкий РГ, Матвеев АВ, Аношко ЯИ, Илькевич ГИ, Конищев ВС и др., редакторы. *Геология Беларуси*. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси; 2001. 815 с.
9. Гарецкий РГ, редактор. *Палеотектоника Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1983. 182 с.
10. Махнач АС, Гарецкий РГ, Матвеев АВ, Аношко ЯИ, редакторы. *Основы геологии Беларуси*. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси; 2004. 392 с.
11. Конищев ВС. *Соляная тектоника Припятского прогиба*. Минск: Наука и техника; 1975. 150 с.
12. Hseinat MAI, Hübscher C. Ice-load induced tectonics controlled tunnel valley evolution – instances from the southwestern Baltic Sea. *Quaternary Science Reviews*. 2014;97:121–135. DOI: 10.1016/j.quascirev.2014.05.011.
13. Kurzawa M. The sedimentary record and rates of Quaternary vertical tectonic movements in NW Poland. *Quaternary International*. 2003;101–102:137–148. DOI: 10.1016/S1040-6182(02)00096-4.
14. Piotrowski JA. Salt diapirs, pore-water traps and permafrost as key controls for glaciotectonism in the Kiel area, northwestern Germany. In: Aber JS, editor. *Glaciotectonics and mapping glacial deposits. Proceedings of the INQUA Commission on Formation and Properties of Glacial Deposits*. Regina: Canadian Plains Research Center, University of Regina; 1993. p. 86–98. (Canadian plains proceedings; 25).
15. Piotrowski JA. Tunnel-valley formation in northwest Germany – geology, mechanisms of formation and subglacial bed conditions for the Bornhöved tunnel valley. *Sedimentary Geology*. 1994;89(1–2):107–141. DOI: 10.1016/0037-0738(94)90086-8.
16. White WA. Displacement of salt by the Laurentide Ice Sheet. *Quaternary Research*. 1992;38(3):305–315. DOI: 10.1016/0033-5894(92)90040-P.
17. Sirocko F, Szeder T, Seelos C, Lehne R, Rein B, Schneider WM, et al. Young tectonic and halokinetic movements in the North-German-Basin: its effect on formation of modern rivers and surface morphology. *Netherlands Journal of Geosciences*. 2002;81(3–4): 431–441. DOI: 10.1017/S0016774600022708.

References

1. Liszkowski J. The effects of Pleistocene ice sheet loading–deloading cycles on the bedrock structure of Poland. *Folia Quaternaria*. 1993;64:7–24.
2. Sirocko F, Reicherter K, Lehné R, Hübscher Ch, Winsemann J, Stackebrandt W. Glaciation, salt and the present landscape. In: Littke R, Bayer U, Gajewski D, Nelskamp S, editors. *Dynamics of complex intracontinental basins. The Central European Basin System*. Berlin: Springer; 2008. p. 233–245.
3. Lang J, Hampel A, Brandes C, Winsemann J. Response of salt structures to ice-sheet loading: implications for ice-marginal and subglacial processes. *Quaternary Science Reviews*. 2014;101:217–233. DOI: 10.1016/j.quascirev.2014.07.022.
4. Gorelik ZA. [On the influence of salt structures of the Pripyat Depression on the distribution of the hydrographic network and some data on their development in the Mesocainozoic]. *Doklady AN BSSR*. 1961;5(1):17–20. Russian.
5. Karabanov AK, Garetskii RG, Aizberg RE. *Neotektonika i neogeodinamika zapada Vostochno-Evropskoi platformy* [Neotectonics i neogeodynamics of west of the East European Platform]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2009. 182 p. Russian.
6. Matveev AV, Abramenko NN, Levkov EA, Kostko AA. *Neotektonika territorii Pripyatskogo progiba* [Neotectonics of the territory of the Pripyat Trough]. Krutous EA, editor. Minsk: Nauka i tekhnika; 1980. 106 p. Russian.
7. Matveev AV. *Istoriya formirovaniya rel'efa Belorussii* [Hystory of Belarusian relief formation]. Minsk: Navuka i tjehnika; 1990. 143 p. Russian.
8. Makhnach AS, Garetskii RG, Matveev AV, Anoshko YaI, Il'kevich GI, Konishchev VS, et al., editors. *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk: Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus; 2001. 815 p. Russian.
9. Garetskii RG, editor. *Paleotektonika Belorussii* [Paleotectonics of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1983. 182 p. Russian.
10. Makhnach AS, Garetskii RG, Matveev AV, Anoshko YaI, editors. *Osnovy geologii Belarusi* [Basic Geology of Belarus]. Minsk: Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus; 2004. 392 p. Russian.
11. Konishchev VS. *Solyanaya tektonika Pripyatskogo progiba* [Salt tectonics of the Pripyat Trough]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1975. 150 p. Russian.
12. Hseinat MAI, Hübscher C. Ice-load induced tectonics controlled tunnel valley evolution – instances from the southwestern Baltic Sea. *Quaternary Science Reviews*. 2014;97:121–135. DOI: 10.1016/j.quascirev.2014.05.011.
13. Kurzawa M. The sedimentary record and rates of Quaternary vertical tectonic movements in NW Poland. *Quaternary International*. 2003;101–102:137–148. DOI: 10.1016/S1040-6182(02)00096-4.
14. Piotrowski JA. Salt diapirs, pore-water traps and permafrost as key controls for glaciotectionism in the Kiel area, northwestern Germany. In: Aber JS, editor. *Glaciotectionism and mapping glacial deposits. Proceedings of the INQUA Commission on Formation and Properties of Glacial Deposits*. Regina: Canadian Plains Research Center, University of Regina; 1993. p. 86–98. (Canadian plains proceedings; 25).
15. Piotrowski JA. Tunnel-valley formation in northwest Germany – geology, mechanisms of formation and subglacial bed conditions for the Bornhöved tunnel valley. *Sedimentary Geology*. 1994;89(1–2):107–141. DOI: 10.1016/0037-0738(94)90086-8.
16. White WA. Displacement of salt by the Laurentide Ice Sheet. *Quaternary Research*. 1992;38(3):305–315. DOI: 10.1016/0033-5894(92)90040-P.
17. Sirocko F, Szeder T, Seelos C, Lehne R, Rein B, Schneider WM, et al. Young tectonic and halokinetic movements in the North-German-Basin: its effect on formation of modern rivers and surface morphology. *Netherlands Journal of Geosciences*. 2002;81(3–4): 431–441. DOI: 10.1017/S0016774600022708.

Статья поступила в редколлегию 20.12.2019.
Received by editorial board 20.12.2019.