

УДК 551.464.6.02;551.733 (476)

Академик А. А. МАХНАЧ¹, С. А. КРУЧЕК¹, Б. Г. ПОКРОВСКИЙ²

ГИПС В СИЛУРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕЛАРУСИ: ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СЕРЫ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ

¹Научно-производственный центр по геологии, Минск, Беларусь
amahnach@geology.org.by; kruchek@geology.org.by

²Геологический институт РАН, Москва, Россия
pokrov@ginras.ru

В силурийских отложениях Беларуси впервые выявлен гипс. Он слагает гнезда-желваки и выполняет трещины и фенестры в глинисто-карбонатных породах разреза скважины Давтюны 3к (Гродненская область, Островецкий район). С использованием данных об изотопном составе серы показано, что образование гипса протекало на стадии диагенеза в среде силурийской морской воды, сконцентрированной при внутригрунтового испарении. Процесс инициировался многократным наложением надприливных обстановок на глинисто-карбонатные отложения, сформированные в мелководных подприливных и межприливных условиях.

Ключевые слова: Беларусь, силурийские отложения, гипс, изотопы серы, надприливная обстановка, внутригрунтового испарение.

A. A. MAKHNACH¹, S. A. KRUCHEK¹, B. G. POKROVSKY²

GYPSUM IN THE SILURIAN DEPOSITS OF BELARUS: SULPHUR ISOTOPIC COMPOSITION AND ORIGIN

¹Research and Production Centre for Geology, Minsk, Belarus
amahnach@geology.org.by; kruchek@geology.org.by

²Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
pokrov@ginras.ru

Gypsum was found in the Silurian deposits of Belarus for the first time. It composes nodules and fills cracks and fenestras in clayey-carbonate rocks revealed by the Davtiuny 3k borehole (Grodno area, Ostrovets region). With the use of the sulphur isotope data, it is shown that gypsum was formed at the diagenetic stage in the Silurian seawater concentrated under interground evaporation. The process was the result of a repeated **superimposition of supratidal environment onto clayey-carbonate deposits** formed in shallow subtidal and intratidal conditions.

Keywords: Belarus, the Silurian deposits, gypsum, sulphur isotopes, supratidal environment, interground evaporation.

Введение. Силурийские отложения Беларуси залегают на ее крайнем северо-западе и крайнем юго-западе (рис. 1) и занимают самую незначительную площадь территории страны по сравнению с образованиями всех остальных геологических систем фанерозоя [1]. Из-за невысокой перспективности этих отложений на полезные ископаемые они долгое время оставались недостаточно изученными. Недавно в связи с проведением крупномасштабной геологической съемки и инженерно-геологических изысканий в пределах северо-западного сегмента распространения отложений (на склоне Белорусской антеклизы в зоне ее сочленения с Балтийской синеклизой) был пробурен ряд скважин, давших новый каменный материал. В глинисто-карбонатных и карбонатно-глинистых силурийских отложениях, вскрытых скважиной Давтюны 3к в Островецком районе Гродненской области (рис. 1), были впервые обнаружены многочисленные проявления гипса. В настоящее время наиболее древним эвапоритовым бассейном на территории страны считается среднедевонский (эйфельский), в котором образовались пластовые гипсы, широко распространенные на территории Северной и Средней Беларуси, а также пласты анги-

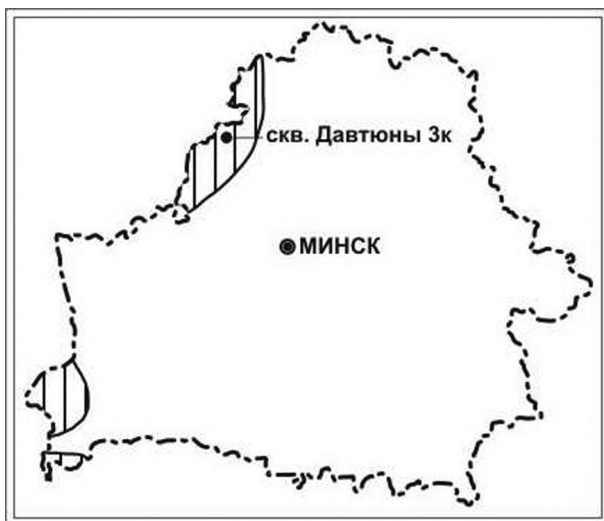


Рис. 1. Площадь распространения силурийских отложений на территории Беларуси (заштрихована) [1] и местоположение изучавшегося разреза

в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии Геологического института РАН (Москва). Значения изотопного отношения $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ($\delta^{34}\text{S}$) приведены к стандарту CDT. Точность (воспроизводимость) определений $\delta^{34}\text{S}$ находится в пределах $\pm 0,2\%$. Для точной диагностики глинисто-карбонатных и карбонатно-глинистых пород, вмещающих гипс, в Научно-производственном центре по геологии (Минск) производились изучение петрографических шлифов (А. А. Махнач, Г. Д. Стрельцова) и анализ карбонатности по методу В. Н. Щербины с дериватографическим контролем (И. Н. Тетерева).

Результаты и их обсуждение. Силурийские отложения в скважине Давтюны 3к вскрыты на глубине 98,3 м под образованиями освейского горизонта эйфельского яруса среднего девона, представленными чередованием доломитов, мергелей, глин и алевролитов. Бурение скважины остановлено на глубине 226,6 м; из силурийской толщи она не вышла. Основная часть разреза представлена отложениями нижнего силура. В ней выделены породы теличьего яруса (швянчёнская свита) лландоверийского отдела, шейнвудского (ячёнская свита) и гомерского (островецкая свита) ярусов венлокского отдела. Венчается разрез образованиями горстийского яруса (вилейская свита) лудловского отдела верхнего силура.

Силурийские породы, за исключением самой нижней части пройденного разреза, где залегают чистые известняки, сложены карбонатным и глинистым материалом в разнообразных соотношениях. Чаще всего встречаются мергели известковисто-доломитовые и доломитисто-известковые, доломиты глинистые и известковистые глинистые. Карбонатность пород, начиная с кровли и до верхней части толщи теличьего яруса, преимущественно доломитовая, затем вниз постепенно начинает меняться на известковую. Цвет пород серый, реже – светло-серый, иногда с бежевым или зеленоватым оттенком. Текстура обычно массивная, редко – брекчиевидная и тонкослоистая, структура – преимущественно пелитоморфно-микрозернистая и микро-мелкозернистая.

Помимо миоспор, акритарх, остатков ихтиофауны и конодонтов, по которым произведено стратиграфическое расчленение разреза, в породах присутствуют остатки иглокожих, брахиопод, остракод, мшанок, червей, другой бентосной фауны и водорослей. По всему изученному разрезу встречается гипс. Выделяются три морфологических вида его проявлений: гнезда-желваки (1), выполнение трещин (2), выполнение фенестральных полостей (3) (рис. 2).

Чаще всего встречаются гнезда-желваки. Этим термином мы объединили округлые, иногда шаровидные плотноупакованные во вмещающих породах скульптуры (явные желваки) и скульптуры, тоже плотноупакованные, но не имеющие отчетливо округлых очертаний или определить истинную форму которых в керне не представлялось возможным. Размер гнезд-желваков обычно от нескольких миллиметров до 2,5 см, а самое крупное из отмеченных проявлений этого

дрита и местами каменной соли – в Припятском прогибе. Представляло интерес выяснить, чем обусловлена природа гипсовых проявлений в силурийских отложениях – сгущением силурийской морской воды или инфильтрацией рассолов эйфельского бассейна галогенеза.

Материалы и методы исследования. Изучался разрез скважины Давтюны 3к. Стратиграфическое расчленение отложений выполнено по миоспорам, акритархам, конодонтам и ихтиофауне [2]. Вовлеченный в работу каменный материал охватывал чуть более 105 м разреза и включал 37 образцов глинисто-карбонатных и карбонатно-глинистых пород, содержащих проявления гипса.

Изотопный анализ серы в гипсе выполнен Б. Г. Покровским с помощью масс-спектрометра Delta V Advanced и установки Gas-Bench-I

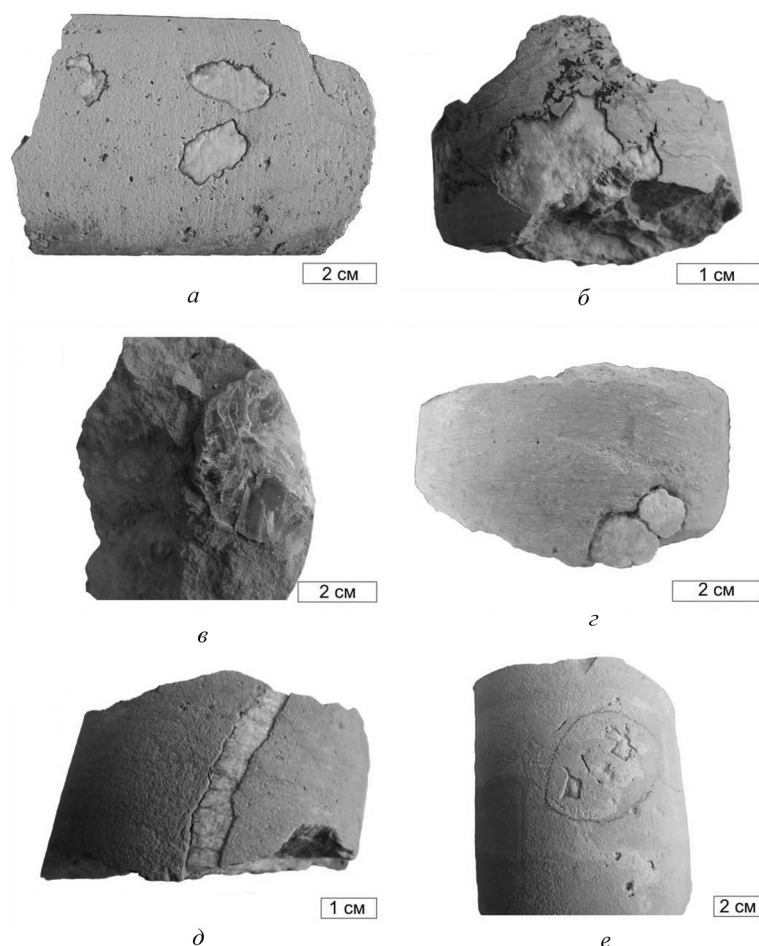


Рис. 2. Гипс, слагающий гнезда-желваки (а-с), выполняющий трещину (д) и фенестры (е) в силурийских отложениях, вскрытых скважиной Давтюны 3к: а – гл. 163,4 м, шейнвудский ярус; б – гл. 159,0 м, гомерский ярус; в – гл. 184,5 м, шейнвудский ярус; г – гл. 215,3 м, теличский ярус; д – гл. 174,0 м, шейнвудский ярус; е – гл. 140,0 м, гомерский ярус

типа имеет величину 3×4 см. Цвет гипсовых гнезд-желваков светло-оранжевый, оранжевый, розовый, белый, серый. Гипс сахаровидный и пластинчатый. В последнем случае, особенно когда пластины крупные, гипс бесцветный или желтоватый.

Трещины с гипсом вертикальные. Их ширина от 2 до 6 мм. Гипс в них пластинчатый и крупнопластинчатый, иногда волокнистый, бесцветный. Ориентировка гипсовых кристаллов обычно горизонтально параллельна, реже перпендикулярна стенкам трещин, иногда – под углом 30° к горизонту.

Реже всего гипс выполняет фенестральные полости (поры усыхания или очень ранние разрывы в быстро литифицирующемся осадке) [3; 4]. Фенестры приурочены к верхней части нашего разреза и имеют угловатую, то вытянутую, то изометричную форму; их размер от нескольких миллиметров до 1,5 см. Гипс в них бесцветный и прозрачный, монокристаллический. В одном случае фенестры с оранжевым гипсом имеют псевдокубическую с вогнутыми гранями форму, подобную той, что характерна для полостей, возникающих в результате растворения кристаллов галита в полулитифицированном осадке.

Завершая краткую литологическую характеристику разреза, заострим внимание на трех примечательных чертах локализации гипса в породах, существенных для реконструкции условий его формирования. Во-первых, несмотря на частую встречаемость гипсовых проявлений в разрезе, не обнаружено ни пластов гипса, ни, хотя бы, его прослоек, проходящих через весь керн. Во-вторых, в разрезе, а иногда даже в одном образце керна соседствуют плотноупакованные желваки гипса, образование которых возможно в нелиффицированном субстрате, и гипс в вертикальных четко очерченных трещинах, которые могли появиться лишь в хрупкой консо-

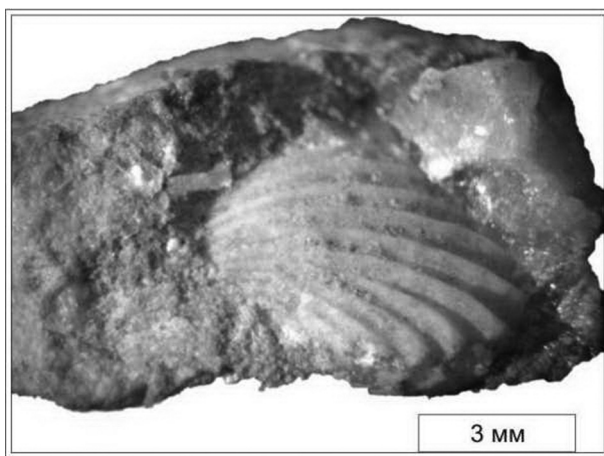


Рис. 3. Ассоциация раковины брахиоподы *Hemitoechia* sp. и гипса (светлое) в глинистом доломите из шейнвудской толщи, пройденной скважиной Давтюны 3к (гл. 178,6 м)

лидированной породе. В-третьих, интересна ассоциация выделений гипса с остатками бентосной фауны, в т. ч. явно стеногалинной (рис. 3), не выдерживающей соленость растворов, при которой возможно гипсообразование.

Изотопный состав серы в гипсе гнезд-желваков, трещинных выполнений и фенестр существенно изменчив по разрезу (таблица). Значения $\delta^{34}\text{S}$ в нижней половине разреза (21,3–22,1 ‰) ниже, чем в верхней (22,3–26,7 ‰). Трудно сказать, с чем связана эта особенность распределения $\delta^{34}\text{S}$. Возможно, она несет хемотратиграфическую нагрузку, а может быть, обусловлена изменениями в интенсивности сульфат-редукции, которая, как известно [5 и др.], сопровождается облегчени-

ем формирующейся сульфидной серы и утяжелением остаточной сульфатной.

Более определенно можно трактовать порядок значений $\delta^{34}\text{S}$. Тридцать лет назад был изучен изотопный состав серы гипса в отложениях нижнего девона, ордовика, кембрия и верхнего протерозоя на территории Северной и Средней Беларуси [6]. Эти гипсовые проявления (гнезда, желваки, выполнения трещин в карбонатных породах, цементы в песчаниках, алевролитах, гравелитах) по особенностям локализации и морфологии похожи на те, что впервые и совсем недавно обнаружены в силурийских отложениях скв. Давтюны 3к и являются объектом настоящего исследования. Происхождение гипса в нижнедевонских, ордовикских, кембрийских и верхнепротерозойских отложениях было объяснено влиянием нисходящих рассолов среднедевонского (эйфельского) бассейна галогенеза, продуктом которого являются пластовые гипсы, широко распространенные в Оршанской впадине, на Белорусской антеклизе, Латвийской и Жлобинской седловинах. Обоснованием этой версии стали два аргумента. Первый – гидрогеологические данные. Например, в вендских ледниковых, вулканогенно-осадочных и нормально-морских терригенных отложениях Оршанской впадины, не имеющих никакого отношения к эвапоритовому процессу, но залегающих под пластовыми гипсами эйфельского возраста, заключены рассолы с минерализацией до 150 г/л. Второй аргумент – изотопный состав серы гипса. Диапазоны и средние арифметические значения $\delta^{34}\text{S}$ таковы: нижний девон (эмс) – 14,3–19,4 (17,7 ± 0,3 ‰), ордовик – 15,2–20,0 (18,8 ± 0,4), кембрий – 15,4–22,0 (19,4 ± 0,9), верхний протерозой – 16,3–19,9 (18,6 ± 0,6 ‰). Как видим, изотопные характеристики гипса в этих разновозрастных отложениях весьма близки между собой, но, самое главное, что они близки цифрам для пластового эйфельского гипса (16,9 ± 0,3 ‰), свойственным, в свою очередь, сульфатам среднего девона на глобальной кривой (~19 ‰) [7]. Изотопный состав серы гипса из силурийских отложений нашего разреза ощутимо более тяжелый: значения $\delta^{34}\text{S}$ изменяются от 21,3 до 26,7, в среднем составляют 22,9 ± 0,4 ‰ и близки диапазону значений (~24–28 ‰), характерному для силура на фанерозойской изотопной кривой [7; 8]. Это, очевидно, указывает на то, что проявления гипса в силурийских отложениях северо-запада Беларуси, в отличие от таковых в нижнем девоне, ордовике, кембрии и верхнем протерозое, образованных под влиянием нисходящих эйфельских рассолов, сформировались с участием сгущенной силурийской морской воды. Данный тезис с общегеологических позиций можно подкрепить тем, что эйфельские отложения, перекрывающие силурийские в изучавшемся разрезе и окрестностях, не содержат пластов гипса, что свидетельствует об отсутствии здесь среднедевонского эвапоритового бассейна, рассолы которого могли бы быть потенциальным агентом гипсообразования в нижележащих отложениях. Кроме того, судя по упоминаниям литовских геологов [9; 10] о включениях и даже прослойках гипса в силурийских отложениях Южной и Восточной Литвы (Пренай, Жежмаряй, Кауно-Воке, Вильнюс, Швянче-

Распределение проявлений гипса в силурийских отложениях скв. Давтюны 3к и изотопный состав его серы

Глубина, м	Вмещающая порода	Форма проявления гипса	$\delta^{34}\text{S}$, ‰ (CDT)
<i>Верхний силур, лудловский отдел, горстийский ярус (вилейская свита)</i>			
119,5	Доломит известковистый глинистый	Выполнение трещин	
120,5	– // –	Выполнение фенестр	
<i>Нижний силур, венлокский отдел, гомерский ярус (островецкая свита)</i>			
140,0	Мергель доломитовый	Выполнение фенестр	
156,0	Мергель известковисто-доломитовый	Гнезда-желваки	
159,0	Доломит известковистый глинистый	Выполнение фенестр и гнезда-желваки	26,7
159,2	– // –	Гнезда-желваки	22,7
160,5	– // –	– // –	23,7
160,6	– // –	– // –	
161,6	– // –	– // –	22,3
161,9	Доломит известковистый	– // –	
<i>Нижний силур, венлокский отдел, шейнвудский ярус (ячёнская свита)</i>			
163,4	Доломит глинистый	Гнезда-желваки	25,7
170,5	– // –	Гнезда-желваки и выполнение трещин	
171,5	– // –	Гнезда-желваки	
174,0	– // –	Выполнение трещин	24,0
177,0	– // –	Гнезда-желваки	
178,6	– // –	– // –	23,6
181,2	– // –	– // –	
183,0	– // –	– // –	
184,5	Мергель известковисто-доломитовый	– // –	21,7
187,2	Мергель доломитовый	Выполнение трещин	
188,0	– // –	– // –	21,7
189,0	Мергель известковисто-доломитовый	Выполнение трещин и гнезда желваки	21,8
191,0	– // –	Гнезда-желваки	
193,0	– // –	Выполнение трещин и гнезда желваки	
194,5	– // –	Выполнение трещин	21,7
197,5	Мергель доломитовый	– // –	
<i>Нижний силур, лландоверийский отдел, теличский ярус (швянчёнская свита)</i>			
200,0	Мергель известковисто-доломитовый	Гнезда-желваки	
200,5	– // –	Выполнение трещин	
204,0	Мергель глинистый известковисто-доломитовый	Гнезда-желваки	22,0
207,7	Мергель доломитисто-известковый	– // –	
211,0	Мергель известковисто-доломитовый	– // –	
211,5	Мергель доломитисто-известковый	– // –	
212,5	– // –	– // –	
215,3	– // –	– // –	22,1
218,7	– // –	– // –	
220,0	– // –	– // –	
222,8	– // –	– // –	21,3

нис), т. е. недалеко от места наших исследований, эвапоритовый процесс силуру белорусско-литовского региона в той или иной форме «не был противопоказан».

Следующий из изотопных данных вывод о том, что источником гипсообразующих рассолов являлась силурийская морская вода, еще не раскрывает механизма гипсообразования. Для создания модели процесса этот вывод должен быть согласован со следующими двумя фактами: 1 – образование гипса было постседиментационным, что вытекает из нахождения его в породах вместе с остатками нормально-морской фауны, форм его локализации и отсутствия в разрезе гипсовых прослоев; 2 – оно осуществлялось как в нелитифицированном (гнезда-желваки), так и литифицированном (выполнение трещин и фенестр) глинисто-карбонатном субстрате.

Нам представляется, что канвой предлагаемой модели формирования гипса в силурийских отложениях на северо-западе Беларуси может стать предположение о связанном с миграцией береговой линии частом чередовании здесь трех фациальных обстановок: мелководной подприливной, межприливной и надприливной. Данное предположение вполне вероятно для этой, самой прибрежной, части обширного Балтийского седиментационного бассейна.

Важной чертой эволюции фациальных условий на этой территории было также несомненное существование нередких и, вероятно, долгих перерывов в осадконакоплении. Это вытекает из сопоставления длительности накопления и мощности изучавшейся части силурийского разреза в скв. Давтюны 3к. Отрезок времени с лландовери до лудлова включительно, в течение которого сформировалась наша толща мощностью ~106 м, составляет ~15 млн лет [11]. Вместе с тем, если приблизительно принять скорость седиментации равной 3 см в 1000 лет [12], легко рассчитать, что для накопления такой толщи при отсутствии пауз в осадконакоплении хватило бы гораздо меньше времени (~3,5 млн лет).

Наконец, по аналогии с районами современной карбонатной седиментации можно допустить, что на фоне быстрой консолидации накапливающихся силурийских осадков, характерной для подприливной мелководной и межприливной зон, в разрезе имело место чередование литифицированных и нелитифицированных пластов [13].

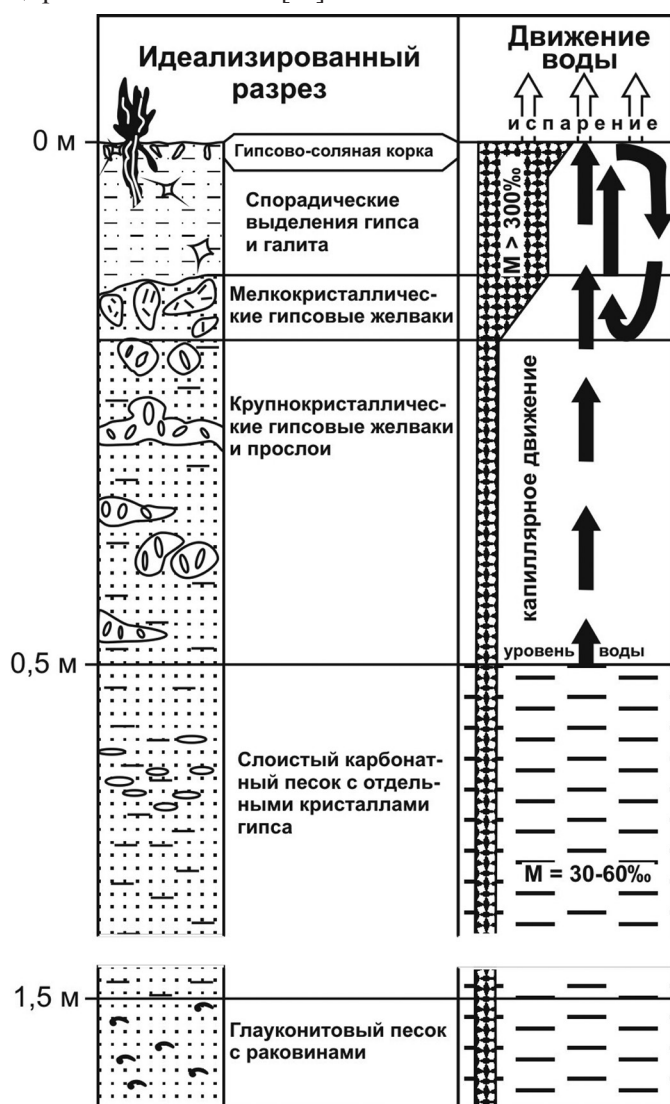


Рис. 4. Обстановка в зоне диагенеза карбонатного осадка в пределах надприливной равнины на средиземноморском побережье Египта [15] как современная модель условий гипсообразования в силуре на северо-западе Беларуси. Минерализация (M) растворов увеличивается вверх по разрезу в результате внутригрунтового испарения, сопровождаемого восходящим капиллярным движением воды

С учетом сказанного выше, модель гипсообразования в силурийских отложениях Беларуси выглядит следующим образом. В связи с частыми колебаниями уровня моря глинисто-карбонатные и карбонатно-глинистые отложения, накапливавшиеся в подприливной и межприливной обстановках периодически выводились в субаэральные условия. Это были эпизоды перерывов в осадконакоплении. Территория представляла собой пляж, сложенный неравномерно литифицированными осадками, который заливался морской водой во время сильных штормов и ветровых нагонов. После них здесь, в наиболее пониженных частях рельефа плоской надприливной равнины, определенное время сохранялась морская вода. В условиях аридного климата, существование которых можно предполагать, исходя из расположения территории Беларуси в силуре вблизи экватора [14], она подвергалась интенсивному испарению и концентрированию и, будучи уже сконцентрированной на поверхности, просачивалась в карбонатный осадок и насыщала его. Здесь «включалось» внутригрунтовое испарение, вызывавшее формирование гнезд-желваков гипса в не успевших литифицироваться осадках и выполнение гипсом трещин и фенестр в литифицированном субстрате. Модель такого своеобразного диагенетического гипсообразования реализуется в пределах целого ряда современных надприливных равнин. Для примера на рис. 4 показана подобная ситуация на средиземноморском побережье Египта.

Заключение. Изотопный состав серы гипса, впервые выявленного в отложениях силура Беларуси, свидетельствует о том, что средой гипсообразования были сгущенные дериваты силурийской морской воды. К диагенетическому формированию гипсовых гнезд-желваков и выполнению трещин и фенестр привело многократное наложение надприливных обстановок на глинисто-карбонатные и карбонатно-глинистые отложения, сформированные в мелководных подприливных и межприливных условиях. Процесс протекал в аридном климате с участием внутригрунтового испарения.

Авторы выражают благодарность Т. Ф. Саченко за определение родовой принадлежности брахиоподы, изображенной на рис. 3, Е. А. Василёнок – за ее фотографирование, С. М. Василевичу – за содействие в подборе каменного материала.

Список использованной литературы

1. Геология Беларуси / ред. А. С. Махнач [и др.]. – Мн.: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
2. Плакс, Д. П. Новые местные стратиграфические подразделения верхнего силура и среднего девона северо-западной части Белорусской антеклизы / Д. П. Плакс, С. А. Кручек, В. Ю. Обуховская // *Літасфера*. – 2016. – № 1 (44). – С. 3–25.
3. Tebbut, G. E. Lithogenesis of a distinctive carbonate rock fabric / G. E. Tebbut, C. D. Conley, D. W. Boyd // *Univ. Wyoming. Contr. Geology*. – 1965. – N 4. – P. 1–13.
4. Уилсон, Дж. Л. Карбонатные фации в геологической истории. Пер. с англ. / Дж. Л. Уилсон. – М.: Недра, 1980. – 463 с.
5. Гриненко, В. А. Геохимия изотопов серы / В. А. Гриненко, Л. Н. Гриненко. – М.: Наука, 1974. – 274 с.
6. Махнач, А. А. Изотопный состав серы сульфатных минералов Белоруссии / А. А. Махнач, Г. М. Ефремов, Т. В. Иванова // *Докл. АН БССР*. – 1987. – Т. XXXI, № 3. – С. 260–263.
7. Kampschulte, A. The sulfur isotopic evolution of Phanerozoic sea water based on the analysis of structurally substituted sulphate in carbonates / A. Kampschulte, H. Strauss // *Chemical Geology*. – 2004. – N 204. – P. 255–286.
8. Paytan, A. Sulfur Isotope Stratigraphy / A. Paytan, E. T. Gray // *The Geologic Time Scale 2012*. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier, 2012. – P. 167–180.
9. Коркутис, В. А. Литология и фации нефтеносных отложений нижнего палеозоя Южной Прибалтики / В. А. Коркутис, П. П. Лапинскас, Е. М. Лашков. – М.: Недра, 1972. – 180 с.
10. Lapinskas, P. Structure & Petroliferosity of the Silurian in Lithuania / P. Lapinskas. – Vilnius: Institute of Geology, 2000. – 203 p.
11. Melchin, M. J. The Silurian Period / M. J. Melchin, P. M. Sadler, B. D. Cramer // *The Geologic Time Scale 2012*. – Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier, 2012. – P. 525–558.
12. Геологический словарь. Т. 2 / ред. К. Н. Паффенгольц [и др.]. – М.: Недра, 1973. – 456 с.
13. Махнач, А. А. Стадиальный анализ литогенеза / А. А. Махнач. – Мн.: БГУ, 2000. – 255 с.
14. Nance, R. D. The Rheic Ocean: Origin, Evolution, and Significance / R. D. Nance, U. Linnemann // *GSA Today*. – 2008. – Vol. 18, N 12. – P. 4–12.
15. West, I. M. Primary gypsum nodules in a modern sabkha on the Mediterranean coast of Egypt / I. M. West, A. Ali Yehia, M. E. Hilmy // *Geology*. – 1979. – Vol. 7, N 7. – P. 354–358.

Поступило в редакцию 23.08.2016