

УДК 551.736.1:551.83

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-223-234

ГАЛОГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ УФИМСКОГО ЯРУСА В ПРЕДЕЛАХ СОЛИКАМСКОЙ ВПАДИНЫ

© 2018 г. Д. Е. Трапезников

Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Горный институт УрО РАН, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а, e-mail: DanilTrapeznikov@gmail.com

Поступила в редакцию 15.09.2017 г., принята к печати 15.10.2017 г.

По данным 2000 скважин, расположенных в пределах Соликамской впадины, реконструированы палеогеографические и тектонические условия накопления уфимских отложений нижней перми. Изучен полный разрез соляно-мергельной толщи с 9 крупными слоями каменной соли и гипсовой породы. На его основе составлена модифицированная схема стратификации толщи, позволяющая расчленять ее как при полной, так и частичной сохранности. В предложенной схеме толща делится на 3 крупных циклотемы, каждая из которых, в свою очередь, подразделяется на ряд циклитов. Каждый циклит отражает завершённый цикл эвапоритовой седиментации. Для соляных слоев построены карты изопакит, характеризующие конфигурацию солеродной лагуны и миграцию ее депоцентра в пределах Соликамской впадины в уфимское время. Выявлена вертикальная смена литологии пород с соленосной на преимущественно карбонатную, свидетельствующая об общей трансгрессии в регионе. Для верхних слоев соляно-мергельной толщи выявлена фациальная смена каменной соли гипсовыми породами по латерали. Анализ изменения конфигурации реконструированной лагуны во времени демонстрирует связь развития бассейна с региональными тектоническими событиями и проявлениями соляной тектоники в кунгурских отложениях.

Ключевые слова: Предуральский прогиб, Соликамская впадина, галогенез, уфимские отложения, соляно-мергельная толща, стратификация, цикличность, каменная соль, гипс

SALT DEPOSITS OF THE UFIMIAN FORMATION IN THE SOLIKAMSK DEPRESSION

Danil E. Trapeznikov

Mining Institute of the Perm Scientific Centre, Urals Branch of RAS, 78a Sibirskaya st., Perm, 614007, Russia, e-mail: DanilTrapeznikov@gmail.com

Received 15.09.2017, accepted 15.10.2017

The paleogeographic and tectonic conditions of the accumulation of Ufimian deposits (Lower Permian) were reconstructed on the basis of study more than 2000 wells within the Solikamsk depression. The most complete cross-section of the salt-marl formation (9 large layers of rock salt and gypsum rock) was studied. On this basis, the modified scheme of stratification of the salt-marl layer was proposed. The stratum was dismembered, both with complete and partial preservation of the salt layers. The stratum is divided into 3 large cyclothemes in this scheme, the cyclothemes – into series of cyclites. Each cyclite has a complete cycle of the evaporate sedimentation. The maps were constructed for each salt layer. The maps show the configuration of the salt lagoon and the migration of its depocenter within the Solikamsk depression (Ufimian age). The study of the cross-section shows the vertical change of the composition. The salt-bearing rocks are replaced by carbonate rocks – it corresponds to a general transgression in the region. For upper layers of salt-marl strata the facial replacement of the salt by gypsum rocks has been revealed. The analysis of the configuration of the reconstructed lagoon at the geological time demonstrates its connection with the regional tectonic events and salt tectonics in the Kungur sediments.

Keywords: the Uralian foredeep, the Solikamsk basin, halogenesis, Ufimian deposits, salt-marl layer, stratification, cyclicity, rock salt, gypsum

Acknowledgments

We are grateful to our colleagues in the Geology of Mineral Resources Laboratory of the Geological Institute, Urals Branch of RAS for their assistance in writing this work, especially O.I. Galinova, for help with the systematization of data, the construction of maps and the design of graphic materials. The author is grateful I.I. Chaikovsky for valuable comments and editorial manuscript.

The research was carried out within the framework of projects 0425-2014-0002 “Minerageny of the Main Permian Field” and 15-18-5-16 “Extreme (halogen and cryogenic) processes in the geological history of the Urals: mineral and geochemical indicators”.

Для цитирования: Трапезников Д.Е. (2018) Галогенные отложения уфимского яруса в пределах Соликамской впадины. *Литосфера*, 18(2), 223-234. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-223-234

For citation: Trapeznikov D.E. (2018) Salt deposits of the Ufimian Formation in the Solikamsk depression. *Litosfera*, 18(2), 223-234. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-223-234

ВВЕДЕНИЕ

Предуральский краевой прогиб – крупная тектоническая структура на стыке Восточно-Европейской платформы и Урала длиной более чем 2600 км, разделенная на ряд поднятий (седловин) и впадин. Соликамская впадина, занимающая центральное положение в структуре прогиба, имеет протяженность с севера на юг более 250 км, а с запада на восток – порядка 60 км (рис. 1). С юга впадина ограничена Косьвинско-Чусовской седловиной, а с севера – Ксенофонтово-Колвенской. Значительную часть ее площади занимает Верхнекамское месторождение солей (ВКМС), крупнейшее по запасам калийных солей в России.

Галогенная формация кунгурского яруса хорошо освещена в литературе, в то время как уфимские отложения, содержащие соль, изучены значительно хуже. Нижнее подразделение уфимского яруса – соляно-мергельная толща (СМТ), с одной стороны, завершает цикл соленакопления в пределах Соликамской впадины, а с другой, перекрывает соляную толщу.

Надсолевые отложения в пределах Соликамской впадины изучаются более 80 лет, начиная с работ первооткрывателя Верхнекамского месторождения – П.И. Преображенского [1925] и одного из первых исследователей месторождения – А.А. Иванова [1927]. В 1960–1980 гг. многочисленные работы проводились съемщиками и специалистами геологоразведочных партий М.И. Денисовым, Б.И. Сапегиним, Ю.А. Третьяковым и др. Обобщающие работы осуществлялись под руководством А.А. Иванова [Иванов, Воронова, 1975], а в недавнее время – А.И. Кудряшовым [2001, 2013].

Стратификация отложений уфимского яруса является ключом к решению вопросов развития как соляной залежи, так и Предуральского прогиба в целом. С практической стороны детальное расчленение СМТ необходимо при определении мощности водозащитной толщи на обрабатываемых площадях калийной залежи.

СТРАТИГРАФИЯ

В общей стратиграфической шкале (ОСШ), принятой в России, пермская система подразделяется на приуральский, биармийский и татарский отделы [Общая стратиграфическая шкала..., 2016]. Изучаемые отложения относятся к нижнепермским – кунгурскому и уфимскому ярусам приуральского отдела. В Международной стратиграфической шкале (МСШ) уфимский ярус не выделяется, а соответствующие ему по абсолютному возрасту отложения включены в кунгурский ярус [Ogg et al., 2016].

Галогенные отложения в пределах Соликамской впадины развиты в березниковской (кунгурский

ярус) и соликамской (уфимский ярус) свитах [Иванов, Воронова, 1975].

Кунгурский ярус. *Березниковская свита* (P_{1br}) мощностью 150–800 м развита в пределах большей части Соликамской впадины, представлена глинисто-ангидритовой и соляной толщами. Последняя включает калийную залежь Верхнекамского месторождения солей (рис. 2). Венчает березниковскую свиту толща покровной каменной соли (ПКС), мощность которой колеблется от 16 до 22 м.

Уфимский ярус представлен соликамским и шешминским горизонтами, которые соответствуют одноименным свитам.

Соликамская свита. *Нижнесоликамская подсвита* (P_{1sl_1}) представлена соляно-мергельной толщей, которая распространена практически на всей площади месторождения. Мощность толщи колеблется от 60 до 150 м. Минимум приходится на крупные поднятия поверхности соляной залежи кунгурского яруса. В этих районах она сложена преимущественно мергелями, часто переходящими в глины, иногда с прослоями гипсов. В отрицательных структурах толща имеет максимальные мощности, часто за счет содержащихся в ней мощных слоев каменной соли.

Верхнесоликамская подсвита (P_{1sl_2}) представлена терригенно-карбонатной толщей (ТКТ), которая развита практически на всей территории ВКМС. Мощность толщи варьируется в зависимости от литологического состава. Разрез, слагаемый мергелем и известняками, имеет мощность до 90 м, а в районе развития песчаников может достигать 170 м [Иванов, Воронова, 1975].

СТРАТИФИКАЦИЯ СОЛЯНО-МЕРГЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ

В некоторых районах Соликамской впадины уфимские отложения содержат слои каменной соли и гипсовой породы. Соль развита преимущественно в нижней части соляно-мергельной толщи, но один мощный слой присутствует в терригенно-карбонатной толще, зафиксированный в Камском прогибе в конце 1930-х гг. [Горецкий, 1964].

Соляно-мергельная толща была выделена в 1965 г. Б.И. Сапегиним и А.И. Белоликовым вместо переходной и глинисто-мергельной толщ. Границы выделенной соляно-мергельной толщи приняты снизу по контакту с покровной каменной солью и сверху – по подошве терригенно-карбонатной толщи [Иванов, Воронова, 1975]. В 1981 г. Ю.А. Третьяковым и Б.И. Сапегиним [1981] эта толща была расчленена на 9 ритмопачек (см. рис. 2) на основе данных гамма-каротажа 329 буровых скважин, расположенных в пределах южной части ВКМС. Удалось это только в пределах участков развития соляных и глинисто-карбонатных пород, которые хорошо идентифицируются этим методом. Первые

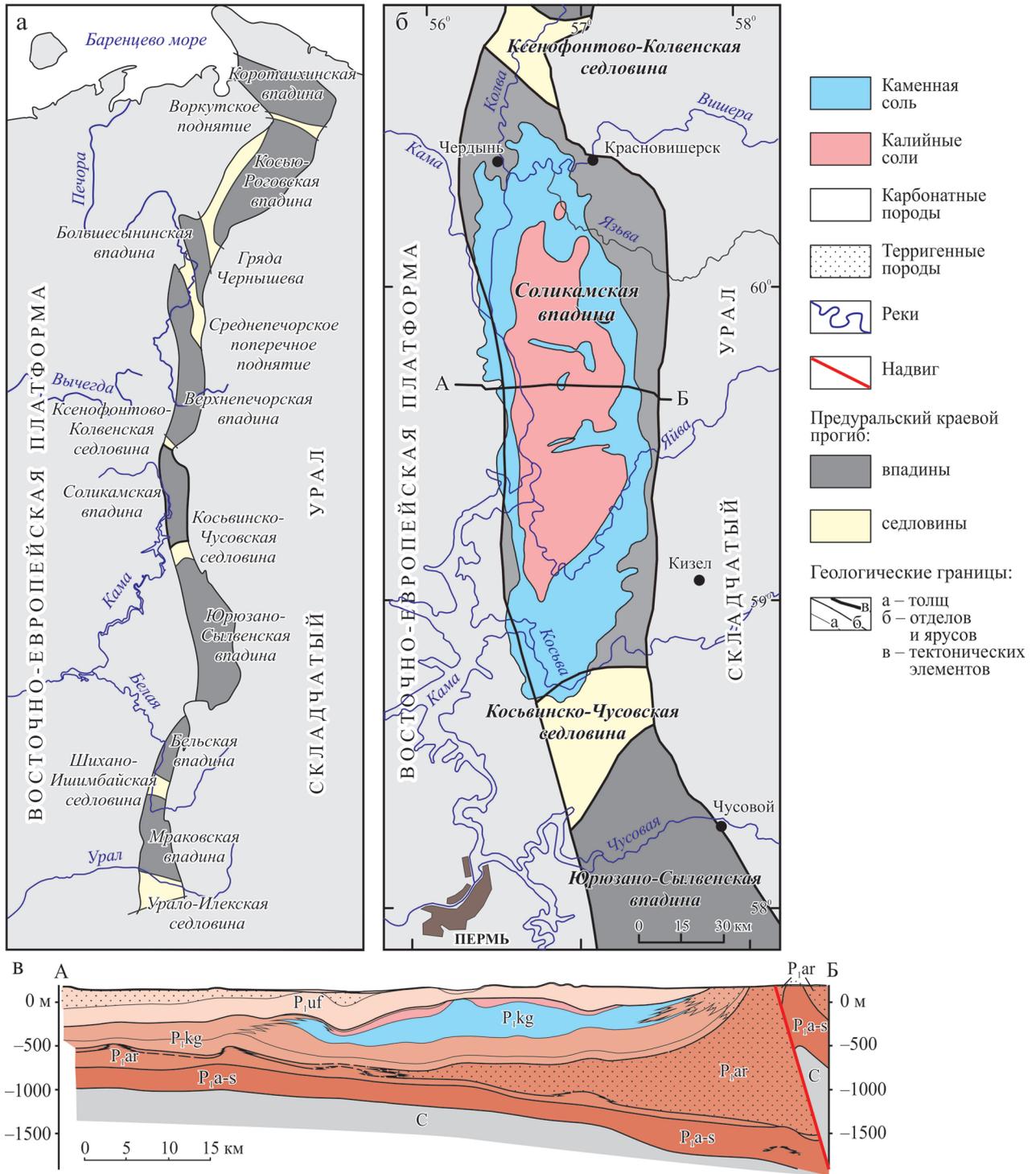


Рис. 1. Положение Соликамской впадины (а) и Верхнекамского месторождения солей (б) в пределах Предурального краевого прогиба, и широтный геологический разрез (в) по данным [Софроницкий, 1969; Проворов, 1973; Филатов, Кассин, Попов, 1995; Кудряшов, 2001, 2013].

На разрезе: P_{1uf} – уфимский ярус, P_{1kg} – кунгурский ярус, P_{1ar} – артинский ярус, P_{1a-s} – объединенные ассельский и сакмарский ярусы, С – каменноугольная система.

Fig. 1. The situation of the Solikamsk depression (a) and the Verkhnekamskoe salt deposit (б) within the Uralian fore-deep and the latitudinal geological cross-section (в) according to [Sofronitskii, 1969; Provorov, 1973; Filatov, Kassin, Popov, 1995; Kudryashov, 2001, 2013].

On the cross-section: P_{1uf} – the Ufimian stage, P_{1kg} – the Kungurian stage, P_{1ar} – Artinskian stage, P_{1a-s} – Asselian and Sakmarian stages, С – Carboniferous system.

Общая стратиграфическая шкала [2016]		А.А. Иванов, М.Л. Воронова [1975]	Ю.А. Третьяков, Б.И. Сапегин [1981]	В.И. Копнин [1991]						
Уфимский ярус P ₁ uf	Шешминский горизонт P ₁ šš	Пестроцветная толща	Пестроцветная толща	Пестроцветная толща						
	Соликамский горизонт P ₁ sl	Терригенно-карбонатная толща	Терригенно-карбонатная толща	Терригенно-карбонатная толща	Известняково-песчанниковая зона	Известняково-мергельная зона				
		Соляно-мергельная толща	Соляно-мергельная толща					Соляно-мергельная толща	Глинисто-мергельная толща	Гипсово-мергельная пачка
				P ₁ sl ₁ ⁹ 9-я ритмопачка	Мергельная пачка					
				P ₁ sl ₁ ⁸ 8-я ритмопачка		Мергально-глинистая пачка				
				P ₁ sl ₁ ⁷ 7-я ритмопачка						
				P ₁ sl ₁ ⁶ 6-я ритмопачка						
				P ₁ sl ₁ ⁵ 5-я ритмопачка						
				P ₁ sl ₁ ⁴ 4-я ритмопачка						
		P ₁ sl ₁ ³ 3-я ритмопачка								
Переходная пачка	Переходная зона	Мергально-соляная пачка								
P ₁ sl ₁ ² 2-я ритмопачка			Соляная пачка							
P ₁ sl ₁ ¹ 1-я ритмопачка										
Кунгурский ярус P ₁ kg	Иренский горизонт P ₁ ir	Березниковская свита	Соляная толща	Покровная каменная соль	Соляная толща	Покровная каменная соль	Березниковская свита	Верхнеберезниковская подсвита	Соляная толща	Покровная каменная соль

Рис. 2. Схема стратификации уфимских отложений Соликамской впадины.

Fig. 2. The stratification scheme of the Ufimian deposits of the Solikamsk depression.

7 ритмопачек состоят из двух пластов: нижний сложен мергелем или глиной, а верхний – каменной солью или глинисто-гипсовой породой. В верхней части 7-й ритмопачки был выделен опорный горизонт мощностью 1–2 м. Для 8-й ритмопачки установлено обилие фауны остракод и пелеципод, а также отмечено высокое споронасыщение и повышенное содержание молибдена. На контакте 8-й и 9-й ритмопачек выявлен репер – максимум гамма-активности. Девятая пачка сложена глинистыми и карбонатными породами с прослоями гипса или ангидрита.

Несмотря на то что схема расчленения толщи на 9 ритмопачек заменила собой деление на переходную и глинисто-мергельную толщи, в более

поздних работах [Копнин, 1991; Кудряшов, 2001, 2013] вновь используется понятие “переходная толща (пачка)”, причем в совершенно разных интерпретациях. В частности, рудничные геологи и в настоящее время включают в переходную пачку (ПП) первые две пары слоев каменной соли и мергеля, залегающие выше кровли кунгурских солей, а вышележащие соляные пласты относят к соляно-мергельной толще уфимского яруса.

В работе В.И. Копнина [1991] предложена совершенно иная стратиграфическая схема (см. рис. 2). В соляной толще кунгурского яруса над покровной каменной солью им выделяется верхняя переходная подтолща, подразделяющаяся на соляную (по 2 пласта солей и мергеля) и мергально-

соляную (по 3 пласта солей и мергеля) пачки. Далее соляно-мергельная толща уфимского яруса делится снизу вверх на мергельно-глинистую, мергельную маркирующую и гипсово-мергельную подтолщи. Эта схема используется в работах, посвященных биостратиграфическому расчленению отложений уфимского яруса Соликамской впадины [Силантьев, 1996; см. также ссылки в этой работе].

В работе А.И. Кудряшова [2013] сказано, что кровля переходной пачки проводится по первому сверху пласту каменной соли, следовательно, она является не стратиграфическим уровнем, а отображает поверхность подземного выщелачивания солей. По сути, переходная пачка – это часть разреза СМТ, содержащего слой каменной соли. Если соляные пласты порой встречаются во всем разрезе СМТ и даже в средней части ТКТ, то следует ли распространять рамки переходной пачки практически на две толщи? Если да, то в таком случае возникает нарушение иерархической последовательности: более мелкое стратиграфическое подразделение включает в себя более крупное.

ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ СОЛЯНО-МЕРГЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ

Для изучения отложений уфимского яруса была проведена каталогизация разрезов скважин. Из 2000 скважин, расположенных на территории Соликамской впадины, были отобраны 540, вскрывших хотя бы один слой каменной соли. В ходе корреляции разрезов этих скважин, помимо ранее известных 7 слоев, было установлено еще 3 слоя. Из них 2 в верхней части соляно-мергельной и еще один в средней части терригенно-карбонатной толщи (рис. 3). Нижние 4 слоя полностью сложены каменной солью, а верхние – каменной солью, сменяющейся гипсом по латерали [Трапезников, 2015].

Чередование мергельных и соляных пород отвечает нормальной эвапоритовой цикличности. При поступлении свежей порции морской воды и ее испарении в бассейне сначала формировались глинисто-карбонатные, а после эвапоритовые слои.

В связи с тем, что деление на ритмопачки не отвечает выявленной полноте разреза соляно-мергельной толщи на всей территории Верхнекамского месторождения, предлагается модифицированная схема ее стратификации (рис. 4). В этой схеме мергельные и глинисто-карбонатные слои обозначены латинской буквой “М”, а соляные и гипсовые – “S”. В полном разрезе получен набор слоев с М1 по М10, перемежающихся со слоями S1–S9. Таким образом, в СМТ имеют место 9 полных и один неполный циклит (Ц1–Ц10). Под элементарным циклитом понимается простейшая слоевая система, элементы которой образуют единое природное тело, не делимое на более дробные це-

лые части [Weller, 1930]. На фоне общности циклитов по соотношению долей соляных и глинисто-карбонатных пород предлагается объединить их в более крупные подразделения – циклотемы, которые представляют собой многократно повторяющиеся в разрезах вертикальные слоевые последовательности [Weller, 1930].

Циклотема I представлена интервалом разреза, включающим в себя первые 3 циклита с 6 слоями (с М1 по S3). Для этой циклотемы характерно преобладание мощности соляных пластов над несолевыми (рис. 5). В частности, в Камском прогибе слои М1, М2 и М3 имеют мощности 2, 3 и 4 м соответственно, в то время как соляные слои достигают мощности 10–15 м. Таким образом, доля соляных пластов составляет 60–80% от объема всей циклотемы.

Циклотема II включает в себя 4 циклита (слои с М4 по S7). Соляные пласты здесь имеют меньшую мощность, максимум 5–6 м в восточной части ВКМС. Соотношение мощности слоев демонстрирует кардинальную смену типа осадков. Лагунные отложения замещаются более глубоководными и менее минерализованными, глинисто-карбонатными породами, составляющими 50–80% от общего объема циклотемы.

Циклотема III включает в себя 3 циклита (слои с М8 по М10), последний из которых неполный, вероятно размывтый в верхнесоликамское время. Внутреннее строение циклотемы III имеет ряд особенностей. В мергельных и соляных слоях наблюдаются резкие скачки мощности, а доля солей не превышает 25% от общего объема.

Расчленение СМТ в районах развития подземного выщелачивания требует иных способов стратификации. В первую очередь необходима корреляция мощностей мергельных слоев на поднятии с их аналогами в смежной впадине, т.е. там, где прослеживаются контакты с соляными пластами. Во-вторых, требуется проводить поиск гипсовых прослоев, являющихся либо остаточным продуктом подземного растворения, либо латеральным аналогом солей. В-третьих, следует обращать внимание на зоны брекчирования пород с деформационными структурами и остаточными продуктами растворения [Калинина, Трапезников, 2016], которые могут указывать не только на разрывные нарушения, но и на уровни “схлопывания” мергельных слоев в зонах выщелачивания солей.

Совокупность полученных литологических данных в комплексе с модифицированной схемой расчленения позволяет проще и детальнее стратифицировать соляно-мергельную толщу. Применение гамма-каротажа в районах развития гипергенеза теряет свою актуальность ввиду относительной однородности физических свойств глинисто-карбонатных пород.

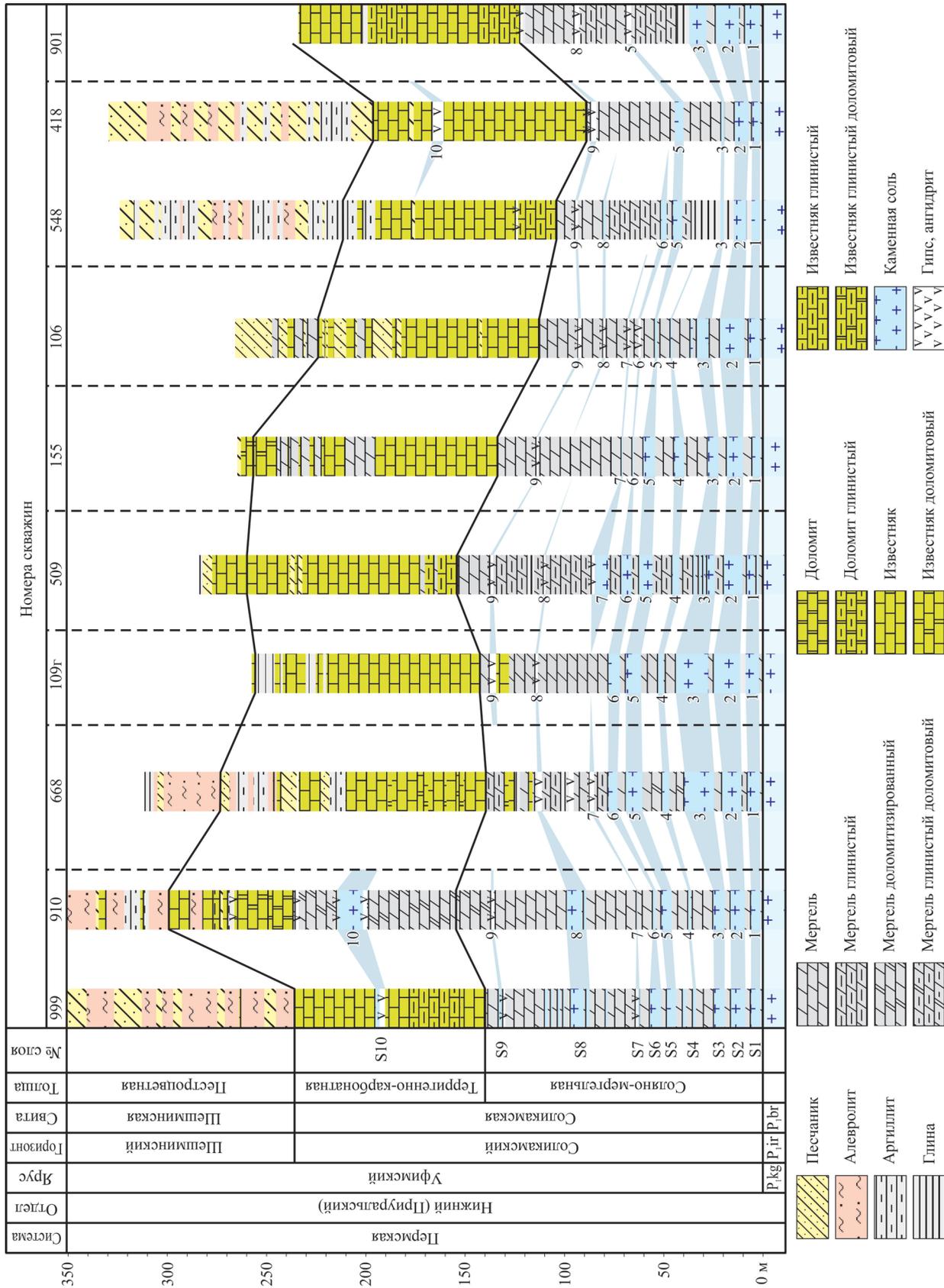


Рис. 3. Схема корреляции эвапоритовых прослоев в соляно-мергельной толще.

Fig. 3. Scheme of correlation of evaporite interlayers in the salt-marly strata.

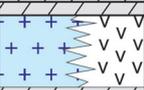
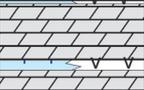
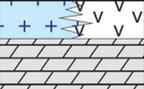
Толщи	Циклотемы	Циклиты	Литологическая колонка	Индекс слоя	Мощность, м	Краткая характеристика	
Терригенно-карбонатная толща (P ₁ sl ₂)					60–120	Известняки микрокристаллические, песчаники полимиктовые	
Соляно-мергельная толща (P ₁ sl ₁)	Циклотема III	Ц10		M10	10–25	Мергели часто доломитистые серые, темно-серые пелитоморфные от однородных до слоистых	
				S9	до 1	Каменная соль, фациально сменяющаяся гипс-ангидритовой породой	
		Ц9		M9	10–35	Мергель серый крепкий, известняк микрокристаллический и/или глины пелитоморфные плотные слоистые, с прослоями бледно-голубого ангидрита/гипса	
	Циклотема II	Ц8			S8	1–10	Каменная соль светло-серая крупнокристаллическая, вертикально или латерально замещающаяся тонкокристаллическим ангидритом/гипсом
				M8	20–30	Мергель серый крепкий, послойно доломитизированный, с прослоями бледно-голубого ангидрита/гипса	
			S7	1–10	Каменная соль светло-серая крупно-, среднекристаллическая, фациально замещающаяся ангидритом/гипсом		
		Ц7		M7	10	Мергель местами глинистый или доломитовый плотный слоистый	
		Ц6		S6	5	Каменная соль крупнокристаллическая, фациально замещается гипсом	
		M6	7	Мергель, мергель глинистый, глины плотные слоистые			
	Циклотема I	Ц5			S5	8–10	Каменная соль, фациально замещающаяся гипсами
				M5	10–15	Мергель серый плотный, изредка глинистый или доломитистый	
			S4	1–2	Каменная соль крупнокристаллическая, с прослоями глин		
		Ц4		M4	10–20	Мергель серый или темно-серый глинистый и/или доломитистый	
		S3	5–15	Каменная соль светло-серая мелко-, среднекристаллическая, с тонкими глинистыми и глинисто-ангидритовыми прослойками			
Циклотема I	Ц3			M3	2–3	Мергель, мергель глинистый, местами глина, тонкослоистые	
			S2	1–15	Каменная соль от белой до темно-серой средне-, крупнокристаллическая, с прослоями гипс-ангидритовых желваков		
	Ц2		M2	1–3	Мергель, местами глины, известковистые серые пелитоморфные слоистые или однородные		
	S1	3–10	Мергель, местами глины, известковистые серые пелитоморфные слоистые или однородные				
	M1	1–2	Мергель, местами глины, известковистые серые пелитоморфные слоистые или однородные				
Покровная каменная соль (P ₁ br ₄)					16–20	Каменная соль светло-серая, желтовато-серая мелко-, среднекристаллическая, с прослоями глин и гипс-ангидритовых желваков	

Рис. 4. Схема расчленения соляно-мергельной толщи в районе Соликамской впадины.

Условные обозначения – см. рис. 3.

Fig. 4. Scheme of stratigraphic breakdown of the salt-marly strata in the Solikamsk depression.

For symbols – see Fig. 3.

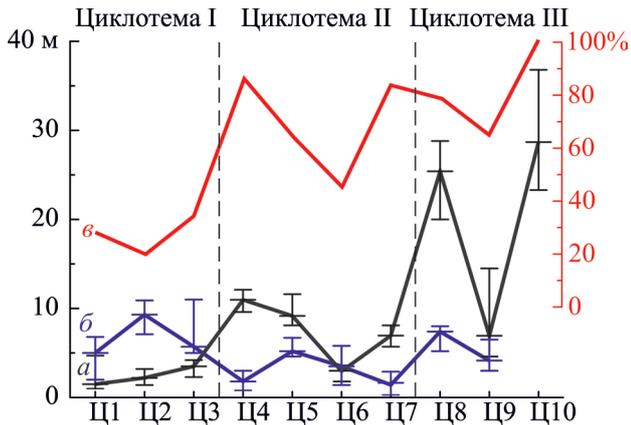


Рис. 5. Распределение минимальной, средней и максимальной мощностей в карбонатно-глинистых (а), эвапоритовых (б) слоях СМТ (левая шкала) и график процентной доли глинисто-карбонатного материала (с) в циклите (правая шкала).

Ц1–Ц10 – номера циклитов. Сводка по Камскому прогибу.

Fig. 5. Graph of distribution of minimum, average and maximum thickness in marl (a), salt (b) layers in the salt-marl strata (left scale), and a graph of the percentage of clay-carbonate material (c) in the cyclite (right scale).

Ц1–Ц10 – numbers of cyclites. Summary of the Kama basin.

РАЗВИТИЕ СОЛИКАМСКОГО БАССЕЙНА В УФИМСКОЕ ВРЕМЯ

Границы Соликамской впадины определяются структурной поверхностью артинских отложений (рис. 6а). В этом вытянутом с севера на юг бассейне происходила седиментация кунгурских отложений, в том числе и солей. На кровле кунгурских отложений выделяется множество структур, таких как Камский прогиб, Тверитинская мульда или Клестовский купол (рис. 6б). Соляно-мергельная толща залегает согласно на отложениях соляной залежи, повторяя ее структурный облик, но формировалась ли она на уже деформированной кровле кунгура или же на ровной поверхности, близкой к поверхности артинских отложений?

В пределах крупных отрицательных структур мощность СМТ максимальна (до 180 м), а сохранность соляных слоев, содержащихся в ней, полная. На поднятиях мощность СМТ значительно меньше (до 40 м), так как здесь соляных пластов практически нет. На карте мощностей хорошо видна локализация соляных пластов СМТ в пределах крупных отрицательных структур кровли кунгурских солей (рис. 6в).

Стратиграфическое положение соляных слоев на всей территории ВКМС позволяет утверждать, что они накапливались в едином бассейне, не соответствующем современному структурному плану подошвы уфимских отложений. Для изучения эволюции развития этого бассейна были построены площадные карты мощностей (рис. 7). При их построении использовались участки с наиболее полным разрезом СМТ, для того чтобы исключить влияние вторичных процессов. Наличие эвапоритовых слоев севернее Боровицкого прогиба установить не удалось. Этот район представляет собой наиболее приподнятую часть соляной толщи, что, вероятно, и привело к растворению солей вплоть до калийной залежи.

Первые 3 слоя солей, относящиеся к первой циклотеме, на карте мощностей имеют ряд общих черт, главная из которых – совпадение палеодепоцентра. Все эти слои образуют тела овальной формы, а их границы близки к контурам Соликамской впадины. Распределение мощности на карте слоя S1 позволяет предполагать, что его второй депоцентр располагался в Камском прогибе, где соли достигают мощности 11 м. У слоев S2 и S3 на карте мощностей выделяется несколько участков с повышенными мощностями (до 14 м), что свидетельствует о наличии 2–3 центров седиментации, обусловленных неровностью дна бассейна.

Для слоев S4–S7, относящихся ко второй циклотеме, характерно смещение депоцентра из центральной части Соликамской впадины в восточную, что указывает на некоторые подвижки как в соляном ложе, так и в самой соляной толще кунгурского возраста. В частности, это может быть обусловлено срывом и гравитационным течением солей по подсолевому ложу [Чайковский, 2008]. Мощности этих слоев достигают 7–8 м.

Последние два соляных слоя S8 и S9 относятся к циклотеме III. Карты мощностей этих пластов демонстрируют смещения депоцентра к западной границе Соликамской впадины. Слой S9 локализован узкой полосой вдоль ее западной границы, его мощность достигает 20 м – максимума среди всех соляных пластов СМТ. Такая резкая перестройка бассейна может быть связана с крупными сбросами в подсолевых отложениях, спровоцировавшими образование валов и компенсационных мульд в кровле кунгурских солей [Трапезников, Чайковский, 2015].

Анализ стратиграфического положения и сопоставление мощности эвапоритовых слоев показывают, что они накапливались в единой солеродной лагуне с мигрирующим депоцентром, на поверхности, близкой к структуре кровли артинских отложений. А современный структурный план кровли кунгурских отложений свидетельствует о проявлении внутрисоляной складчатости в период после накопления отложений соляно-мергельной толщи.

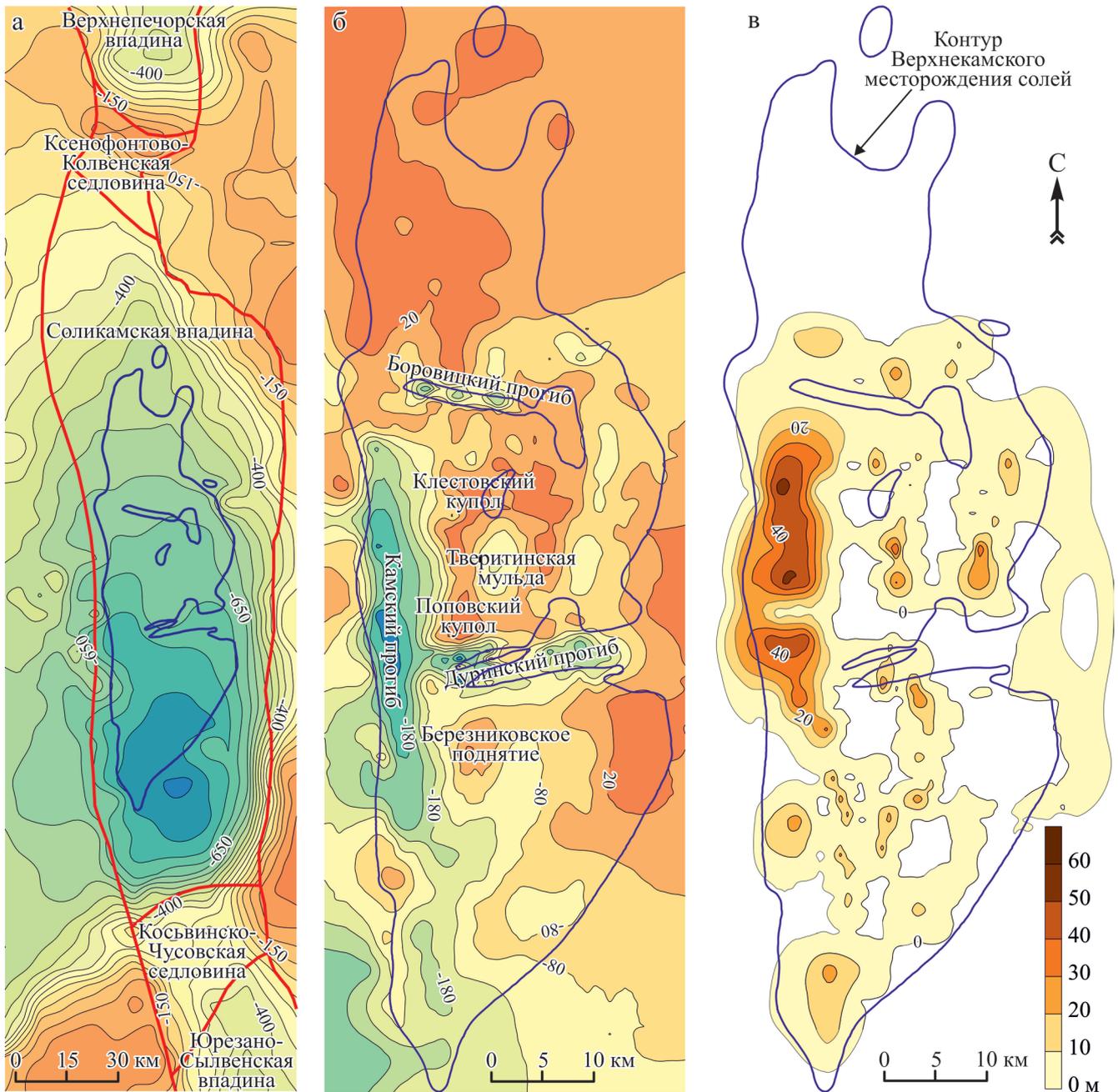


Рис. 6. Карты кровли артинского яруса (а), соляной толщи кунгурского яруса (б) и суммарной мощности соляных слоев в СМТ (в) в районе Соликамской впадины (составлено по данным более 4000 скважин).

Изолинии проведены через 50 м (а, б) и 10 м (в).

Fig. 6. Maps of the roof of the Artinian Stage (a), the salt layer of the Kungur Stage (б) and the total thickness of the salt layers in the salt-marl formation (в) in the Solikamsk Depression (compiled from data from more than 4000 wells).

The isolines are 50 m (a, б) and 10 m (в).

ВЫВОДЫ

В ходе изучения данных по скважинам на территории Соликамской впадины и Верхнекамского месторождения в соляно-мергельной толще было вы-

явлено наличие 9 мощных прослоев каменной соли или гипсов. Полученные результаты позволили уточнить строение и составить новую схему стратиграфического расчленения СМТ. Полный разрез состоит из 3 крупных циклотем, характеризу-

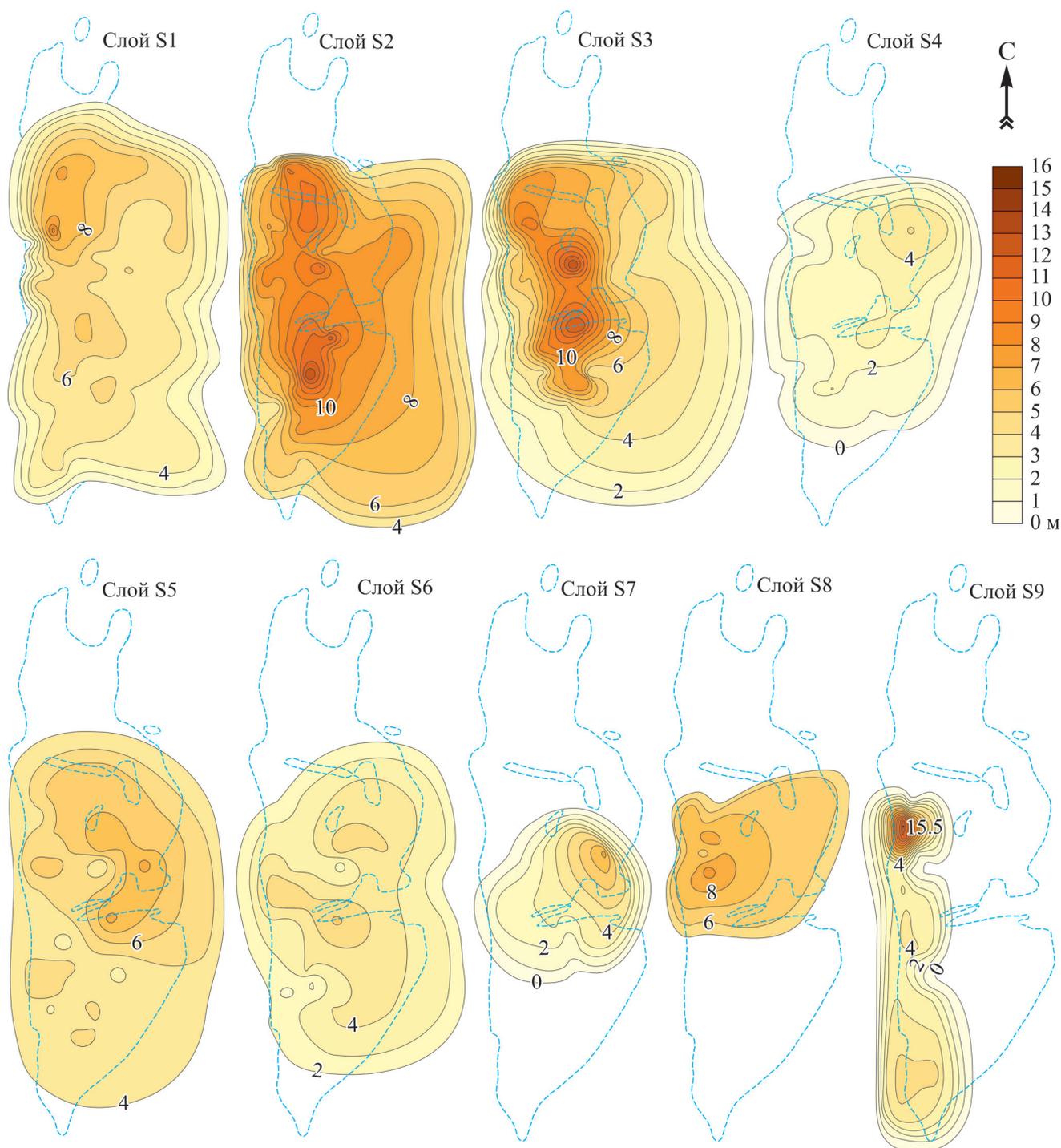


Рис. 7. Реконструированные карты мощностей слоев S1–S9 в пределах контура Верхнекамского месторождения солей.

Fig. 7. Reconstructed thickness maps of layers S1–S9 (the salt-marl strata) within the contour of the Verkhnekamskoye salt deposit.

ющих длительные периоды седиментации в структуре бассейна. Каждая циклотема подразделена на 10 циклитов, сложенных мергелем и каменной солью или гипсом, что отвечает эвапоритовому ци-

клу. Десятый циклит лишен соляного слоя, вероятно, из-за размыва. На периферии Соликамской впадины зафиксирована фациальная смена соляных слоев гипсовыми. На куполах и поднятиях на

уровне выщелоченных солей развиты либо остаточные сульфаты, либо брекчированные глинисто-карбонатные породы.

Предлагаемая схема стратификации позволяет расчленять СМТ на участках как с полным разрезом, так и там, где соляные слои выщелочены, а также рассчитывать мощность водозащитной толщи, необходимую для обеспечения безопасной разработки Верхнекамского месторождения.

Характер распространения соляных и гипсовых слоев, зональное распределение мощностей, а также их корреляция в разрезе Соликамской впадины указывают на существование единого бассейна седиментации в период формирования СМТ. Кроме того, установлены вещественные индикаторы связи между динамикой развития солеродного бассейна и тектоническими процессами различного порядка. Так, постепенная вертикальная смена эвапоритовых отложений морскими обусловлена общей трансгрессией пермского моря в этом регионе, а миграция депоцентра соликамского бассейна связана с формированием разломов у западной границы Соликамской впадины и движением кунгурских солей.

Благодарим коллег по лаборатории геологии полезных ископаемых ГИ УрО РАН за содействие в написании данной работы, в особенности О.И. Галинову, за помощь при систематизации данных, построении карт и оформлении графических материалов. Автор признателен И.И. Чайковскому за ценные замечания и редакцию рукописи.

Исследования выполнены в рамках проектов 0425-2014-0002 "Минералогия Главного Пермского поля" и 15-18-5-16 "Экстремальные (галогенные и криогенные) процессы в геологической истории Урала: минеральные и геохимические индикаторы".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Горецкий Г.И. (1964) Аллювий Великих антропогенных прарек Русской равнины. М.: Наука, 416 с.
- Иванов А.А. (1927) Отчет по разведочным работам ручным бурением, производившимся Соликамской партией Геологического комитета. *Мат-лы по общей и прикладной геологии*. Вып. 105, 1-40.
- Иванов А.А., Воронова М.Л. (1975) Верхнекамское месторождение калийных солей. Л.: Недра, 219 с.
- Калинина Т.А., Трапезников Д.Е. (2016) О механизме образования брекчиевых пород в кровле соляной залежи Верхнекамского месторождения солей. *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: сб. науч. ст.* Вып. 19. Пермь: ПГНИУ, 372-378.
- Копнин В.И. (1991) Соликамский калиеносный бассейн. *Международ. конгресс "Пермская система земного шара". Путевод. геол. экскур.* Ч. 3, вып. 1. Свердловск: Полиграфист, 103-135.
- Кудряшов А.И. (2001) Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 430 с.

- Кудряшов А.И. (2013) Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд. М.: EPSILONPLUS, 368 с.
- Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России. (2016) *Мат-лы Межведомств. рабочего совещания*. СПб.: ВСЕГЕИ, 196 с.
- Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. (2016) Вып. 44. СПб.: ВСЕГЕИ, 68 с.
- Преображенский П.И. (1925) Открытие калийных солей в районе г. Соликамска. *Вестник Геологического комитета*, (1), 13-55.
- Проровов В.М. (1973) Основные черты тектоники нижнепермских отложений и ее связь с глубинным строением Среднего Приуралья. *Нижнепермские отложения Камского Предуралья. Тр. ВНИГНИ*. Вып. 118, 28-48.
- Силантьев В.В. (1996) Соликамский горизонт Пермского Приуралья. *Стратотипы и опорные разрезы Поволжья и Прикамья*. Казань: Экоцентр, 13-55.
- Софроницкий П.А. (1969) Восточная часть Русской платформы. Предуральский краевой прогиб. *Геология СССР*. Т. XII. Ч. 1, кн. 2. М.: Недра, 12-37.
- Трапезников Д.Е. (2015) Особенности осадконакопления в соликамское время в пределах Верхнекамского месторождения. *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: сб. науч. ст.* Вып. 18. Пермь: Перм. гос. ун-т, 223-229.
- Трапезников Д.Е., Чайковский И.И. (2015) О природе псевдодиапировых структур западного борта Соликамской впадины. *Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. Материалы XLVII Тектонического совещания*. Т. 2. М.: Геос, 249-252.
- Третьяков Ю.А., Сапегин Б.И. (1981) Стратификация соляно-мергельной толщи района Верхнекамского месторождения калийных солей. *Строение и условия образования соленосных формаций*. Новосибирск: Наука, 52-59.
- Филатов В.В., Кассин Г.Г., Попов Б.А. (1995) Геофизические исследования на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей. *Изв. вузов. Горный журнал (специальный выпуск). Уральское горное обозрение*, (6), 150-161.
- Чайковский И.И. (2008) Основные этапы формирования тектонических нарушений в водозащитной толще Верхнекамского калийного месторождения. *Горный журнал*, (10), 41-44.
- Ogg J.G., Ogg G., Gradstein F.M. (2016) A Concise Geologic Time Scale. Elsevier, 234 p.
- Weller J.M. (1930) Cyclical sedimentation of the Pennsylvanian Period and its significance. *J. Geol.*, (38), 97-135.

REFERENCES

- Chaikovskiy I.I. (2008). The main stages of the formation of tectonic disturbances in the water-protective section of the Verkhnekamsk potassium deposit. *Gorniy zhurnal*, (10), 41-44. (In Russian)
- Filatov V.V., Kassin G.G., Popov B.A. (1995) Geophysical studies at the Verkhnekamskoe potassium-magnesium salts deposit. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Gorniy zhurnal*

- (*Spetsialnyi vypusk*). *Uralskoe gornoe obozrenie*. Sverdlovsk, UGGU Publ., 150-161. (In Russian)
- Obshchaya stratigraficheskaya shkala i metodicheskie problemy razrabotki regional'nykh stratigraficheskikh shkal Rossii. (2016) *Materialy Mezhdunarodnogo rabocheho soveshchaniya* [General stratigraphic scale and methodological problems of the development of regional stratigraphic scales of Russia. Materials of the interdepartmental workshop]. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 196 p. (In Russian)
- Goretskii G.I. (1964) *Allyuvii velikikh antropogenovykh prarek Russkoi ravniny* [Alluvium of the great anthropogenous rivers of the Russian platform]. Moscow, Nauka Publ., 416 p. (In Russian)
- Ivanov A.A. (1927) Report on exploratory work by manual drilling, made by the Solikamsk Party of the Geological Committee. *Materialy po obshchei i prikladnoi geologii* [Materials on general and applied geology]. Vyp. 105. 1-40. (In Russian)
- Ivanov A.A., Voronova M.L. (1975) *Verkhnekamskoe mestorozhdenie kaliinykh solei* [Verkhnekamskoye potassium salts deposit]. Leningrad, Nedra Publ., 219 p. (In Russian)
- Kalinina T.A., Trapeznikov D.E. (2016) About the forming mechanism of brecciated rocks in a roof of salt body of the Verkhnekamskoe salt deposit. *Problemy mineralogii petrografii i metallogenii* [The problems of Mineralogy, Petrography and Metallogeny]. Vyp. 19. Perm, PGNIU Publ., 372-378. (In Russian)
- Kopnin V.I. (1991) Solikamsk potassium basin. *Mezhdunar. Congress. Permskaya sistema Zemnogo shara. Putevod. geol. ekskur.* [Intern. Congress. Permian of Earth. Excursion geedbook]. P. 3, v. 1. Sverdlovsk, "Poligrafist" Publ., 103-135. (In Russian)
- Kudryashov A.I. (2001) *Verkhnekamskoe mestorozhdenie solei* [Verkhnekamskoe salt deposit]. Perm, GI UrO RAN Publ., 430 p. (In Russian)
- Kudryashov A.I. (2013) *Verkhnekamskoe mestorozhdenie solei* [Verkhnekamskoe salt deposit]. Moscow, "EPSILONPLUS" Publ., 368 p. (In Russian)
- Ogg J.G., Ogg G., Gradstein F.M. (2016) *A Concise Geologic Time Scale*. Elsevier, 234 p.
- Postanovleniya Mezhdunarodnogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyannykh komissii* [Decisions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing commissions]. (2016) V. 44. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 68 p. (In Russian)
- Preobrazhenskii P.I. (1925). The discovery of potassium salts in the region of Solikamsk. *Vestnik Geologicheskogo komiteta*, (1), 13-55. (In Russian)
- Provorov V.M. (1973) The main features of the tectonics of the Lower Permian deposits and its relationship to the deep structure of the Middle Urals. *Nizhnepermskie otlozheniya Kamskogo Predural'ya* [Lower Permian deposits of Kama Pre-Urals]. Tr. VNIGNI. Vyp. 118. Perm, 28-48. (In Russian)
- Silant'yev V.V. (1996) Solikamsk horizon of the Permian Ural. *Stratotipy i opornye razrezy Povolzh'ya i Prikam'ya* [Stratotypes and main sections of Volga and Kama regions]. Kazan', Eco-Center Publ., 13-55. (In Russian)
- Sofronitsky P.A. (1969). The eastern part of the Russian platform. Pre-Ural Foreland basin. *Geologiya SSSR* [Geology of USSR]. V. XII. P. 1, b. 2. Moscow, Nedra Publ., 12-37. (In Russian)
- Trapeznikov D.E. (2015). Features of sedimentation in Solikamsk time within the Verkhnekamsk deposit. *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii* [The problems of Mineralogy, Petrography and Metallogeny]. V. 18. Perm, Perm. St. Univ., 223-229. (In Russian)
- Trapeznikov D.E., Chaikovskiy I.I. (2015). *Tektonika i geodinamika kontinental'noi i okeanicheskoi litosfery: obshchie i regional'nye aspekty. Materialy XLVII Tektonicheskogo soveshchaniya* [On the nature of pseudo-diapir structures of the western side of the Solikamsk depression. Proc. XLVII Tectonic Conf.]. Moscow, Geos Publ., 249-252. (In Russian)
- Tret'yakov Yu.A., Sapegin B.I. (1981). Stratification of the salt-marly mass of the Verkhnekamsk potassium salts deposit. *Stroenie i usloviya obrazovaniya solenosnykh formatsii* [Structure and conditions of formations of salt-bearing deposits]. Novosibirsk, Nauka Publ., 52-59. (In Russian)
- Weller J.M. (1930) Cyclical sedimentation of the Pennsylvanian Period and its significance. *J. Geol.*, (38), 97-135.