

УДК 553.634.2:551.736.2(470.52/56)

DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-228-241

## Формирование и сохранность полигалитсодержащих пород в галогенных отложениях южного Приуралья

© 2019 г. А. К. Вишняков, М. С. Вафина, В. И. Поклонов

ЦНИИГеолнеруд, 420097, г. Казань, ул. Зинина, 4, e-mail: technology-geolnerud@yandex.ru

Поступила в редакцию 08.02.2018 г., принята к печати 07.06.2018 г.

**Объект и цель исследований.** В работе отражены результаты исследования полигалитсодержащих пород на северо-востоке Оренбургской области в пределах Шарлыкской поисковой площади, в целях уточнения закономерностей развития и преобразования этих пород, а также выявления возможных условий их разрушения. **Материалы и методы.** Изучались литературные, фондовые и керновые материалы по южному Приуралью. Образцы для изготовления шлифов отбирались из керна скважин, вскрывших полигалитсодержащие породы. Шлифы изготавливались (по возможности) в двух взаимно перпендикулярных срезах относительно оси монолитного образца керна. Учитывая высокую растворимость соляных минералов (галит) и возможность преобразования в водной среде других соединений (например, полигалита в гипс за счет выщелачивания из него катионов K и Mg), изготовление шлифов проводилось в безводных жидкостях (керосин, трансформаторное масло). Петрографический анализ проводился на микроскопе "Полам-213". Геологические разрезы были построены с помощью программы Corel Draw 13. Для построения разрезов изучались геофизические данные (гамма-каротаж) и литологический состав. **Результаты.** Выявлено преобразование пелитоморфных сульфатных скоплений в полигалитовые образования с дальнейшим образованием в кристаллические сростания. Выдвинуто предположение о диагенетической природе этого процесса. Размещение полигалитовой минерализации по разрезу установило влияние палеорельефа дна бассейна на интенсивность накопления полигалитового материала. Возможности его последующего разрушения возникали на локальных участках вследствие геологических процессов. **Вывод.** Проведенные исследования позволяют прогнозировать участки наиболее богатых скоплений полигалитов в южном Приуралье.

**Ключевые слова:** соли калийные, магниевые сульфатные, полигалит, ангидрит, преобразование, перекристаллизация, Приуралье

## Formation and preservation of polyhalite-containing rocks in the halogen sediments of the Southern Cis-Urals

Andrey K. Vishnyakov, Marianna S. Vafina, Valerii I. Poklonov

Central research institute of geology of nonmetallic minerals, 4 Zinin st., Kazan 420097, Russia, e-mail: technology-geolnerud@yandex.ru

Received 08.02.2018, accepted 07.06.2018

**Research subject.** In this research, we set out to investigate polyhalite-containing rocks of the Southern Urals. The purpose of this study was to characterize the patterns of formation and transformation of polyhalite-containing rocks, as well as to identify conditions leading to their destruction. **Materials and methods.** We studied available literature and archive materials on the southern Urals, as well as core samples. Samples for thin sections were taken from the core of polyhalite-containing rocks. The sections were manufactured (where possible) in 2 mutually perpendicular cuts relative to the axis of the monolithic core sample. Considering a high solubility of salt minerals (halite) and the possibility of converting other minerals in aqueous media (e.g., polyhalite into gypsum due to the leaching of K and Mg cations herefrom), thin sections were manufactured in anhydrous liquids (kerosene, transformer oil). In order to determine the mineralogical composition, as well as the structural and textural features of the polyhalite-containing rocks under study, a petrographic analysis of the thin sections was carried out optically using a *Polam-213* microscope. Geological sections were built using *Corel Draw 13*. To this end, geophysical data (gamma-ray logging) and lithological composition were studied. **Results.** It is found that pелитоморфic sulphate clusters transform into polyhalites followed by their further recrystallization into crystalline accretions. The diagenetic nature of this process is presumed. The location of polyhalite mineralization in the rocks under study confirms the effect of the basin bottom paleorelief on the intensity of polyhalite material accumulation. Conditions determining further destruction of these rocks were formed in local areas under the influence of various geological processes. **Conclusion.** The results of our research can be used for predicting zones rich in polyhalites in the southern Cis-Urals.

**Keywords:** potassium salts, magnesium sulphate, polygalite, anhydrite, transformation, recrystallization, Southern Cis-Urals

**Для цитирования:** Вишняков А.К., Вафина М.С., Поклонов В.И. (2019) Формирование и сохранность полигалитсодержащих пород в галогенных отложениях южного Приуралья. *Литосфера*, 19(2), 228-241. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-228-241

**For citation:** Vishnyakov A.K., Vafina M.S., Poklonov V.I. (2019) Formation and preservation of polyhalite-containing rocks in the halogen sediments of the Southern Cis-Urals. *Litosfera*, 19(2), 228-241. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-228-241

## ВВЕДЕНИЕ

В соленосных отложениях кунгурского яруса нижней перми южного Приуралья, в Нагинской, Грабенской, Красноярской, Буренной и ряда других структур в разное время были отмечены отдельные проявления полигалита.

Проведенные В.В. Хариным в 1979 г. на Струковской структуре сопоставления аналитических данных кернового материала со значениями гамма-каротажа этих же скважин показали, что повышенная гамма-активность низов соленосной толщи обусловлена наличием в этих интервалах минерала полигалита ( $K_2MgCa[SO_4]_4 \cdot 2H_2O$ ). Это позволило ему предположить, что широко отмечаемая в Оренбургском Приуралье повышенная гамма-активность в низах соленосной толщи может быть связана с присутствием в них полигалитовой минерализации. Наиболее детально она изучена на северо-востоке Оренбургской области в Ивановско-Салмышской зоне развития полигалитсодержащих пород на Шарлыкской поисковой площади, включающей в себя Шарлыкский участок оценочных работ (рис. 1).

Ивановско-Салмышевская зона развития полигалитсодержащих пород находится на северо-востоке Оренбургского свода фундамента, восточное окончание которого осложнено Предуральским краевым прогибом. По пермским отложениям район Ивановско-Салмышской зоны расположен в пределах Восточно-Оренбургского валообразного поднятия. Начиная с позднепермского и до четвертичного времени для него характерно постепенное воздымание, которое продолжается и в настоящее время [Галкин и др., 1972]. Полигалитсодержащие породы установлены здесь в низах соленосных отложений (рис. 2), которые представлены шестью циклами чередования отложений каменной соли и ангидритов ( $CaSO_4$ ), отображающих процессы седиментации в Предуральско-Прикаспийском соленосном бассейне [Яхимович, 1957; Тихвинский, 1976]. Первый снизу цикл (улаганские слои) содержит два пласта полигалитсодержащих пород. Наиболее богатый нижний пласт со средним содержанием полигалита в 44.29% (при максимальном до 87.02%) и мощностью от 17.1 до 27.9 м и послужил предметом исследований. На каротажных диаграммах ГК он характеризуется четко выраженной аномалией со значениями в 15–49 мкР/ч. Пласт подстилается ангидритовыми породами мощностью 1.1–2.5 м, содержащими небольшое количество полигалита (до 6.19%), магнетита  $MgCO_3$  (до 7.9%), доломита  $CaMg(CO_3)_2$  (до 2.6%) и галита  $NaCl$  (до 14.3%). Выше пласта залегают соляная пачка, в разрезе которой выделяются более бедный верхний полигалитовый пласт (со средним содержанием полигалита 10.45%) мощностью до 14.8 м. Он отделяется от нижнего толщей

каменной соли средней мощностью 37 м. Верхний пласт перекрывается каменной солью средней мощностью 12 м.

Вышезалегающие I–VI циклы (эльтонские слои) представляют собой мощную галогенную толщу, состоящую из ритмично повторяющихся пачек ангидритовых, галит-ангидритовых и ангидрит-галитовых пород с каменной солью. Содержание полигалита в ангидритсодержащих пачках этих циклов колеблется от нуля до первых единиц процента, достигая наибольших значений (10.8%) во II цикле.

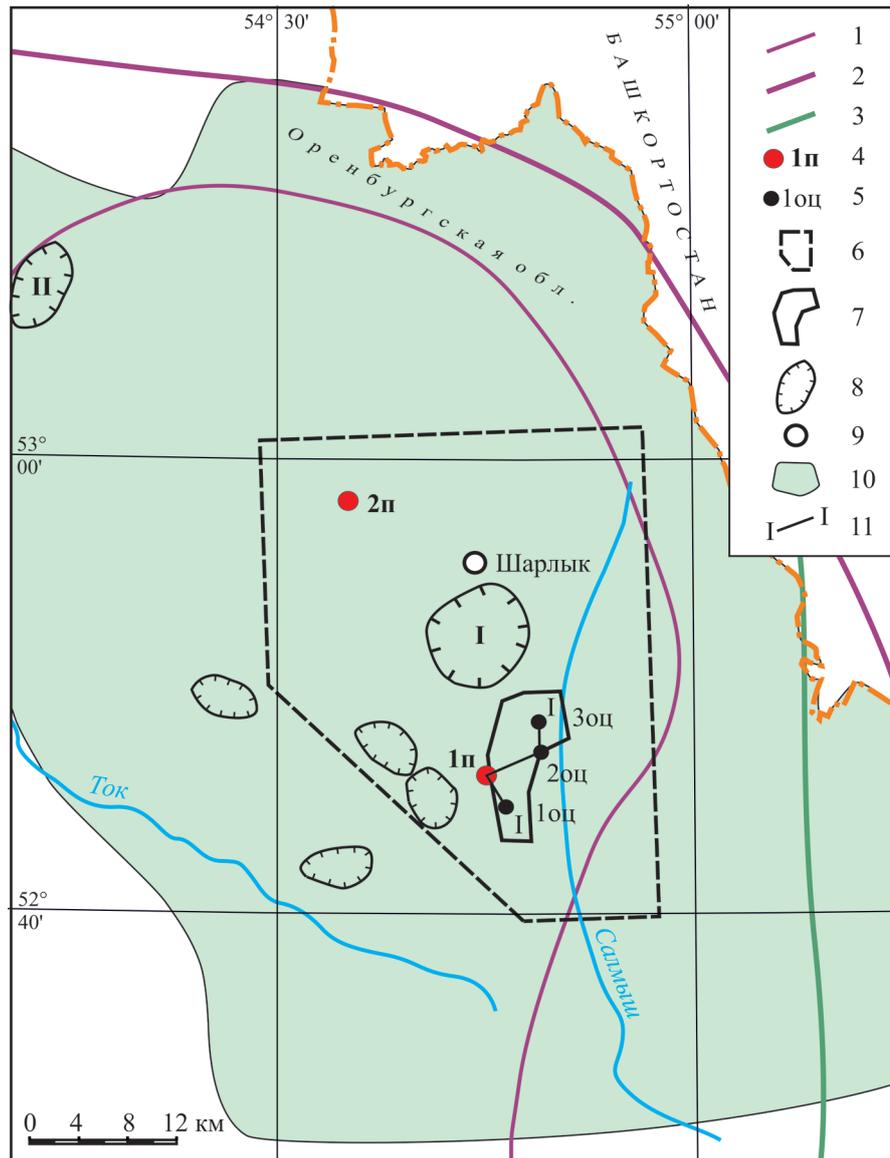
Высокие содержания полигалита в нижнем пласте I цикла и средняя мощность (более 20 м) позволяют считать его перспективным для промышленной разработки как исходного сырья для получения бесхлорных сульфатных калийных и калийно-магнелиевых удобрений. Именно это и обусловило необходимость установления закономерностей его формирования и сохранения в нем полигалитовой минерализации.

## ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

По материалам поисковой и трех оценочных скважин, расположенных в пределах Шарлыкского участка, пласт представляет собой достаточно монолитное образование. В общем плане он сложен (снизу вверх) полигалит-ангидритовыми, ангидрит-полигалитовыми, полигалитовыми, галит-ангидрит-полигалитовыми, галит-полигалитовыми и полигалит-галитовыми породами, которые не всегда закономерно, но постепенно переходят из одной разновидности в другую вверх по разрезу. Породы отличаются друг от друга текстурой и минеральным составом. Выделение их осуществлялось на основании процентного содержания (более 10%) преобладающего минерала. Данные породы были суммированы в зоны, минеральный состав которых представлен в табл. 1.

Как видно из таблицы, полигалит-ангидритовая, ангидрит-полигалитовая и полигалитовая зоны отличаются наименьшим содержанием галита (в среднем 1.2%). В керне такая порода представлена невыдержанными, нередко разорванными прослоями серого тонкозернистого полигалита с темно-серыми пятнами ангидрита и зернами галита (рис. 3).

В шлифе (рис. 4) она сложена микрозернистыми агрегатами из зерен полигалита размером 0.005–0.08 мм, плитчатой, чаще неправильной формы, с участками пелитоморфного вещества в виде сгусточек и пятен размерами от 0.1 до 2–3 мм. На контакте с зернами галита кристаллики полигалита (рис. 5) перекристаллизованы до 0.2–0.3 мм, они приобретают пластинчатую, а затем столбчатую, иглоподобную формы, которые, срастаясь, образуют агрегаты пучковидного, радиально-лучистого строения. Все кристалли-



**Рис. 1.** Схема района полигалитсодержащих пород Ивановско-Салмышской зоны (по материалам В.В. Харина, [2003], составил В.И. Поклонов.)

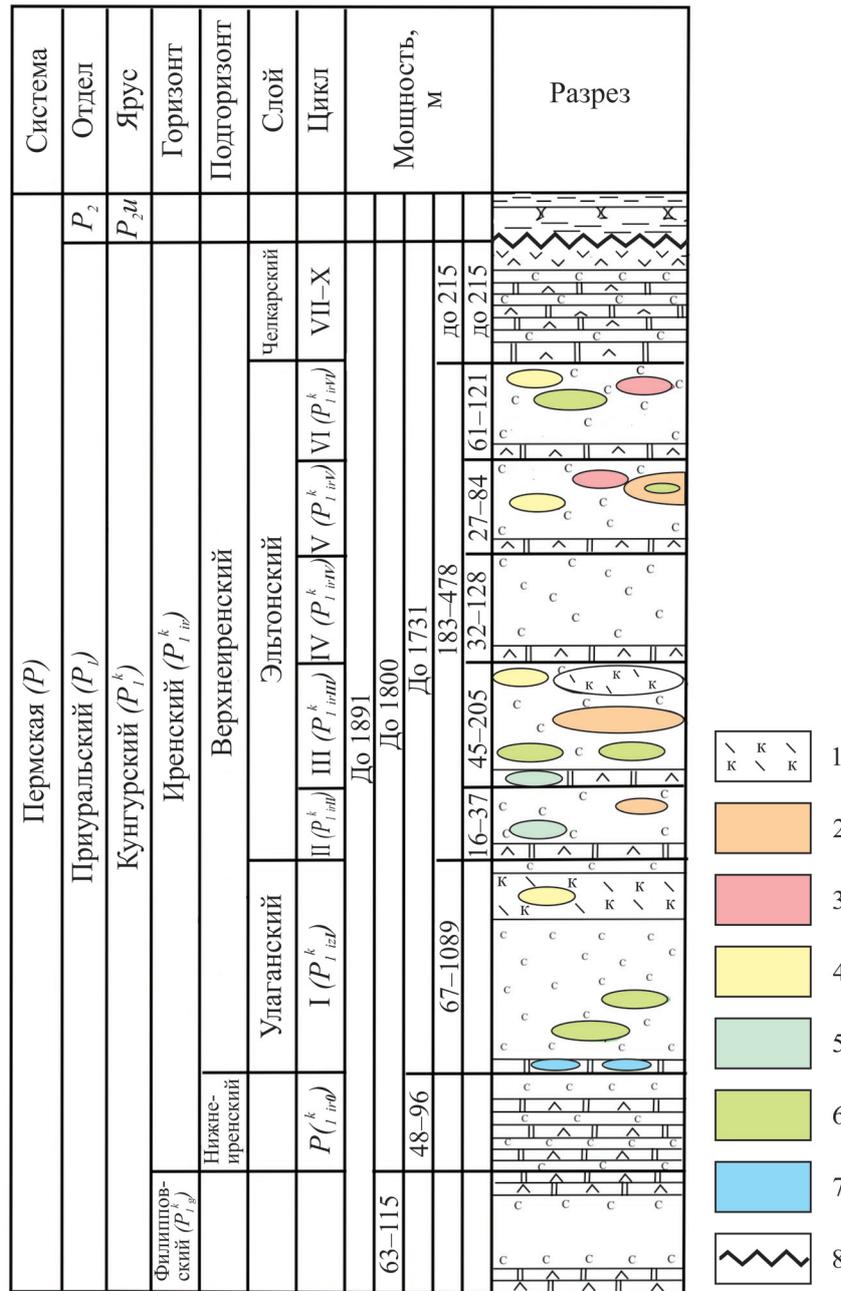
1 – контур Восточно-Оренбургского валообразного поднятия; 2 – контур Оренбургского свода кристаллического фундамента; 3 – западная границ Предуралья краевого прогиба; 4 – поисковые скважины; 5 – оценочные скважины; 6 – контур Шарлыкской поисковой площади; 7 – контур Шарлыкского оценочного участка; 8 – палеокарстовые понижения в кровле кунгурского яруса (I – Мустафинская впадина, II – впадина в районе Яфаровской и Максимовской нефтепоисковых площадей); 9 – поселок городского типа; 10 – площадь развития полигалитовых пород; 11 – профиль I–I.

**Fig. 1.** The Scheme of the region of polygalite-bearing rocks of the Ivanovo-Salmysk zone (based on the materials of V.V. Kharin, [2003], was made by V.I. Poklonov).

1 – contour of the East Orenburg wave-shaped uplift; 2 – contour of the Orenburg arch of the crystalline basement; 3 – the western borders of the Cis-Uralian edge trough; 4 – exploratory wells; 5 – evaluation wells; 6 – the contour of the Charlyk search space; 7 – the contour of the Sharlyk appraisal area; 8 – paleocarstic depressions in the roof of the Kungurian stage (I – Mustafinskaya depression, II – depression in the area of Yafarov and Maksimovskoye oil prospecting areas); 9 – urban-type settlement; 10 – the area of development of polygalithic rocks; 11 – section I–I.

ки полигалита вырастают внутрь зерен галита. Галит присутствует в виде реликтов зерен, имеющих извилистые, неправильные формы размером до 5–6 мм. Пелитоморфное вещество образует сгуст-

ки между агрегатами микрозернистого полигалита и зернами галита. В породе иногда встречаются единичные идиоморфные кристаллы ангидрита размером 1–4 мм.



**Рис. 2.** Сводный разрез кунгурской галогенной формации в пределах Оренбургского свода и его склонов (по материалам И.Н. Тихвинского, 1963 г., с уточнениями, А.К. Вишнякова и В.И. Поклонова).

1–2 – каменная соль с прослоями и включениями: карналлита (1) и полигалита (2), 3 – сильвиниты, 4 – карналлитовые и галит-карналлитовые породы, 5 – полигалит-ангидритовые и ангидрит-полигалитовые породы, 6 – полигалит-галитовые и галит-полигалитовые породы, 7 – полигалитовые породы, 8 – несогласное залегание.

**Fig. 2.** A combined section of the Kungur halogen formation within the Orenburg vault and its slopes (according to the materials of I.N. Tikhvinsky, 1963, specified by A.K. Vishnyakov and V.I. Poklonov).

1–2 – rock salt with interlayers and inclusions: carnallite (1) and polyhalite (2), 3 – sylvinites, 4 – carnallite and galite-carnallite rocks, 5 – polyhalite-anhydrite and anhydrite-polyhalite rocks, 6 – polyhalite-halite and galite-polyhalithic rocks, 7 – polyhalithic rocks, 8 – unconformity bedding.

При увеличении количества галита порода переходит в галит-ангидритовую и галит-ангидрит-

полигалитовую разности. Последняя показана на рис. 6 и представляет собой мозаику тесно срос-

**Таблица 1.** Содержание основных минералов в литологических зонах нижнего (1-го) калиеносного пласта Шарлыкского оценочного участка**Table 1.** The content of the main minerals in the lithological zones of the lower (1st) potassium layer of the Sharlyk evaluation sit

Участок/часть/зона			Показатели	Скв. № 1оц	Скв. № 1п	Скв. № 2оц	Скв. № 3оц
Среднее содержание и мощность горизонта			Мощность, м	23.55	24.2	20.45	26.03
			Галит, %	22.59	25.83	24.01	26.58
			Ангидрит, %	27.78	31.3	24.05	24.76
			Полигалит, %	40.51	34.93	47.69	44.75
Участок с преобладанием галита	Верхняя часть	Полигалит-галитовая зона	Мощность, м	5.95	8.9	6.6	8.0
			Галит, %	75.95	70.28	68.03	62.47
			Ангидрит, %	2.29	0.62	2.2	16.98
			Полигалит, %	19.69	24.23	26.79	28.35
	Нижняя часть	Ангидрит-галит-полигалитовая зона	Мощность, м	2.05	1.6	—	—
			Галит, %	26.64	21.48	—	—
			Ангидрит, %	15.91	10.34	—	—
			Полигалит, %	54.87	64.38	—	—
		Галит-ангидрит-полигалитовая зона	Мощность, м	—	—	—	2.45
			Галит, %	—	—	—	10.35
			Ангидрит, %	—	—	—	14.43
			Полигалит, %	—	—	—	70.62
		Галит-полигалитовая зона	Мощность, м	7.7	9.7	6.4	3.55
			Галит, %	33.84	23.62	26.21	33.44
			Ангидрит, %	4.8/5	4.71	7.36	2.67
			Полигалит, %	70.34	67.72	62.8	58.67
Участок с малым количеством галита	Верхняя часть	Полигалитовая зона	Мощность, м	—	—	—	3.75
			Галит, %	—	—	—	3.88
			Ангидрит, %	—	—	—	2.09
			Полигалит, %	—	—	—	86.47
		Ангидрит-полигалитовая зона	Мощность, м	1.4	6.9	4.1	6.08
			Галит, %	4.47	1.3	0.55	0.97
			Ангидрит, %	13.48	47.44	24.85	21.87
			Полигалит, %	77.94	43.41	69.43	69.88
	Нижняя часть	Полигалит-ангидритовая зона	Мощность, м	—	—	3.35	—
			Галит, %	—	—	1.24	—
			Ангидрит, %	—	—	61.81	—
			Полигалит, %	—	—	31.73	—
		Ангидритовая зона	Мощность, м	6.9	1.1	—	2.2
			Галит, %	7.7	9.2	—	19.55
			Ангидрит, %	84.97	70.64	—	69.54
			Полигалит, %	1.8	6.04	—	7.82



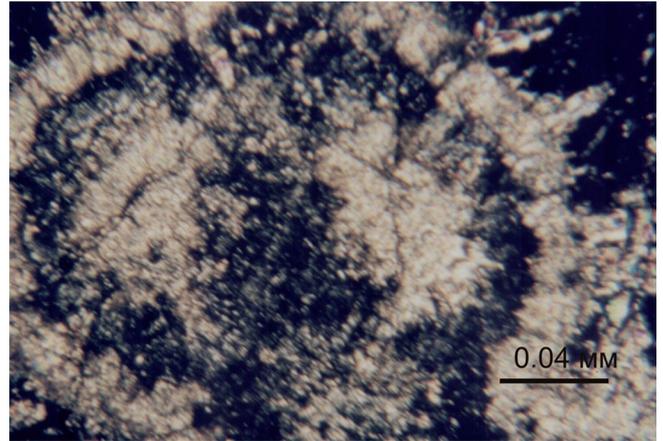
**Рис. 3.** Ангидрит-полигалитовая порода (светлое – полигалит), скв. № 1-п, инт. 679.7–680.0 м.

Содержание основных породообразующих минералов (ориентировочно): галита – 8, ангидрита – 13, полигалита – 79%.

**Fig. 3.** Anhydrite-polyhalithic rock (light – polygalite), well No. 1-p, int. 679.7–680.0 m.

The content of the main rock-forming minerals is approximately: halite – 8, anhydrite – 13, polyhalite – 79%.

шихся друг с другом агрегатов неправильных форм серого полигалита и темно-серого ангидрита, выполняющих в основном роль базального цемента. Те агрегаты, которые в породе содержатся в подчиненном количестве, имеют форму изометричных обломков, нередко прямоугольных очертаний, размером 3–4 см. В некоторых случаях сохраняются фрагменты первичной слоистой текстуры. При

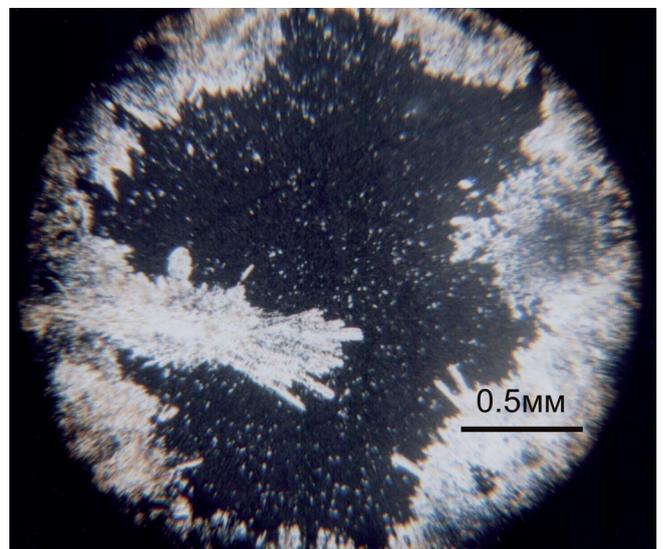


**Рис. 4.** Ангидрит-полигалитовая порода.

Контакт ангидрит-полигалитовой массы (светлые пятна) с вкрапленником галита (черное). Видна кайма пелитового вещества (темная полоска) в центральной части сульфатной массы. В краях последней видны лучистые кристаллы полигалита, вдающиеся в галит. С анализатором.

**Fig. 4.** Anhydrite-polyhalite rock.

Contact of anhydrite-polygalite mass (light spots) with phenocrysts of halite (black). A border of pelitic substance (dark strip) is visible in the central part of the sulphate mass. At the edges of the latter one can see radiant crystals of polygalite, which protrude into halite. With the analyzer.



**Рис. 5.** Ангидрит-полигалитовая порода.

Кристаллы полигалита вдающиеся в галит (черное). С анализатором.

**Fig. 5.** Anhydrite-polyhalite rock.

Polygalite crystals going into halite (black). With the analyzer.



Рис. 6. Галит-ангидрит-полигалитовая порода (светлое – полигалит).

Скв. № 2-п, инт. 839.5–839.6 м. Содержание основных (породообразующих) минералов (ориентировочно): галит – 10, ангидрит – 29, полигалит – 57%.

**Fig. 6.** Galite-anhydrite-polygalite rock (light – polygalite).

Well No. 2-p, int. 839.5–839.6 m. The content of the main (rock-forming) minerals, roughly: halite – 10, polygalite – 57%.

этом прослойки ангидритовой породы шириной 3–8 мм наклонены под углом до 80° к оси керна и носят характер фрагмента разорванных слоев, а полигалит служит цементирующей массой.

В шлифах породы имеют пятнистую структуру, обусловленную неравномерным распределением крупных скоплений полигалитовых и ангидритовых зерен. Иногда содержание их в шлифе составляет 60–65%. Размеры этих скоплений от 1.5 до 10.0 мм. Форма их изометричная, очертания в различных сечениях полигональные (ромбические, квадратные или комбинация этих форм), иногда закругленные, но преимущественно имеют пятнистое или зональное строение. В последнем случае в центре развиты микрозернистые и чешуйчатые агрегаты полигалита и ангидрита, приблизительно в равных количествах, а в краях – радиально-лучистые

срастания этих минералов. Иногда крупные скопления целиком сложены лучистыми кристаллами полигалита и брусочковидными ангидрита. В некоторых случаях такие скопления представляют собой почти замещенные зерна галита, что позволяет отнести их к псевдоморфозам. Между ними развивается пелитоморфный материал и отдельные зернышки галита.

Галит встречается редко, в виде вкрапленников размером 2.5–15 мм. Очертания их неровные, извилистые. Они, видимо, являются реликтами зерен еще не полностью замещенных сульфатными минералами. В некоторых зернах галита отмечается зональные структуры роста, которые часто подчеркнуты включениями пелитового материала. По этим структурам развиты многочисленные микровключения кубической формы (рис. 7). В основном это жидкие микровключения. Во многих зернах отмечаются и другие, с несколько закругленными гранями, выполненные изотропным минералом с более низким показателем преломления, чем у галита (вероятно, сильвин). На участках внедрившихся сульфатных минералов структуры роста зерен галита отсутствуют, а единичные микровключения приобретают более крупные размеры и включения

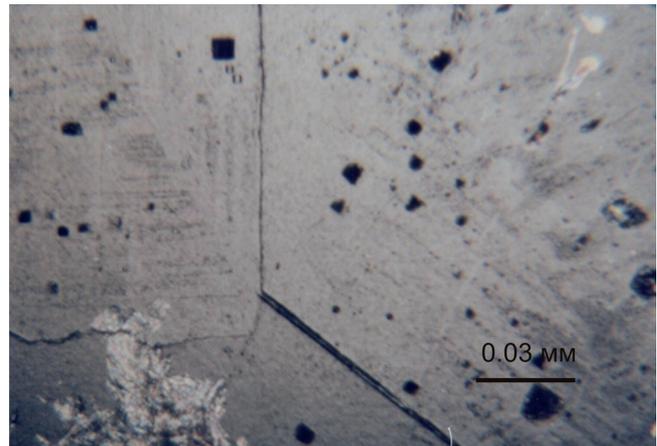


Рис. 7. Галит-ангидрит-полигалитовая порода.

Контакт нескольких кристаллов галита. У кристаллов слабо выступают зоны роста, подчеркнутые скоплениями мельчайших включений рапы. Более крупные включения рапы и многочисленные кристаллы сильвина (черные квадратики), ориентированные своими сторонами параллельно зонам роста. В нижней левой части в кристаллы галита проникает агрегат сростков ангидрита. Без анализатора.

**Fig. 7.** Galite-anhydrite-polyhalite rock.

Contact of several crystals of halite. Crystals show weak growth zones, accentuated by clusters of minute inclusions of brine. Larger inclusions of brine and numerous sylvite crystals (black squares), oriented along their sides parallel to the growth zones. In the lower left part, an aggregate of anhydrite penetrates into the crystals of the halite. Without analyzer.

пузырьков газа (рис. 8). Зерна галита разделены пелитовым материалом, в составе которого доминируют полигалит и ангидрит, иногда в нем устанавливается доломитовая (магнезитовая) составляющая. Пелитовый материал нередко имеет зональное строение. В центре отмечаются пятнообразные сгусточки, состав которых микроскопически с трудом диагностируется как сульфат-карбонатный. Они обрамлены тонкочешуйчатыми и микрозернистыми агрегатами полигалита и ангидрита. На этом фоне отмечаются и крупные радиально-лучистые срастания этих же минералов.

По мере увеличения в породе галита она переходит далее в полигалит-галитовую разновидность. При этом количество полигалитового и ангидритового материала уменьшается и фиксируется в виде все более разорванных слоев и разреженных петельчатых форм светлого-серого цвета, окаймляющих скопления зерен матово-розовато-серого, реже прозрачного галита.

В шлифах породы этой разновидности имеют пятнистую текстуру и сложную структуру, обусловленную зернами галита, с элементами петельчатости (полигалит-пелитовая масса). Галит представлен зернами величиной 0.5–4.5 мм. У мелких зерен хорошо выражены несколько неровные грани кубической формы, крупные – имеют извилистые очертания из-за глубоко вдающихся в них лучистых кристаллов полигалита и боченковидных кристаллов ангидрита из пелитового вещества, образующих вокруг них обрамляющие петли.

В зернах галита на сохранившихся участках зон роста широко распространены жидкие микровключения. В некоторых зернах отмечаются относи-

тельно крупные (0.04–0.1 мм) включения кубической формы, которые имеют более низкий показатель преломления, чем у галита и, вероятно, представлены сильвином. Твердые микровключения и их сростки в основном состоят из ангидрита (полигалит очень редок и отмечается только по краям зерен галита). Жидкие микровключения представлены преимущественно более мелкими (0.001–0.04 мм) кубическими формами, более крупные часто содержат пузырьки газа (см. рис. 8).

Микроскопическое изучение всех разновидностей полигалитсодержащих пород свидетельствует о том, что одновременно образовавшимися первичными минеральными формами исследуемых пород являются пелитоморфная сульфатно-карбонатная масса и зерна галита. Основную часть пелитового материала составляет минеральная масса, состоящая в основном из полигалита и ангидрита. Она часто имеет зональное строение (рис. 9). В центре развиты сгустки сульфатно-карбонатного вещества, которые нередко протягиваются по всей длине осевой части. В более крупных таких образованиях эти вещества слагают мелкие сгусточки, разделенные более раскристаллизованной сульфатной минеральной массой. По мере ее прослеживания от центра к периферии ее структурные формы изменяются. Ближе к центру они представлены мельчайшими зернами, в основном (гипса) ангидрита. Далее к периферии эта зернистая минеральная масса состоит



Рис. 8. Ангидрит-полигалит-галитовая порода.

Включения в галите кубических камер с рапой и газовыми пузырьками. Без анализатора.

Fig. 8. Anhydrite-polyhalite-halite rock.

Inclusions in galite cubic chambers with brine and gas bubbles. Without analyzer.

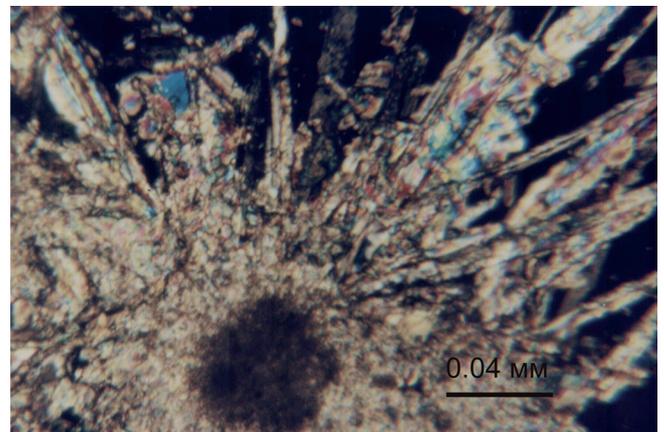


Рис. 9. Полигалит-галитовая порода.

Контакт пелитовой массы с вкрапленником галита. Виден сгусток пелитового вещества (темное), располагающийся в микрозернистой массе полигалита, переходящий в агрегат лучистых кристаллов полигалита, проникающих в края зерен галита (черное). С анализатором.

Fig. 9. Polygalite-galite rock.

Contact of pelitic mass with phenocrysts of halite. A clump of pelitic (dark) matter is located in the microgranular mass of the polygalite passing into the aggregate of radiant polygalite crystals penetrating into the edges of the halite grains (black). With the analyzer.

в подавляющем количестве из зерен полигалита и в значительно меньшей степени ангидрита. Причем в одних случаях большая часть этой массы сложена мельчайшими чешуйками полигалита, ангидрит же распространен в виде единичных очень мелких зерен. В других же он более распространен и, наряду с чешуйчатыми агрегатами полигалита, представлен явно перекристаллизованными длинными брусочковидными кристалликами, нередко образующими радиально-лучистые сростания (рис. 10).

Анализ полигалитсодержащих пород нижнего пласта по разрезу изученных скважин (см. табл. 1) показал, что они постепенно переходят из одной разновидности в другую (не всегда в закономерном порядке) по преобладанию слагающих минеральных компонентов. Максимальное содержание полигалита в разрезах нижнего пласта этих скважин хотя и отмечается в их нижних половинах, но концентрируется в разных ее частях. Такая изменчивость распределения полигалитового материала по разрезу свидетельствует о различных условиях его образования в районах этих скважин.

Предуральская часть Предуральско-Прикаспийского соленосного бассейна во время отложения улуганских слоев иренского горизонта кунгурского яруса представляла собой краевую часть данного внутриконтинентального бассейна. С востока она контактировала с Уральскими складчатыми сооружениями и характеризовалась началом калийно-галитовой седиментации.

Для Приуральских районов этого бассейна, в пределах которого расположена рассматриваемая зона полигалитсодержащих пород, в начальный период образования ангидрит-полигалитовых

пород иренского горизонта происходило мощное поступление континентальных вод с Палеоурала. Эти воды несли с собой растворенные гидрокарбонаты и сульфаты кальция с обнажавшихся там карбонатно-сульфатных ассельско-сакмарских и сульфатно-галогенных филипповских отложений. Наиболее мощные из них отобразились в галогенных отложениях линейными зонами развития терригенных (аллакаевских) фаций [Страхов, 1947]. Приносившиеся с Палеоуральской суши воды не сразу разубоживали солеродную рапу, а как более легкие далеко разливались по ее поверхности. Поэтому концентрация полигалита в зонах развития алакаевских фаций отмечается в самых краевых частях [Страхов, 1962]. Континентальные гидрокарбонатные воды, освободившиеся от терригенной составляющей, достигали на западе и района Шарлыкской поисковой площади. Это подтверждается наличием в образовавшихся здесь породах небольшого количества терригенной составляющей. Вместе с тем в них всегда отмечается содержание того или иного количества сингенетического доломитового и магнезитового материала. Образование же ангидритовой и полигалитсодержащей составляющей галогенных пород, по литературным данным [Страхов, 1962], происходит только при поступлении в солеродный бассейн соединенный кальция.

#### МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИГАЛИТА ЮЖНОГО ПРИУРАЛЬЯ

Существуют две точки зрения на образование полигалита. Одна основывается на лабораторных опытах [Валяшко, 1952] и слоистой структуре полигалитсодержащих отложений и относит его к сингенетическим образованиям [Лобанова, 1960; Страхов, 1962], другая – к раннедиагенетическим продуктам преобразования первично отложившегося сульфата кальция под действием обогащенного калием и магнием межзерновых рассолов [Сонненфелд, 1988]. Не отрицая варианта сингенетического образования полигалита, авторам представляется более правдоподобным для рассматриваемого региона диагенетическое образование этого минерала. Это основывается на представленных выше минералого-петрографических исследованиях, показавших, что отложившееся в начале седиментации пелитовое вещество представляет собой смесь сульфатно-карбонатных соединений, в раскристаллизованной массе которой уже диагностируются мельчайшие зерна гипса (ангидрита) и доломита (магнезита), являющиеся неравновесными с окружающим их межзерновым раствором, обогащенном, помимо хлористого натрия, соединениями хлористого калия и сульфата магния. О повышенном содержании хлористого калия в солеродной рапе свидетельствует наличие в неизменен-

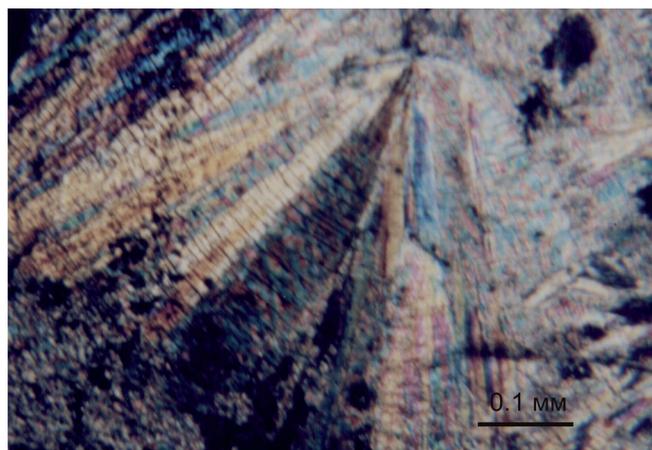


Рис. 10. Ангидритовая порода.

Фрагмент крупного радиально-лучистого сростка ангидрита. С анализатором.

**Fig. 10.** Anhydrite rock.

A fragment of a large radial splinter of anhydrite. With the analyzer.

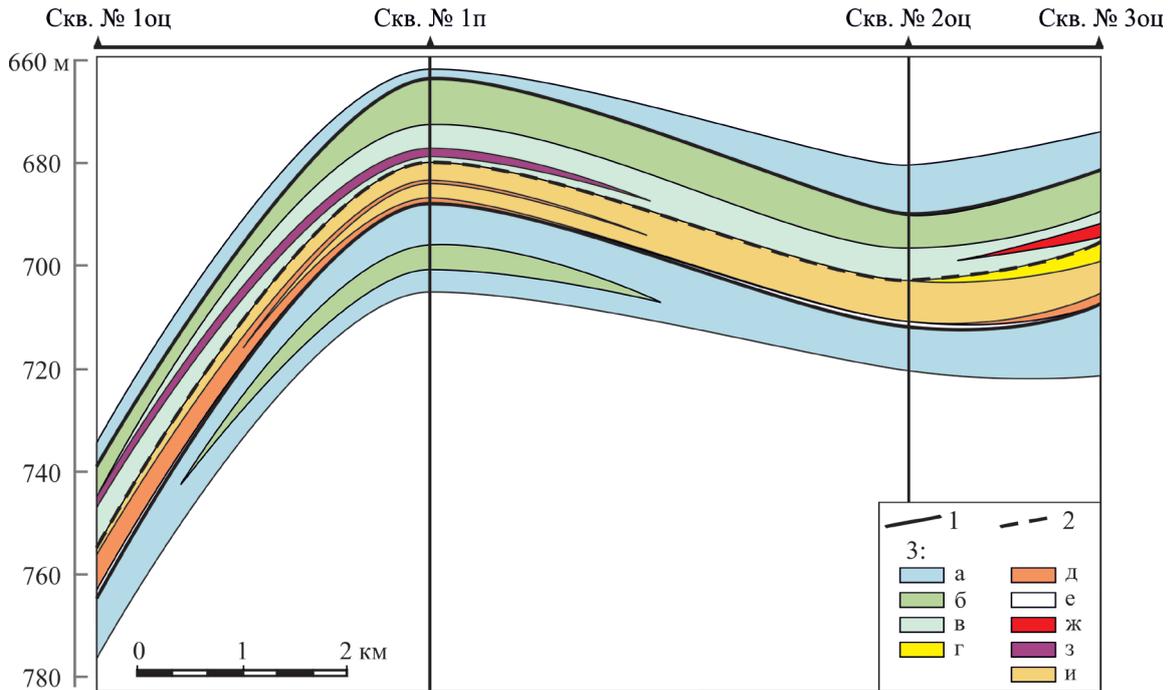
ных перекристаллизацией зерен галита всех изученных разновидностей полигалитсодержащих пород микровключений сильвина (КС1). По литературным данным [Сонненфелд, 1988], при наличии в рапе помимо хлористого калия в концентрации, близкой к его осаждению в виде минерала сильвина, сульфат-ионов и ионов магния и температуре не ниже 25°C, начинаются диагенетические преобразования сульфата кальция в полигалит.

О преобразовании в районе Шарлыкской площади пелитоморфного сульфатно-карбонатного вещества в процессе раннего диагенеза свидетельствует его зональное строение. Центральная его часть обычно сложена пятнообразными или линейными мелкими сгустками, с трудом диагностируемыми в скрепленных николях как сульфатно-карбонатный материал. Ближе к краевым их частям при больших увеличениях под микроскопом иногда удается диагностировать состав этих сгусточков как доломитовый (магнезитовый) гипс (ангидрит). Далее, к краям, они обрамляются микрозернистыми агрегатами ангидрита, в которых к периферии постепенно увеличивается количество тонкочешуйчатого полигалита. Такое строение участков пелитоморфного вещества свидетельствует не только о его перекристаллизации, но и о постепенном преобразовании сульфатной составляющей в полигалит.

Диагенетические преобразования зерен галита начинаются при развитии процессов позднего диагенеза, т.е. при литификации отложившихся гипс-ангидрит-полигалитовых осадков. Межзерновой раствор, за счет дегидратации гипса, становится неравновесным с галитом, оставаясь в то же время достаточно насыщенным по отношению к сульфатным минералам. При воздействии такого раствора на краевые участки зерен галита, проникающего внутрь них по трещинкам спайности и дефектам кристаллической структуры [Григорьев, Жабин, 1975], последний начинает растворяться, обуславливая этим перенасыщение проникающего раствора сульфатными компонентами. Последние начинают кристаллизоваться в краевых частях растворяющихся зерен галита в виде тончайших лучистых кристалликов полигалита и брусочковидных – ангидрита. При этом новообразованные кристаллики будут как бы внедряться в зерна галита, обуславливая все большее их замещение данными сульфатными минералами. При дальнейшем развитии этого процесса отдельные кристаллики образуют в галите радиально-лучистые срастания. Это приводит в краевых частях галита вначале к сложным извилистым переплетениям этих минералов, а в дальнейшем – к полному замещению зерен галита с образованием по ним псевдоморфоз, выполненных сростками полигалита и ангидрита. Интенсивное протекание такого процесса обуславливает массовую кристаллизацию многочисленных мел-

ких кристалликов данных сульфатных минералов. Иногда отмечается последующая генерация сульфатных минералов, представленная единичными крупными лучистыми кристаллами полигалита и брусочковидными – ангидрита. Они в основном расположены беспорядочно и секут более ранние мелкие образования этих же минералов.

Для выявления и объяснения развития описанных изменений галогенных пород по простиранию были проанализированы по профилю I-I (рис. 11, см. рис. 1) распределение в нижнем (1-м) калиеносном пласте основных типов полигалитсодержащих пород, в том числе процентного содержания ангидрита, полигалита и галита, а также мощностей слагаемых ими зон (см. табл. 1). При этом предполагалось, что современное залегание слоев низов иренского горизонта, сложенных карбонатно-сульфатными породами, в той или иной степени отображает условия их отложения. Анализ их распределения по геологическому разрезу показал, что наибольший объем новообразованного полигалитового материала приурочен к верхам нижней половины калиеносного пласта, характеризующегося малым содержанием в нем галита. Здесь четко прослеживается количество образовавшегося диагенетического полигалита в зависимости от расположения данной части пласта в палеорельефе дна садочного бассейна. Так, в пониженных участках палеорельефа дна количество новообразованного полигалита значительно меньше (скв. № 10ц), чем на приподнятых (скв. № 20ц и 30ц). При этом в пониженном участке дна, на стратиграфическом уровне возможного образования полигалита, преобладает незамещенный ангидрит. Учитывая, что все эти процессы происходили в условиях жаркого климата, необходимого для образования эвапоритовых отложений, и, видимо, в условиях неглубокого бассейна, можно предположить, что на диагенетические преобразования влияло изменение его температурного режима. На повышенных участках палеорельефа дна солеродного бассейна преобладала более высокая температура рапы (за счет солнечной инсоляции), а значит, была более высокая температура отложившегося здесь осадка. Поэтому процесс диагенетического преобразования шел интенсивнее и захватывал большее количество гипс-ангидритового материала. В пониженных участках прогрев рапы осуществлялся в меньшей степени из-за увеличенного ее объема, что обуславливало понижение температуры и в осадке. В связи с этим диагенетический процесс в таких местах замедлялся и охватывал меньшее количество гипс-ангидритового материала, чем на приподнятых участках, или временами даже прекращался. Не охваченные этим процессом ионы магния обусловили образование в этих осадках минерала кизерита ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ ), устанавливаемого аналитическими исследованиями данных пород. В промежуточ-



**Рис. 11.** Схематический геологический разрез I–I нижнего (1-го) калиеносного пласта по поисково-оценочным скважинам Шарлыкского участка (составил В.И. Поклонов).

1 – границы калиеносного пласта; 2 – граница между нижней и верхней частями калиеносного пласта; 3 – типы пород: а – каменная соль (подстилающая и перекрывающая 1-й калиеносный пласт), б – полигалит-галитовая, в – галит-полигалитовая, г – полигалитовая, д – ангидритовая, е – галит-ангидритовая, ж – галит-ангидрит-полигалитовая, з – ангидрит-галит-полигалитовая, и – ангидрит-полигалитовая.

**Fig. 11.** Schematic geological section I–I of the lower (1-st) potassium stratum along the exploratory and evaluation wells of the Sharlyk region (compiled by V.I. Poklonov).

1 – potassium-bearing stratum boundaries; 2 – boundary between the lower and upper parts of the potassium stratum; 3 – rock types: а – rock salt (underlying and overlapping 1-st potassium stratum), б – polyhalite-halite, в – galit-polygalithic, г – polygalithic, д – anhydrite, е – halite-anhydrite, ж – halite-anhydrite-polygalithic, з – anhydrite-halite-polygalite, и – anhydrite-polygalithic.

ных зонах (между пониженными и повышенными участками) диагенетический процесс развивался дифференцированно из-за ритмичного изменения температуры. Это обусловило образование в этой зоне ангидритовых и полигалитовых пропластков (скв. № 1п). Однако преобразования здесь суммарно все же не достигали таких величин, как на приподнятых участках.

Другая картина отмечается для галитсодержащей части калиеносного пласта. Ко времени осадкообразования нижней ее половины объем рассолоняющих гидрокарбонат-кальциевых вод с палеосуши в садочный бассейн уменьшился. В результате этого произошло повышение концентрации рапы, что обусловило увеличение количества осаждавшегося галита. Это привело к постепенному заполнению существовавших неровностей дна солеродного бассейна. При этом происходило уменьшение образования гипс-ангидритового материала и, как следствие этого, диагенетического полигалита.

Во время образования верхней половины пласта продолжалось сокращение влияния рассолоняющих вод с палеоуральской суши. Это привело к отложению еще большего количества галита и значительно уменьшению ангидрита (соответственно, и образованию диагенетического полигалита). В конечном счете суммарная мощность всего калиеносного пласта оказалась выравненной по простиранию. Однако, несмотря на уменьшение содержания полигалита в верхней части нижнего калиеносного пласта, среднее суммарное его содержание осталось достаточным (см. табл. 1) для промышленной его разработки.

В геологических периодах существования пород осадочного чехла, в том числе и ангидрит-полигалитовых, для данного региона были установлены явления разрушения галогенных и сульфатных пород. По результатам многих работ по нефтепоисковой оценке территории Ивановско-Салмышской зоны в кровле иренского горизонта выявлены отдельные локальные понижения,

не имеющие соответствия в нижезалегающих отложениях. Изучение [Вишняков, 1971, 1977] одной из таких структур – Мустафинской впадины (см. рис. 1), расположенной в 12 км севернее контура Шарлыкского оценочного участка, показало, что в ее центре (скв. № 329-бис Шарлыкская) кровля кунгурского яруса понижается в среднем на 176 м, за счет уменьшения суммарной мощности верхних соляных слоев. Одновременно здесь отмечается увеличение покровной гипсово-ангидритовой толщи до 85 м при средней ее мощности 26 м (рис. 12). Анализ серии пересекающих впадину палеолитологических (палеотектонических) профилей, отображающих отдельные отрезки времени ее развития, позволил установить, что начало зарождения впадины как карстовой произошло в начале уфимского века, с даль-

нейшим ее развитием в течение всего этого времени. Окончательное формирование Мустафинской палеокарстовой впадины завершилось в послепермские континентальные эпохи, когда размах тектонических движений в этой зоне достиг наибольших значений. По данным В.Л. Яхимовича [1957] это произошло, скорее всего, в неогене. Наличие в Мустафинской впадине сохранившихся от растворения пластов каменной соли, переслаивающихся со слоями ангидритов, все же не сохранило в ее центре, по данным геофизики, полигалитовую составляющую пласта (рис. 13). Это свидетельствует о разрушающем влиянии на полигалитовую минерализацию в районе скв. № 329-бис миграции вниз вышезалегающих вод, которая привела к формированию данной палеокарстовой структуры. Аналогичные структуры разви-

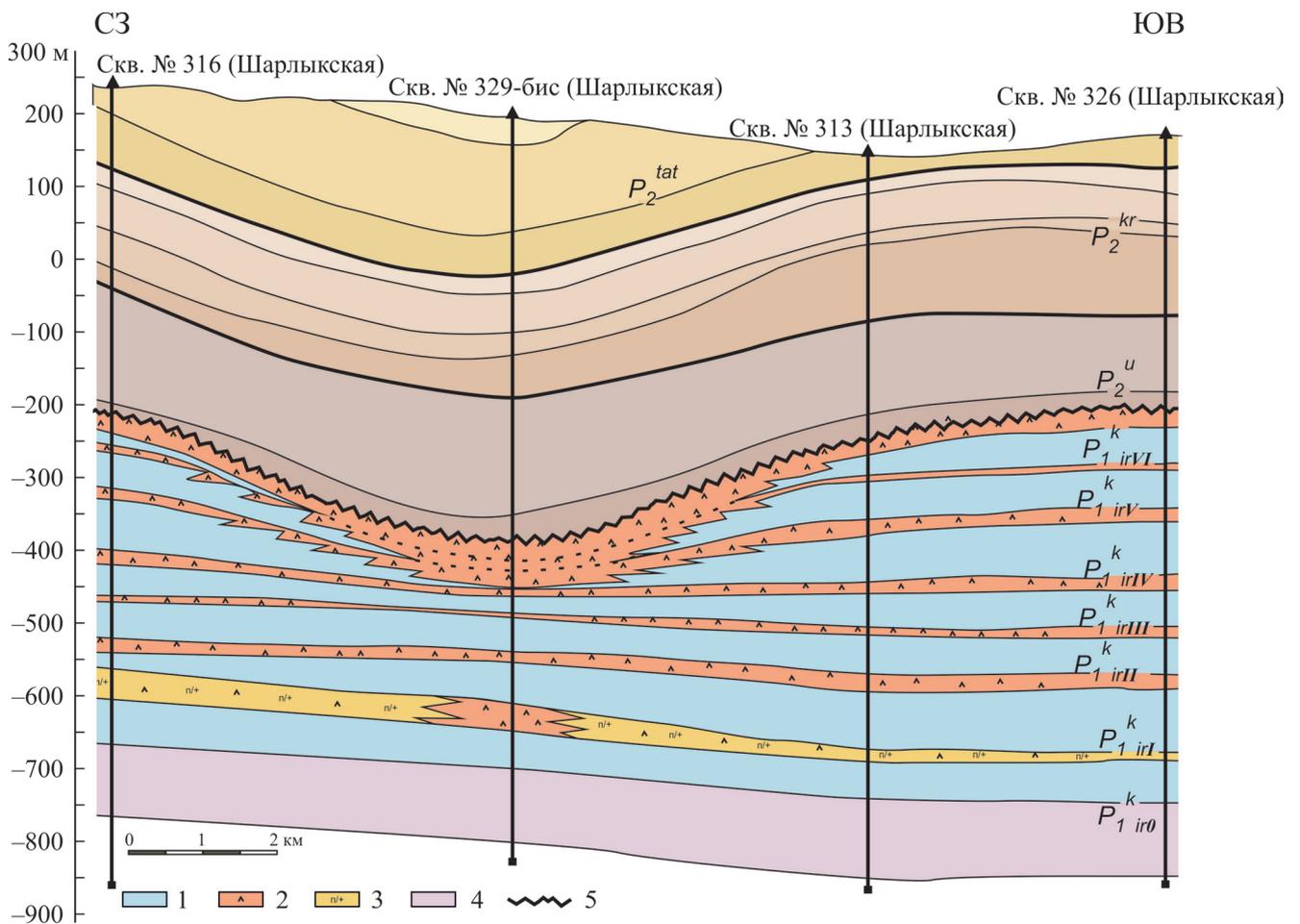
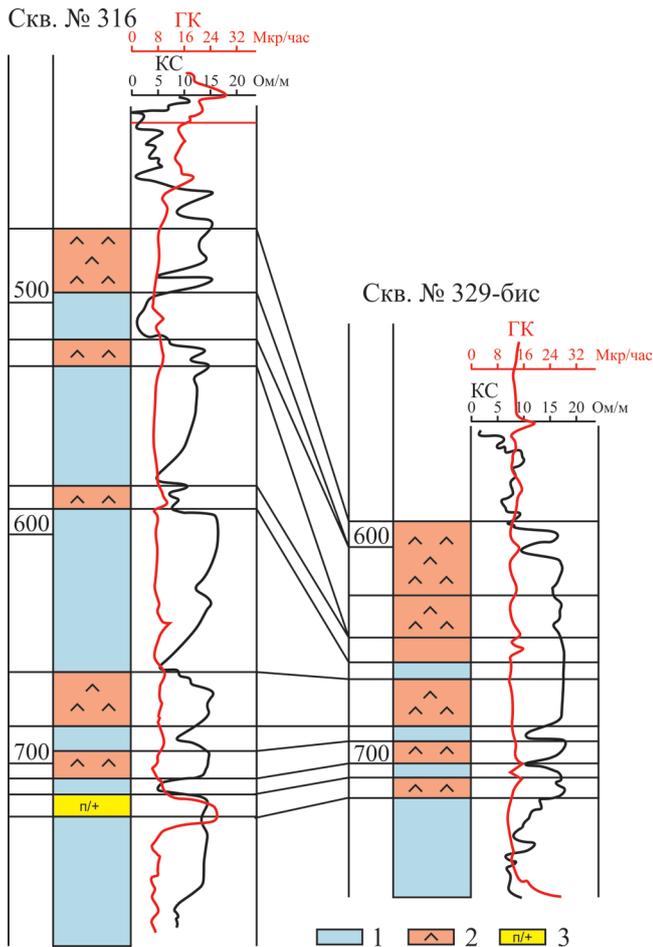


Рис. 12. Схематический геологический профиль через Мустафинскую впадину (составил А.К. Вишняков).

1 – каменная соль, 2 – ангидрит, 3 – ангидрит-полигалитовая порода 1-го калиеносного пласта, 4 – ангидрит-доломитовая порода, 5 – несогласное залегание.

Fig. 12. Schematic geological profile through Mustafinskaya depression (composed A.K. Vishnyakov).

1 – rock salt, 2 – anhydrite, 3 – anhydrite-polyhalite rock of the first K-bearing layer, 4 – anhydrite-dolomite rock, 5 – disconformable occurrence.



**Рис. 13.** Схема сопоставления разрезов верхней части иренского горизонта Мустафинской впадины (составили А.К. Вишняков и В.И. Поклонов).

1 – каменная соль, 2 – ангидрит, 3 – ангидрит-полигалитовая порода.

**Fig. 13.** Comparison scheme of the sections of the upper part of the Irenian horizon of the Mustafinskaya depression (composed by A.K. Vishnyakov and V.I. Poklonov).

1 – rock salt, 2 – anhydrite, 3 – anhydrite-polygalithic rock.

ты западнее и северо-западнее территории Шарлыкской оценочной площади. Например, в районе Яфаровской и Максимовской площадей нефтепоискового бурения (см. рис. 1) в центральной части подобной палеокарстовой структуры в отдельных скважинах также отмечаются участки отсутствия гамма-активности, что свидетельствует о разрушении в данных местах полигалитовой минерализации. В результате эти процессы привели в одних местах к полному преобразованию обратно в ангидрит полигалитов 1-го калиеносного пласта за счет выщелачивания из него соединений калия и магния, в других – к уменьшению содержания в нем полигалитовой минерализации.

Наличие на рассматриваемой территории большого количества нефтепоисковых скважин с проведенными в них гамма-каротажными исследованиями позволило В.В. Харину [2003] построить структурную карту кровли нижнего (1-го) калиеносного пласта развития в нем полигалита не только для Шарлыкской поисковой площади, но и для большей части Ивановско-Салмышской зоны проявления полигалита. Часть этой карты приведена на рис. 1. На ней четко выделяются зоны полного отсутствия полигалита и участки, которые отображают наличие в калиеносном пласте того или иного количества полигалитовой минерализации. Особенно четко картина отмечается севернее и северо-западнее исследуемой территории. К востоку и юго-востоку от нее наблюдается относительно сплошное развитие полигалитового материала в калиеносном пласте. Это может свидетельствовать о том, что в северных, северо-западных и западных районах рассматриваемого региона условия, достаточные для диагенетического преобразования ангидрита в полигалит, создавались только на отдельных, видимо повышенных, участках дна солеродного бассейна. В пониженных его участках образовавшийся там ангидрит оставался неизменным. В районах относительно сплошного развития полигалитовой минерализации в нижнем калиеносном пласте описанные закономерности проявлялись только в виде более или менее интенсивного развития полигалитонакопления. Все это отражено на приведенной карте рассматриваемой территории.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили выявить закономерности формирования и сохранения полигалитсодержащих пород южного Приуралья. Вместе с тем следует отметить, что условия необходимые для диагенетического преобразования ангидрита в полигалит и для эпигенетического разрушения его на территории Предуральского солеродного бассейна, скорее всего, были распространены неравномерно. Это, во-первых, связано с тем, что влияние континентальных вод, поступающих с палеосуши, всегда осуществлялось потоками различной интенсивности, что обуславливало то или иное их распространение на запад по поверхности солеродного бассейна. Во-вторых, распределение повышенных содержаний калийной составляющей в материнской рапе тоже могло иметь неравномерный характер. В-третьих, наибольшие разрушения полигалитовой минерализации имели место только в тех локальных зонах развития повышенной трещиноватости пород осадочного чехла, которые неоднократно подвергались тектонической активности. Все это обуславливает необходимость дифференцированного под-

хода к выявлению и оценке полигалитовой минерализации галогенных пород

Проведенные исследования могут оказать существенную помощь при оценочных и разведочных работах по выявлению участков богатых на полигалитсодержащие породы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Валяшко М.Г., Нечаева А.А. (1952) Экспериментальные исследования условий образования полигалита. *Минер., сб. Львовского геол. об-ва*, (6), 18-23.
- Вишняков А.К. (1971) Влияние эрозионных и карстовых процессов на сохранность солей, в разрезах Шарлыкской площади. *Тр. Казанского Геол. ин-та*, **21**, 161-164.
- Вишняков А.К. (1977) Влияние древних эрозионных и карстовых явлений на сохранность кунгурской галогенной толщи Приуралья. Проблемы соленакопления. Т. II. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 112-115.
- Галкин Л.К., Кайдалов В.И. (1972) Тектоническое строение западной платформенной части Оренбургской области. *Материалы по геологии и полезным ископаемым Оренбургской области. Вып. 4*. Челябинск: Южно-Уральское книж. изд-во, 15 с.
- Григорьев Д.П., Жабин А.Г. (1975) Онтогенез минералов. Индивидуумы. М.: Наука, 340 с.
- Сонненфелд П. (1988) Рассолы и эвапориты. М.: Мир, 480 с.
- Страхов Н.М. (1947) Очерки геологии кунгура Ишимбаевского нефтеносного района. Ч. I. Стратиграфия и тектоника. *Материалы к познанию геол. строения СССР. Нов. сер. Вып. 5(9)*. М.: МОИП, 342 с.
- Страхов Н.М. (1962) Основы теории литогенеза. Т. III. М.: Изд-во АН СССР, 550 с.
- Тихвинский И.Н. (1974) Стратиграфия и калиеносные горизонты кунгура Прикаспийской синеклизы. *Сов. геология*, (5), 44-54.
- Тихвинский И.Н. (1976) Закономерности распространения калийных солей в Предуральско-Прикаспийском бассейне. *Сов. геология*, (2), 102-113.
- Харин В.В. (2003) Поиски полигалитов на Шарлыкской площади (Лист № 40-XXV) в 2001–2003 гг. Оренбург, Фонды Нежинской геологоразведочной экспедиции.
- Яхимович В.Л. (1957) О структуре Предуральской депрессии в связи с изучением мезо-кайнозойских отложений. Вопросы геоморфологии и геологии Башкирии. Вып. 1. Уфа: Изд-во БФАН СССР, 55-64.

#### REFERENCES

- Galkin L.K., Kaidalov V.I. (1972) *Tektonicheskoe stroenie zapadnoi platformennoi chasti Orenburgskoi oblasti. Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Orenburgskoi oblasti. T. 4* [Tectonic structure of the western platform part of the Orenburg region. Materials on geology and minerals of the Orenburg region. V. 4]. Chelyabinsk, Yuzhno-Ural'skoe Knizhnoe Publ., 15 p. (In Russian)
- Grigoriev D.P., Zhabin A.G. (1975) *Ontogeniya mineralov. Individy* [Ontogeny of minerals. Individuals]. Moscow, Nauka Publ., 340 p. (In Russian)
- Kharin V.V. (2003) *Poiski poligalitov na Sharlyksoi ploschadi (List 40-XXV) v 2001–2003 gg.* [Searches of polygalites on Sharlyk field (Sheet 40-XXV)]. Orenburg, Fondy Nezhinskoi geologorazvedochnoi ekspeditsii. (In Russian, unpublished)
- Sonnenfeld P. (1988) *Rassoly i evapority* [Brines and evaporates]. Moscow, Mir Publ., 480 p. (In Russian)
- Strakhov N.M. (1947) *Ocherki geologii kungury Ishimbayevskogo neftenosnogo raiona. Ch. I. Stratigrafiya i tektonika. Mater. k poznaniyu geol. stroeniya SSSR. Nov. ser., vyp. 5(9)* [Essays on the geology of the Kungur of the Ishimbayevsky oil-bearing region. P I. Stratigraphy and tectonics. Mattr. to the knowledge of geol. structure of the SSSR. New. ser., no. 5(9)]. Moscow, MOIP, 342 p. (In Russian)
- Strakhov N.M. (1962) *Osnovy teorii litogeneza. T. III* [Fundamentals of the theory of lithogenesis. V. III]. Moscow, Akad. Nauk SSSR, 550 p. (In Russian)
- Tikhvinsky I.N. (1974) Stratigraphy and the Kungur horizons of the Caspian syncline. *Sovetskaya Geologiya*, (5), 44-54. (In Russian)
- Tikhvinskii I.N. (1976) Regularities of the distribution of potassium salts in the Pre-Urals-Priskaspiysky basin. *Sovetskaya Geologiya*, (2), 102-113. (In Russian)
- Valyashko M.G., Nechaeva A.A. (1952) Experimental studies of the conditions of polygalite formation. *Mineralogiya, sb. Lvov. Geol. obshchestva*, (6), 18-23. (In Russian)
- Vishnyakov A.K. (1971) Influence of erosion and karst processes on the preservation of salts, in the sections of the Sharlyk area. *Tr. Geol. Kazanskogo in-ta*, **21**, 161-164. (In Russian)
- Vishnyakov A.K. (1977) Influence of ancient erosion and karst phenomena on the safety of the Kungur halogen stratum of the Urals. *Problemy solenakopleniya. T. II* [Problems of salt accumulation. V. II]. Novosibirsk, Nauka Publ., Sib. otd., 112-115. (In Russian)
- Yakhimovich V.L. (1957) On the structure of the Cis-Urals depression in connection with the study of meso-Cenozoic deposits. *Voprosy geomorfologii i geologii Bashkirii. Vyp. 1* [Problems of geomorphology and geology of Bashkortostan. Is. 1]. Ufa, Publishing House of the BFAN SSSR, 55-64. (In Russian)