УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕСЧАНИКОВ СОЛИКАМСКОГО ГОРИЗОНТА В ПРЕДЕЛАХ СОЛИКАМСКОЙ ВПАДИНЫ

Д. Е. Трапезников^{1, 2}

¹Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Горный институт УрО РАН, Пермь

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

daniltrapeznikov@gmail.com

Представлены результаты анализа разрезов более 500 скважин, расположенных на территории Верхнекамского месторождения солей, корреляция которых определяет наличие нескольких клинообразных слоев песчаников. На основе сведений о мощности обломочных отложений в терригенно-карбонатной толще построены карты процентного содержания песчаного материала. Благодаря этому были выявлены древние конусы выноса терригенного материала, а также прослежена эволюция их развития. Изучен минералогический-петрокластический состав песчаных пород, позволивший классифицировать их. На основе соотношения основных обломочных компонентов установлены геодинамические типы питающих провинций. Комплекс полученных результатов позволил реконструировать палеогеографические и тектонические условия накопления песчаных отложений соликамского горизонта нижней перми.

Ключевые слова: Предуральский краевой прогиб, Соликамская впадина, уфимские отложения, осадконакопление, песчаники, известняки, палеотектоника.

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF SANDSTONES OF THE SOLIKAMSK STRATUM WITHIN THE SOLIKAMSK DEPRESSION

D. E. Trapeznikov

Perm Federal Research Center UB RAS, Perm

The results of section analysis of more than 500 wells located in the Verkhnekamskoye salt deposits area have been presented. The presence of several wedge-shaped layers of sandstones was revealed on the basis of the correlation of these sections. The maps of the percentage content of sand materials were constructed on the basis of the information on the thickness of clastic sediments in the terrigenous-carbonate stratum. The ancient removal cones of the terrigenous material were identified, the evolution of their development was traced.

The mineralogical and petroclastic composition of sandy rocks was classified. The relationship between the sedimentary basin and the geodynamic conditions of feeding provinces was established on the basis of the clastic component ratio. The complex of the results allowed us to reconstruct paleogeographic and tectonic conditions for the accumulation of sandy deposits of the Solikamsk Horizon of the Lower Permian.

Keywords: Pre-Urals Foredeep, the Solikamsk basin, ufimian deposits, sedimentation, sandstones, limestones, paleotectonics.

Введение

В пределах Соликамской впадины в верхней части разреза терригенно-карбонатной толщи группой скважин были вскрыты тела песчаников, заключенные в слои известняков морского происхождения. В связи с тем что данный район расположен у западной границы Предуральского прогиба и в значительной мере удален от Уральской складчатой области, возникает вопрос: являются ли эти песчаные слои продуктом размыва Уральского орогена или они сформировались за счет перетолжения платформенных терригенных толщ?

Цель работы заключалась в установлении фациальных условий формирования песчаников, а также идентификации геодинамического типа питающей их провинции.

Объектом исследования являлась территория Соликамской впадины (рис. 1), хорошо изученная со- леразведочными работами в пределах Верхнекамского месторождения солей (ВКМС).

Методика исследования включала изучение архивных описаний скважин, отбор образцов кернового материала из скважин, пробуренных в период 2014–2017 гг., а также оптико-микроскопическое изучение шлифов песчаных пород. В общей сложности были проанализированы материалы 516 скважин и описаны 19 шлифов.

Полученный материал позволил выявить источник сноса обломочного материала и определить фациальные условия накопления песчаных пород соликамского горизонта.

Стратиграфия

Отложения уфимского яруса в составе соликамского и шешминского горизонтов в настоящее время относятся к нижней перми [7]. В пределах Соликамской впадины соликамский горизонт включает в себя соляно-мергельную и терригенно-карбонатную толщи, а шешминский горизонт — пестроцветную [2].

Терригенно-карбонатная толща (ТКТ) в пределах контура ВКМС имеет практически повсеместное распространение, за исключением некоторых локальных положительных структур, на которых она частично или полностью эродирована. Мощность толщи изменяется от 80 до 134 м и зависит от вещественного состава пород, слагающих ее. Литология представлена двумя основными типами пород: карбонатно-глинистыми (ряд «известняки — мергели — глины») и терригенными (ряд «алевролиты — песчаники»), находящимися в том или ином соотношении, но терригенные отложения всегда имеют подчиненный характер. В северной части ВКМС широко развиты мощные слои известко-

вых глин и аргиллитов, а песчаники встречаются очень редко. Центральная часть в основном карбонатная. На юге происходит значительное увеличение терригенной составляющей (песчаники, реже алевролиты), эта же тенденция наблюдается с запада на восток.

В отложениях ТКТ не принято выделять более мелкие подразделения [2, 5], но существуют альтернативные точки зрения. В частности, В. И. Копниным [3] было предложено вместо одной толщи выделять две: мергельно-доломитово-известняковую и известняково-терригенную, первая из которых подразделяется на три, а вторая на две пачки (рис. 1).

Мергельно-доломитово-известняковая толща слагается преимущественно известняками, доломитами и мергелями, а песчаники, алевролиты, аргиллиты и гипсы имеют здесь явно подчиненный характер. При этом терригенные породы шире распространены в южной

части месторождения, а в центральной развиты известковистые аргиллиты. Мощность толщи изменяется от 59 до 71 м.

Известняково-терригенная толща представляет собой переслаивание песчаных и известняковых слоев, причем вверх по разрезу песчаного материала становится все больше. Мощность толщи увеличивается от 52 до 64 м.

Верхнесоликамская подсистема довольно бедна палеонтологическими остатками [4], но в детально описанных разрезах (район д. Тюлькино) содержит довольно разнообразный комплекс органических остатков, включающий неморские двустворки, остракоды, фораминиферы, брахиоподы, чешую рыб, единичные отпечатки насекомых. Преобладают двустворки и остракоды, образующие массовые скопления; часто встречаются чешуйки рыб [9]. Также выделены спорово-пыльцевые ком-

Система	Отдел	Ярус	Свита	Толща	Подтолща, зона	Литология	Мощность, м
Пермская	Нижний	Уфимский	Шешминская	Пестроцветная			0 - 750
			Соликамская	Терригенно-карбонатная	Верхняя		20-24
					Нижняя		32-40
					Известняково-терригенная		52-64
					Доломит-известняковая		15-27
				Соляно-мергельная	Известняковая		20-24
					Мергельно-известняковая		17-20
			Кунгурский	Соляная			60-150
							120-450

Условные обозначения

	- доломит		- песчаник
	- известняк		- алевролит
	- мергель		- аргиллит
	- известняк глинистый		- глина

Рис. 1. Положение Верхнекамского месторождения солей и Соликамской впадины в пределах Предуральского краевого прогиба [5, 6, 10] и стратиграфия уфимских отложений Соликамской впадины, по [4] с изменениями

Fig. 1. The position of the Verkhnekamskoye salt deposit and the Solikamsk basin within the Uralian foredeep [5, 6, 10] and stratigraphy of the Ufimian deposits in the Solikamsk depression, according to [4] with changes

плексы, в которых доминирует пыльца *Striatiti* (до 53 %) и *Vittatina* (до 54.5 %), споры *Zonotriletes* (до 37 %) [1].

Границы терригенно-карбонатной толщи проводятся снизу по границе гипсоносных мергелей с сероцветными известняками, а сверху — по контакту последнего слоя известняков с пестроцветными алевропесчаными отложениями [2].

Литология песчаников

Макроскопическое изучение керна выявило широкое развитие грубой и крупной слоистости с однородной внутренней текстурой. Более детальное изучение слоевых последовательностей показало наличие неяснослоистых крупнокосоволнистых текстур (рис. 2, а–с). В некоторых слоях отмечаются неокатанные фрагменты подстилающих известняков, что указывает на активную донную эрозию и переотложение материала. В некоторых образцах наблюдается асимметричная рябь, локальные перемывы и пересыпи песчаного материала, что говорит о наличии донных течений. В карбонатных слоях, среди которых залегают песчаные по-

роды, на разных уровнях присутствуют редкие остатки как неморских, так и морских двустворок. Все это свидетельствует о накоплении осадка в морских условиях на относительно небольшой глубине в зоне дистальной части дельты реки, поставляющей в бассейн обломочный материал и пресную воду.

Минералого-петрокластический анализ образцов песчаных пород демонстрирует преобладание обломков минералов и пород метаморфического и вулканогенного происхождения (до 60 %), затем следуют обломки силицитов (до 22 %), в относительно равных пропорциях присутствуют обломки микрокварцитов (до 6 %), кварца (до 7 %) и полевых шпатов (до 5 %), а также единичные зерна гематита и лимонита (рис. 2 d, e). Редкие зерна пироксенов и амфиболов подвержены частичному разложению и замещены лимонитом и гематитом. По плагиоклазам и полевым шпатам иногда развиваются мелкие агрегаты хлорита, серицита, а также доломита. Среди обломков осадочных пород выделяются зерна мергелей и известняков, являющихся продуктом размыва подстилающих пород.

Рис. 2. Фотографии образцов керна песчаников (а–с) и микрофотографии шлифов песчаника (d, e) средне-, крупнозернистого при параллельных (PPL) и скрещенных (XPL) николях

Fig. 2. Photo of sandstone core samples (a–c) and photomicrographs of sandstone (d, e) medium-, coarse-grained with plane light (PPL) and crossed polars (XPL)

Рис. 3. Положение проб песчаных пород на диаграммах В. Н. Шванова (а) [12] и У. Дикинсона и Р. Валлони (b) [13], отображающих геодинамические обстановки областей сноса песчаных пород: Qm — кварц монокристаллический; F — полевые шпаты, как плагиоклазы, так и калиевые полевые шпаты; Lt — все лититовые обломки, в том числе кремни и микрокварциты

Fig. 3. Position of sand samples on the diagrams V. N. Shvanov (a) [12], and W. Dickinson and R. Valloni (b) [13], depicting the geodynamic conditions of the sand-rock demolition areas: Qm — single-crystal quartz; F — plagioclase and potassium feldspars; Lt — all (t — total) lithitic debris, including flint and microquartzites

Рис. 4. Клинообразные тела песчаников в разрезах терригенно-карбонатной толщи на территории Верхнекамского месторождения солей

Fig. 4. Wedge-shaped bodies of sandstones in the cross-sections of the terrigenous-carbonate sequence in the Verkhnekamsk salts deposit

Гранулометрический анализ пород в шлифах показал, что размер обломков колеблется от 0.1 до 1 мм, при этом крупные зерна чаще угловатые, а мелко-, средне-размерные — полуокатанные и округлые. Межзерновые контакты чаще точечные, реже вогнуто-выпуклые, что указывает на незначительное преобразование пород.

Цемент песчаников — от базального до порового. Базальный чаще представлен микритом, идентичным соседним слоям известняков и мергелей. Поровый цемент представлен либо аналогичным микритом, либо раскристаллизовавшимся мелко-, среднекристаллическим кальцитом, либо крустификационным доломитом. Доломит в таких случаях формирует сноповидные волокнистые агрегаты вокруг зерен, заполняя практически все поровое пространство.

Полученные данные о вещественном составе аллотигенной образующей песчаников в 19 шлифах позволяют классифицировать эти породы с помощью треугольной QmFLt-диаграммы В. Н. Шванова [12] как кварцевые граувакки и собственно граувакки (рис. 3, а). Это указывает на незрелость обломочного материала, а в сочетании со средней сортировкой и степенью окатанности от плохой до хорошей говорит о незначительной дальности переноса материала.

Идентификация геодинамических обстановок питающих провинций с помощью QmFLt-диаграммы У. Дикинсона [13] показывает, что изучаемые породы соответствуют областям размыва коллизионных орогенов (рис. 3, б), следовательно, источник этих пород расположен в пределах Уральской складчатой области.

Остается открытым вопрос о фациальной обстановке формирования песчаных отложений. Для выяснения особенностей накопления песчаных отложений терригенно-карбонатной толщи были изучены архивные описания разрезов 516 скважин, в некоторых из них удалось изучить непосредственно керн. В итоге были составлены корреляционные схемы-разрезы для южной части ВКМС. Это позволило выявить в ТКТ несколько хорошо прослеживающихся терригенных клиньев (рис. 4). На широтном разрезе в южной части Соликамской впадины хорошо видна тенденция увеличения мощности всей толщи и количества песчаных слоев в ней с запада на восток. На меридиональном разрезе, построенном в центральной части впадины, четко прослеживаются 4 слоя песчаников, а каждый вышележащий развит шире. Это указывает на пульсационное поступление и постоянно увеличивающийся объем песчаного материала в бассейне Соликамской впадины.

При сопоставлении суммарной мощности песчаных слоев с карбонатными была получена процентная доля терригенного материала в трех толщах ТКТ. Первая включает в себя мергельно-доломитово-известняковую толщу, вторая — нижнюю, а третья — верхнюю зону известняково-терригенной толщи (рис. 1). В зависимости от района в каждом из выбранных интервалов толщи присутствует один-два пласта песчаника.

Данные о песчаности, полученные в нескольких сотнях скважин, послужили основой для построения карт изоконцентрат для каждой толщи (рис. 5). Общий план изолиний песчаного материала на картах выявил наличие ветвящихся конусов с постепенно уменьшающейся мощностью с юго-востока на запад. Вверх по разрезу отмечается как разрастание терриген-

Рис. 5. Карты процентного содержания песчаного материала в нижней (а), средней (б) и верхней (с) частях терригенно-карбонатной толщи [11]

Fig. 5. Maps of percentage of sand material in the lower (a), middle (b) and upper (c) parts of the terrigenous-carbonate sequence [11]

Рис. 6. Модель накопления терригенно-карбонатных отложений в пределах Соликамской впадины

Fig. 6. Model of accumulation terrigenous-carbonate deposits within the Solikamsk depression

ных конусов по площади, так и увеличение их доли в объеме толщ. Таким образом, в разрезе наблюдается тенденция замещения карбонатного осадконакопления терригенным.

Модель осадочного бассейна

Приняв во внимание фациальные и минералогическо-петрокластические особенности песчаных пород, направление сноса обломочного материала и геодинамическую обстановку региона в раннепермское время [8], можно представить модель накопления терригенно-карбонатной толщи в пределах Соликамской впадины следующим образом (рис. 6).

На востоке в современных координатах растет Уральский коллизионный ороген, в передовой части которого формируется Предуральский прогиб, частью которого является Соликамская впадина. В ходе постепенной эрозии орогена речными потоками во впадину выносятся большое количество обломочного материала, который здесь осаждается и переслаивается с карбонатным осадком. Постепенно количество обломочного материала возрастает, что приводит к заполнению бассейна и вытесняет карбонатное осадконакопление. Терригенная седиментация постоянно прогрессирует, а площадь подводных дельт постепенно увеличивается и наступает все дальше на запад. К моменту накопления перекрывающей шешминской свиты морской бассейн перестает существовать, что приводит к накоплению пестроцветных отложений в озерных и аллювиальных условиях.

Выводы

Изучение верхнесоликамской свиты позволило выявить наличие нескольких этапов привноса терригенного материала на фоне аутигенного осаднения карбонатного материала. Минералогическо-петрокластический анализ в комплексе с картами процентного содержания песчаного материала терригенно-карбонатной толщи в пределах Соликамской впадины позволили установить юго-восточный источник сноса, что указывает на близость орогена на этом участке по сравнению с северо-восточным бортом впадины. Фациальный анализ показал, что накопление песчаного материала происходило в подводных частях ветвящихся дельт, фронт которых распространялся все дальше на запад. Таким

образом, полученные результаты позволяют говорить о Соликамской впадине как о мелководно-морском бассейне с перекомпенсированным типом осадконакопления, завершившем свое существование в позднесоликамское время, что привело к континентальным обстановкам формирования вышележащих толщ.

Автор признателен И. И. Чайковскому, О. И. Галиновой, Т. В. Фадеевой, Л. В. Андрейко за ценные замечания и редакцию рукописи.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 18-05-00046.

Литература

1. Варбхина Л. М., Канев Г. П., Колода Н. А. и др. Корреляция разнофациальных разрезов верхней перми севера европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. 160 с.
2. Иванов А. А., Воронова М. Л. Верхнекамское месторождение калийных солей. Л.: Недра, 1975. 219 с.
3. Копнин В. И. Верхнекамское месторождение калийных, калийно-магниевых и каменных солей и природных рассолов // Изв. вузов. Горный журнал. 1995. № 6. С. 10–43.
4. Копнин В. И. Соликамский калиеносный бассейн // Пермская система земного шара: Межд. конгресс: Путевод. геол. экскур. Свердловск: Полиграфист, 1991. Ч. 3, вып. 1. С. 103–135.
5. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд. М.: EPSILONPLUS, 2013. 368 с.
6. Проворов В. М. Основные черты тектоники нижнепермских отложений и ее связь с глубинным строением Среднего Приуралья // Нижнепермские отложения Камского Предуралья: Тр. ВНИГНИ. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1973. Вып. 118. С. 28–48.
7. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 44. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016. 68 с.
8. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
9. Силантьев В. В. Соликамский горизонт Пермского Приуралья // Стратотипы и опорные разрезы Поволжья и Прикамья. Казань: Экоцентр, 1996. С. 13–55.
10. Софроницкий П. А. Восточная часть Русской платформы. Предуральский краевой прогиб // Геология СССР. М.: Недра, 1969. Т. XII. Ч. 1, кн. 2. С. 12–37.

11. Трапезников Д. Е. Характер распределения алевро-псаммитового материала в терригенно-карбонатной толще в границах Верхнекамского месторождения // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Сб. науч. тр. Вып. 13 / ГИ УрО РАН. Пермь, 2015. С. 10–11.

12. Шванов В. Н. Петрография песчаных пород (компонентный состав, система, описание минеральных видов). Л.: Недра, 1987. 269 с.

13. Dickinson W., Valloni R. Plate setting and provenances of sands in modern ocean basins // Geology. 1983. V.8. P. 82–86.

References

1. Varbhina L. M., Kanev G. P., Koloda N. A. et al. *Korreljacija raznofacialnyh razrezov verhnej permii severa evropejskoj chasti SSSR* (Correlation of different facies sections of the upper Permian north of the European part of the USSR). Leningrad: Nauka, 1981, 160 pp.

2. Ivanov A. A., Voronova M. L. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie kaliynykh soley* (Verkhnekamskoye potassium salts deposit), Leningrad: Nedra, 1975, 219 p.

3. Kopnin V. I. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie kaliynykh, kalijno-magnievykh i kamennykh soley i prirodnykh rassolov* (The Verkhnekamskoye deposit of potassium, potassium-magnesium and rock salts and natural brines). Gornyj zhurnal, 1995, No. 6, pp. 10–43.

4. Kopnin V. I. *Solikamskiy kaliyosnyy basseyn* (Solikamskiy potassium basin) Proceedings of conference. Sverdlovsk: Poligrafist, 1991, pp.103–135.

5. Kudryashov A. I. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie soley* (Verkhnekamskoye salt deposit). Moscow: EPSILONPLUS, 2013, 368 p.

6. Provorov V. M. *Osnovnye cherty tektoniki nizhneperm-skikh otlozheniy i ee svyaz s glubinnym stroeniem Srednego Priuralya* (The main features of the tectonics of the Lower Permian deposits and its relationship to the deep structure of the Middle

Urals). *Nizhnepermские отложения Камского Предуралья*. Perm: Proceedings of VNIGNI (118), 1973, pp. 28–48

7. *Postanovleniya Mezhdvdomstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyannykh komissiy*. (Decisions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing commissions). St. Petersburg: VSEGEI, 2016, 68 p.

8. Puchkov V. N. *Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye vo-prosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* (Geology of the Urals and the Urals (actual issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)). Ufa: DizajnPoligrafServis, 2010, 280 p.

9. Silantev V. V. *Solikamskiy gorizont Permskogo Priuralja* (Solikamskiy horizon of the Perm Ural region). V. V. Silantev. *Stratotipy i opornye razrezy Povolzhja i Prikamja* (Stratotypes and reference sections of Volga and Kama regions). Kazan: Jekocentr, 1996, pp. 13–55.

10. Sofronitsky P. A. *Vostochnaya chast Russkoy platformy. Preduralskiy kraevoy progib* (The eastern part of the Russian platform. The Uralian foredeep basin). *Geologiya SSSR*. Moscow: Nedra, 1969, XII (1), pp. 12–37

11. Trapeznikov D. E.. *Harakter raspredeleniya alevropsam-mitovogo materiala v terrigenno-karbonatnoj tolshche v granicah Verkhnekamskogo mestorozhdeniya* (Character of the distribution of aleuroscammitite material in terrigenous-carbonate strata in the Verkhnekamskoye deposit boundary). *Strategiya i processy osvoe-niya georesurov*, collection of articles. GI UB RAS. Perm, 2015, pp. 10–11.

12. Shvanov V. N. *Petrografiya peschanykh porod (komponent-nyj sostav, sistema, opisaniye mineralnykh vidov)* (Petrography of sandy rocks (component composition, system, description of mineral species). Leningrad: Nedra, 1987, 269 p.

13. Dickinson W., Valloni R. Plate setting and provenances of sands in modern ocean basins. *Geology*, 1983, V.8, pp. 82–86.