

УДК 553.632+550.831

Реконструкция развития соляных структур Верхнекамского месторождения солей

Г.П. Щербинина^а, Г.В. Простолупов^а, С.Г. Бычков^{а,б}^а Горный институт УрО РАН

614007, Пермь, ул. Сибирская, 78а. E-mail: gena-prost@yandex.ru

^б Пермский государственный национальный исследовательский университет

614068, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: bsg@mi-perm.ru

(Статья поступила в редакцию 15 сентября 2022 г.)

Освещаются вопросы геологии и генезиса структурных форм Верхнекамского месторождения солей (Пермский край). На примере участка месторождения, где расположен Поповский соляной купол, приведены результаты детальных исследований и анализа данных о геологическом строении осадочных толщ, их морфологии. Проведена реконструкция развития соляных структур – поднятий и впадин. Определены основные факторы и механизмы, под влиянием которых описываемая территория приобрела современное тектоническое строение. Большое значение в формировании современного тектонического облика верхней части осадочного чехла имело накопление в кунгурский век пермского периода толщи солей – податливых пород, что на последующих этапах развития территории (поздний палеозой – ранний мезозой) определило повышенную тектоническую подвижность соляных и надсоляных отложений, формирование высокоамплитудных поднятий и впадин. Различный тектогенез верхней части осадочного чехла, включающей соленосную толщу, и нижезалегающих жестких пород обусловил разделение осадочного чехла Соликамской впадины Предуральского прогиба на два тектонических этажа. Нижний этаж включает поднятия, представляющие структуры облекания франско-турнейских рифогенных массивов и брахискладки продольного сжатия, верхний – структуры, сформированные в результате галокинеза пластичных масс.

Ключевые слова: *Верхнекамское месторождение, соляная тектоника, структурообразующие процессы, рифовый массив, гравиметрия.*

DOI: 10.17072/psu.geol.22.1.80

Введение

Верхнекамское месторождение калийных солей находится в пределах Соликамской впадины Предуральского краевого прогиба. Горизонтальные размеры месторождения – 38×145 км. Слои калийных солей приурочены к верхней части соляной линзы, которая залегает на незначительной глубине. Кровля соляного комплекса фиксируется на глубинах 100–500 м, подошва – на глубинах от 300 м до 700 м. Мощность соляных отложений достигает 500–600 м в соляных куполах, уменьшаясь до 200–300 м во впадинах. Соляной комплекс выклинивается на западе у границы Восточно-Европейской платформы и у Западно-Уральской зоны складчатости на востоке. Накопление солей происходило в лунежское время кунгурского века пермского периода.

Месторождение солей было открыто в 1926 г. Добыча полезного ископаемого нача-

лась в 1930 г. (Кудряшов, 2001). В настоящее время количество функционирующих рудников приближается к десяти. Идет подготовка к разработке новых площадей. Понимание геологического строения и генезиса месторождения имеет огромное значение при обеспечении безопасности горных работ. Изучением месторождения занимались многие известные геологи: Иванов А.А., Копнин В.И., Джиноридзе Н.М., Голубев Б.М., Кудряшов А.И. и др.

Современный структурный облик территория Соликамской депрессии приобрела в результате тектонических преобразований, причиной которых явились, с одной стороны, вертикальные движения блоков кристаллического фундамента, с другой – сближение Уральской складчатой системы и Восточно-Европейской платформы и сползание соляной залежи (Чайковский, 2013; Копп и др., 2014; Коротеев и др., 2020). Взаимодействие Урала и платформы обусловило в Преду-

ральском прогибе возникновение горизонтальных субширотных напряжений, которые проявились в формировании линейной складчатости меридионального простирания в толщах, заполняющих прогиб (Зубков и др., 2015).

Анализ геологического строения

Особенности тектоники Соликамской впадины определяются взаимным геодинамическим влиянием структурных элементов в процессе геологического развития (Щербинина, Простолупов, 2018). К ним относятся франско-турнейские рифогенные массивы, залегающие на глубине 2–2.5 км, и структуры их облекания; Дуринский и Боровицкий глубинные разломы фундамента с сопутствующими впадинами в поверхности соли; положительные и отрицательные структуры, сформированные в результате галокинеза.

Толща солей залегает на подсолевом комплексе пород, представленном преимущественно карбонатными и карбонатно-глинистыми отложениями девона, карбона, перми. Соляной разрез состоит из двух толщ: нижней – подстилающей каменной соли и верхней – продуктивной толщи. Продуктивная толща представляет переслаивание слоев каменной соли, сильвинитов и карналлитов. Для подстилающей соли характерна большая изменчивость мощности – от 100 м во впадинах кровли соли и до 500 м в куполах. Мощность же продуктивной толщи, облекающей соляные поднятия, меняется незначительно и составляет в среднем 100 м.

Поповский соляной купол расположен в западной части соляной залежи в 15 км к востоку от границы Восточно-Европейской платформы. В Поповском куполе мощность соляного комплекса достигает 600 м, в соседних впадинах уменьшается до 2803–90 м. Горизонтальные размеры купола – 7×9 км. Структура вытянута в меридиональном направлении в виде треугольника с острой вершиной на севере (рис. 1). Амплитуда поднятия – 200 м по западному склону, 300 м по южному склону, 150 м по восточному склону.

Ранее было установлено, что в Предуральском прогибе положительные структуры в кровле соли и раздувы мощности соляных пород тяготеют к пространствам между рифами франско-турнейского комплекса (Щербинина, 2020). Причина этого, очевидно, заключается в том, что рифовые карбонатные тела обладают высокой жесткостью, несжимаемостью, тогда как межрифовые синхронные осадки, представленные глинистыми известняками, мергелями и глинами, в течение геологического времени уплотнялись с уменьшением мощности. К настоящему времени в межрифовых пространствах в осадочном чехле ниже галогенной толщи сформировались впадины, а над рифами – поднятия, структуры облекания высотой 80–140 м, с уменьшающейся вверх амплитудой. Структуры облекания наблюдаются по всей мощности подсоляной толщи, вплоть до подошвы пластичных солей, где их амплитуда составляет 20–30 м. Комплекс «рифовый массив и структура облекания» обладает повышенной жесткостью и плотностью пород по сравнению с окружающими пространствами. В таких условиях под влиянием гравитационной нагрузки, создаваемой надсоляными, более тяжелыми отложениями, в соляной толще над вершинами жестких положительных структур, вдающихся снизу в соляную массу, возникали повышенные вертикальные напряжения. В результате пластичная соль выдавливалась из области высоких давлений в разгруженные межрифовые участки, где и формировались соляные поднятия. Поповский купол, например, зажат между тремя девонскими рифами: Юрчукским с юга, Пашковским с северо-востока, Чашкинским с юго-востока. На формирование Поповского поднятия оказывали влияние также и другие геологические факторы. Например, в районе вершины растущего купола эрозия земной поверхности и снос приповерхностных слоев обусловили снижение веса надсоляных пород и вызывали дополнительное его поднятие. Эти причины приводили к формированию синхронных опусканий кровли соли в соляных впадинах. Поповское соляное поднятие окружают отрицательные структуры: Камский прогиб, Дуринские впадины, Тверитинская мульда. Различный генезис отрицательных структур, окружающих

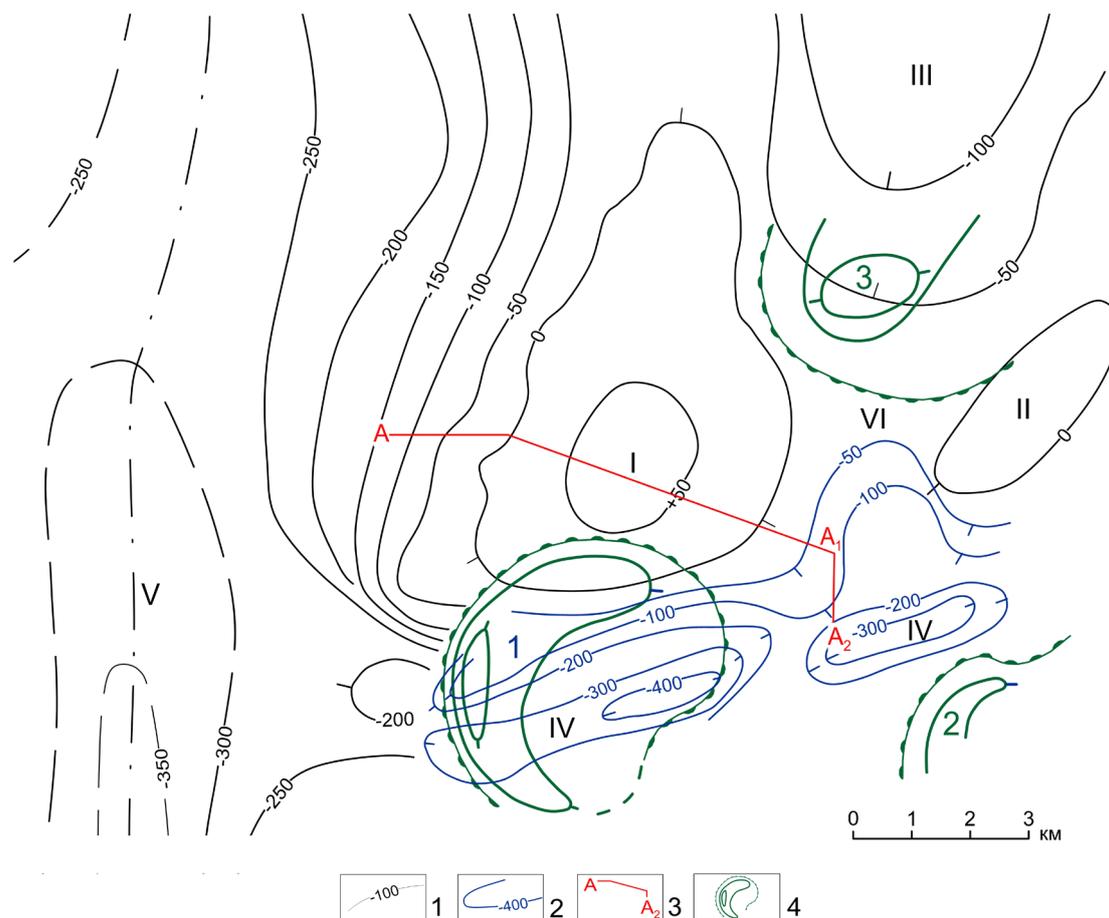


Рис. 1. Структурная карта кровли соляной толщи: 1 – изогипсы по данным бурения, 2 – изогипсы по данным гравиметрии и бурения, 3 – линия геологического разреза, 4 – франско-турнейские рифогенные массивы: 1 – Юрчукский, 2 – Чашкинский, 3 – Пашковский. Структуры соляной поверхности: I – Поповский соляной купол, II – Пашковское соляное поднятие, III – Тверитинская мульда, IV – Дуринский прогиб, V – Камский прогиб, VI – Поповско-Пашковский прогиб

Поповское поднятие, свидетельствует о сложной тектонической обстановке, существовавшей в период накопления солей и во время галокинетических процессов в Предуральском прогибе, о разнообразии факторов, повлиявших на формирование данного поднятия.

Генезис Поповского соляного купола

Западный склон Поповского поднятия граничит с Камским прогибом – региональной структурой в кровле соли. Камский прогиб является восточным членом парагенеза с Камско-Вишерским валом. Система «вал – прогиб» сформирована на границе выклинивания соляной толщи в районе сочленения Предуральского прогиба с Восточно-Европейской платформой. В позднем палеозое – мезозое – этот район представлял об-

ласть, где региональные силы бокового давления Уральской зоны достигали платформы (Казанцева, 1987; Камалетдинов, 1974). Камско-Вишерский вал сформировался в результате скучивания соляных пород во фронтальной части пластичного соляного тела у жесткого края платформы под влиянием давления с востока. Параллельный валу Камский прогиб представляет область оттока пластичных солей.

На формирование **южного склона Поповского соляного поднятия** оказывала влияние система Дуринских впадин, которые образовались в поверхности соляной толщи над глубинным разломом фундамента. Дуринская система пересекает в широтном направлении весь Предуральский прогиб. По данным (Кассин, Филатов, 1989), глубинный разлом представляет левый сдвиг. Мощность соляной толщи в Дуринских впадинах

уменьшена до 100 м и менее. Восточнее рассматриваемой территории встречаются участки, где соль во впадинах вообще отсутствует.

Исследования предыдущих лет (Щербина, 1999) показали, что Дуринские впадины в поверхности соли имеют постседиментационную природу и сформировались, в основном, за счет двух процессов. Во-первых, это происходило при растворении соляных пород над разломом под влиянием глубинных флюидов, идущих снизу из подстилающих соль толщ. В периоды тектонической активизации над сдвигом в осадочном чехле формировались трещины, в том числе и в соляной толще. Они являлись путями миграции флюидов, которые были неравновесными по минеральному составу натриевым солям галогенной формации. Доказательством растворения кунгурских солей над дизъюнктивной структурой являются материалы бурения. Анализ керна показал, что растворение соляных пород происходило в первую очередь в нижних слоях соляной толщи. На это указывает наличие во впадинах сохранившейся продуктивной толщи, при редуцированной мощности подстилающей соли.

На участках растворения и сопутствующего погружения кровли соляного комплекса происходило накопление надсоляных пород повышенной мощности. Поскольку надсоляные толщи представлены более тяжелыми, чем соль, карбонатно-глинисто-терригенными породами, то в формирующихся впадинах они оказывали повышенное давление на поверхность пластичной соли. Это вызывало проявление другого, дополнительного, механизма, приводящего к уменьшению мощности соли в Дуринских впадинах. Повышенный вес тяжелых пород, заполняющих впадины, приводил к выдавливанию оставшихся пластичных и легких соляных масс в стороны и вверх. Анализ мощности соляной толщи вокруг Поповского поднятия показывает, что данный механизм перераспределения соляных масс, вероятно, имел место также и в районе Поповского купола. Параллельность южного склона Поповского соляного поднятия простиранию Дуринской системы и переход его в крутой

северный склон Дуринской впадины доказывает это (рис. 1).

Восточный склон Поповского соляного поднятия оформился под влиянием отрицательной структуры, расположенной в кровле жестких толщ, подстилающих галогенную формацию. Данный прогиб имеет меридиональное простирание и соответствует межрифовому пространству между Юрчукским и Чашкинским рифогенными массивами. Он сформировался в результате перегиба осадочного чехла между рифовыми поднятиями. С перегибом в плане совпадает прогиб в кровле соляной толщи (Поповско-Пашковский прогиб на рис. 1), тальвег которого погружается на юг в сторону глубоких Дуринских впадин.

Тектоническая роль перегиба сводится к деформированию пород, что привело к образованию трещин в том числе и в соляной толще, разрыхлению и повышенной плотностной неоднородности массива. Это подтверждается трехмерной трансформантой гравитационного поля (Бычков и др., 2018; Простолупов и др., 2006). Горизонтальное (рис. 2) и вертикальное (рис. 3) сечения куба показывают наличие вдоль перегиба серии локальных отрицательных аномалий поля (аномалии 1, 2, 3 на рис. 2 и аномалия 3 на рис. 3), указывающих на участки пониженной плотности пород. Сложное строение аномалии 3 отображает повышенную неоднородность плотностного строения соляной и надсоляной толщ в районе перегиба как результат деформирования толщ и последующих неравномерно развивающихся гипергенных процессов. На разрыхленное состояние пород вдоль тектонического перегиба указывает также долинообразное понижение рельефа земной поверхности, обусловленное повышенной денудацией.

На северо-востоке от Поповского поднятия находится отрицательная структура в кровле соли – обширная Тверитинская мульда (см. рис. 1). Размеры ее – 7×14 км. Амплитуда от вершины Поповского поднятия до отметок центральной части мульды составляет 220 м. Мульда сформирована как область оттока пластичных масс в окружающие ее соляные вершины.

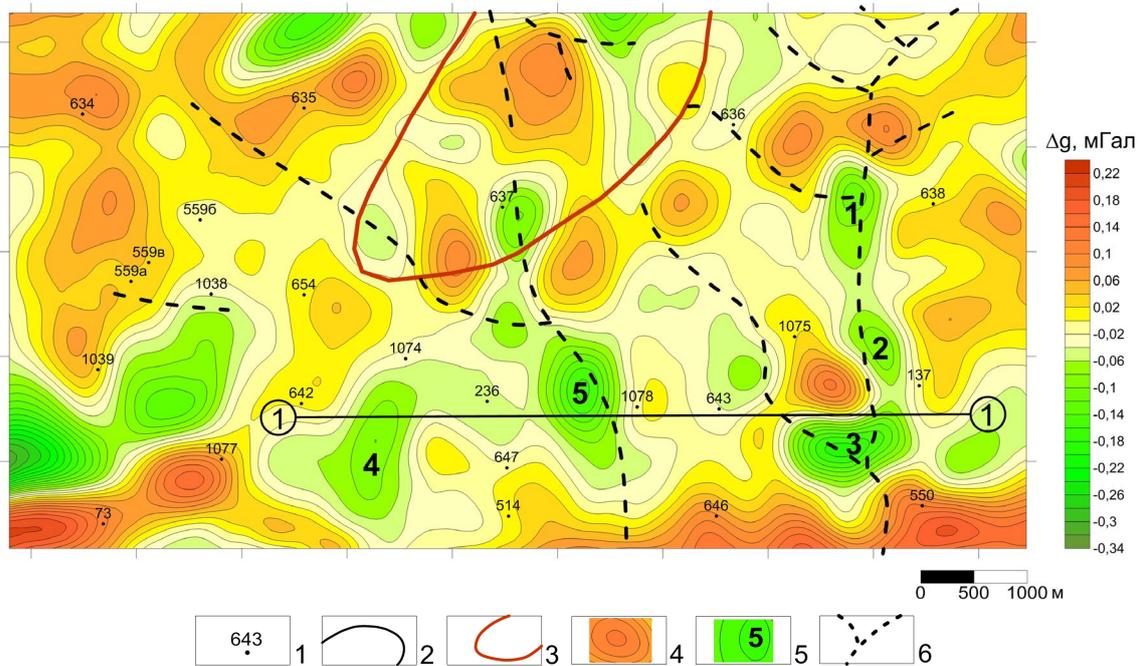


Рис. 2. Горизонтальная трансформанта гравитационного поля – картина плотностной неоднородности верхней части геологического разреза: 1 – солеразведочные скважины, 2 – изоаномалы, 3 – граница размыва продуктивной толщи, 4 – положительные аномалии поля трансформанты (уплотненные участки), 5 – отрицательные аномалии поля трансформанты (разуплотненные участки), их номер, 6 – тальвеги долин рельефа земной поверхности

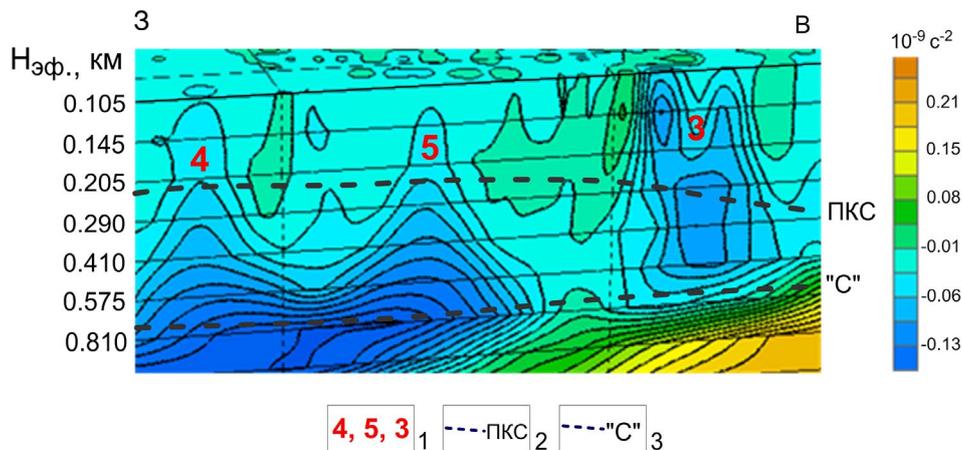


Рис. 3. Вертикальное сечение трехмерной трансформанты гравитационного поля по линии 1-1': 1 – номера отрицательных аномалий, 2 – положение кровли соляной толщи, 3 – положение подошвы соляной толщи

Анализ мощности продуктивной толщи

Увеличенная мощность соляного комплекса на Поповском куполе сформировалась за счет нагнетания масс подстилающей соли (рис. 4). Продуктивная же толща с калий-магниевыми солями мощностью около 100 м приурочена к верхней части соляного комплекса и представляет самостоятельный тектонический этаж. В калий-магниевой толще наблюдается дисгармоничная склад-

чатость, которая сформировалась автономно от других толщ. Это обусловлено большей общей пластичностью продуктивной толщи, которая обеспечивалась, во-первых, нахождением в ее составе весьма пластичных пород – карналлитов и сильвинитов и, во-вторых, тонкослоистым ее строением (Ярошевский, 1981). Об интенсивности процессов смятия слоев продуктивной толщи в складки свидетельствуют углы наклона слоистости, зафиксированные в керне скважин и достигающие 90° . Причем наиболее крутые

углы фиксируются обычно в середине продуктивной толщи как в менее устойчивой к смятию части разреза.

Исследования показали, что мощность продуктивной толщи на Поповском поднятии имеет вторичный характер. Одна из причин этого заключается в неравномерности смятия на разных участках. На одном из участков наблюдается деформационное утолщение продуктивной толщи. Повышенная мощность (100–118 м) толщи соответствует области крутых углов (до 90°), зафиксированных в скважинах (рис. 5).

Другой причиной изменения первичной мощности продуктивной толщи на Поповском поднятии является растворение верхней ее части на своде купола под влиянием экзогенных факторов (рис. 4, 5). В скважинах, пробуренных в пределах вершины, установлено, что к подошве надсоляных отложений выходит калийный пласт «Е». Отсутствует часть толщи, включающая верхние четыре калиевых пласта. Толщина растворенной части продуктивной толщи оценивается в 18–20 м.

Кроме продуктивной толщи на вершине соляного купола растворились также соляные слои, залегающие выше – покровная каменная соль и соляные слои переходной пачки (рис. 4). Общая мощность исчезнувшей части оценивается в 50 м. Нерастворимая же часть осталась в виде гипсово-глинистой шляпы мощностью 18 м, обнаруженной скважинами. Наличие шляпы показывает, что на границе нерастворимых надсоляных отложений и растворимых солей под влиянием, возникавших при росте купола, высоких механических напряжений, действовавших в вертикальном направлении, происходили процессы соляного карста и растворение под давлением. Таким образом, на изменение первичной мощности продуктивной толщи на Поповском поднятии оказывали влияние два фактора, действовавшие в разном направлении. Внутренняя складчатость приводила к увеличению мощности, влияние гипергенных факторов приводило к уменьшению мощности.

Влияние процессов выветривания на своде соляного купола в некоторых местах проявляется внутри продуктивной толщи. В

кернах скважин описаны вторичные сильвиниты гипергенного происхождения, представленные пестрыми сильвинитами в виде слоев мощностью 0.1–2.5 м. Согласно (Кудряшов, 2001; Джиноридзе, 2000), они образовывались из первичных карналлитов за счет выноса магниевой составляющей, более растворимой, чем калиевая часть минерала.

Литологический состав продуктивной толщи на Верхнекамском месторождении, кроме вершины купола, иногда изменяется также и на локальных участках, расположенных над франско-турнейскими рифогенными массивами. Влияние рифов обусловлено тем, что в надрифовых толщах могут формироваться разуплотненные проницаемые участки – дрены. Присущие им переточки флюидов изменяли минеральный состав толщ, в том числе и в соляной толще (Щербина, 2020). Локальные участки с полным или частичным замещением калийных солей на натриевую соль выявлены в продуктивной толще на склоне Юрчукского массива. Вероятно, данные участки представляли проницаемые элементы, обеспечившие аномальное строение калиеносной толщи.

Привлекая к анализу карту *рельефа земной поверхности*, отмечаем, что соляному Поповскому поднятию соответствует положительная форма рельефа. Очевидно, причиной этого является рост соляного купола и в настоящее время, опережающий величину эрозии. В противном случае земная поверхность была бы сnivelирована эрозионными процессами. Размыв надсоляного комплекса на вершине Поповского купола продолжался в течение длительного времени в период роста поднятия. На вершине надсоляная толща осталась в размере 100 м мощности, в то время как за ее пределами мощность надсоляных отложений достигает 200 м и более (рис. 4). Таким образом, выраженный прямой рельеф свидетельствует о современном росте соляного поднятия. Это предполагает разрыхленное состояние надсоляной толщи на вершине купола в настоящее время. В результате тектонических процессов и проявления гипергенеза сформировалась высокая *плотностная неоднородность* породных толщ данной территории. Современное плотностное состояние верхней части геологического разреза отражают приведенные

выше трансформанты гравитационного поля (рис. 2, 3). На трансформантах определяются участки плотных и разуплотненных пород. Учет наличия разуплотненных участков как участков с пониженной плотностью пород и с уменьшенными прочностными свойствами имеет значение при обеспечении безопасного проведения предстоящих

на данной территории горных работ (Бычков и др., 2021). Согласно трансформантам, ослабленные участки имеют горизонтальные размеры в среднем 0.5–2.5 км. Решение обратной задачи гравиметрии показало, что плотность пород в них может быть уменьшена на 0.7–1.5%.

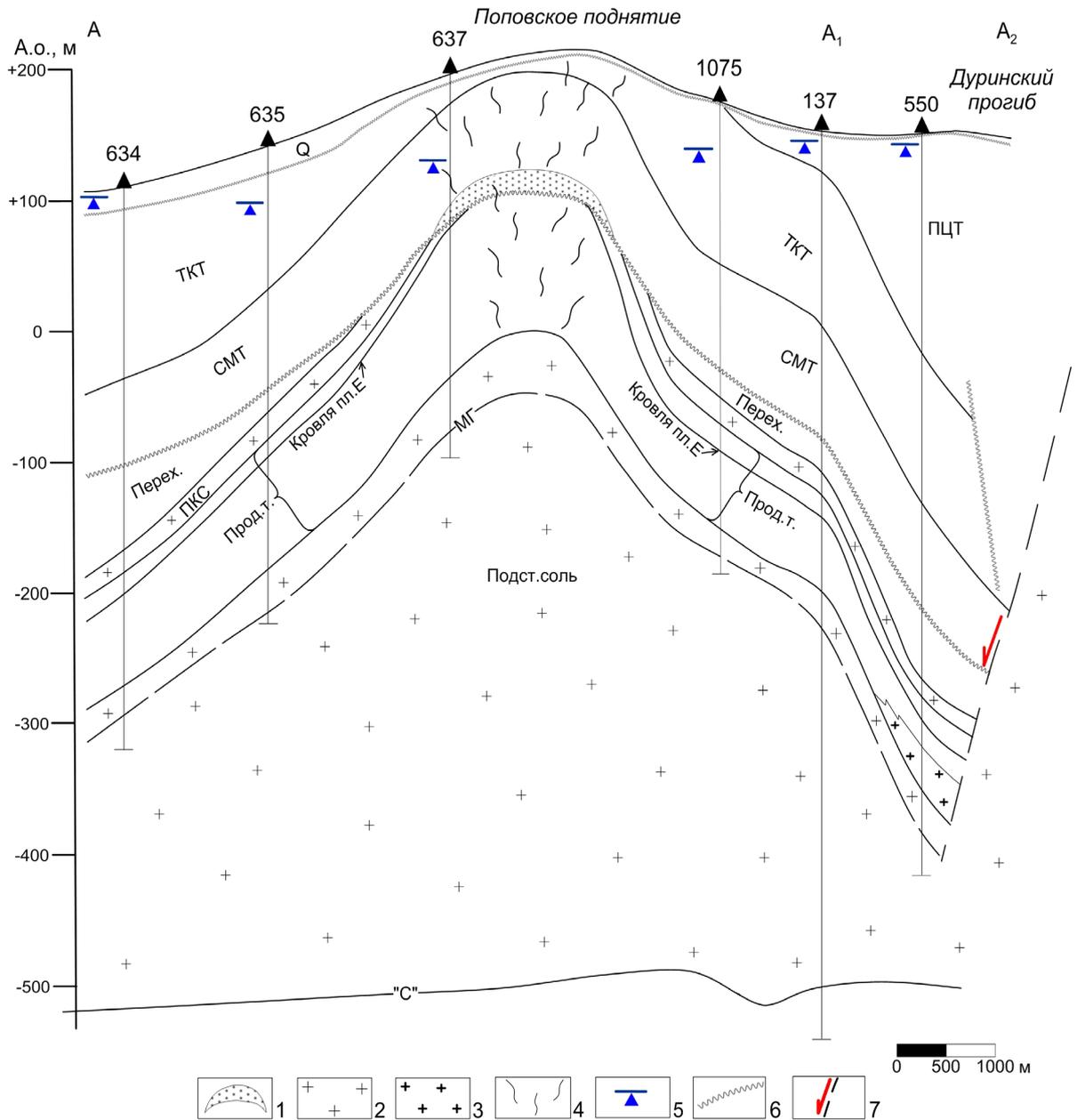


Рис. 4. Геологический разрез по линии А-А1-А2: 1 – гипсово-глинистая иллина, 2 – покровная и подстилающая каменные соли, 3 – каменная соль замещения, 4 – трещиноватость, 5 – уровень грунтовых вод, 6 – поверхность подземного выщелачивания, 7 – тектонический контакт. Q – четвертичные отложения, ПЦТ – пестроцветная толща, ТКТ – терригенно-карбонатная толща, СМТ – соляно-мергельная толща, Перех. – переходная пачка, ПКС – покровная каменная соль, Прод.т. – продуктивная толща, Подст. соль – подстилающая соль, МГ – маркирующая глина, «С» – сейсмический горизонт, «С» – подошва подстилающей соли, Кровля пл.Е – кровля пласта Е в продуктивной толще

карбона, перми, испытывал деформации, обусловленные вертикальными движениями кристаллического фундамента и воздействием Уральской складчатой системы (Камалетдинов, 1991). В верхнем тектоническом этаже, включающем соляной комплекс и надсоляную толщу, на глубинные тектонические процессы накладывались структурообразующие процессы, вызванные галокинезом. При этом наблюдается некоторая тектоническая обособленность отдельных подэтажей.

В верхнем тектоническом этаже выделяется три подэтажа: нижний – толща подстилающей соли, выше залегает подэтаж, состоящий из продуктивной толщи, верхний тектонический подэтаж включает покровную каменную соль, переходную толщу кунгурского возраста и надсоляные слои уфимского возраста. В каждом подэтаже, кроме верхнего, сформирована своя автономная складчатость. В подстилающей соли предполагается перемещение пластичных масс на значительные расстояния из мест эвакуации в ядра антиклиналей с дисгармоничным смятием слоев. Форма слоя продуктивной толщи соответствует морфологии поверхности подстилающей соли и представляет собой крупные складки, облекающие структуры соляной поверхности. Внутри продуктивной толщи наблюдается мелкая дисгармоничная складчатость. Верхний тектонический подэтаж внутреннего перемещения масс не испытывал, минимально деформируясь, пассивно приобретая форму соляной поверхности.

Таким образом, можно сказать, что в верхнем тектоническом этаже современная морфология структурных поверхностей сформировалась в режиме геодинамической неустойчивости пластичных соляных масс под влиянием различных тектонических сил.

Заключение

Современный облик территории, включающей Поповское соляное поднятие, сформировался в результате сложных тектонических процессов. При геологическом развитии территории происходили разные процессы в различных геодинамических ситуациях: погружение и поднятие толщ и стратиграфических поверхностей; галокинетические пере-

мещения и сгруживание пластичных масс; внутрисоляные складчатые деформации; выветривание пород, растворение, карстовые процессы; оседание над карстом; деструкция жестких толщ, трещинообразование и пр. Современное строение рассматриваемой территории как части Предуральяского прогиба – это результат тектонической перестройки породных толщ под воздействием Уральского орогена в период тектонической активизации Предуральяского прогиба в позднем палеозое-мезозое. Интенсивные деформации в верхнем тектоническом этаже, включающем соляной и надсоляной комплексы, обусловлены наличием слабых податливых соляных пород, активно отзывающихся на возникающие силовые поля. Ясно прослеживается иерархия причин и следствий геологических процессов, одни причины вызвали следствия другого уровня. Описанные в статье тектонические структуры и условия их формирования при тектонической эволюции влияли на развитие друг друга, отмечается согласованность геологических процессов. Поэтому их можно рассматривать как систему элементов, представляющих единство, находящихся в определенных связях друг с другом при развитии территории.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29.12.2020 г. (рег. номер 122012000398-0).

Библиографический список

- Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П. Прикладные задачи гравиметрии при обеспечении безопасности отработки месторождения растворимых солей // Геофизика. 2018, № 5. С. 4–12.
- Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П. Выявление потенциально опасных участков на Верхнекамском месторождении калийных солей по гравиметрическим данным // Геофизика, 2021, № 5. С. 29–35.
- Голубев Б.М. Особенности внутреннего строения соляной толщи Верхнекамского месторождения // Проблемы соленакопления. Новосибирск: Наука. 1977. Т. 2. С. 115–118.
- Джиноридзе Н.М. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. СПб –

Соликамск: ОГУП Соликамская типография, 2000. 400 с.

Зубков А.В., Селин К.В., Сентябов С.В. Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры // Литосфера. 2015, № 6. С. 116–129.

Казанцева Т.Т. Аллохтонные структуры и формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1987. 158 с.

Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. М.: Наука, 1974. 228 с.

Камалетдинов М.А., Казанцева Т.Т., Казанцев Ю.В., Постников Д.В. Шарьяжно-надвиговая тектоника литосферы. М.: Наука, 1991. 255 с.

Кассин Г.Г., Филатов В.В. Динамика Дуринского прогиба по гравиметрическим данным // Геофизические работы при региональных и геологосъемочных исследованиях на Урале. Свердловск, 1989. С. 28–34.

Копп М.Н., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А., Тверитинова Т.Ю., Васильев Н.Ю., Корчемзин В.А., Мострюков А.О., Иоффе А.И. Новейшее поле напряжений востока Русской плиты и Урала по макро и мезоструктурным данным // Геотектоника. 2014, № 4. С. 23–43.

Коротеев В.А., Нечехин В.М., Душин В.А., Волчек Е.Н. Особенности формирования и геодинамическая карта Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии // Литосфера. 2020, № 5. С. 607–629.

Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.

Простолупов Г.В., Новоселицкий В.М., Конешов В.Н., Щербинина Г.П. Об интерпретации гравитационного и магнитного полей на основе трансформации горизонтальных градиентов в системе «VECTOR» // Физика Земли. 2006, № 6. С. 90–96.

Чайковский И.И. Типизация основных механизмов соляной тектоники мира: Верхнекамское месторождение как эталон многоэтапного гравитационного скольжения // Вестник Пермского научного центра УрО РАН. 2013, № 1. С. 18–37.

Щербинина Г.П. Процессы, сформировавшие Дуринскую систему впадин // Проблемы безопасности и совершенствования горных работ (Мельниковские чтения). Пермь, 1999. С. 251–252.

Щербинина Г.П. () Проявление франко-турнейских рифогенных массивов в плотностном строении верхней части разреза Соликамской впадины // Горное эхо. 2020, № 3. С. 98–100.

Щербинина Г.П., Простолупов Г.В. Тектоника области сочленения Восточно-Европейской платформы и Соликамской депрессии Предуралья прогиба // Вестник Пермского университета. Геология. 2018, № 17(3). С. 200–207.

Ярошевский В. Тектоника разрывов и складок. М.: Недра, 1981. 245 с.

Reconstruction of the Salt Structures Development on the Verkhnekamskoye Salt Deposit

G.P. Shcherbinina^a, G.V. Prostolupov^a, S.G. Bychkov^{a,b}

^aMining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia. E-mail: gena-prost@yandex.ru

^bPerm State University

15 Bukireva Str., Perm 614068, Russia. E-mail: bsg@mi-perm.ru

The article highlights some issues of geology and genesis of structural forms of the Verkhnekamskoye Salt Deposit (Perm krai). On the example of the Popovskiy salt dome location, the results of detailed studies and analysis of data on the geological structure of sedimentary strata and their morphology are presented. The reconstruction of the evolution of salt structures, the uplifts and depressions was carried out. The main factors and mechanisms, which controlled the development of a modern tectonic structure of this territory, were determined. Significant role in formation of the modern tectonic features of the upper part of the sedimentary cover played the accumulation in the Kungurian age of the Permian the ductile salt rocks, which, at the Late Paleozoic - Early Mesozoic subsequent stages of the territory evolution, determined the increased tectonic mobility of salt and supra-salt deposits, and the formation of high-amplitude uplifts and basins. Differences in tectonogenesis of the upper part of the sedimentary cover, comprising the ductile salt-bearing strata and the underlying rigid rocks, led to the division of the sedimentary cover of the Solikamskaya depression of the Cis-Ural trough into two tectonic stages. The lower level includes uplifts representing the draping structures of the Fransian-Tournaisian reef massifs and brachianticline folds of longitudinal compression, and the upper level comprises the structures formed as a result of the halokinesis of plastic rocks.

Key words: *Verkhnekamskoye deposit; salt tectonics; salt dome; basin; structure-forming processes; reef massifs; gravimetry.*

References

- Bychkov S.G., Prostopolupov G.V., Shcherbinina G.P.* 2018. Prikladnye zadachi gravimetrii pri obespechenii bezopasnosti otrabotki mestorozhdeniya rastvorimykh soley [Applied problems of gravimetry for providing the mining safety of soluble salts deposits]. *Geofizika*, pp. 4–12. (in Russian)
- Bychkov S.G., Prostopolupov G.V., Shcherbinina G.P.* 2021. Vyyavlenie potentsialno opasnykh uchastkov na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliynykh soley ppoo gravimetricheskim dannym [Identification of potentially dangerous sites at the Verkhnekamsk potash salt deposit according to gravimetric data]. *Geofizika*, pp. 29–35. (in Russian)
- Golubev B.M.* 1977. Osobennosti vnutrennego stroyeniya solyanoy tolshchi Verkhnekamskogo mestorozhdeniya [Features of the internal structure of the salt strata of the Verkhnekamskoye deposit]. *In: Problemy solenakopleniya*, Novosibirsk, Nauka, V. 2, pp. 115–118. (in Russian)
- Dzhinoridze N.M.* 2000. Petrotektonicheskiye osnovy bezopasnoy ekspluatatsii Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliyno-magniyevykh soley [Petrotectonic foundations of safe operation of the Verkhnekamskoye deposit of potassium-magnesium salts]. St. Petersburg – Solikamsk, OGUP Solikamsk Publishing House, p. 400. (in Russian)
- Zubkov A.V., Selin K.V., Sentyabov S.V.* 2015. Zakonomernosti formirovaniya napryazhonnogo sostoyaniya massiva gornyykh porod v verkhney chasti zemnoy kory [Regularities of formation of the stressed state of the rock mass in the upper part of the Earth's crust]. *Lithosphere*, pp. 116–129. (in Russian)
- Kamaletdinov M.A.* 1974. Pokrovnye struktury Urala [The thrust structures of the Urals]. Moskva, Nauka, p. 228. (in Russian)
- Kamaletdinov M.A., Kazantseva T.T., Kazantsev Yu.V., Postnikov D.V.* 1991. Sharyazhno-nadvigovaya tektonika litosfery [Thrust-sheet tectonics of the lithosphere]. Moskva, Nauka, p. 255. (in Russian)
- Kassin G.G., Filatov V.V.* 1989. Dinamika Durinskogo progiba po gravimetricheskim dannym [Dynamics of the Durinskiy depression according to gravimetric data]. *In: Geophysical work at regional and geological surveys in the Urals*. Sverdlovsk, pp. 28–34. (in Russian)
- Kopp M.N., Verzhbitsky V.E., Kolesnichenko A.A., Tveritina T.Yu., Vasiliev N.Yu., Korchemagin V.A., Mostryukov A.O., Ioffe A.I.* 2014. Noveyshee pole napryazheniy vostoka Russkoy plity i Urala po makro i mezostrukturnym dannym [The newest stress field on the East of the Russian Plate and the Urals according to macro and mesostructural data]. *Geotektonika*, pp. 23–43. (in Russian)
- Koroteev V.A., Necheukhin V.M., Dushin V.A., Volchek E.N.* 2020. Osobennosti formirovaniya i geodinamicheskaya karta Uralo-Timano-Paleoaziatskogo segmenta Evrazii [Features of formation and geodynamic map of the Ural-Timan-PaleoAsian segment of Eurasia]. *Litosfera*, pp. 607–629. (in Russian)
- Kudryashov A.I.* 2001. Verkhnekamskoye mestorozhdeniye soley [Verkhnekamskoye salt deposit]. Perm, GI UrO RAS, p. 429. (in Russian)
- Prostopolupov G.V., Novoselitskiy V.M., Shcherbinina G.P., Koneshov V.N.* 2006. Ob interpretatsii gravitatsionnogo i magnitnogo poley na osnove transformatsii gorizontalnykh gradientov v sisteme «VEKTOR» [Gravity and magnetic field interpretation based on transformations of horizontal gradients in the «VECTOR» system]. *Fizika Zemli*, pp. 530–535. (in Russian)
- Shcherbinina G.P.* 1999. Protsessy, sformirovavshiyе Durinskuyu sistemu vpadin [The processes formed the Durinskaya system of depression]. *In: Problems of safety and improvement of mining operations (Melnikov readings)*. Perm, pp. 251–252. (in Russian)
- Shcherbinina G.P.* 2020. Tektonika oblasti sochleneniya Vostochno-Yevropeyskoy platformy i Solikamskoy depressii Preduralskogo progiba [Tectonics of the joint area of the East-European platform and Solikamskaya depression of the Pre-Urals through]. *Gornoye Ekho*, pp. 98–100. (in Russian)
- Kazantseva T.T.* 1987. Allokhthonnyye struktury i formirovaniye zemnoy kory Urala [Allochthonous structures and formation of the earth's crust of the Urals]. Moskva, Nauka, p. 158. (in Russian)
- Shcherbinina G.P., Prostopolupov G.V.* 2018. Tektonika oblasti sochleneniya Vostochno-Evropеyskoy platformy i Solikamskoy depressii Preduralskogo progiba [Tectonics of the junction area of the East European Platform and the Solikamsk Depression of the Cis-Ural Foredeep]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, pp. 200–207. (in Russian) doi: 10.17072/psu.geol.17.3.200
- Yaroshevskiy V.* 1981. Tektonika razryvov i skladok [Tectonics of discontinuities and folds]. Moskva, Nedra, p. 245. (in Russian)