УДК 551.24 http://doi.org/10.21440/2307-2091-2024-1-59-66

О генезисе соляных структур Верхнекамского месторождения калийных солей

Владимир Викторович ФИЛАТОВ[1*]
Любовь Анатольевна БОЛОТНОВА[2**]

[1]Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, Россия
[2]Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность темы. Одной из важнейших задач геологических исследований является задача установления генезиса любого геологического образования, в особенности генезиса геологических структур, поскольку с последними не только пространственно, но и генетически связаны месторождения различных полезных ископаемых. Для решения этой задачи необходимо ответить как минимум на два вопроса: что служит двигателем того процесса, который способствовал образованию рассматриваемой геологической структуры, и каковы условия, в которых произошло формирование структуры. Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо иметь представления о петрофизических свойствах геологической среды, о термодинамических условиях структурообразования, о региональной геотектонической обстановке, о механизмах деформирования геологической среды, о структурном парагенезисе, т. е. о совокупности тектонических элементов, возникающих при структурообразовании, и о его полихронности, или временной «развертке» палеотектонической обстановки структурообразования.

Цель исследования заключается в определении генезиса основных соляных структур Верхнекамского месторождения калийных солей: соляных валов, прогибов и соляных поднятий, или куполов.

Методы исследования. Решение задачи по определению генезиса соляных структур было осуществлено путем комплексного качественного и количественного анализа данных геолого-геофизических методов, выполненных на территории Верхнекамского месторождения калийных солей, и прежде всего результатов детальных площадных и высокоточных гравиметрической и аэромагнитной съемок масштабов: 1 : 25 000 и 1 : 10 000 и крупнее.

Результаты исследования. В результате выполненных исследований было показано, что в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей основным фактором формирования соляных структур являются постседиментационные движения блоков, происходившие и происходящие в подсолевой толще.

***Ключевые слова*:** Верхнекамское месторождение калийных солей, генезис соляных структур, геолого-геофизические данные.

Введение

Тектонические структуры земной коры подобны и образуют иерархические системы [1]. Поэтому тектоническая делимость геологической среды не случайна, а закономерна. Эта закономерность проявляется в том, что структурно-тектонические блоки или объекты более низких рангов являются составными частями блоков и объектов более высоких порядков или рангов. В полной мере это относится и к тому фрагменту земной коры, в котором находится Верхнекамское месторождений калийных солей (ВКМКС), а это в порядке понижения рангов: Предуральский краевой прогиб (ПКП), Соликамская впадина (СВ) и структурно-тектонические объекты ВКМКС различного генезиса и различных рангов (рис. 1).

Предуральский краевой прогиб (ПКП) является крупной синклинальной структурой, расположенной на границе Восточно-Европейской платформы и Складчатого Урала. Западной границей ПКП служит Красноуфимский глубинный разлом [3, 4], восточной – Западно-Уральский глубинный разлом, северной – Предтиманский глубинный разлом, южной – Колво-Чусовская седловина (рис. 1).

Соликамская впадина (СВ) – это составная часть ПКП. По условиям залегания докунгурских отложений СВ представляет собой обособленный блок земной коры, который отличается от соседних блоков внутренним строением и, как следствие, характером всех геофизических полей [5]. Структурно-тектоническое положение СВ имеет пространственную связь с глубинным строением Пермского Приуралья. Положение глубинных разломов (рис. 1) в плане совпадает с границами СВ: на западе – это Красноуфимский меридиональный разлом, на востоке – Западно-Уральский меридиональный, на севере – Предтиманский северо-за-

✉filatov47@bk.ru
**Lyubov.Bolotnova@m.ursmu.ru

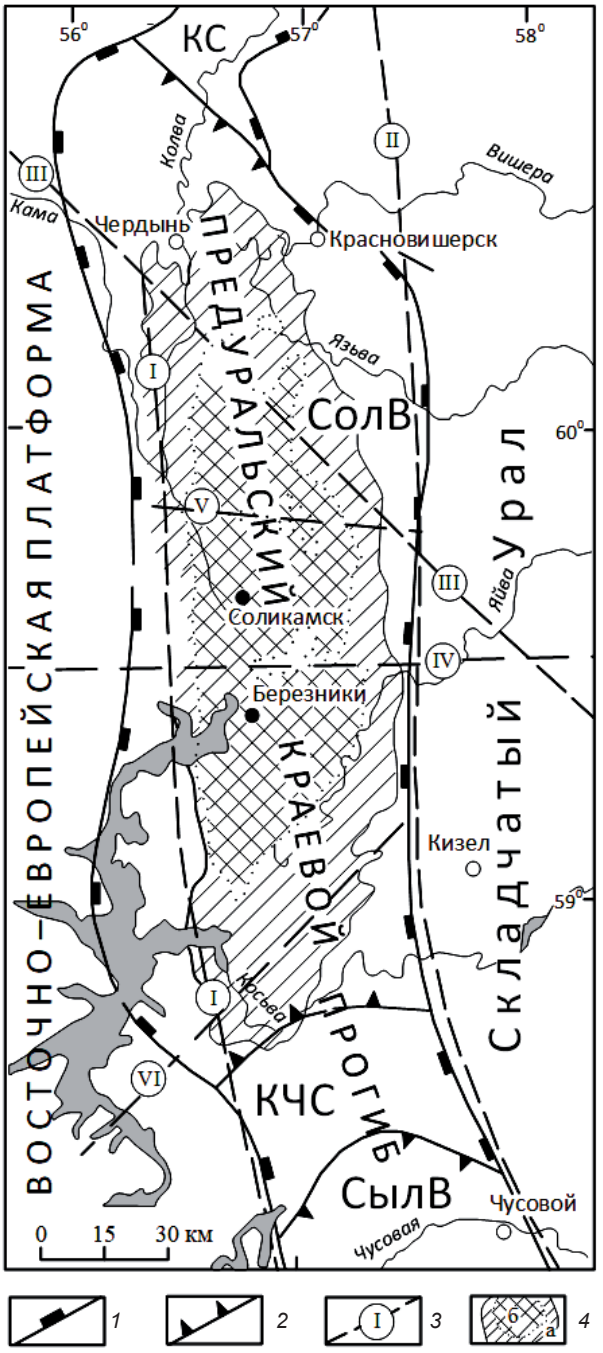

Рисунок 1. Структурно-тектоническое положение Соликамской впадины [2]: *1* – границы Предуральского краевого прогиба; *2* – границы седловин и впадин: *КС* – Колвинская седловина, *СолВ* – Соликамская впадина, *КЧС* – Колвинско-Чусовская седловина, *СылВ* – Сылвенская впадина; *3* – глубинные разломы: Красноуфимский (*I*), Западно-Уральский (*II*), Предтиманский (*III*), Дуринский (*IV*), Боровицкий (*V*), Северо-восточный (*VI*); *4* – площади распространения соляной (*а*) и калийной (*б*) залежей

Figure 1. Structural and tectonic position of the Solikamsk depression [2]: *1* – boundaries of the Pre-Ural marginal trough; *2* –boundaries of saddles and depressions: *KS* – Kolva saddle, *SolV* – Solikamsk depression, *KChS* – Kolva-Chusovskaya saddle, *SylV* – Sylva depression; *3* – deep faults: Krasnoufimsky (*I*), West Ural (*II*), Predtimansky (*III*), Durinsky (*IV*), Borovitsky (*V*), North-Eastern (*VI*); *4* –areas of distribution of salt (a) and potash (*b*) deposits

падного простирания, на юге – разлом северо-восточного простирания, не очень отчетливо выраженный в геофизических поля (рис. 1, № VI).

Границы распространения солей в СВ лучше всего совпадают с положением разломов, чем с границами впадины. Отсюда можно сделать вывод, что ВКМКС образовалось в пределах тектонически активного блока, который испытывал в основном нисходящие движения по ограничивающим его глубинным разломам. Эти разломы сформировались в позднепротерозойское время и развивались унаследованно вплоть до верхней перми и триаса, а возможно, и в более позднее время [6]. Из всех глубинных разломов различного простирания и кинематического типа главную роль в процессах структурообразования играли и продолжают играть разломы субмеридионального и субширотного простирания [7, 8].

Анализ региональной структурно-тектонический обстановки в районе ВКМКС дает основание сделать вывод о том, что эта обстановка оказала существенное влияние на формирование соляных структур (валы, купола, поднятия, прогибы и др.) в пределах ВКМКС, т. е. определила их генезис.

Методология исследования

Методология определения генезиса соляных структур ВКМКС основывается на анализе всей совокупности геолого-геофизических данных, характеризующих строение, свойства, закономерности структурообразования и деформации геологической среды. Из геофизических методов приоритет отдан результатам площадных и высокоточных методов: гравиразведка масштаба 1 : 25 000 и аэромагниторазведка масштаба 1 : 10 000, поскольку съемки этими методами выполнены на всей территории ВКМКС. Данные других геофизических методов [9–12] характеризуют только малые по площади участки территории месторождения, поэтому использовать их для решения задачи о генезисе соляных структур затруднительно.

Результаты исследования

Вопросы генезиса соляных структур ВКМКС ранее были изложены в работах [2, 13, 14].

В [12] полностью отрицается влияние подсолевых отложений и их блоковое строение на формирование соляных структур. По мнению [13], нагнетание соли в ядра брахиантиклиналей и куполов происходит под действием неравномерной статической нагрузки на соляной пласт, создаваемой более плотными породами надсоляной толщи в местах развития глубоких врезов речных долин.

В [14] полагают, что движущей силой образования соляных структур служит широтное давление масс горных пород со стороны складчатого Урала на осадочный чехол, который был сорван и в виде надвиговых пластин перемещен в западном направлении. Во фронтальных частях этих пластин и произошло формирование соляных валов и антиклинальных складок при полном отсутствии влияния на эти процессы субвертикальных разломов различных рангов. Вывод о таком механизме образования соляных структур более чем сомнителен, поскольку в [2] убедительно доказано, что в осадочной толще СВ надвиговых структур нет.

Соляные валы и прогибы

Сопоставление планового положения крупных соляных структур типа валов и прогибов противоречит выводам, сделанным в [13, 14] (рис. 2): Красновишерский вал точно совпадает в плане с Красноуфимским разломом; хорошая плановая сходимость характерна для границ

Камского и Осокинского прогибов и сопряженных с ними поднятий; в меньшей степени такая сходимость проявлена для границ Дурыманского прогиба и Тверитинской мульды, но общая плановая связь разломов и соляных структур и здесь является достаточно тесной.

Красновишерский вал в плане представляет собой цепочку соляных поднятий, или брахиантиклиналей (Дубровская, Порошинская, Пыскорская, Усольская, Белопашнинская, Сыньвинская), характерных для структурного парагенезиса разломов типа сброса, каким является Красноуфимский разлом (рис. 3) [3]. Именно в зонах разломов такого кинематического типа образуются цепочки овальных в плане участков повышенной трещиноватости, оси которых вытянуты вдоль разлома, размеры в плане одинаковы, а расстояние между участками деструкции приблизительно одинаково [15, 16]. Следовательно, соляные брахиантиклинали Красновишерского вала генетически связаны с внутриразломными участками деструкции и с возникающими в их пределах такими тектонодинамическими процессами, которые являются причиной галокинеза и развития соляных куполов.

Субмеридиональные разломы являются структурообразующими для солей в отличие от субширотных: Дуринского и Боровицкого. Эти разломы играют деструктивную роль. Прогибы по кровле солей в зонах этих разломов образовались в результате интенсивного выщелачивания солей подсолевыми водами, мигрировавшим по системам субвертикальных трещин [4]. Оба разлома являются горизонтальными сдвигами, в зонах которых сформировались системы трещин отрыва, пронизывающих всю толщу сдвигаемых пород и, как следствие, повышающих проницаемость этой толщи. Структурное значение Дуринского разлома проявлено также в том, что он делит СВ на две части: северную и южную, различающиеся положением разломов и соляных структур.

Горизонтальные сдвиговые разломы характерны не только для Дуринского и Боровицкого прогибов. Они имеют более широкое развитие в пределах СВ в отличие от других солеродных бассейнов, в пределах которых блоковые движения происходили в основном в вертикальном направлении и приводили к образованию уступов большой амплитуды. Для СВ залегание осадочной толщи спокойное. Движение блоков здесь в послепермское время происходило в горизонтальном направлении. Об этом свидетельствуют и геофизические данные, и результаты математического моделирования поля напряжений [17, 18]. Отсюда можно сделать вывод о том, что в нынешних условиях в пределах ВКМКС основным кинематическим типом разрывов является горизонтальный сдвиг.

Таким образом, для ВКМКС соляная тектоника наиболее отчетливо выражена в зонах Красноуфимского и Дуринского разломов фундамента субмеридиональной и субширотных ориентировок, что является общей закономерностью для всех солеродных бассейнов [14].

Существенным фактором, влияющим на образование соляных структур, является пластичность солей, т. е. их подвижность или способность к перемещению, на которую влияет галокинез, неоднородность поля напряжений, повышенная трещиноватость надсолевой толщи и современные движения:

а) галокинезные явления обуславливаются пластичностью соли, которая возрастает с увеличением влажности, температуры и давления. На ВКМКС соль находится в пластическом состоянии [12], но ее пластичность неодинакова в зонах разломов и за их пределами. В [14] показано, что при движении блоков из подсолевых отложе-

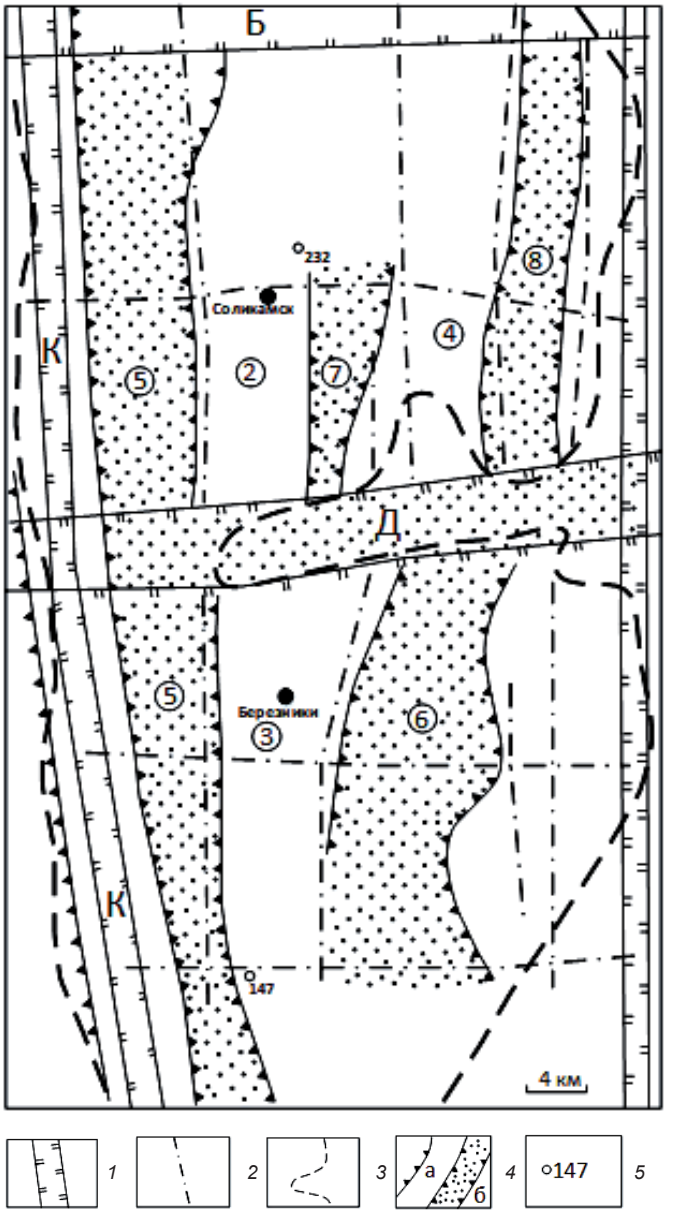

Рисунок 2. Схема положения разломов и региональных соляных структур: *1* – зоны глубинных разломов: *К* – Красноуфимского, *Д* – Дуринского, *Б* – Боровицкого; *2* – осевые линии зон внутриблоковых разломов; *3* – границы калийной залежи; *4* – границы крупных положительных (*а*) и отрицательных (*б*) структур по кровле солей: *2* – Соликамское поднятие, *3* – Березниковское поднятие, *4* – Харюшинское поднятие, *5* – Камский прогиб, *6* – Дурыманский прогиб, *7* – Тверитинская мульда, *8* – Осокинский прогиб; *5* – положение скважин и их номера

Figure 2. Diagram of the position of faults and regional salt structures: *1* – zones of deep faults: *K* – Krasnoufimsky, *D* – Durinsky, *B* – Borovitsky; *2* – axial lines of zones of intrablock faults; *3* – boundaries of potash deposits; *4* – boundaries of large positive (*a*) and negative (*b*) structures on the roof salts: *2* – Solikamsk uplift, *3* – Berezniki uplift, *4* – Haryushin uplift, *5* – Kama deflection, *6* – Durymansky deflection, *7* – Tveritinskaya mulda, *8* – Osokinsky deflection; *5* – the position of wells and their numbers

ний поступает вода, которая превращает соляную толщу в зоне разлома в подвижный флюид. На ВКМКС об этом свидетельствуют многие данные [2]. Подсолевые воды, мигрируя по субвертикальным тектоническим нарушениям, образуют в низах соляной толщи системы внутрисоляных трещин, заполненных водой. Так, с повышением влажности растут пластичность и подвижность соли в зоне разлома;

б) вторым фактором, определяющим пластичность соли и ее переток, является пространственное изменение поля напряжений. Неоднородности геологической среды, особенно разрывные нарушения, изменяют поле напряжения. Вблизи нарушения образуются локальные участки пониженного напряжения, на удалении от него происходит увеличение напряжения [19]. В результате этого градиент напряжения в зоне нарушения может в 5–6 раз превышать литостатическое давление. Благодаря большой разнице градиентов напряжения соль может перетекать в разломную зону;

в) повышенная трещиноватость пород надсолевой толщи в зоне разлома понижает ее прочность и способствует явлению вздутия солей и воздымания ими вышележащих толщ;

г) блоковые движения не только способствуют образованию соляных структур, но и обеспечивают их развитие во времени, т. е. рост. Этот процесс имеет место и на ВКМКС в связи с активизацией разломов на Урале и в Приуралье в новейшее время [20, 21]. Разломы, особенно ортогональной системы, выявленные на ВКМКС нередко пространственно, совпадают в плане с морфоструктурами новейшего времени (рис. 3).

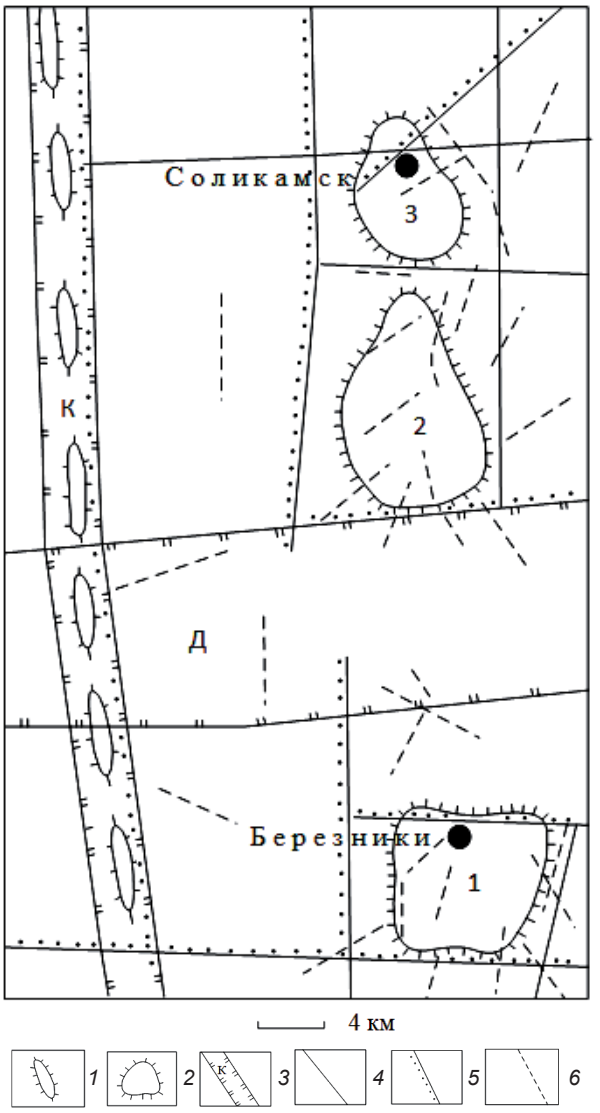

Рисунок 3. Схема положения локальных соляных поднятий и разломов в центральной части ВКМКС: *1* – брахиантиклинали в зоне Красноуфимского разлома; *2* – соляные купола: *1* – Березниковский, *2* – Поповский, *3* – Рудничный; *3* – зоны глубинных разломов: *К* – Красноуфимского, *Д* – Дуринского; *4* – осевые линии зон внутриблоковых разломов; *5* – участки разломов, совпадающие с границами новейших морфоструктур; *6* – положение линейных зон повышенной трещиноватости в надсолевой толще

Figure 3. Diagram of the position of local salt uplifts and faults in the central part of the VKMKS: *1* – brachianticlines in the Krasnoufimsky fault zone; *2* – salt domes: *1* – Bereznikovsky, *2* – Popovsky, *3* – Rudnichny; *3* – deep fault zones: *K* – Krasnoufimsky, *D* – Durinsky; *4* – axial lines of zones intra-block faults; *5* – fault sections coinciding with the boundaries of the newest morphostructures; *6* – the position of linear zones of increased fracturing in the suprasalt thickness

Факторы *а, б, в, г* воздействуют на соляную залежь однонаправленно и поэтому всегда оказывают благоприятное воздействие на формирование соляных структур, примером одной из которых является Красновишерский вал. В истории его образования, кроме упомянутых ранее, сыграл роль еще один фактор – тектонический регионального масштаба. Образованию этой структуры (вала) способствовал наклон всего Соликамского блока земной коры на северо-восток, который произошел в верхнепермское время. Это движение привело к возникновению растягивающих напряжений в приповерхностной части зоны Красноуфимского разлома, т. е. образовался дополнительный тектонический фактор, который поспособствовал активизации (и/или образованию) разрывов отрывного кинематического типа субширотной ориентировки.

Соляные купола, или поднятия

Соляными структурами ВКМКС более высокого порядка по отношению к соляным валам являются локальные соляные поднятия, или соляные купола. Формирование этих структур определяется одними и теми же факторами, что и формирование соляных валов. Но характер пространственного взаимоотношения поднятий и разломов двояк. Различают:

– купола, расположенные внутри разломных зон;

– купола, находящиеся в небольших блоках, ограниченных субпараллельными парами сближенных разломов взаимно перпендикулярных ориентировок (рис. 3).

Березниковский, Поповский, Рудничный (рис. 3) и другие соляные купола расположены цепочкой вдоль Клепиковского, Корельско-Тюлькинского, Соликамского и Харюшинского валообразных поднятий на севере и юге ВКМКС (рис. 2). В отличие от брахиантиклиналей Красновишерского вала, центры куполов совпадают не с осевыми линиями разломов, а с центральными частями соответствующих блоков. Площади куполов и блоков на уровне эрозионного среза сопоставимы, а контуры куполов хорошо совпадают с границами блоков, особенно это соответствие характерно для Березниковского купола.

Плановое соответствие контуров куполов и блоков не есть закономерность, присущая только ВКМКС. Аналогичная ситуация наблюдается и в Припятском прогибе, где соляные купола расположены над активными приподнятыми и опущенными блоками подсолевого основания [11]; в Бельской впадине ПКП; в Южном Приуралье; в Восточной Сибири и в других регионах. Следовательно, важным фактором в галокинезе является не направление смещения блоков (вверх или вниз), а тектоническая активность блоков. В полной мере это имеет отношение и к блокам с Березниковским, Поповским и Рудничным куполами, поскольку как минимум два из четырех разломов, ограничивающих каждый блок, отчетливо картируются в современном рельефе поверхности Земли (рис. 3).

Связь активных блоков с куполами инициирует вопрос о том, растут ли купола в настоящее время. По мнению авторов [12], галокинезные движения в виде вертикального всплывания соляных колонн на ВКМКС начались в среднем плейстоцене и продолжаются до настоящего времени. Оценка этого явления осуществляется прямым и косвенным методами.

Прямой метод, т. е. маркшейдерские исследования, показывает [22], что соляные купола растут со скоростью 0,55 мм/год. Косвенными методами являются геофизические исследования. По результатам геофизических исследований в пределах Поповского поднятия закартирована система линейных трещинных зон радиальной ориентировки, характерной для растущего поднятия (купола). Кроме того, поднятие характеризуется положительной формой в рельефе поверхности Земли. Оба этих факта свидетельствуют о современном росте поднятия. Менее уверенно такой же вывод можно сделать и о Березниковском поднятии, в южной части которого также закартирована система радиальных трещинных зон. В этой же части поднятия закартирован Ново-Зырянский активный разлом, в зоне влияния которого в 1999 г. произошел провал дневной поверхности, обусловленный взаимным влиянием разлома и растущего поднятия [24]. Этот вывод хорошо согласуется с отмеченным в районе провала оттоком соли в северном направлении в сторону вершины поднятия и ускоренным по сравнению с расчетным оседанием поверхности Земли [2].

На ВКМКС блоки подсолевого основания движутся преимущественно в горизонтальном направлении. Поскольку расстояние между разломами невелико, то области их динамического влияния перекрываются. Поэтому внутри блоков создаются условия для деструкции геологической среды, в том числе и в надсолевой толще. В этой ситуации на соляную толщу начинают действовать факторы, формирующие соляное поднятие, и происходит постепенное возрастание нагрузки на соль со стороны надсолевой толщи. Благодаря этому происходит отток соли из межкупольного пространства и получает развитие непрерывно-ускоренный процесс роста поднятия. Таков качественно механизм или генезис формирования соляно-купольных структур.

Выводы

Изучение соляной тектоники ВКМКС свидетельствует о том, что закономерности ее формирования и развития в пространстве и во времени происходят в основном под действием тех же факторов, что и в других солеродных бассейнах мира. Образование соляных структур в значительной мере определяется наличием разломов различного ранга и кинематического типа в фундаменте и в подсолевом комплексе; ***постседиментационные тектонические движения*** оказывают существенное влияние на мощность и петрофизические свойства соляной толщи вообще и калийной в частности; формирование соляных валов, прогибов и поднятий происходило и происходит в условиях действия локальных напряжений и дифференциальных тектонических движений для ВКМКС главным образом в виде горизонтальных сдвигов.

Проблема генезиса соляных структур ВКМКС пока рассмотрена не во всей ее полноте и многогранности. Дана лишь качественная сторона этой проблемы как основа для ее количественного описания в будущем и для разработки физико-геологических моделей процессов формирования соляных структур различного генезиса и масштаба.

Для выявления небольших по размерам соляных структур (в отличие от валов и куполов) необходимо выполнять детальные геолого-геофизические исследования. Пример – подземные сейсмоакустические исследованияв юго-западной части Быгельско-Троицкого участка: было выявлено два типа структур – коробчатая и антиклинальная, которые образовались за счет продольного укорочения (скольжения) слоистой толщи [25].

В целом же для Соликамской впадины, как и для других солеродных бассейнов мира, основным типом соляной тектоники является гравитационное скольжение [26].

ЛИТЕРАТУРА

1. Филатов В. В., Болотнова Л. А. О подобии и иерархичности тектонических структур // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 1. С. 52–59. http://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-1-52-59
2. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд. М.: Эпсилон Плюс, 2013. 368 с.
3. Кассин Г. Г., Филатов В. В. Красноуфимский разлом: строение и история развития по геофизическим данным // Известия УГГГА. Сер.: Геология и геофизика. 2003. Вып. 18. С. 170–176.
4. Филатов В. В., Болотнова Л. А. Картирование структурно-тектонических объектов Верхнекамского месторождения калийных солей в магнитном поле // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 2. С. 96–106. http://doi.org/10.21440/0536-1028-2023-2-96-106
5. Кассин Г. Г., Маловичко А. К., Новоселицкий В. М. и др. Гравитационная модель земной коры северо-восточной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Гравитационная модель коры и верхней мантии Земли. Киев: Наукова думка, 1979. С. 168–175.
6. Кассин Г. Г., Шершнёв К. С. Разломы Среднего Приуралья // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С. 84–88.
7. Кассин Г. Г., Филатов В. В. Закономерности блоковой делимости земной коры Урала // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. Свердловск: Изд-во СГИ, 1990. С. 3–8.
8. Филатов В. В., Болотнова Л. А. Природа и динамика Дуринского прогиба // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 4. С. 111–119.

9. Konstantinova S. A., Chernopazov N. N., Gulyev A. A. Estimate of initial stresses in rock mass of the Upper Kama region based on block hierarchical model // Journal of Mining Science. 2001. Vol. 37. No. 5. P. 447–454.
10. Sanfirov I. A., Stepanov Y. I., Fatkin K. B., Gerasimova I. Y., Nikiforova A. I. Shallow geophysical exploration of the Upper Kama potash salt deposit // Journal of Mining Science. 2013. Vol. 49. No. 6. P. 902–907.
11. Shulakov D. Yu., Butyrin P. G., Verkholantsev A. V. Seismological monitoring at the Upper Kama potash deposit: Objectives problem solutions // Gornyi zhurnal. 2018. No. 6. P. 25–29. http://doi.org/10.17580/gzh.2018.06.05
12. Bychkov S., Dolgal A., Simanov A. Interpretation of Gravity Monitoring Data on Geotechnical Impact on the Geological Environment // Pure and Applied Geophysics. 2021. Vol. 178. Issue. 1. P. 107–121. http://doi.org/10.1007/s00024-020-02640-8
13. Копнин В. И. Верхнекамское месторождение калийных, калийно-магниевых и каменных солей и природа их рассолов // Известия вузов. Горный журнал. 1995. № 6. С. 10–43.
14. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / под ред. Н. М. Джиноридзе. Соликамск; СПб: ОГУП, 2000. 400 с.
15. Шерман С. И., Борняков С. А., Буддо В. Ю. Области динамического влияния разломов. Новосибирск: Наука, 1983. 112 с.
16. Лобацкая Р. М. Структурная зональность разломов. М.: Недра, 1987. 128 с.
17. Кассин Г. Г., Филатов В. В. Опыт применения гравиметрии для локального сейсмотектонического районирования Верхнекамского месторождения калийных солей // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационного, магнитного и электрического полей: матер. междунар. семинара им. Д. Г. Успенского. Ч. I. Екатеринбург, 2002. С. 150–154.
18. Константинова С. А., Кассин Г. Г., Глебов С. В. О геодинамическом районировании недр и земной поверхности на Верхнекамском месторождении калийных солей // ГИАБ. М., 2001. № 6. С.101–105.
19. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.
20. Сигов А. П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М.: Недра, 1969. 296 с.
21. Плюснин К. П. Тектоника и геохронология горизонтальных дислокаций литосферы. М.: Недра, 1985. 200 с.
22. Больтюков Г. В. Бром в рассолах Верхнекамского соленосного бассейна // Состав и условия образования морских и континентальных галогенных формаций. Новосибирск: Наука, 1991. С. 59–64.
23. Конищев В. С. Тектоника областей галокинеза Восточно-Европейской и Сибирской платформ. Минск: Наука и техника, 1982. 257 с.
24. Filatov V. V., Bolotnova L. A. Generalizing the experience of forecasting dynamic events at the Upper Kama potassium salt deposit according to geological and geophysical data // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 4. С. 61–70. https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-4-61-70
25. Чайковский И. И. О складчато-блоковом строении соляных и надсоляных отложений Соликамской впадины по материалам наземной и подземной сейсмоакустики // Горное эхо. 2021. № 2(83). С. 11–14. https://doi.org/10.7242/echo.2021.2.3
26. Чайковский И. И. Типизация основных механизмов соляной тектоники мира: Верхнекамское месторождение как эталон многоэтапного гравитационного скольжения // Вестник Пермского научного центра. 2013. № 1. С. 18–37.

Статья поступила в редакцию 20 октября 2023 года

UDC 551.24

http://doi.org/10.21440/2307-2091-2024-1-59-66

On the genesis of salt structures of the Verkhnekamsk potash salt deposit

Vladimir Viktorovich FILATOV[1*]
Lyubov'Anatol'evna BOLOTNOVA[2**]

[1]Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia
[2]Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Relevance. One of the most important tasks of geological research is the task of establishing the genesis of any geological formation, in particular, the genesis of geological structures, since deposits of various minerals are not only spatially, but also genetically related to the latter. To solve this problem, it is necessary to answer at least two questions: what is the driving force of the process that contributed to the formation of the geological structure in question and what are the conditions under which the structure was formed. To answer these questions, it is necessary to have an idea about the petrophysical properties of the geological environment, about the thermodynamic conditions of structure formation, about the regional geotectonic environment, about the mechanisms of deformation of the geological environment, about structural paragenesis, i. e. about the totality of tectonic elements arising during structure formation and about its polychronicity or the temporary "sweep" of the paleotectonic environment of structure formation.

Purpose of the study. It consists in determining the genesis of the main salt structures of the Verkhnekamsk potash deposit: salt shafts, deflections and salt elevations or domes.

Methods of research. The solution of the problem of determining the genesis of salt structures was carried out through a comprehensive qualitative and quantitative analysis of the data of geological and geophysical methods performed on the territory of the Verkhnekamskoye potash salt deposit, and above all, the results of detailed areal and high-precision gravimetric and aeromagnetic surveys of the scale: 1 : 25 000 and 1 : 10 000 and larger.

Research results. As a result of the studies carried out, it was shown that in the conditions of the Verkhnekamskoye potash salt deposit, the main factor in the formation of salt structures are the post-sedimentation movements of blocks that occurred and are occurring in the subsalt column.

Keywords: Verkhnekamskoye potash salt deposit, genesis of salt structures, geological and geophysical data.

REFERENCES

1. Filatov V. V., Bolotnova L. A. 2019, On the similarity and hierarchy of tectonic structures. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of Universities. Mining Journal], no. 1, pp. 52–59. (*In Russ.*) http://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-1-52-59
2. Kudryashov A. I. 2013, Verkhnekamskoe salt deposit. Moscow, 368 p. (*In Russ.*)
3. Kassin G. G., Filatov V. V. 2003, Krasnoufimsky fault: structure and history of development according to geophysical data. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 18, pp. 170–176. (*In Russ.*)
4. Filatov V. V., Bolotnova L. A. 2023, Mapping of structural-tectonic objects of the Verkhnekamsk potassium salt deposit in a magnetic field. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of Universities. Mining Journal], no. 2, pp. 96–106. (*In Russ.*) http://doi.org/10.21440/0536-1028-2023-2-96-106
5. Kassin G. G., Malovichko A. K., Novoselitsky V. M. 1979, Gravity model of the earth's crust of the northeastern part of the Volga-Ural oil and gas province. Gravity model of the Earth's crust and upper mantle, Kiev, pp. 168–175. (*In Russ.*)
6. Kassin G. G., Shershnev K. S. 1983, Faults of the Middle Urals. Faults in the crust of the Urals and methods for studying them, Sverdlovsk, pp. 84–88. (*In Russ.*)
7. Kassin G. G., Filatov V. V. 1990, Patterns of block divisibility of the earth's crust of the Urals. Geophysical methods of prospecting and exploration of ore and non-metallic deposits, Sverdlovsk, pp. 3–8. (*In Russ.*)
8. Filatov V. V., Bolotnova L. A. 2016, Nature and dynamics of the Durinsky trough. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of Universities. Mining Journal], no. 4, pp. 111–119. (*In Russ.*)
9. Konstantinova S. A., Chernopazov N. N., Gulyev A. A. 2001, Estimate of initial stresses in rock mass of the Upper Kama region based on block hierarchical model. *Journal of Mining Science*, vol. 37, no. 5, pp. 447–454.
10. Sanfirov I. A., Stepanov Y. I., Fatkin K. B., Gerasimova I. Y., Nikiforova A. I. 2013, Shallow geophysical exploration of the Upper Kama potash salt deposit. *Journal of Mining Science*, vol. 49, no. 6, pp. 902–907.
11. Shulakov D. Yu., Butyrin P. G., Verkholantsev A. V. 2018, Seismological monitoring at the Upper Kama potash deposit: Objectives problem solutions. *Gornyi zhurnal*, no. 6, pp. 25–29. http://doi.org/10.17580/gzh.2018.06.05
12. Bychkov S., Dolgal A., Simanov A. 2021, Interpretation of Gravity Monitoring Data on Geotechnical Impact on the Geological Environment. *Pure and Applied Geophysics*, vol. 178, issue 1, pp. 107–121. http://doi.org/10.1007/s00024-020-02640-8
13. Kopnin V. I. 1995, Verkhnekamskoe deposit of potassium, potassium-magnesium and rock salts and the nature of their brines. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of Universities. Mining Journal], no. 6, pp. 10–43. (*In Russ.*)
14. Dzhinoridze N. M. 2000, Petrotectonic principles of safe exploitation of the Verkhnekamskoye deposit of potassium-magnesium salts. Solikamsk; St. Petersburg, 400 p. (*In Russ.*)

✉filatov47@bk.ru
**Lyubov.Bolotnova@m.ursmu.ru

15. Sherman S. I., Bornyakov S. A., Buddo V. Yu. 1983, Areas of dynamic influence of faults. Novosibirsk, 112 p. (*In Russ.*)
16. Lobatskaya R. M. 1987, Structural zoning of faults. Moscow, 128 p. (*In Russ.*)
17. Kassin G. G., Filatov V. V. 2002, Experience in using gravimetry for local seismotectonic zoning of the Verkhnekamsk potassium salt deposit. Issues of theory and practice of geological interpretation of gravitational, magnetic and electric fields. Ekaterinburg, pp. 150–154. (*In Russ.*)
18. Konstantinova S. A., Kassin G. G., Glebov S. V. 2001, On the geodynamic zoning of the subsoil and the earth's surface at the Verkhnekamsk potassium salt deposit. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information and analytical bulletin]. Moscow, no. 6, pp. 101–105. (*In Russ.*)
19. Gzovsky M. V. 1975, Fundamentals of tectonophysics. Moscow, 536 p. (*In Russ.*)
20. Sigov A. P. 1969, Metallogeny of the Mesozoic and Cenozoic Urals. Moscow, 296 p. (*In Russ.*)
21. Plyusnin K. P. 1985, Tectonics and geochronology of horizontal dislocations of the lithosphere. Moscow, 200 p. (*In Russ.*)
22. Boltyukov G. V. 1991, Bromine in brines of the Verkhnekamsk salt-bearing basin. Composition and conditions of formation of marine and continental halogen formations. Novosibirsk, pp. 59–64. (*In Russ.*)
23. Konishchev V. S. 1982, Tectonics of the halokinesis areas of the East European and Siberian platforms. Minsk, 257 p. (*In Russ.*)
24. Filatov V. V., Bolotnova L. A. 2019, Generalizing the experience of forecasting dynamic events at the Upper Kama potassium salt deposit according to geological and geophysical data. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of Universities. Mining Journal], no. 4, pp. 61–70. https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-4-61-70
25. Tchaikovsky I. I. 2021, On the folded-block structure of salt and supra-salt deposits of the Solikamsk depression based on materials from above-ground and underground seismoacoustics. *Gornoye echo* [Mountain Echo], no. 2 (83), pp. 11–14. (*In Russ.*) https://doi.org/10.7242/echo.2021.2.3
26. Tchaikovsky I. I. 2013, Typification of the main mechanisms of salt tectonics of the world: Verkhnekamskoye deposit as a standard of multi-stage gravitational sliding. *Vestnik Permskogo nauchnogo tsentra* [Bulletin of the Perm Scientific Center], no. 1, pp. 18–37. (*In Russ.*)

The article was received on October 20, 2023