О тектоническом плане Верхнекамского месторождения калийных солей по результатам физического моделирования и по геолого-геофизическим данным

Филатов В. В.¹, Болотнова Л. А.^{2*}

¹ Владимирский государственный университет, г. Владимир, Россия

² Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: l.bolotnova@yandex.ru

Реферат

Введение. Территория Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), которое интенсивно разрабатывается с 1932 г., характеризуется аномально высоким уровнем техногенной нагрузки на геологическую среду. Благодаря воздействию этой нагрузки происходит нарушение естественного равновесного состояния геологической среды, восстановление которого сопровождается опасными динамическими событиями – от горных ударов до техногенных землетрясений различной интенсивности. Динамический режим ВКМКС определяется многими факторами, среди которых наибольшую роль играют тектонические. Тектоническое строение в виде тектонических признаков или критериев (при прочих равных условиях) принимают во внимание прежде всего при динамическом районировании территории ВКМКС и прогнозировании мест возможного проявления динамических событий. Поскольку структурно-тектоническим элементам строения геологической среды присуще подобие и иерархичность, изучение тектоники месторождения целесообразно осуществлять на разных масштабных уровнях соответствующими геологическими и геофизическими методами с использованием результатов физического моделирования.

Методика исследований. Подобие и иерархия тектонических структур, когда трещина рассматривается как копия разлома, определили двухэтапную методику изучения тектонического строения территории ВКМКС. На первом этапе по данным физического моделирования выполнена реконструкция областей динамического влияния глубинных разломов, ограничивающих Соликамскую впадину с ВКМКС. На втором этапе проведен анализ азимутов простираения разрывных нарушений ВКМКС, установленных геолого-геофизическими методами.

Результаты исследований. По данным физического моделирования установлены размеры областей динамического влияния всех разломов, ограничивающих Соликамскую впадину, с учетом их кинематического типа и определены простираения и кинематика разрывных нарушений в зоне каждого разлома. Выполнен статистический анализ и построены розы-диаграммы азимутов простираения разломов в фундаменте и разрывных нарушений в толще ВКМКС, установленных по результатам интерпретации локальных аномалий магнитного поля, по геоморфологическим данным, по космо- и аэроснимкам.

Выводы. Тектонический план ВКМКС является не случайным, он определяется в основном кинематикой глубинных разломов, ограничивающих ВКМКС, и тектоникой фундамента.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение калийных солей; тектоника; физическое моделирование; геолого-геофизические методы.

Предмет и цель работы. В структурно-тектоническом отношении ВКМКС расположено в пределах Предуральского краевого прогиба (ПКП), занимая значительную часть Соликамской впадины [1], и заключено в тектоническую «раму» из шести глубинных разломов: двух субмеридиональных – Красноуфимского и Западно-Уральского, Предтиманского, имеющего северо-западное простираение и трех субширотных – Боровицкого, Дуринского и «Южного» (название условное).

Красноуфимский и Западно-Уральский разломы являются соответственно западной и восточной границами ПКП. Оба разлома пересекают Средний и Южный Урал и уверенно картируются в волновых полях на нескольких широтных профилях глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), в частности на ближайшем к ВКМКС Красноуфимском. Глубина проникновения разломов в земную кору – 50 км. По большим изменениям мощности и глубин залегания осадочного чехла время формирования разломов относится к верхнему протерозою с активизацией в верхнепалеозойское и более позднее время. Падение плоскостей разломов – крутое восточное. По Красноуфимскому разлому происходило относительное погружение восточного блока как в верхнепротерозойский, так и в палеозойский этапы развития [2]. Для Западно-Уральского разлома характерна инверсия вертикальных движений: в верхнем протерозое восточный блок погружался, а в палеозое он поднимался и испытывал горизонтальный сдвиг. Красноуфимский разлом отнесен к сбросу, Западно-Уральский – к взбросо-надвику.

Дуринский и Боровицкий разломы в кинематическом отношении представляют собой горизонтальные сдвиги (Дуринский разлом является левосторонним сдвигом, Боровицкий – правосторонним) с ярко выраженными наложенными структурами – прогибами по кровле солей. Наиболее детально изучена природа, кинематика и внутреннее строение Дуринского разлома и Дуринского прогиба [3].

«Южный» разлом, имеющий сбросовую природу, ограничивает ВКМКС с юга. Его положение закартировано в гравитационном и магнитных полях; длина разлома по простиранию составляет около 100 км, и его с меньшей надежностью можно отнести к категории глубинных. По этим характеристикам разлом «Южный» и не показан на структурно-тектонической схеме в [1].

Предтима́нский разлом проявляется в фундаменте Восточно-Европейской платформы в виде границы, разделяющей Беломорский и Карельский кристаллические массивы, и совпадает с юго-западной границей Чердынских шовной зоны между гранито-гнейсовым и сланцевым блоками фундамента [1].

Кинематика всех разломов соответствует геохронологической шкале эволюции кинематики разломов Урала для фанерозоя [4].

Существенным моментом в характеристике описанных разломов является то, что они активны в новейшее время. Об этом свидетельствует:

- наличие аномалий современных движений земной коры Урала (горизонтальный градиент скорости вертикального движения, сдвиг, дилатация) по всем линиям повторного нивелирования в местах их пересечения с зонами глубинных разломов (Блюмин М. А., Улитин Р. В. *Схема вертикальных деформаций земной коры Урала. Масштаб 1:2500000. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983*);

- фрагменты глубинных разломов отражаются на картах суммарных новейших движений; так, в районе г. Красноуфимска в зоне одноименного разлома установлена неотектоническая аномалия; аналогичная аномалия закартирована в северной части Западно-Уральского разлома [5];

- подавляющее большинство эпицентров динамических событий (24 из 25) находятся в пределах разломных зон [6–8].

Система глубинных разломов представляет региональный тектонический план того фрагмента ПКП, частью которого является Соликамская впадина с ВКМКС. Длительное существование этих разломов, их активизация в разные этапы тектогенеза и в новейшее время оказывают существенное влияние на тектонику Соликамской впадины и ВКМКС, т. е. на тектонический план месторождения. Поскольку механизмы образования и, соответственно, кинематика глубинных разломов различные: сбросы, горизонтальные сдвиги, взбросо-сдвиг, то каждый разлом характеризуется своим структурным парагенезисом, формируе-

мым в области его динамического влияния в толще месторождения. Например, структурный парагенезис в области динамического влияния горизонтального сдвига (Дуринского и Боровицкого) состоит из кулисообразной системы разрывов отрыва, сопряженных сколов, обратных косых и продольных сколов определенных ориентировок [3, 9]. Поэтому реконструкция тектонического плана ВКМКС невозможна без учета механизмов формирования глубинных разломов.

Рис. 1. Тектонический план южной части Верхнекамского месторождения калийных солей по результатам физического моделирования:

a – схема разрывных нарушений начального этапа деформирования осадочной толщи месторождения; *b* – схема разрывных нарушений последующих этапов деформирования осадочной толщи месторождения; 1 – осевые линии глубинных разломов: I – Красноуфимского, II – Западно-Уральского, III – Дуринского, IV – «Южного»; 2 – границы областей динамического влияния глубинных разломов; 3 – границы распространения солей; 4 – вероятное положение разрывных нарушений в областях динамического влияния глубинных разломов

Fig. 1. Tectonic scheme of the southern part of the Upper Kama potassium salt deposit according to the results of physical simulation: *a* – scheme of faults of the initial stage of the deposit's sedimentary stratum deformation; *b* – scheme of faults of further stages of the deposit's sedimentary stratum deformation; 1 – axial lines of deep faults: I – Krasnoufimsky, II – West Uralian, III – Durinsky, IV – "Iuzhnyi"; 2 – boundaries of dynamic impact from deep faults; 3 – salt limit; 4 – probable position of faults within the dynamic impact from deep faults

В [1] подробно описан тектонический план ВКМКС, состоящий из 173 разрывов, установленных с различной надежностью комплексом геолого-геофизических методов. Но все разрывы охарактеризованы только геометрически – азимутами простираения их осевых линий и длиной. Механизмы образования

разрывов не рассмотрены, а следовательно, не изучены ни кинематический тип разрывов, ни структурный парагенезис.

Методика исследований. Реконструкция тектонического плана ВКМКС была выполнена в два этапа. На первом этапе были использованы результаты физического моделирования разломов различного генезиса [10]. Применение результатов изучения процессов разломообразования на физических моделях для решения той же задачи применительно к реальным разломным структурам обусловлено тем, что на всех масштабных уровнях тектонические образования

Рис. 2. Схемы:

а – разрывы и зон трещиноватости: 1 – разрывы, установленные по геолого-геофизическим данным; 2 – зоны интенсивной трещиноватости в осадочной толще, установленные по результатам дешифрирования космо- и аэроснимков (Шитин С. Т. и др., 1979); *б* – разломы фундамента: 3 – до-верхнепротерозойские; 4 – верхнепротерозойские; 5 – палеозойские и более поздние; *в* – положение линейментов, установленных по результатам дешифрирования космо- и аэроснимков (Голыздра Г. Я., 1985); *г* – положение прямолинейных участков речных долин (рек)

Fig. 2. Schemes:

a – faults and zones of rock fracture: 1 – faults determined from geological and geophysical data; 2 – zones of intensive rock fracture in the sedimentary stratum determined from the results of satellite and aerial images interpretation (Shitin S. T. et al, 1979); *b* – basement break: 3 – Pre-upper Proterozoic; 4 – Upper Proterozoic; 5 – Paleozoic and later; *v* – positions of lineaments determined from the results of satellite and aerial images interpretation (Golizdra G. Ia., 1985); *z* – positions of straight-line segments of stream valleys (rivers)

обладают подобием и иерархичностью [11]. По результатам физического моделирования были определены поперечные размеры областей динамического влияния каждого глубинного разлома и тот структурный парагенезис, который характерен для них. На втором этапе были определены азимуты простирания разрывных нарушений, закартированных на территории ВКМКС геофизическим, геологическим и геоморфологическим методами.

Результаты работы. Для определения поперечных размеров областей динамического влияния (ОДВР) каждого глубинного разлома были использованы кор-

реляционные зависимости между шириной ОДВР и толщиной модели или (через соответствующее условие подобия) мощностью земной коры в реальной геологической обстановке [10]. Такие зависимости, получившие подтверждение при полевых геологических исследованиях [12], построены для различных кинематических типов разломов: сдвиг, сброс, надвиг и др. В Пермском Приуралье мощность земной коры оценена в 50 км. Поэтому ширина ОДВР, согласно корреляционным зависимостям [8], изменяется от 40 до 50 км, т. е. по 20–25 км по обе стороны от осевых линий разломных зон. Таким образом, в ОДВР находится вся территория ВКМКС (рис. 1).

Реконструкция кинематических типов и ориентировок систем разрывов в пределах ОДВР каждого глубинного разлома была осуществлена также на основе результатов физического моделирования.

В областях динамического влияния сбросов, каковыми являются Красноуфимский [2], Предтима́нский и «Южный» разломы, на начальных этапах разломообразования развивались трещины скалывания двух диагональных систем, ориентированных под углами 55° и 70° с осевыми линиями разломов. По мере развития деформационных процессов начинает зарождаться третья система разрывов, представляющих собою трещины отрыва, которые ориентированы вдоль осевых линий разломов. Плоскости падения этой системы трещин вертикальные. В области динамического влияния Западно-Уральского разлома, хотя его кинематика является взбросо-надвиговой, структурный парагенезис такой же, что и у Красноуфимского, Предтима́нского и «Южного» разломов. В области динамического влияния Ду́ринского и Боровицкого горизонтальных сдвигов на начальном этапе структурообразования формировалась эшелонированная кулисообразная система антиклинальных и синклиналиных складок, характерная для слоистых толщ, на более поздних – система сопряженных сколов различной ориентировки и трещин отрыва, ориентированных под углом 45° к осевой линии зоны сдвига при упругом деформировании [3, 9] (рис. 1).

Для оценки результатов реконструкции тектонического плана ВКМКС по данным физического моделирования было выполнено их сопоставление с данными об ориентировках разрывных нарушений, установленных геолого-геофизическими методами. В качестве таковых были использованы: результаты интерпретации локальных аномалий магнитного поля, материалы дешифрирования космо- и аэроснимков, данные о спрямленных участках русел современных рек и о разломах в фундаменте. По этим данным были построены розы-диаграммы азимутов прости́рания осей магнитных аномалий, разломов в фундаменте, линеаментов, отражающихся в космо- и аэроснимках и прямолинейных фрагментах речных долин (рис. 2, рис. 3).

Розы-диаграммы на рис. 3, а, б дают представление об азимутах прости́рания тектонических элементов глубоких горизонтов месторождения; розы-диаграммы на рис. 3, в, г, д характеризуют преимущественно закономерности прости́рания приповерхностных структурно-тектонических элементов месторождения: линейные магнитные аномалии обусловлены развитием магнитной минерализации в зонах трещиноватости и в разрывах в надсолевом комплексе; линеаменты, выделенные по космо- и аэроснимкам, картируют участки неотектонических движений; речные долины формируются по фрагментам современных разломов.

Анализ и обсуждение результатов. Из результатов физического моделирования следует, что на начальных этапах структурообразования в ОДВР формируется система диагональных сколов. Исключение составляет северная часть ВКМКС, где на разрывы диагональной системы накладываются разрывы меридионального и субширотного направления. В более поздние этапы структурообразования

развиваются системы разрывов типа отрыва меридионального простирания, которые осложняются разрывами широтной ориентировки на юге ВКМКС и юго-юго-западной на севере. Развитие последней системы разрывов способствует образованию грабенообразных структур по кровле солей, осложняющих строение Дуринского прогиба.

Таким образом, данные физического моделирования свидетельствуют, что наиболее вероятными на территории ВКМКС являются четыре главных системы разрывов, обусловленных действием глубинных разломов: меридиональная и широтная, представленные разрывами типа отрыва; диагональные северо-восточного и северо-западного направлений, разрывы которых имеют сдвиговую природу.

Рис. 3. Розы-диаграммы азимутов простирания:

a – разломов фундамента; *б* – разломов и зон трещиноватости (Шитин С. Т. и др., 1979); *в* – осей линейных магнитных аномалий; *г* – прямолинейных участков речных долин (рек); *д* – космо- и аэролинементов (Голыздра Г. Я., 1985)

Fig. 3. Rose plots of strike azimuths:

a – basement break; *б* – faults and zones of rock fracture (Shitin S. T. et al., 1979); *в* – axes of linear magnetic anomalies; *г* – straight-line segments of stream valleys (rivers); *д* – satellite and aerial images lineaments (Golizdra G. Ia., 1985)

Аналогичный вывод о наличии на ВКМКС четырех систем разрывных нарушений был сделан и в [1], но с одной существенной разницей: в [1] не дана кинематическая характеристика разломов, т. е. не определен механизм их образования, иными словами, генезис.

Вид роз-диаграмм азимутов простирания разломов фундамента и зон трещиноватости (рис. 3, *a*, *б*) и роз-диаграмм азимутов простирания структурно-тектонических образований в толще ВКМКС (рис. 3, *в*, *г*, *д*) при их большой схожести несколько отличается. Это отличие обусловлено тем, что формирование разломов фундамента и трещинных зон происходило под действием региональных процессов, как и формирование глубинных разломов. Структурно-тектонические элементы в толще ВКМКС образовались под действием локальных процессов в ОДВР. Общность же всех роз-диаграмм заключается в том, что на них хорошо видны ортогональные направления: особенно отчетливо – субмеридиональное,

менее четко – субширотное. Из двух диагональных направлений лучше выражено северо-восточное, главным образом в простирации осей линейных магнитных аномалий и спрямленных русел рек, (правда, со значительным разбросом средних значений азимутов от 45° до 25° для русел рек); северо-западное направление проявлено слабо.

Из сопоставления результатов изучения тектонического плана ВКМКС различными методами следует, что они непротиворечивы. На ВКМКС под действием различных причин сформировалось четыре системы структурно-тектонических образований: субмеридиональная, субширотная и две диагональные системы. Но если метод физического моделирования дает одинаковую вероятность образования каждой системы, то данные геолого-геофизических методов позволяют выделить среди них наиболее вероятные. С другой стороны, метод физического моделирования позволяет определить кинематический тип разрывов, что не всегда возможно сделать с помощью геолого-геофизических методов.

Выводы и область применения результатов. Применение двух различных подходов для изучения тектонического плана ВКМКС представляется полезным и перспективным для прогнозирования тектонической обстановки в пределах закрытых, слабоизученных в геологическом отношении территорий.

Сходство роз-диаграмм азимутов простирации различных структурно-тектонических элементов свидетельствует о генетической связи глубинных и поверхностных тектонических процессов и сформированных ими структур на территории ВКМКС. Эти связи ранее были установлены для платформенной части всего Пермского Приуралья. Не принимая их во внимание, нельзя выполнять детальное изучение тектонического плана ВКМКС.

Подобие роз-диаграмм азимутов простирации осей локальных магнитных аномалий, русел рек и линеаментов указывает на связь между ними. Поскольку возраст разрывов, проявляющихся в положении русел рек и линеаментов, считается новейшим, то и время образования зон тектонической трещиноватости, картируемой линейными магнитными аномалиями, тоже можно считать новейшим, в крайнем случае позднемезо-кайнозойским.

Переход от результатов статистического анализа азимутов простирации структурно-тектонических элементов к конкретному определению их планового положения возможен только на основе использования результатов детальных площадных высокоточных геолого-геофизических исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. М.: Эpsilon Плюс, 2013. 368 с.
2. Кассин Г. Г., Филатов В. В. Красноуфимский разлом: строение и история развития по геофизическим данным // Известия УГГА. Сер.: Геология и геофизика. 2003. Вып. 18. С. 170–176.
3. Филатов В. В., Болотнова Л. А. Природа и динамика Дуринского прогиба // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 4. С. 111–119.
4. Плюснин К. П. Эволюция кинематики и определение возраста разрывных структур Урала // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С. 12–23.
5. Сигов А. П. Металлогения мезозоя и кайнозоя. М.: Наука, 1968. 296 с.
6. 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 // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal. 2019. No. 4. P. 61–70. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-61-70
7. Shulakov D. Y., Buturin P. G., Verkholtantsev A. V. Seismological monitoring the Upper Kama potash deposit: objectives problem solutions // Gornyi Zhurnal. 2018. No. 6. P. 25–29.
8. Sanfirov I. A., Stepanov Y. I., 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.
9. Стоянов С. С. Механизм формирования разрывных зон. М.: Недра, 1977. 144 с.
10. Шерман С. И., Борняков С. А., Буддо В. Ю. Области динамического влияния разломов. Новосибирск: Наука, 1983. 112 с.

11. Филатов В. В., Болотнова Л. А. О подобии и иерархии тектонических структур // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 1. С. 52–59.

12. Лобацкая Р. М. Структурная зональность разломов. М.: Недра, 1987. 128 с.

Поступила в редакцию 27 марта 2020 года

Сведения об авторах:

Филатов Владимир Викторович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры автомобильных дорог Владимирского государственного университета. E-mail: filatov47@bk.ru

Болотнова Любовь Анатольевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики Уральского государственного горного университета. E-mail: l.bolotnova@yandex.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-38-46

Upper Kama potassium salt deposit tectonic scheme based on physical modeling results and geological and geophysical data

Vladimir V. Filatov¹, Liubov A. Bolotnova²

¹ Vladimir State University, Vladimir, Russia.

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. The territory of the Upper Kama potassium salt deposit (UKPSD) which has been actively developed since 1932, is characterized by abnormal technogenic overload on the geological environment. This load destroys the natural balance of the geological environment, the restoration of which is accompanied by hazardous dynamic events, from rockbursts to induced earthquakes of various magnitudes. Dynamic conditions of UKPSD is determined by many factors, among which a significant role is played by tectonic factors. Tectonic structure in the form of tectonic features or criteria (or other equal conditions) are taken into account first of all when fulfilling dynamic zoning of UKPSD territory and predicting the areas of possible manifestation of dynamic events. As soon as structural and tectonic elements of geological environment are characterized by similarity and hierarchy, it is advisable to study the tectonics of the deposit at various scales by corresponding geological and geophysical methods applying physical simulation data.

Research methodology. Tectonic structures similarity and hierarchy (with a crack analysed as a copy of a fault), determined the two-stage technique of studying the tectonic structure of UKPSD territory. At the first stage, according to physical simulation data, areas influenced by the deep faults enclosing the Solikamsk depression and UKPSD were reconstructed. At the second stage, analyses was carried out of UKPSD fault strike azimuths determined by geological and geophysical methods.

Research results. According to the results of the physical simulation, the dimensions of the area of dynamic impact of all faults enclosing the Solikamsk depression taking into account their kinematic type, and strikes and kinematics of faults within the zone of each fault were determined. Statistical analysis was carried out together with rose diagrams of strike azimuths of faults in the foundation and faults in UKPSD depth determined according to the results of magnetic field local anomalies interpretation, geomorphological data, satellite and aerial images.

Summary. Tectonic scheme of UKPSD is not random. It is determined basically by the kinematics of deep faults enclosing UKPSD, and the tectonics of the foundation.

Key words: Upper Kama potassium salt deposit; tectonics; physical simulation; geological and geophysical methods.

REFERENCES

1. Kudriashov A. I. *Upper Kama potassium salt deposit*. Moscow: Epsilon Plius Publishing; 2013. (In Russ.)
2. Kassim G. G., Filatov V. V. Krasnoufimsk fault: structure and history according to geophysical data. *Izvestiya UGGA. Ser.: Geologiya i geofizika = News of the Ural State Mining University. Ser.: Geology and Geophysics*. 2003; 18: 170–176. (In Russ.)
3. Filatov V. V., Bolotnova L. A. Nature and dynamics of Burinsky foredeep. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2016; 4: 111–119. (In Russ.)
4. Pliusnin K. P. Evolution of kinematics and determination of Ural faulted structures age. In: *Faults of the earth's crust in the Urals and methods of their investigation*. Sverdlovsk: USC AS USSR Publishing; 1983. p. 12–23. (In Russ.)
5. Sigov A. P. *Mecozoic and Cenozoic metallogeny*. Moscow: Nauka Publishing; 1968. (In Russ.)
6. 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. *Izvestiya vysshikh*

uchebnykh zavedenii. *Gornyi zhurnal* = *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 4: 61–70. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-61-70 (In Russ.)

7. Shulakov D. Y., Buturin P. G., Verkholtantsev A. V. Seismological monitoring the Upper Kama potash deposit: objectives problem solutions. *Gornyi zhurnal* = *Mining Journal*. 2018; 6: 25–29. (In Russ.)

8. Sanfirov I. A., Stepanov Y. I., Gerasimova I. Y., Nikiforova A. I. Shallow geophysical exploration of the Upper Kama potash salt deposit. *Journal of Mining Science*. 2013; 49 (6): 902–907.

9. Stoianov S. S. *Mechanism of faulted zones development*. Moscow: Nedra Publishing; 1977. (In Russ.)

10. Sherman S. I., Borniakov S. A., Buddo V. Iu. *Areas of faults dynamic impact*. Novosibirsk: Nauka Publishing; 1983. (In Russ.)

11. Filatov V. V., Bolotnova L. A. About similarity and hierarchy of tectonic structures. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* = *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 1: 52–59. (In Russ.)

12. Lobatskaia R. M. *Structural zoning of faults*. Moscow: Nedra Publishing; 1987. (In Russ.)

Received 27 March 2020

Information about authors:

Vladimir V. Filatov – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, professor of the Department of Highways, Vladimir State University. E-mail: filatov47@bk.ru

Liubov A. Bolotnova – PhD (Geology and Mineralogy), associate professor of Geophysics Department, Ural State Mining University. E-mail: l.bolotnova@yandex.ru

Для цитирования: Филатов В. В., Болотнова Л. А. О тектоническом плане Верхнекамского месторождения калийных солей по результатам физического моделирования и по геолого-геофизическим данным // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 5. С. 38–46. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-38-46

For citation: Filatov V. V., Bolotnova L. A. Upper Kama potassium salt deposit tectonic scheme based on physical modeling results and geological and geophysical data. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* = *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 5: 38–46 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-38-46