

ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.242.7+550.831

Тектоника области сочленения Восточно-Европейской платформы и Соликамской депрессии Предуральяского прогиба**Г.П. Щербинина, Г.В. Простолупов**Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
Горный институт УрО РАН, 614007, Пермь, ул. Сибирская, 78а
E-mail: genagravik@gmail.com*(Статья поступила в редакцию 11 декабря 2017 г.)*

Проведено сравнение геологического строения осадочного чехла восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Соликамской депрессии Предуральяского прогиба. Показано, что толщи пород галогенной и терригенной формаций краевого прогиба обладают пониженными механическими свойствами по сравнению с окружающими карбонатными толщами. Это в стрессовых условиях Предуральяского прогиба при горизонтальных сжимающих напряжениях привело к более интенсивной деформированности данного асимметричного пластичного элемента по сравнению с карбонатным окружением. Показано, что тектоническое влияние Урала через Соликамскую депрессию распространяется до западной границы Предуральяского прогиба.

Ключевые слова: *Предуральяский прогиб, соляная толща, гравиметрия, механические свойства, деформации.*

DOI: 10.17072/psu.geol.17.3.200

Граница Восточно-Европейской платформы и Соликамской депрессии Предуральяского краевого прогиба проходит по высокоградиентной ступени гравитационного поля. Здесь различными исследователями выделяется глубинный разлом. Платформа в отличие от прогиба на протяжении всего фанерозоя находилась в относительно спокойном тектоническом режиме развития. Территория Предуральяского прогиба, являясь восточной окраиной платформы, развивалась в платформенном режиме до начала артинского века. Об этом свидетельствует отсутствие отличий литологического состава и разницы мощностей доартинских осадочных толщ от разреза платформы.

Различие в развитии платформы и Предуральяского прогиба начало проявляться с наступлением эпохи герцинского тектогенеза, когда в Уральской зоне стали

формироваться горно-складчатые сооружения. Восточная окраина платформы стала погружаться и заполняться сносимым с гор обломочным материалом. Началось формирование предгорного прогиба. В результате доартинские слои осадочного чехла приобрели наклон на восток (рис. 1). Мощность артинских обломочных пород (так называемого «терригенного клина») на востоке Соликамской впадины в настоящее время достигает 1400 м. Восточные разрезы терригенного клина представлены более грубым обломочным материалом, в том числе прослоями гравелитов. На западе Предуральяского прогиба, вблизи границы с платформой, куда с горных сооружений доносилась небольшая часть тонкого обломочного материала, артинский терригенный клин исчезает.

Таким образом, с артинского времени платформа и Соликамская депрессия име-

ли разную историю развития – платформа оставалась стабильной, Предуральский прогиб начал погружаться.

Ускоренное погружение Предуральского прогиба продолжалось и в кунгурском веке – мощность кунгурских толщ значительно больше, чем на платформе. В филипповское время осадконакопление в Соликамской впадине характеризуется многообразием литофациальных условий, сменяющихся в широтном направлении. Детально литофации востока платформы и Соликамской депрессии уже описаны (Оборин, Хурсик, 1973). В иренское время центральная часть Соликамской впадины стала заполняться соляными осадками – породами весьма пластичными, с низкими прочностными свойствами, низкой плотности ($2.17\text{--}2.20\text{ г/см}^3$). Современная мощность иренской соляной толщи в центральной части Соликамской депрессии достигает 500 м.

На западе в зоне сочленения прогиба с платформой соляная толща выклинивает-

ся (рис. 1) и иренские и филипповские отложения здесь представлены крепкими, высокой плотности карбонатными и сульфатными породами (средняя плотность толщ 2.75 г/см^3). Количество ангидритов в разрезе достигает 50%. Мощность данного типа разреза составляет 350–450 м.

Различие литологии кунгурского яруса на платформе и в Соликамской впадине в основном и определяет морфологию гравитационного поля – понижение значений Δg во впадине на $15\text{--}20\text{ мГал}$ (Щербинина и др., 2011).

Формированием соляной толщи завершилось ускоренное погружение территории Предуральского прогиба относительно платформы. В итоге в результате формирования предгорного прогиба сложилась следующая ситуация: мощность артинских и кунгурских отложений на окраине платформы составляет 400–550 м, на востоке прогиба увеличена до 1500 м (рис. 1).

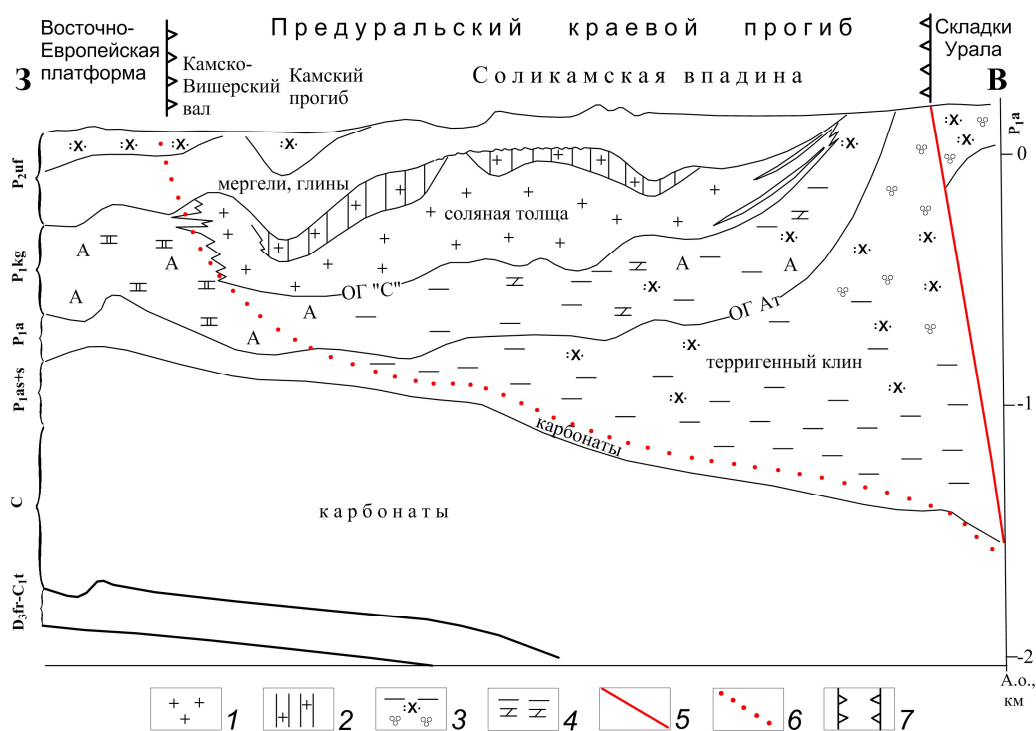


Рис. 1. Геологический разрез через Соликамскую впадину: 1 – каменная соль; 2 – калийная толща; 3 – глинистые и обломочные породы артинского терригенного клина; 4 – кунгурские глинисто-мергелистые отложения, на востоке с присутствием обломочных пород; 5 – передовые надвиги Урала; 6 – граница пластичного деформированного клина в Предуральском прогибе; 7 – границы Предуральского прогиба

Посткунгурские слои (отложения уфимского яруса верхней перми), перекрывающие галогенную кунгурскую толщу, тонким плащом (мощность 150–450 м) облекают неровную соляную поверхность (рис. 1). Уфимская толща на платформе и в прогибе имеет близкий литологический состав, не дифференцированный по литофациальным условиям осадконакопления. Разрез представлен переслаиванием мергелей, глин, алевролитов, песчаников – пород относительно слабых и «мягких» (плотность в среднем 2.35–2.45 г/см³). В настоящее время на востоке прогиба часть уфимского яруса, как и кунгурские слои, эродирована.

В отличие от подошвы артинского терригенного клина его кровля и вышележащие кунгурские слои имеют наклон на запад (рис. 1). Анализ мощностей и морфологии толщ в Предуральском прогибе свидетельствует о том, что его современное строение – это результат тектонической перестройки породных толщ под воздействием Уральского орогена в позднем палеозое – мезозое (Ибламинов, 2013). Влияние Урала заключалось в механическом боковом давлении на восточную окраину прогиба в западном направлении. Результатом явилось скупивание и смятие пород в складки. Особенно интенсивным деформациям подверглись слои в восточной его части, в западном направлении складчатые деформации ослабевают. Наиболее сильно тектонические деформации проявились в верхней части разреза – в толщах артинского, кунгурского и уфимского возраста, т.к. они в купе представляют более пластичную и слабую часть разреза по сравнению с подстилающими карбонатными толщами.

В геодинамических условиях предгорного прогиба при боковом давлении с востока слабые и пластичные толщи верхней части разреза сжимались в широтном направлении не только за счет формирования складок, но, вероятно, и в форме сгуживания – утолщения за счет дизъюнктивных дислокаций. При этих процессах перемещение породных масс проис-

ходило как в западном направлении, так и вверх – в сторону свободной поверхности. В результате произошло утолщение пластичной части разреза на востоке и загипсирование вверх кровли артинского яруса и кунгурских толщ, особенно вблизи источника сил бокового сжатия – Уральской зоны.

Изложенное подтверждается наличием закартированных сейсморазведкой складок в кровле артинского терригенного клина (ОГ А^Т) и в подошве соляной толщи (ОГ «С») (рис. 1).

Соляная толща, будучи наиболее пластичной и слабой из всех, заполняющих Предуральский прогиб, испытала в результате влияния уральских сил наиболее сильные изменения. В соответствии с картиной формирующихся в геологической среде геодинамических напряжений в соляной толще происходили различные процессы. Наиболее важен галокинез – перераспределение соляных масс с выдавливанием их в зоны с наименьшими механическими напряжениями. В результате галокинеза произошло увеличение мощности соляной толщи в областях нагнетания и уменьшение мощности в областях эвакуации, из-за чего усложнилась морфология кровли. В соляных куполах зафиксированы флюидалные текстуры – показатели течения соли. В соответствии с этим происходила и деформация надсоляной толщи – она поднималась вместе с ростом соляных куполов и опускалась в межкупольных впадинах.

В самой галогенной толще под влиянием неоднородных силовых полей происходили и другие процессы, усложняющие ее строение. Например, верхняя часть соляной толщи, находясь в зоне гипергенеза, неравномерно растворялась на различных участках, в зависимости от величины напряжений, формирующихся на границе соляных и надсоляных пород. Внутри соляной толщи наблюдаются результаты растворения, метаморфизма соляных пород и переноса химических элементов. В надсоляной деформирующейся толще происходило образование трещин,

усиление в них инфильтрации метеорных вод, карстование, формирование пористых механически слабых пород.

В период, когда в Предуральском прогибе происходило накопление мощных толщ пластичных пород, на платформе формировались прочные и жесткие карбонатные и сульфатные толщи.

Подводя итог, можно констатировать, что в Предуральском прогибе, в отличие от платформы, верхняя часть осадочного чехла (артинские, кунгурские и уфимские породы) представляет относительно пластичный клин, деформированный проявлениями герцинского тектогенеза. Осадочные толщи платформы, располагаясь вдали от активной Уральской складчатой системы, находились, в отличие от толщ прогиба, в более стабильном тектоническом состоянии и не испытывали интенсивных перестроек.

Исследователи, занимавшиеся изучением Предуральского прогиба (Казанцева, 1987; Камалетдинов, 1974), пришли к выводу, что региональные силы бокового давления и напряжения сжатия достигали платформы. Скучивание соляных пород во фронтальной части пластичного соляного тела у жесткого края платформы, где соли замещаются сульфатами и карбонатами, демонстрирует правдивость данного положения. В результате вдоль края платформы в кровле соляной толщи сформировалась линейная структура – Камско-Вишерский вал длиной около 100 км. Ширина вала от 3 до 11 км, амплитуда по восточному крылу достигает 200 (и более) метров. С востока Камско-Вишерский соляной вал ограничен Камским прогибом. Камский прогиб представляет, очевидно, в парагенезе с валом область оттока пластичных соляных масс (рис. 1).

Подошва соляной толщи (ОГ «С»), в отличие от ее кровли, сначала погружается в восточном направлении от границы с платформой, а затем поднимается в соответствии с кровлей терригенного клина (рис. 1, 2).

Все вышеописанные особенности строения элементов артинско-кунгурско-

уфимского пластичного деформированного клина, представляющего толщи заполнения предгорного прогиба, хорошо демонстрирует рис. 1. Морфология структурных поверхностей на рисунке позволяет говорить о том, что толщи данного пластичного клина деформированы сильнее, чем прочные карбонаты в прогибе и на платформе.

Таким образом, механические напряжения, генерируемые Уральской зоной, реализовывались в артинско-кунгурском слабом комплексе Соликамской впадины в виде смятия слоев в складки и скупивания пород с изменением геометрии напластований. Это сопровождалось разнообразными сопутствующими микродеформациями, физическими и химическими преобразованиями пород.

Детально строение области сочленения Восточно-Европейской платформы и Соликамской депрессии рассмотрим на примере юго-западной части Верхнекамского месторождения. Данная территория изучена лучше, чем другие участки, в связи с исследованиями, проведенными с целью проектирования рудников для ПАО «Уралкалий» и ООО «ЕвроХим». Были выполнены детальная площадная гравиметрическая съемка масштаба 1:10000 и бурение солеразведочных скважин. Привлекались имеющиеся данные нефтяной сейсморазведки.

Область смены соляного разреза прогиба на карбонатно-ангидритовый разрез платформы отражается в гравитационном поле ступенью шириной 6–7 км с уменьшением значений поля в сторону Предуральского прогиба на 15–20 мГал (рис. 2). Результаты площадной гравиметрической съемки интерпретировались с применением программы векторного сканирования (Новоселицкий и др., 1998) на базе данных бурения. По материалам бурения построена структурная карта кровли соляной толщи (рис. 3). В структуре поверхности соляной толщи восточнее границы выклинивания солей наблюдается линейное поднятие – часть регионального Камско-Вишерского вала, описанного выше.

Ширина структур изменяется от 2 до 10 км. Ось вала от линии выклинивания расположена на расстоянии 3–6 км.

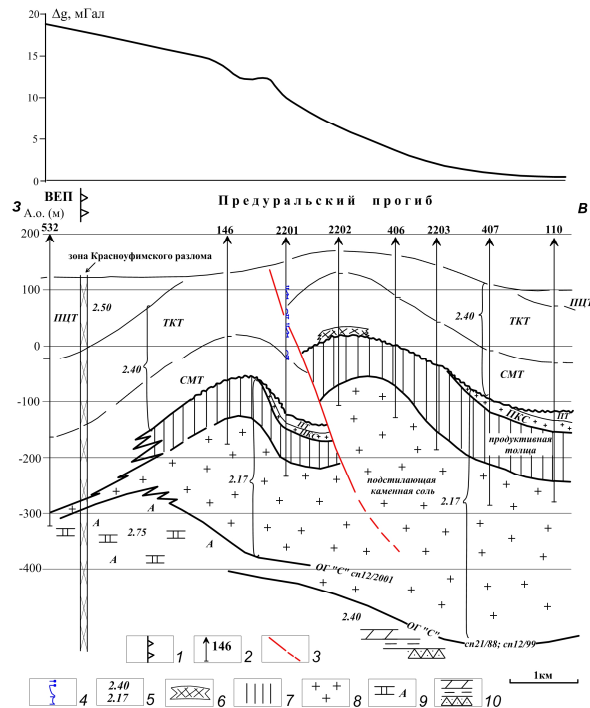


Рис. 2. Геологический разрез через Белопащинское соляное поднятие: ПЦТ – пестроцветная толща; ТКТ – терригенно-карбонатная толща; СМТ – соляно-мергельная толща; ПТ – переходная толща; ПКС – покровная каменная соль; 1 – западная граница Предуральского прогиба; 2 – солеразведочные скважины; 3 – надвиг; 4 – повторяющиеся элементы кривой ГК в автохтоне и аллохтоне; 5 – плотность, $г/см^3$; 6 – глинисто-гипсовая шляпа; 7 – толща с калийными солями; 8 – галитовые толщи; 9 – сульфатно-карбонатные породы; 10 – глинисто-мергелисто-алевролитовые отложения

В пределах описываемого участка на валу выявлены две локальные вершины – Сынвинская брахиантиклиналь и Белопащинское поднятие. Амплитуда поднятий составляет 120–130 м. Углы падения крыльев достигают 27–35°. Вершины поднятий находятся на абсолютных отметках +20–50 м, к западу и востоку поверхность соли погружается до отметок 160–200 м.

Опыт работ на Верхнекамском месторождении показывает, что размеры и амплитуды локальных поднятий кровли соли, их положение в плане определяются

структурными условиями подошвы соляной толщи (ОГ «С»). Это связано, видимо, с тем, что в геодинамическом поле структурные неоднородности жесткого ложа формируют в пластичной соляной толще соответствующую картину внутренних механических напряжений. Перераспределение пластичных соляных масс подчиняется неоднородному напряженному состоянию. Кроме того, на формирование соляных структур оказывало действие гравитационное влияние надсоляных толщ, выдавливающих менее плотную пластичную соляную породу.

Камско-Вишерский вал приурочен к крутому (до 27°) склону подошвы соляной толщи в области выклинивания солей у края платформы. Крутой склон (ОГ «С») фиксируется по данным сейсморазведки от отметок -280 м в западной части, с погружением на восток до -480 м на расстоянии 5–7 км от линии выклинивания. Далее на восток на рассматриваемом участке фиксируется выровненная поверхность в пределах отметок -480–500 м.

Сынвинская брахиантиклиналь и северная часть Белопащинской структуры (рис. 3) сформированы над структурными выступами подошвы соли ОГ «С». Белопащинское соляное поднятие больших размеров (рис. 3) приурочено к ложбине соляного ложа между двумя выступами в подошве. При этом вершина Белопащинского поднятия расположена выше, чем вершины соседних поднятий. Такая ситуация еще раз подтверждает тезис о том, что на перемещение соляных масс и формирование соляных поднятий оказывали воздействие структурные особенности жесткого ложа.

Использование гравиметрических данных при исследованиях основывалось на трансформации поля в системе ВЕКТОР (Простолупов и др., 2006). Полученные в результате векторной обработки трансформанты соответствуют гравитационному эффекту квазигоризонтального слоя пород, расположенного на заданной эффективной глубине, и отражают картину плотностного строения этого слоя.

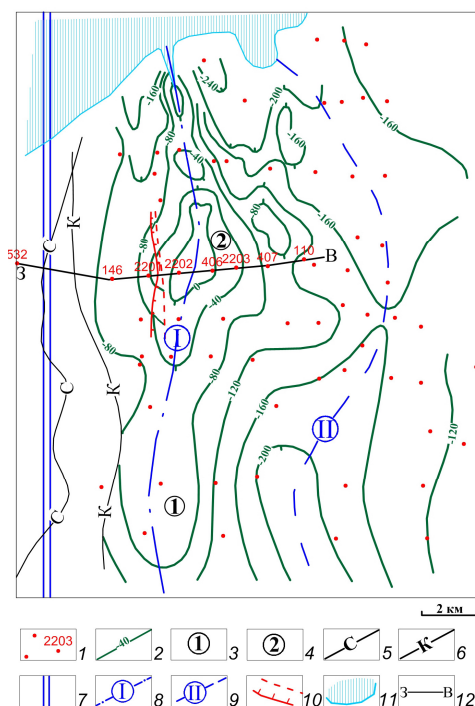


Рис. 3. Структурная карта кровли соляной толщи: 1 – скважины; 2 – изогипсы поверхности соли; 3 – Сыньвинская брахиантиклиналь; 4 – Белопащинская брахиантиклиналь; 5 – западная граница распространения соляной толщи; 6 – западная граница распространения калийных солей; 7 – зона Красноуфимского глубинного разлома на границе платформы и Предуралья; 8 – ось Камско-Вишерского вала; 9 – ось Камского прогиба; 10 – положение надвига в соляной толще; 11 – Камское водохранилище; 12 – линия геологического разреза

Плотностное строение на трансформантах проявляется в виде локальных положительных и отрицательных аномалий. Плотность пород коррелирует с их физико-механическими свойствами, поэтому можно считать, что отрицательные аномалии гравитационного поля отражают механически ослабленные участки. Выявление таких участков имеет важное значение при проведении горных работ.

Неоднородность физико-механических свойств в надсоляной толще возникла во время ее деформирования, при образовании поднятий и впадин в кровле соли. На участках растяжения и перегибах породы приобретали повышенную трещиноватость, пониженную плотность.

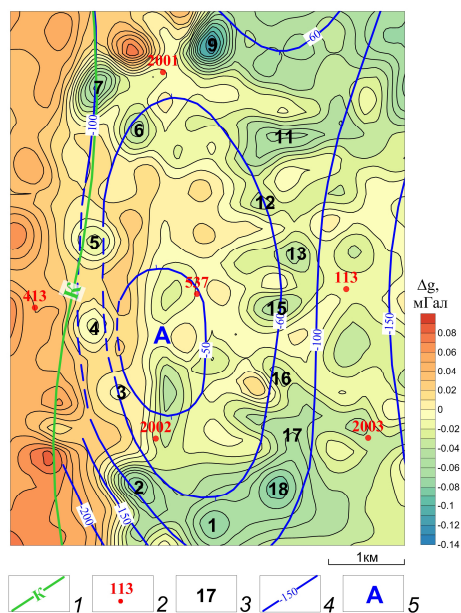


Рис. 4. Локальные отрицательные аномалии (разуплотненные участки), расположенные на склонах Сыньвинского поднятия: 1 – граница калийной залежи; 2 – скважины; 3 – номер локальных отрицательных аномалий; 4 – изогипсы кровли покровной каменной соли; 5 – Сыньвинская брахиантиклиналь

Дифференциация плотности пород усугублялась процессами выветривания, особенно активными в проницаемых трещиноватых зонах. Например, на склонах Сыньвинской брахиантиклинали в надсоляной толще выявлена серия локальных отрицательных аномалий, сформировавших вокруг поднятия кольцеобразную картину (рис. 4). В надсоляной толще Белопащинского поднятия разуплотнения пород в виде отрицательных локальных аномалий наблюдаются на приподнятых участках и крутых перегибах поверхности соли.

Комплексирование различных методов исследования позволило выявить на западном склоне Белопащинского поднятия структурное осложнение в виде надвига. В скважине 2201 (рис. 2, 3) на кривой естественной радиоактивности (гамма-каротажа) в надсоляной толще обнаружено повторение серий ритмов – явный признак наличия надвига.

Положение плоскости надвига подтверждается описанием керна – зафиксирована сильная нарушенность пород, осо-

бенно в аллохтоне. Положение плоскости надвига в скважине привязывается к границе между сериями ритмов каротажной кривой на глубине 108 м. Картина стратиграфических поверхностей на широтном геологическом разрезе, построенном по скважинам, подтверждает наличие надвига в верхней части геологического разреза. Судя по разрезу, надвиг затухает в пластичной соляной толще. Амплитуда надвига по плоскости сместителя около 130 м.

Положение надвига в плане (рис. 3) и его протяженность определялись по гравитационному полю и его трансформантам. Увеличение мощности плотных пород надсоляной толщи в районе надвига отражается в поле Δg Буге линейной положительной аномалией амплитудой 0.7 мГал. Это соответствует модельному гравитационному полю, рассчитанному от кровли соляной толщи при соответствующем строении и плотностях надсоляной и соляной толщ. Наиболее четко надвиг отражается на трансформантах поля, его длина около 4.5 км.

Заключение

Изложенный материал дает возможность говорить о некоторых особенностях, позволяющих по-новому представить геологическую ситуацию на восточной окраине Восточно-Европейской платформы. Во-первых, геологический разрез начиная с артинских отложений и выше в пределах современной платформы и в Соликамской депрессии сложен породами с разными реологическими свойствами. В Соликамской депрессии в позднем палеозое, в отличие от территории платформы, сформирован пластичный «мягкий» клин из пород менее крепких. Мощность клина увеличивается на восток от 0 км у границы платформы до 1.5 км и более у передовых складок Урала.

Во-вторых, различие реологических свойств пород пластичного клина и подстилающих его жестких карбонатов определило разный характер результатов воздействия на них сил горизонтального сжа-

тия со стороны Урала. Породы клина подверглись более интенсивному, особенно вблизи Урала, деформированию в виде складкообразования, скучивания, перемещения породных масс. В наиболее слабой и пластичной соляной толще видны проявления галокинеза.

В-третьих, интенсивное горизонтальное сжатие, имевшее место в Уральской коллизионной зоне в конце палеозоя – начале мезозоя, распространялось, как свидетельствуют данные, до платформы. На границе платформы, на контакте контрастных по реологии пород – концентраторе напряжений, во фронтальной части соляной толщи сформировалась область нагнетания соляных масс в виде Камско-Вишерского вала. Камский прогиб, окаймляющий вал с востока, очевидно, генетически с ним связан и представляет область оттока соляных масс.

В-четвертых, тектоническое сжатие, достигавшее границы платформы, проявилось в формировании локального приповерхностного надвига в западной фронтальной части соляного тела. Нельзя отрицать выявления других надвигов в подобных геодинамических условиях при детальном изучении в будущем.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16–45–590426).

Библиографический список

- Ибламинов Р.Г. Историческая минерагеодинамика калийного галогенеза // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. Вып. 3 (20), 2013. С. 71–93.
- 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.
- Новоселицкий В.М., Чадаев М.С., Погадаев С.В., Кутин В.А. Метод векторного сканирования // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: межвуз. сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. Пермь, 1998, С. 54–59.
- Оборин А.А., Хурсик В.З. Литофации нижнепермских отложений Пермского Предуралья // Нижнепермские отложения Камского Предуралья. Труды Камского отделения

- ВНИГНИ. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1973. Вып. 118. С. 151–184.
- 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.
- Щербинина Г.П., Простолупов Г.В., Бычков С.Г. Гравиметрические исследования при решении горно-геологических задач на Верхнекамском месторождении калийных солей // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых / СО РАН. Новосибирск, 2011. №5. С. 28–35.

Tectonics of the Junction of the East European Platform and the Solikamsk Depression within the Pre-Urals Foredeep

G.P. Shcherbinina, G.V. Prostolupov

Mining Institute of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia. E-mail: genagravik@gmail.com

Comparison of the geological structure of sedimentary cover of the eastern part of the East-European Platform and the Solikamsk Depression within the Pre-Urals Foredeep Basin was carried out. It is shown that halogen and clastic formations of this basin have lower mechanical properties compared to surrounding carbonate strata. Because of the horizontal compressive stress, the asymmetric plastic body formed by these rocks experienced intensive deformations. It is shown that the tectonic influence of the Urals extends through the Solikamsk Depression to the western edge of the Pre-Urals Foredeep basin.

Key words: *Pre-Urals trough, salt stratum, gravimetry, mechanical properties, deformation.*

References

- Iblaminov R.G. 2013. Istoricheskaya minerageodinamika kaliynogo galogeneza [Historical mineralogeodynamics of potassium halogenesis]. Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya. 3(20): 71–93. (in Russian)
- Kazantseva T.T. Allokhthonnye struktury i formirovanie zemnoy kory Urala [Allochthonous structures and formation of the Earth's crust of the Urals]. Nauka, Moskva, p. 158. (in Russian)
- Kamaletdinov M.A. 1974. Pokrovnye struktury Urala [Cover structures of the Urals]. Nauka, Moskva, p. 228. (in Russian)
- Novoselitskiy V.M., Chadaev M.S., Pogadaev S.V., Kutin V.A. 1998. Metod vektornogo skanirovaniya [Vector scanning method]. Geofizicheskie metody poiskov i razvedki mestorozhdeniy nefi i gaza. In Mezhevuz. sb. nauch. tr. Perm, PSU, pp. 54–59. (in Russian)
- Oborin A.A., Hursik V.Z. 1973. Litofatsii nizhnepermskikh otlozheniy Permskogo Preduralya [Lithological facies of the Lower Permian sediments of the Permian Urals]. In Nizhnepermskie otlozheniya Kamskogo Preduralya. Trudy Kamskogo otdeleniya VNIGNI, V. 118. Permskoe knizhnoe izdatelstvo, Perm, pp. 151–184. (in Russian)
- Prostolupov G.V., Novoselitskiy V.M., Koneshov V.N., Shcherbinina G.P. 2006. Ob interpretatsii gravitatsionnogo i magnitnogo poley na osnove transformatsii gorizontalnykh gradientov v sisteme «VECTOR» [Gravity and magnetic field interpretation based on transformations of horizontal gradients in the VECTOR system]. Fizika Zemli. 6: 90–96. (in Russian)
- Shcherbinina G.P., Prostolupov G.V., Bychkov S.G. 2011. Gravimetricheskie issledovaniya pri reshenii gorno-geologicheskikh zadach na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliynykh soley [The gravity survey for solving the geological and mining problems at the Upper Kama potassium salt deposit]. Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. 5: 28–35. (in Russian)