

Отражение в гравитационном поле геодинамического воздействия Урала на соляную толщу Предуральского прогиба

Г. П. Щербинина, Г. В. Простолупов, С. Г. Бычков

Горный институт УрО РАН, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А, e-mail: gena-prost@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.06.2021 г., принята к печати 08.10.2021 г.

Объект исследования. Верхнекамское месторождение калийных солей, расположенное в Предуральском прогибе, и деформационные структуры внутри соляной толщи, связанные с влиянием Уральского орогена. *Материалы и методы.* Проведена комплексная интерпретация гравиметрических данных и результатов геологических исследований, в том числе бурения скважин. Использованы материалы, полученные при обработке данных гравиметрии в системе VECTOR. На основе связи между аномалиями силы тяжести и плотностной дифференциацией пород характеризуются форма, размеры изучаемых объектов и их взаимное положение. *Результаты.* Применение современных методов обработки и интерпретации гравиметрических данных позволило обнаружить дислокации разной кинематики, сформированные под влиянием силового поля, источником которого является коллизийная структура Урала. В ходе тектонического развития в геодинамической обстановке горизонтального сжатия внутри толщи солей сформированы постседиментационные структуры, усложняющие внутреннее строение соленосной формации. Обладая высокой пластичностью и низкими прочностными свойствами, толща солей представляет собой в силовом поле Предуральского прогиба автономную геодинамическую систему, где возникающие при воздействии Уральской коллизийной зоны механические напряжения реализовывались в виде деформационных структур. Результаты тектонической эволюции солей устойчиво проявляются аномалиями в гравитационном поле. *Выводы.* С помощью гравиметрического метода внутри соляного комплекса обнаружены структуры, сформированные под динамическим влиянием Урала – как отклик геологической среды на действие силового поля.

Ключевые слова: гравиразведка, геодинамика, месторождение солей, безопасность разработки месторождения

Источник финансирования

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 19-45-590011p_a

Reflection in the gravitational field of the geodynamic impact of the Urals on the salt strata of the Pre-Ural trough

Galina P. Shcherbinina, Gennady V. Prostolupov, Sergey G. Bychkov

Mining Institute, UB RAS, 78A Sibirskaya st., Perm 614007, Russia,
e-mail: gena-prost@yandex.ru

Received 30.06.2021, accepted 08.10.2021

Research subject. The Verkhnekamskoye potash salt deposit located in the Pre-Ural trough, deformation structures inside the salt rock mass associated with the influence of the Ural orogen. *Materials and methods.* A complex interpretation of gravimetric and geological data, including those obtained via well drilling, was carried out. The materials obtained during the processing of gravimetric data in the VECTOR system were used. Based on the relationship between gravity anomalies and density differentiation, the shape and size of the studied objects, as well as their mutual position, were characterized. *Results.* The use of modern processing and interpretation methods of gravimetric data allowed us to detect dislocations of different kinematics formed under the influence of a force field originated from the collision structure of the Urals. In the course of tectonic processes in the geodynamic environment of horizontal compression, post-sedimentation structures were formed inside the salt strata, which complicate the internal structure of the salt-bearing formation. Possessing high plasticity and low strength properties, the salt formation represents an autonomous geodynamic system in the force field of the Pre-Ural deflection, where mechanical stresses arising under the influence of the Ural collision zone were implemented as de-

Для цитирования: Щербинина Г.П., Простолупов Г.В., Бычков С.Г. (2022) Отражение в гравитационном поле геодинамического воздействия Урала на соляную толщу Предуральского прогиба. *Литосфера*, 22(2), 219–227. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-2-219-227>

For citation: Shcherbinina G.P., Prostolupov G.V., Bychkov S.G. (2022) Reflection in the gravitational field of the geodynamic impact of the Urals on the salt strata of the Pre-Ural trough. *Lithosphere (Russia)*, 22(2), 219–227. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-2-219-227>

formation structures. The results of the tectonic evolution of the salts are steadily revealed by anomalies in the gravitational field. *Conclusion.* Using the gravimetric method, we identified structures inside the salt rock mass under study, which were produced under the dynamic action of the Urals as a response of the geological environment to the force filed.

Keywords: gravity survey, geodynamics, salt deposit, safety deposit exploration

Funding information

The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 19-45-590011p_a

ВВЕДЕНИЕ

Особенности строения и развития Предуральского прогиба определяются его положением вблизи коллизионной зоны Урала. В многочисленных публикациях (Буданов, 1957; Бачманов и др., 2001; Копп и др., 2014; Зубков и др., 2015; Коротеев и др., 2020) указывается, что встречное движение Русской и Западносибирской платформ продолжается и в неоген-четвертичное время. Установлена неотектоническая активность западноуральской зоны надвигов. Современное строение Предуральского прогиба – это результат тектонической перестройки породных толщ под влиянием сжимающих сил со стороны Уральского орогена начиная с позднего палеозоя. Влияние Урала заключается в механическом боковом давлении на восточную окраину прогиба в западном направлении (Валиулов, 2010).

Боковое давление передается через Предуральский прогиб до границы Восточно-Европейской платформы (Плюснин, 1969; Камалетдинов, 1974; Казанцева, 1987; Камалетдинов и др., 1991). Влияние бокового стресса на толщи пород проявилось в формировании многочисленных геологических неоднородностей и постседиментационных структур продольного сжатия в осадочном чехле Предуральского прогиба, особенно заметных в верхнем пластичном комплексе, заполняющем предгорный прогиб (Щербинина, Простолупов, 2018). Наиболее пластичной и механически слабой частью верхнего комплекса пород является соленосная толща кунгурского возраста с мощностью от 0 до 500–600 м. Соляная толща в течение геологического времени испытала наиболее сильные деформации и изменения пород. В соответствии с геодинамической обстановкой геологической среды в соляной толще происходили различные процессы, усложняющие ее строение, например, галокинез – перемещение соляных масс с формированием положительных и отрицательных структур в поверхности соляной толщи, дизъюнктивных тектонических нарушений, образование внутриформационной складчатости, развитие трещиноватости и прочие физические преобразования. Кроме того, в соляном разрезе наблюдаются результаты разного рода и масштаба вторичных химических преобразований, структуры растворения, метаморфизм,

перенос химических элементов из одних слоев в другие.

Для изучения физического состояния породного массива на Верхнекамском месторождении широко применяются методы разведочной геофизики, в том числе гравиразведка (Бычков и др., 2018). Успешное изучение плотностного строения стало возможным благодаря использованию высокоточных гравиметров и новых компьютерных технологий обработки первичных гравиметрических данных. Для более полного извлечения полезной информации были созданы программные продукты, в которых реализованы принципы векторного сканирования (Новоселицкий и др., 1998; Простолупов и др., 2006), а также решения прямой и обратной задач гравиметрии. Результатом трансформации поля методом векторного сканирования, реализованном в системе VECTOR, являются составляющие – аномальные эффекты, обусловленные плотностными неоднородностями геологической среды в слое, ограниченном эффективными глубинами, которые определяются коэффициентами трансформации. Составляющая поля связана с распределением плотности внутри рассматриваемого слоя, поэтому может использоваться в целях выделения и оконтуривания геологических объектов, расположенных в определенном интервале глубин. Трехмерные модели гравитационного поля и разностные трансформанты, отражающие неоднородности в заданном горизонтальном слое, построенные в системе VECTOR, служат основным материалом, освещающим особенности плотностного строения геологического пространства.

КАМСКО-ВИШЕРСКИЙ ВАЛ

Под влиянием уральских сжимающих сил сформировались линейные структуры соляной тектоники – валы, перпендикулярные действующим силам. К области, где Восточно-Европейская платформа переходит в Предуральский прогиб, приурочен протяженный Камско-Вишерский соляной вал. Он сформирован вдоль западного выклинивания соляной толщи, заполняющей Предуральский прогиб.

В гравитационном поле и на его трансформантах Камско-Вишерский вал проявляется в виде линейной отрицательной аномалии амплитудой

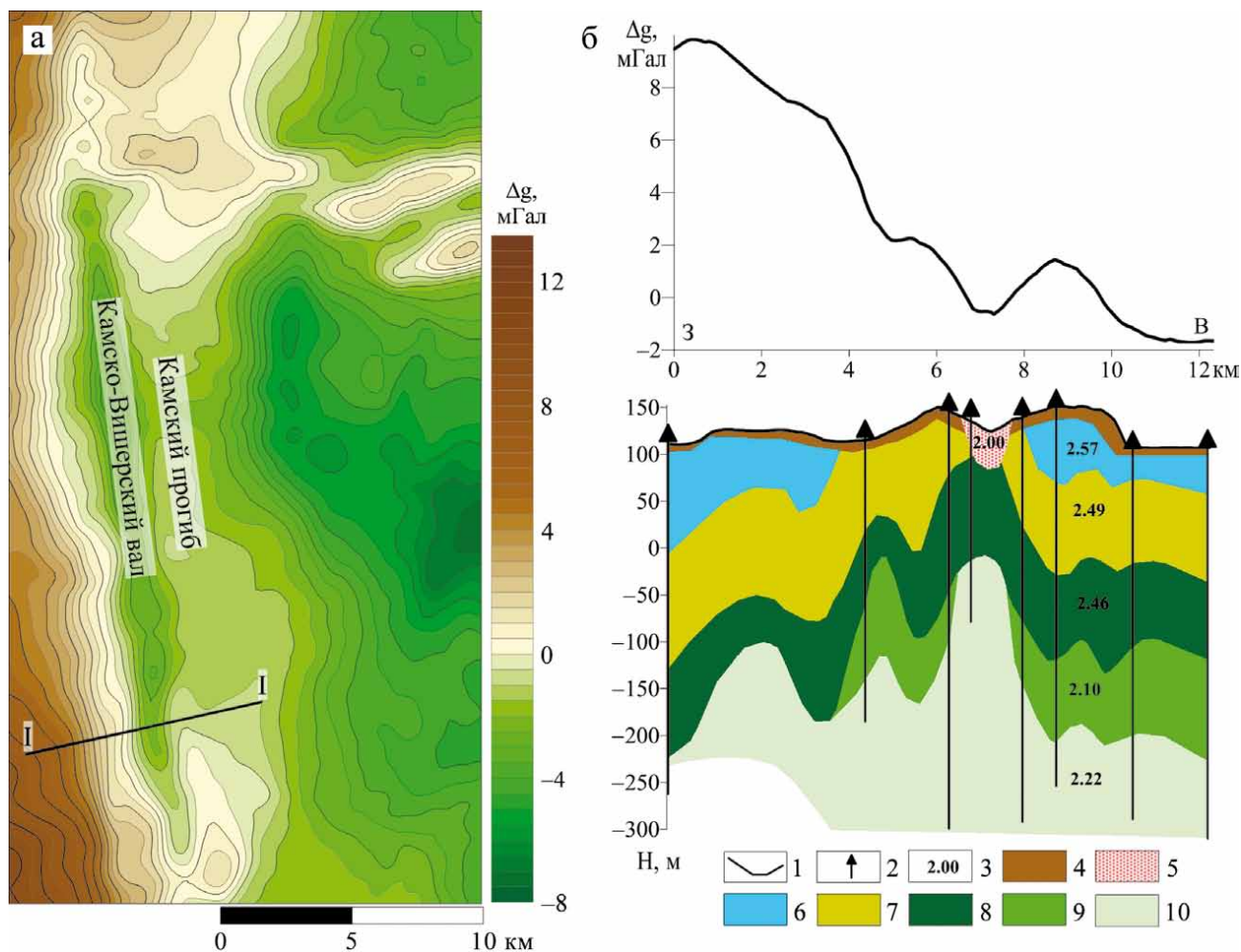


Рис. 1. Отражение Камско-Вишерского вала в гравитационном поле: карта аномалий силы тяжести (а), плотностной разрез по профилю I-I (б).

1 – аномалия силы тяжести; 2 – скважины; 3 – плотности пород, г/см³; 4 – четвертичные отложения; 5 – зона разуплотнения в верхней части разреза; 6 – пестроцветная толща; 7 – терригенно-карбонатная толща; 8 – соляно-мергельная толща; 9 – калийная соль; 10 – подстилающая каменная соль.

Fig. 1. Reflection of the Kama-Vishera swell in the gravitational field: map of gravity anomalies (a), density section along the I-I profile (b).

1 – gravity anomaly; 2 – wells; 3 – rock density, g/cm³; 4 – Quaternary deposits; 5 – decompaction zone in the upper part of the section; 6 – variegated stratum; 7 – terrigenous-carbonate stratum; 8 – salt-marl strata; 9 – potash salt; 10 – underlying rock salt.

3–5 мГал (рис. 1а). Отрицательная аномалия обусловлена не только поднятием кровли соли, но также разуплотненным состоянием надсоляных отложений над сводовой частью вала (рис. 1б). Понижение плотности перекрывающей толщи объясняется формированием трещиноватости при растяжении на перегибе над соляным поднятием.

Исследователи, занимавшиеся изучением Предуральского прогиба (Камалетдинов, 1974; Казанцева, 1987; Щербинина, Простолупов, 2018), пришли к выводу, что региональные силы бокового давления и напряжения сжатия, генерируемые Уральской зоной, достигали платформы. Скучивание со-

ляных пород во фронтальной части пластичного соляного тела у жесткого края платформы демонстрирует правдивость данного положения. В результате вдоль края платформы, в кровле соляной толщи, сформировалась линейная структура – вал длиной около 100 км. Ширина вала – от 3 до 11 км, амплитуда по восточному крылу достигает 200 м. С востока Камско-Вишерский вал ограничен Камским прогибом, который представляет собой, очевидно, в парагенезе с валом область оттока пластичных соляных масс.

Смена карбонатно-сульфатного разреза платформы на соляной разрез прогиба отражается в

гравитационном поле ступенью амплитудой 15–20 мГал, шириной 6–7 км с уменьшением значений поля в сторону Предуральского прогиба.

ОТРАЖЕНИЕ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ В СОЛЯНОЙ ТОЛЩЕ

Как показали результаты совместной интерпретации гравитационного поля и геологических материалов, механические напряжения, генерируемые Уральской зоной, реализовывались в кунгурской соляной толще наряду с другими и в виде физических преобразований пород – формировании дизьюнктивных нарушений, развитии трещиноватости, явлений перетоков и скупивания пластичных масс.

На западном склоне Камско-Вишерского вала, по данным бурения и гравиметрическим данным, в соляной толще обнаружена дизьюнктивная структура. Здесь в условиях сжимающих напряжений перед жестким краем платформы в приповерхностной части осадочного чехла обнаружен надвиг, параллельный меридиональным границам Предуральского прогиба.

Формирование надвига в надсоляной и верхних частях соляной толщи обусловлено тем, что в районе вала при перемещении соляных масс под влиянием давления с востока, создавалась ситуация, когда верхняя часть массива опережала продвижение в направлении действующих сил, а нижняя часть соляной толщи испытывала “торможение”. В таких условиях создаются предпосылки для возникновения плоскости срыва и проскальзывания частей соляного массива относительно друг друга. В результате верхняя часть соляного массива с перекрывающимися надсоляными отложениями перемещалась на запад по плоскости срыва, превращаясь в аллохтон. В результате сформировался надвиг, затухающий вниз в пластичной толще подстилающей соли (рис. 2).

Надвиг зафиксирован в скважинах повторением геологических слоев надсолевой толщи, резким изменением глубины залегания кровли соли в соседних скважинах, наличием остатков верхней части соляной толщи в автохтоне под аллохтоном. Амплитуда надвига по плоскости сместителя составляет 150–160 м. Угол падения сместителя на восток 13° . Ширина перекрытия автохтона аллохтоном на уровне кровли соли – 0.7–1.1 км.

Увеличение мощности более плотной надсоляной толщи (средняя плотность 2.40 г/см^3) перед фронтом надвига (плотность соли $2.20\text{--}2.22 \text{ г/см}^3$) дает, согласно решению прямой задачи гравиметрии, положительную аномалию 0.7 мГал.

В морфологии поля силы тяжести на фоне региональной ступени, фиксирующей границу платформы и прогиба, надвиг создает ступень ампли-

тудой 0.2–0.3 мГал, шириной 0.8 км. На трансформантах, горизонтальных срезах трехмерного поля, увеличение мощности надсоляных отложений перед фронтом надвига отражается положительной аномалией амплитудой 0.20–0.25 мГал, шириной 0.7–1.2 км (рис. 3). На данной трансформанте определяется длина надвига, которая составляет около 5.5 км. Соседние соляные вершины в автохтоне и аллохтоне проявляются на трансформанте отрицательными аномалиями.

Отрицательные аномалии силы тяжести, отражающие разуплотненные участки относительно структуры поверхности соляной толщи, располагаются закономерно. Например, на трансформанте поля, демонстрирующей плотностное строение надсолевой толщи (см. рис. 3), цепочка локальных аномалий 1 выявлена в области вершины соляного валика, сформированного перед фронтом надвига. Серия разуплотнений 2 сформирована в аллохтоне вдоль дизьюнктивного нарушения. Аномалия 3 вытянута вдоль соляного носа в юго-восточном направлении. Аномалии 4 приурочены к склону соляного купола.

Надвиг, выявленный в верхней части разреза в пределах надсоляной и верхней части соляной толщ в области сочленения Восточно-Европейской платформы и Предуральского прогиба, служит свидетельством наличия в прогибе тектонических напряжений сжатия, распространяющихся от Урала до края платформы. Данный надвиг в нехарактерном для Верхнекамского месторождения месте существенно осложнит горные работы при освоении этого участка месторождения.

К верхней части соляного комплекса Верхнекамского месторождения приурочена толща с прослоями калийных солей (продуктивная толща), средняя мощность которой составляет 80–100 м. Здесь встречаются многочисленные зоны вторичного замещения калийных пластов галитом. Одна из таких зон выявлена в центральной части месторождения (рис. 4). Замещение вскрыто скважинами 484 и 1027. В скв. 484 все калийные пласты продуктивной толщи замещены каменной солью. Горизонтальные размеры области замещения $1.0 \times 1.5 \text{ км}$.

Замещение калия на натрий, очевидно, связано с формированием надвиговой структуры, зафиксированной в штреках подстилающей продуктивную толщу соли. Аллохтон с востока надвинут на автохтон и занимает повышенное положение. Надвиг затухает в пластичной продуктивной толще, сопровождаемый зоной замещения.

Механизм формирования данного замещения представляется следующим. В условиях горизонтального субширотного сжатия из подстилающей каменной соли вытеснялись флюиды, законсервированные в первичных порах. Флюиды, обогащенные натрием, выдавливались в продуктивную толщу, где калий в первично-осадочных сильвини-

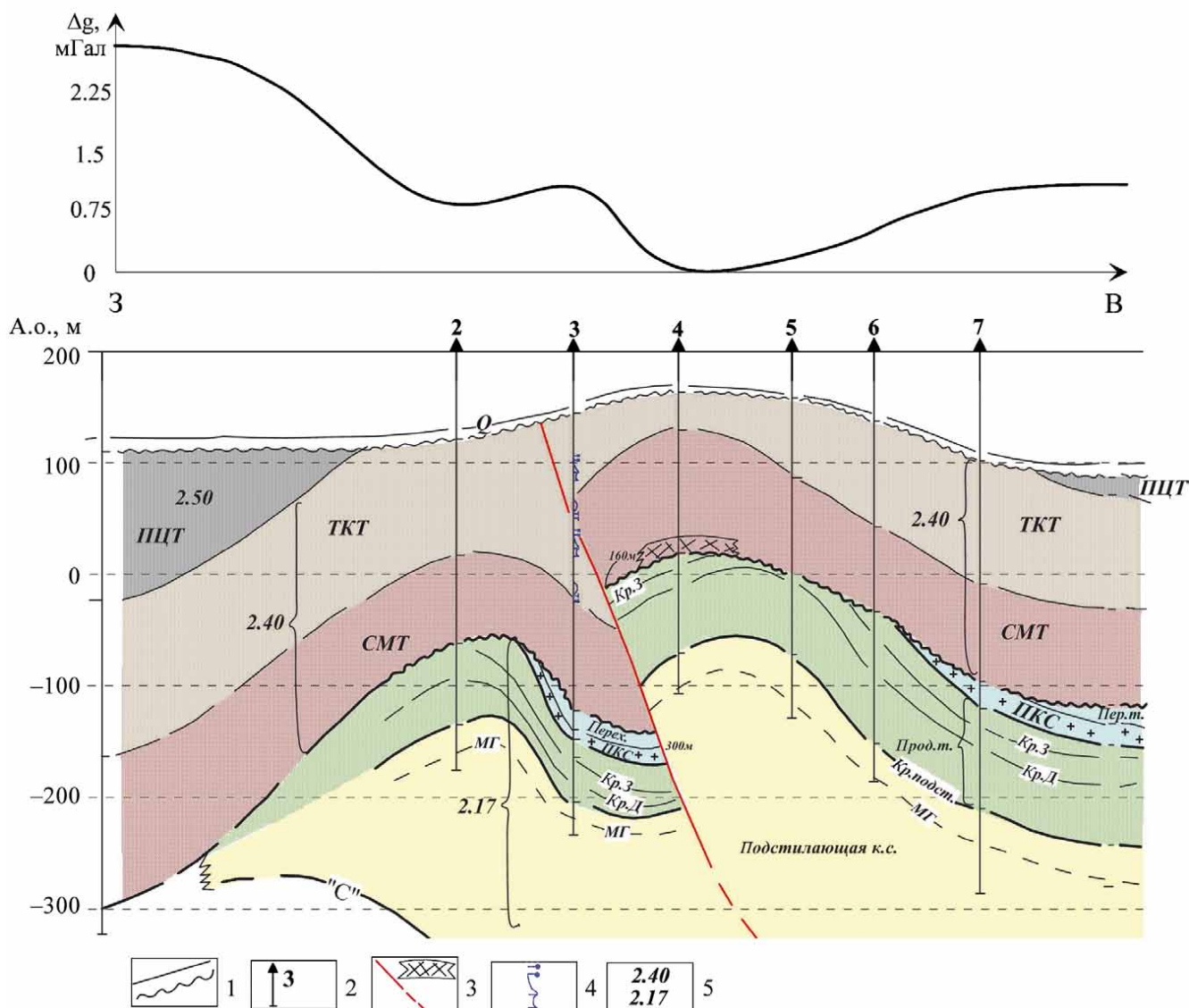


Рис. 2. Геологический разрез и гравитационное поле, обусловленное кровлей соляной толщи.

1 – геологические поверхности; 2 – скважины; 3 – глинисто-гипсовая шляпа, плоскость надвига; 4 – повторяющиеся элементы кривой ГК в автохтоне и аллохтоне; 5 – средняя плотность толщ, г/см³. Толщи: Q – четвертичная, ПЦТ – пестроцветная, ТКТ – терригенно-карбонатная, СМТ – соляно-мергельная, Пер. т. (Перех) – переходная, ПКС – покровная каменная соль, Прод. т. – продуктивная, Кр. 3 – кровля пласта кр. 3, Кр. Д – кровля пласта кр. Д, Кр. подст. – кровля подстилающей соли, “С” – подошва соляной толщи, МГ – маркирующая глина.

Fig. 2. Geological section and gravitational field caused by the roof of the salt layer.

1 – geological surfaces; 2 – wells; 3 – clay-gypsum hat, thrust plane; 4 – repeating elements of the GK curve in autochthon and allochthon; 5 – average thickness density, g/cm³. Strata: Q – Quaternary, ПЦТ – variegated, ТКТ – terrigenous-carbonate, СМТ – salt-marl, Пер. т. – transitional, ПКС – cover rock salt, Прод. т. – productive, Кр. 3 – roof of the formation кр. 3, Кр. Д – roof of the formation кр. Д, Кр. подст. – the roof of the underlying salt, “С” – the sole of the salt layer, МГ – marking clay.

товых и карналлитовых пластах замещался на натрий. В результате в разрезе продуктивной толщи сформировалось тело, состоящее из вторичной каменной соли, имеющее повышенные прочностные характеристики.

О существовавших на этом участке условиях горизонтального сжатия на постседиментацион-

ной стадии свидетельствуют также крутые углы внутрiformационной складчатости в продуктивной толще, зафиксированные в керне скважин и в стенках горных выработок. Наклонная форма замещения согласуется с азимутом падения плоскости надвига и направлением действующих сил с востока на запад, т. е. от Урала к платформе.

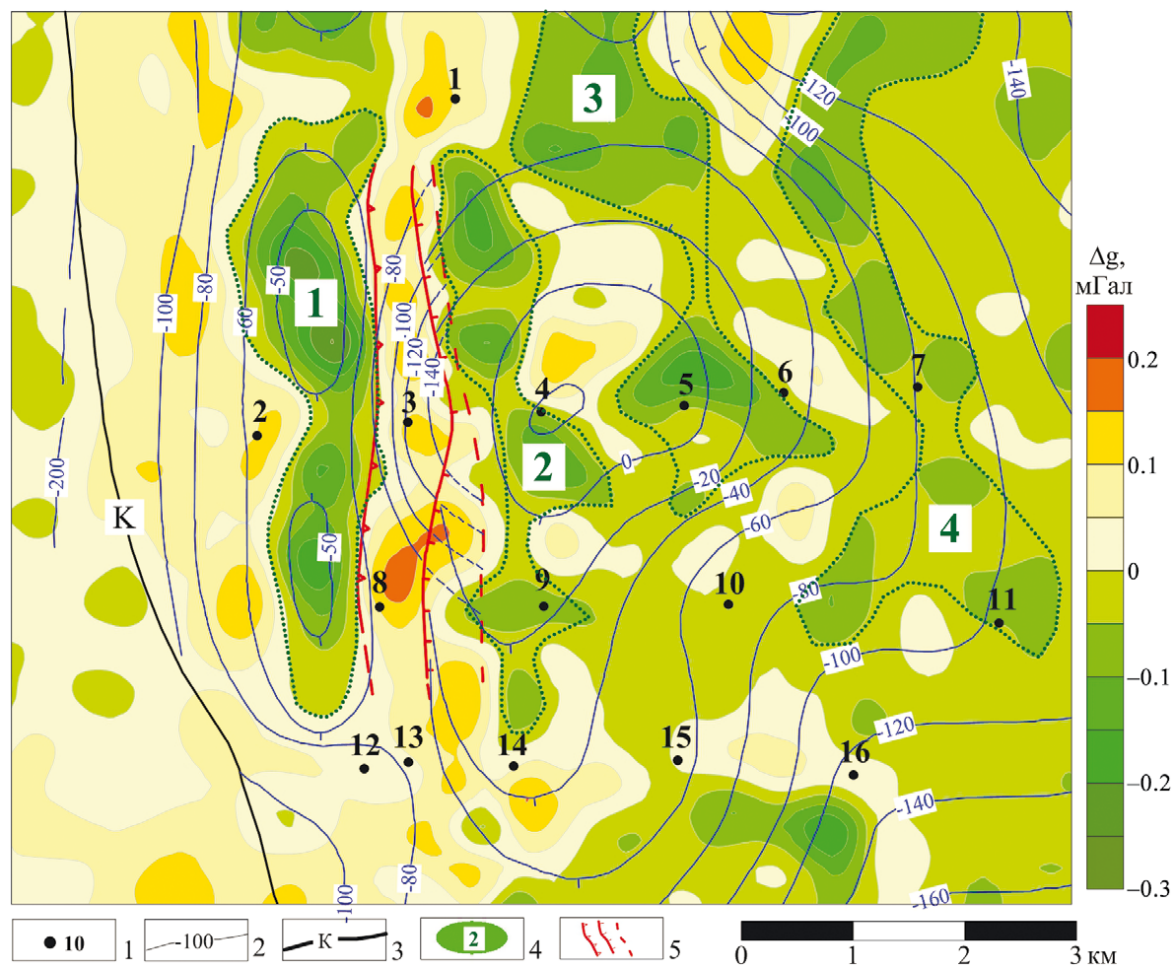


Рис. 3. Трансформанта гравитационного поля, отражающая плотностное строение надсоляной толщи.

1 – скважины, 2 – изогипсы кровли солей по скважинным и гравиметрическим данным, 3 – западная граница распространения калийной залежи, 4 – локальные отрицательные аномалии силы тяжести, 5 – надвиг.

Fig. 3. Transformant of the gravitational field, reflecting the density structure of the oversalt strata.

1 – boreholes, 2 – isohypsum of the salt top according to borehole and gravimetric data, 3 – western boundary of the potash deposit, 4 – local negative gravity anomalies, 5 – thrust.

На участке, включающем в себя северный край зоны замещения, проведена детальная площадная наземно-подземная гравиметрическая съемка. Подземные наблюдения проводились в горных выработках, расположенных в нижней части продуктивной толщи. Несмотря на то что в подземном поле аномалии формируются под влиянием плотностных неоднородностей, залегающих как выше, так и ниже уровня наблюдений, с учетом однородного строения подстилающей соли можно считать, что в данных условиях на разностных трансформантах отражается плотностное строение слоев продуктивного разреза, залегающих выше.

В гравитационном поле, измеренном на земной поверхности (рис. 5а), выделяется малоинтенсивная отрицательная аномалия силы тяжести А, отражающая разуплотненное состояние пород. В поле,

измеренном в горных выработках (рис. 5б), интенсивность данной аномалии существенно больше. Аномалия здесь имеет характерную форму, приписываемую окончанию диагональной системы трещин, которые формируются в зоне сдвига (Стоянов, 1977; Белоусов и др., 1988). Форма выявленной отрицательной аномалии свидетельствует о том, что в гравитационном поле зафиксирована часть диагональной зоны растяжения в левом сдвиге.

Местоположение сдвига приурочено к северной границе тела замещения, которое в условиях горизонтального стресса является концентратором напряжения. В условиях давления с востока пластичные массы с калийными солями, расположенные севернее замещения, перемещались в западном направлении, сминаясь в складки, наблюдаемые в стенках подземных выработок. Менее подвижный

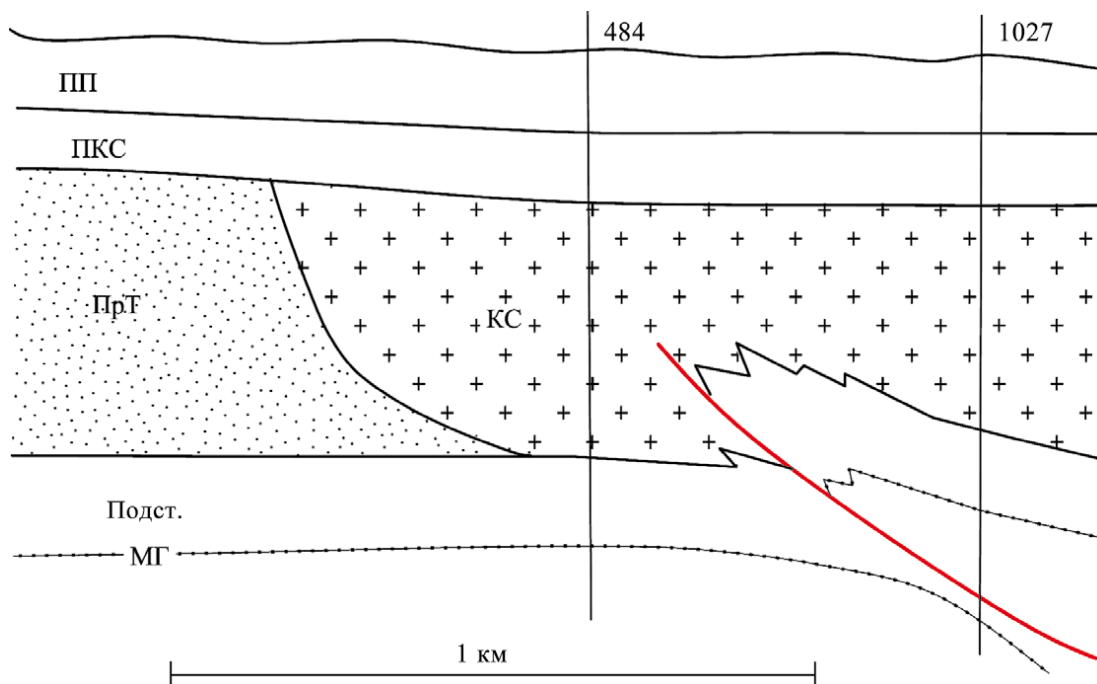


Рис. 4. Геологический разрез зоны замещения продуктивной толщи каменной солью.

Толщи: ПП – переходная пачка, ПКС – покровная каменная соль, ПрТ – продуктивная толща, КС – каменная соль замещения, Подст. – подстилающая каменная соль, МГ – маркирующая глина.

Fig. 4. Geological section of the zone of replacement of the productive strata with rock salt.

Strata: ПП – transitional member, ПКС – integumentary cover rock salt, ПрТ – productive stratum, КС – replacement rock salt, Подст. – underlying rock salt, МГ – marking clay.

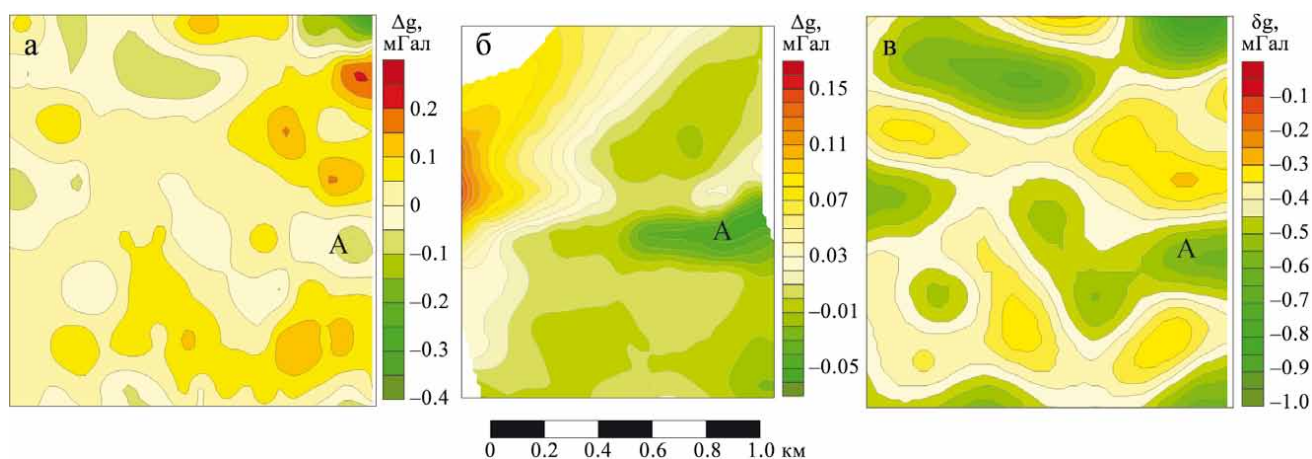


Рис. 5. Локальные аномалии силы тяжести: полученная по результатам наземной съемки (а), в горных выработках (б), динамическая аномалия силы тяжести за период 2008–2013 гг. (в).

Fig. 5. Local anomalies of gravity: obtained from the results of ground survey (a), in mine workings (б), dynamic anomaly of gravity for the period 2008–2013 (в).

жесткий массив замещения “тормозил” толщу, расположенные восточнее его. На контакте жесткого относительно неподвижного массива и пластичных сдвигающихся северных масс образовалась зо-

на срыва-сдвига, фиксирующая дифференцированную скорость перемещения.

Отрицательная аномалия А гравитационного поля, таким образом, позволяет констатировать,

что в продуктивной толще на границе относительно жесткого тела и пластичных масс зафиксирована структура пониженной плотности, обладающая признаками сдвига, параллельного действующим уральским силам. Восточная граница выявленной отрицательной аномалии А в данном случае определяется границей подземной съемки.

Решение обратной задачи гравиметрии показало, что средняя плотность в разуплотненной, очевидно трещиноватой, зоне сдвига-срыва уменьшена на $0.06\text{--}0.07\text{ г/см}^3$. Ширина области максимального разуплотнения пород, зафиксированного в гравитационном поле, составляет 90 м. Трансформанты подземного поля показали, что в несколько изменяющемся виде разуплотнение пород фиксируется до кровли соляной толщи (100 м над уровнем измерений). В надсоляной глинисто-мергелистой толще и выше данное разуплотнение на трансформантах подземного поля не выявляется.

В последующем (через 5 лет), на данной территории вновь проведены наземные гравиметрические исследования. Повторные (мониторинговые) наблюдения поля силы тяжести позволяют выявить динамику процессов деформации породных масс. По результатам повторных наблюдений рассчитывается динамическая аномалия силы тяжести, определяемая как разность между последующими и предыдущими значениями силы тяжести. Особенностью подобных аномалий является их независимость от стационарных (неизменных) плотностных неоднородностей в массиве, обусловленных геологическим строением. Поскольку все неизменные составляющие гравитационного поля в равной степени присутствуют в любой паре наблюдений, динамическая аномалия отражает только конкретный горнотехнический или быстротекущий геологический процесс (Бычков и др., 2017).

На трансформантах динамического поля (разницы полей, измеренных в разное время) участок сдвига проявился в виде отрицательной аномалии А (см. рис. 5в). Уменьшение плотности пород в зоне сдвига за 5 лет составило 0.1 г/см^3 . Это свидетельствует о том, что за период между наземными съемками в районе сдвига уменьшилась плотность пород, т. е. процесс разуплотнения в зоне сдвига происходит и в настоящее время, фиксируя силовое влияние Урала. Данный факт соответствует опубликованным данным (Плюснин, 1969) о том, что на западном склоне Северного и Среднего Урала на неотектоническом этапе (неоген-четвертичное время) зона надвигов является тектонически активной и ее динамическое влияние на Предуральский прогиб сохраняется в настоящее время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показанные случаи геологических неоднородностей, выявленных в соляной толще по гравиметрическим данным, свидетельствуют о том, что геодинамическое влияние Урала – один из факторов формирования в ней локальных полей напряжений, вызывающих вторичные преобразования пород. Кунгурская толща, сложенная соляными породами, обладает высокой пластичностью и реологической податливостью, низкими прочностными свойствами по сравнению с другими палеозойскими толщами, состоящими преимущественно из карбонатов, пород весьма жестких и крепких. Обладая высокой пластичностью и низкими прочностными свойствами, толща солей представляет собой в силовом поле Предуральского прогиба автономную геодинамическую систему, где возникающие при воздействии Уральской коллизионной зоны механические напряжения реализовывались в виде деформационных структур, в том числе дизъюнктивного характера. С помощью гравиметрического метода внутри соляного комплекса обнаружены структуры, сформированные под динамическим влиянием Урала, как отклик геологической среды на действие силового поля.

Изложенные результаты исследований согласуются с выводами других авторов. В работе (Коротеев и др., 2020) утверждается, что Предуральский прогиб выступает территорией, где в палеозойской и мезозой-кайнозойской истории развития активно проявлялись внутриплитные геодинамические процессы. Согласно работам (Плюснин, 1969; Бачманов и др., 2001), зона Урала является тектонически активной в неоген-четвертичное время. Геологические толщи разной реологии под влиянием встречного движения Русской и Западно-Сибирской платформ испытывали воздействие сжимающих сил (Зубков и др., 2015). На востоке Предуральского прогиба развивались надвиги, западнее – складки и другие локальные деформационные структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бачманов Д.М., Говорова Н.Н., Скобелев С.Ф., Трифонов В.Г. (2001) Неотектоника Урала (Проблемы и решения). *Геотектоника*, (5), 61-75.
- Белоусов В.В., Вихерт А.В., Гончаров М.А. (1988) Методы моделирования в структурной геологии. М.: Недра, 222 с.
- Буданов Н.Д. (1957) Роль новейшей тектоники и связанных с ней трещинных нарушений в гидрогеологии Урала. *Сов. геология*, **58**, 24-29.
- Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А. (2017) Гравиметрический мониторинг рудников Верхнекамского месторождения калийных солей. *Геофизика*, (5), 10-16.
- Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П. (2018) Прикладные задачи гравиметрии при обеспечении безопасности отработки месторождения раствори-

- мых солей. *Геофизика*, (5), 4-12.
- Валиулов Р.Л. (2010) Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния земной коры Урала во времени. *Литосфера*, (2), 145-156.
- Зубков А.В., Селин К.В., Сентябов С.В. (2015) Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры. *Литосфера*, (6), 116-129.
- Казанцева Т.Т. (1987) Аллохтонные структуры и формирование земной коры Урала. М.: Наука, 158 с.
- Камалетдинов М.А. (1974) Покровные структуры Урала. М.: Наука, 228 с.
- Камалетдинов М.А., Казанцева Т.Т., Казанцев Ю.В., Постников Д.В. (1991) Шарьяжно-надвиговая тектоника литосферы. М.: Наука, 255 с.
- Копп М.Н., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А., Тверитинова Т.Ю., Васильев Н.Ю., Корчемагин В.А., Мострюков А.О., Иоффе А.И. (2014) Новейшее поле напряжений востока Русской плиты и Урала по макро- и мезоструктурным данным. *Геотектоника*, (4), 23-43.
- Коротеев В.А., Нечехин В.М., Душин В.А., Волчек Е.Н. (2020) Особенности формирования и геодинамическая карта Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии. *Литосфера*, **20**(5), 607-629. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-607-629>
- Новоселицкий В.М., Чадаев М.С., Погадаев С.В., Кутин В.А. (1998) Метод векторного сканирования. *Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа*. Пермь: ПГУ, 54-59.
- Плюснин К.П. (1969) Шарьяжи западного склона Северного и Среднего Урала, их возраст и структурное положение. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (4), 133-137.
- Простолупов Г.В., Новоселицкий В.М., Конешов В.Н., Щербинина Г.П. (2006) Об интерпретации гравитационного и магнитного полей на основе трансформации горизонтальных градиентов в системе VECTOR. *Физика Земли*, (6), 90-96.
- Стоянов С.С. (1977) Механизм формирования разрывных зон. М.: Недра, 144 с.
- Щербинина Г.П., Простолупов Г.В. (2018) Тектоника области сочленения Восточно-Европейской платформы и Соликамской депрессии Предуральского прогиба. *Вестн. Перм. ун-та. Геология*, **17**(3), 200-207.
- ciated fractured faults in the hydrogeology of the Urals. *Sovetsk. Geologiya*, **58**, 24-29. (In Russ.)
- Bychkov S.G., Michurin A.V., Simanov A.A. (2017) Gravitometric monitoring of mines of the Verkhnekamsk potash deposit. *Geofizika*, (5), 10-16. (In Russ.)
- Bychkov S.G., Prostolupov G.V., Shcherbinina G.P. (2018) Applied problems of gravimetry in ensuring the safety of mining a field of soluble salts. *Geofizika*, (5), 4-12. (In Russ.)
- Kamaletdinov M.A. (1974) Cover structures of the Urals. Moscow, Nauka Publ., 228 p. (In Russ.)
- Kamaletdinov M.A., Kazantseva T.T., Kazantsev Yu.V., Postnikov D.V. (1991) Sharyazh-thrusting tectonics of the lithosphere. Moscow, Nauka Publ., 255 p. (In Russ.)
- Kazantseva T.T. (1987) Allochthonous structures and formation of the Earth's crust of the Urals. Moscow, Nauka Publ., 158 p. (In Russ.)
- Kopp M.N., Verzhbitsky V.E., Kolesnichenko A.A., Tveritina T.Yu., Vasil'ev N.Yu., Korchemagin V.A., Mostryukov A.O., Ioffe A.I. (2014) The latest stress field of the east of the Russian plate and the Urals according to macro- and mesostructural data. *Geotektonika*, (4), 23-43. (In Russ.)
- Koroteev V.A., Necheukhin V.M., Dushin V.A., Volchek E.N. (2020) Features of formation and geodynamic map of the Ural-Timan-Paleoasiatic segment of Eurasia. *Lithosphere (Russia)*, **20**(5), 607-629. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-607-629> (In Russ.)
- Novoselitsky V.M., Chadaev M.S., Pogadaev S.V., Kutin V.A. (1998) Vector scanning method. *Geophysical methods of search and exploration of oil and gas deposits*. Perm, PSU Publ., 54-59. (In Russ.)
- Plyusnin K.P. (1969) Thrusts of the western slope of the Northern and Middle Urals, their age and structural position. *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, (4), 133-137. (In Russ.)
- Prostolupov G.V., Novoselitskiy V.M., Koneshov V.N., Shcherbinina G.P., Gravity and magnetic field interpretation based on transformations of horizontal gradients in the vector system. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, **42**(6), 530-535 (translated from *Fizika Zemli*, (6), 90-96).
- Shcherbinina G.P., Prostolupov G.V. (2018) Tectonics of the joint area of the East European Platform and the Solikamsk depression of the Pre-Ural trough. *Vestn. Perm. Univ. Geologiya*, **17**(3), 200-207. (In Russ.)
- Stoyanov S.S. (1977) The mechanism of formation of discontinuous zones. Moscow, Nedra Publ., 144 p. (In Russ.)
- Valiulov R.L. (2010) Regularities of the formation of the stress-strain state of the Earth's crust of the Urals in time. *Lithosphere (Russia)*, (2), 145-156. (In Russ.)
- Zubkov A.V., Selin K.V., Sentyabov S.V. (2015) Regularities of formation of the stress state of the rock mass in the upper part of the Earth's crust. *Lithosphere (Russia)*, (6), 116-129. (In Russ.)

REFERENCE

- Bachmanov D.M., Govorova N.N., Skobelev S.F., Trifonov V.G. (2001) Neotectonics of the Urals (Problems and solutions). *Geotektonika*, (5), 61-75. (In Russ.)
- Belousov V.V., Vikhert A.V., Goncharov M.A. (1988) Methods of modeling in structural geology. Moscow, Nedra Publ., 222 p. (In Russ.)
- Budanov N.D. (1957) The role of recent tectonics and asso-