

## СТРУКТУРА ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ

Г.П. Щербинина

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

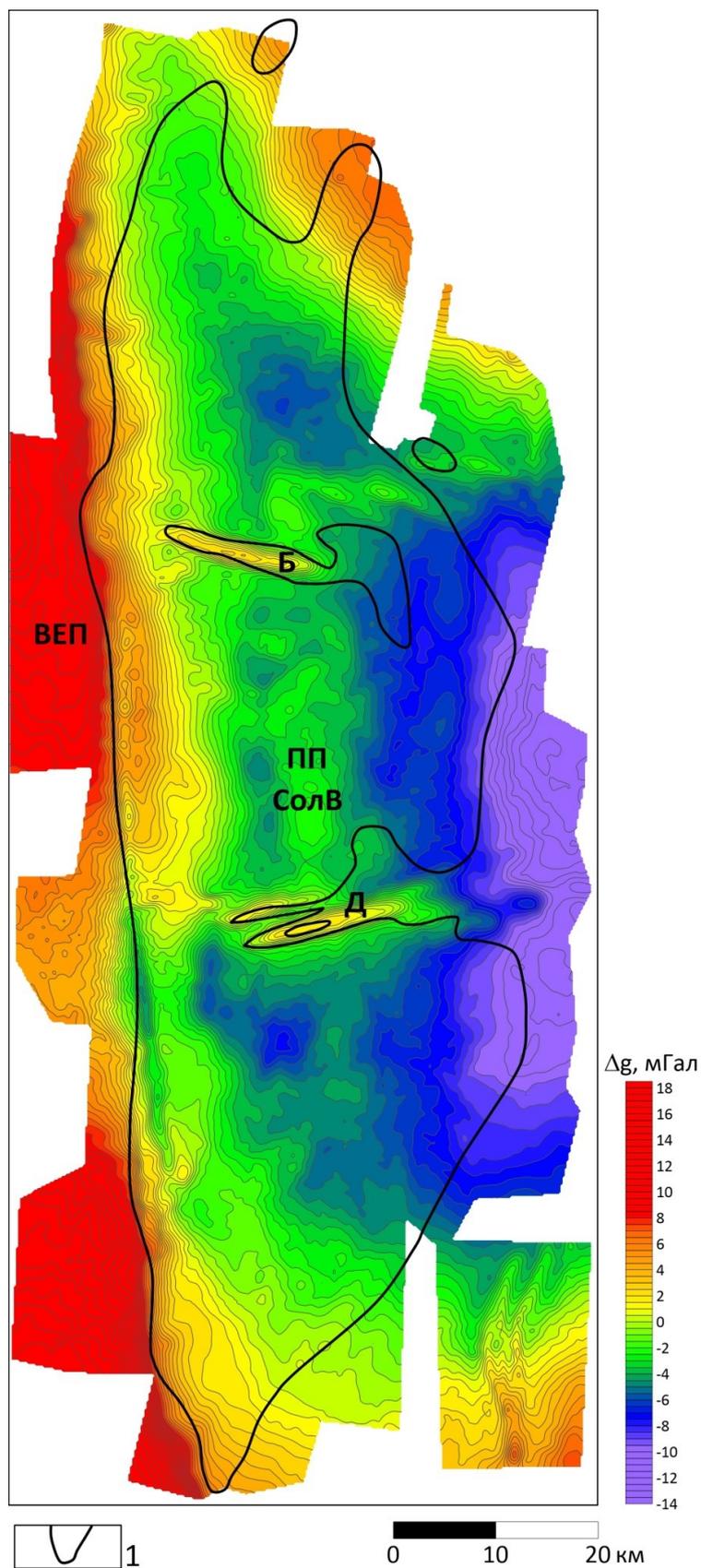
**Аннотация:** Рассмотрена структура гравитационного поля Соликамской впадины Предуральяского прогиба. Среди визуально наблюдаемых аномалий выделено три ранга (порядка). В основу их выделения положена классификация источников гравитационных аномалий по их роли в истории геологического развития территории.

**Ключевые слова:** гравитационное поле, аномалия, тела разной литологии, тектонические структуры, плотность пород.

Каждый элемент земной коры характеризуется своим специфическим гравитационным полем, которое формируется особенностями строения данного элемента. Соликамская депрессия Предуральяского прогиба проявляется обширной отрицательной аномалией гравитационного поля с локальными аномалиями разных порядков. Территория, представленная на рис. 1, охватывает центральную часть Соликамской депрессии, в основном область распространения калийных солей. Данный рисунок представляет объединенную гравиметрическую карту, построенную на основе съемок, проводившихся в разное время с целью решения как нефтеразведочных задач, так и изучения соляной толщи.

Генеральное изменение поля на данной территории – уменьшение его интенсивности в восточном направлении. Амплитуда изменения с запада на восток составляет 20-22 мГал. Средний градиент изменения 0.5 мГал на 1 км. Минимальные значения поля наблюдаются на востоке Соликамской впадины перед Уральскими складками. На север, юг и к западной границе впадины значения поля увеличиваются. Обширная отрицательная аномалия клиньями уходит на север и юг, формируя угловатую форму общей отрицательной аномалии. На востоке Соликамской депрессии отрицательное поле, понижаясь, уходит под уральские складки. Минимальные значения гравитационного поля территориально соответствуют наибольшему погружению поверхности кристаллического фундамента и нижней части осадочного чехла, сформированной в платформенный период развития территории.

Поверхность фундамента в районе передовых складок находится на глубине 5.5-6 км, на западной границе Предуральяского прогиба на глубине около 4 км [1, 2, 3]. Кроме этого в формирование низких значений поля на востоке Соликамской впадины вносят вклад следующие обстоятельства литологического и геометрического характера: увеличение мощности среднего терригенного комплекса, включающего отложения рифея и венда [3] на 800-1000 м, обладающего пониженной плотностью по сравнению с карбонатными породами; погружение в восточном направлении палеозойского карбонатного литолого-стратиграфического комплекса высокой плотности [3]; значительное увеличение мощности артинских моласс, обладающих пониженной плотностью [3]; изменение литологического состава в структурно-фациальных зонах кунгурского яруса от платформы к Уралу от карбонатно-сульфатного и сульфатно-карбонатного типа разреза до глинисто-сульфатно-галогенного в приосевой части впадины и сульфатно-терригенного на восточном борту Предуральяского прогиба [3], где повышение роли в разрезе глинистых и обломочных разностей определило пониженную плотность кунгурских отложений. Общую отрицательную аномалию гравитационного поля (рис. 1) в Соликамской впадине отнесем к аномалии первого порядка.



**Рис. 1.** Карта гравитационного поля  $\Delta g_{\text{Буге}}$  ( $\sigma=2.3 \text{ г/см}^3$ ). 1 – границы распространения калийной залежи. ВЕП – Восточно-Европейская платформа, ПП – Предуральский прогиб, СолВ – Соликамская впадина, Д – положительные аномалии от системы Дуринских впадин, Б – положительные аномалии от системы Боровицких впадин

Далее рассмотрим аномалии второго порядка. В западной части рассматриваемой территории сочленение Восточно-Европейской платформы и Предуральского прогиба отмечается узкой (ширина 4-7 км) гравитационной ступенью амплитудой в 6-7 мГал (аномалия 1 на рис. 2), которая в меридиональном направлении распространяется по всей описываемой территории. В средней части площади с востока к ступени примыкает узкая (шириной 1.5-2.5 км) отрицательная аномалия 2 (рис. 2), соответствующая Камско-Вишерскому соляному валу, который сформировался под влиянием «скупивания» соляных масс перед жестким препятствием края платформы в результате геодинамического воздействия Урала. Амплитуда отрицательной аномалии 2-4 мГал. Локальные аномалии в пределах данной линейной структуры соответствуют отдельным соляным вершинам.

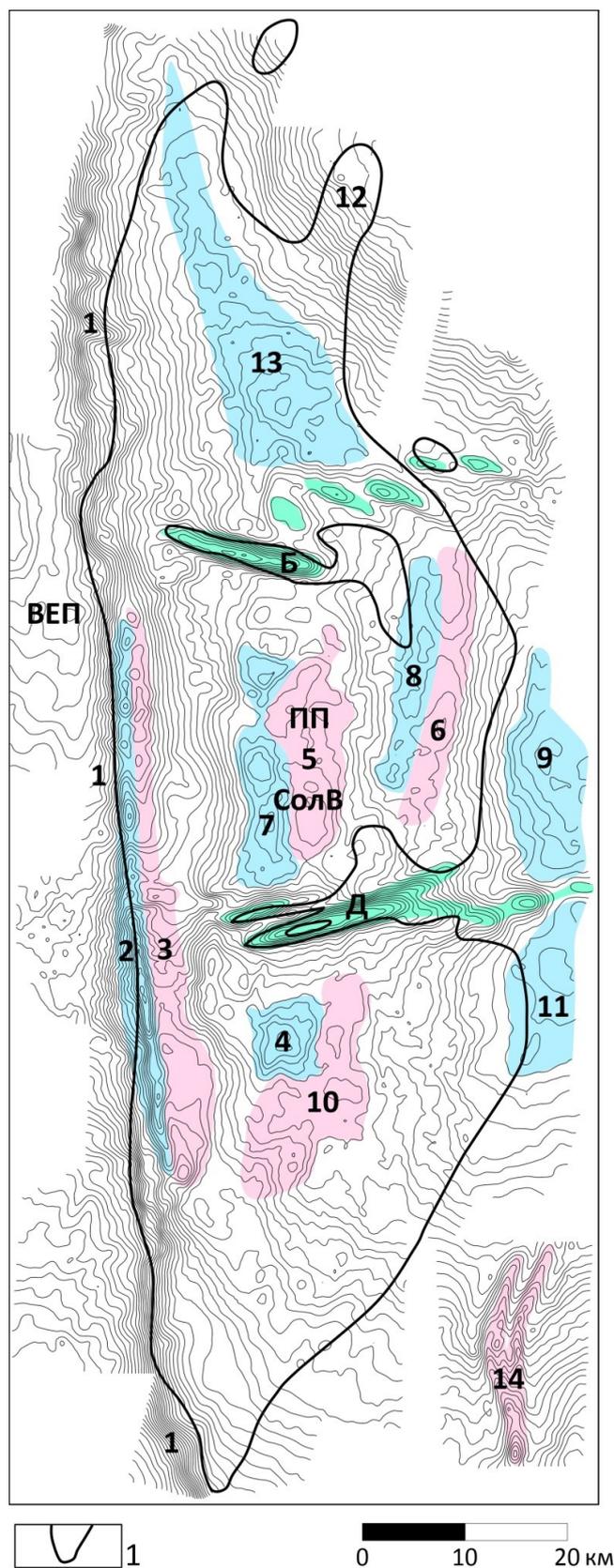
Положительная аномалия 3 (рис. 2), примыкающая с востока к линейной отрицательной аномалии, отражает наличие Камского прогиба в кровле соляной толщи. Ширина положительной аномалии 3-4 км, амплитуда 1-2 мГал. Соляной вал (аномалия 2) и Камский прогиб (аномалия 3) представляют парагенез взаимообусловленных структур [4].

На карте гравитационного поля (рис. 2) резко выделяются две серии положительных аномалий, поперечных Уралу, отнесенные нами также к аномалиям второго порядка. Это аномалии от Дуринской и Боровицкой систем впадин в кровле соляной толщи. Длина серий аномалий 33-35 км. Впадины имеют эрозионно-тектоническое происхождение. Они заполнены породами глинисто-терригенного состава высокой по сравнению с солью плотности. Впадины, сформированные в кровле соляного комплекса являются важным показателем нарушенности осадочного чехла и кристаллического фундамента Предуральского прогиба. Исследователи [5, 6, 7] определяют данные системы нарушений как глубинные разломы и относят их к правому и левому горизонтальным сдвигам, поперечным Уралу. Глубинные сдвиги фундамента в кровле соляного комплекса проявились в виде кулис из отдельных впадин. Серии положительных аномалий гравитационного поля, таким образом, представляют кулисное проявление в осадочном чехле глубинных сдвиговых зон, которые в галогенной толще подвергались растворению и выщелачиванию. Участки растворения заполнялись тяжелыми терригенно-глинистыми породами [7].

Остальные более мелкого масштаба гравитационные аномалии, наблюдаемые на карте поля силы тяжести, вписанные в структуру аномалий первого и второго порядка, определяющих общую структуру Соликамской впадины, отнесем к аномалиям третьего порядка.

Территория между Дуринскими и Боровицкими впадинами, т.е. в центральной части Соликамской депрессии, характеризуется наличием вытянутых в меридиональном направлении положительных и отрицательных аномалий гравитационного поля, фиксирующих его волнообразную форму (рис. 2). Ширина аномалий около 5 км при длине 23-25 км. В геологическом строении аномалии соответствуют впадинам и валам, сформированным в кровле соляного комплекса, т.е. данные гравитационные аномалии формируются неровностями кровли соляной поверхности. Основной причиной образования волнообразной формы кровли соли, очевидно, явилась тектоника – геодинамические условия сжатия, распространявшиеся от Уральского орогена в западном направлении [4, 8].

Западная отрицательная аномалия 7 (рис. 2) соответствует линейно вытянутому Соликамскому поднятию в кровле соли, включающему три соляных купола – Поповский, Рудничный, Клестовский [2]. Восточная отрицательная аномалия 8 (рис. 2) отражает наличие Харюшинского поднятия, включающего также три соляных купола. Амплитуда перечисленных аномалий составляет 1-1.5 мГал.



**Рис. 2.** Карта гравитационного поля  $\Delta g_{\text{Буге}}$  ( $\sigma=2.3 \text{ г/см}^3$ ), сечение изоаномал 0.5 мГал  
 1 – граница распространения калийной залежи. ВЕП – Восточно-Европейская платформа,  
 ПП – Предуральский прогиб, СолВ – Соликамская впадина, Д – положительные аномалии от системы  
 Дуринских впадин, Б – положительные аномалии от системы Боровицких впадин,  
 2, 3, 4, 5 ... – положительные и отрицательные аномалии

Положительная аномалия, наблюдаемая между отрицательными аномалиями 7 и 8 имеет ширину 7-8 км при длине около 22 км, амплитуда аномалии около 2 мГал. Она обусловлена наличием в кровле соляного комплекса Тверитинской мульды – впадины амплитудой 130 м.

Осокинскому прогибу (аномалия 6 на рис. 1) глубиной 70 м, осложняющему кровлю соляной толщи, соответствует положительная аномалия шириной около 5 км, амплитудой 2-2.5 мГал.

Восточнее аномалий, формирующих волнообразный тренд на карте гравитационного поля, выявляется обширная отрицательная аномалия 9, которая характеризуется наиболее низкими значениями поля на всей рассматриваемой территории. Амплитуда аномалии около 4 мГал. Это понижение гравитационного поля на востоке Соликамской впадины соответствует структурному понижению поверхности кристаллического фундамента и углубленному залеганию плотных карбонатных толщ палеозоя, а также большой мощности легких терригенных молассовых пород.

К югу от Дуринских аномалий отчетливо видна положительная аномалия 10, создаваемая Дурымманской впадиной в кровле соляной толщи. Простирается аномалия в северной части, соответственно, и впадины в кровле соли, меридиональное, а затем юго-западное. Дурымманская впадина в кровле соляной толщи имеет ширину от 4 до 8 км, амплитуду 60-80 м. Положительная аномалия в гравитационном поле в разных частях вытянутой впадины в зависимости от ее глубины и ширины характеризуется амплитудой от 0.7 мГал до 1.2 мГал, шириной от 5.5 км до 9.5 км.

К западу от северной части Дурымманской впадины наблюдается отрицательная аномалия 4 изометричной формы. Она формируется положительной формой кровли соли – Березниковским соляным куполом. Амплитуда купола около 100 м, горизонтальные размеры 7-8 км. В морфологии гравитационного поля соляной купол таких размеров создает отрицательную аномалию амплитудой 2.2 мГал, диаметром около 10 км.

Обширная отрицательная аномалия 11 (рис. 2), наблюдаемая на востоке Соликамской впадины, может быть объяснена близким расположением к земной поверхности (до абсолютных отметок +50 м) отрицательной гравитационной границы, приуроченной к кровле соляной толщи.

Севернее Боровицких впадин аномальное гравитационное поле в редукции Буге имеет более простое строение. Отчасти это может быть обусловлено более редкой сетью пунктов измерения гравитационного поля, чем в южных сегментах. В центральной части северного сегмента в субмеридиональном направлении протягивается единая обширная отрицательная аномалия 13. Амплитуда аномалии в северной ее части составляет 4-6 мГал, в южной – 10 мГал. У данной аномалии наблюдается общее понижение значений поля в юго-восточном направлении на 6 мГал.

Таким образом, поле силы тяжести в редукции Буге, представленное на рисунках 1 и 2 ясно показывает, что Соликамская впадина в меридиональном направлении делится поперечными широтными аномалиями (Боровицкой и Дуринской), производными от наличия глубинных разломов, на три части, которые отличаются друг от друга морфологией гравитационного поля, значит и геологическим строением.

Таким образом, среди наблюдаемых в гравитационном поле аномалий в Соликамской впадине можно выделить три ранга, которые различаются по масштабу источников, влияющих на тектоническое строение и развитие территории. Аномалия первого ранга это общее понижение поля на восток, отражающее погружение под горноскладчатое сооружение Урала окраины Восточно-Европейской платформы. Аномалия второго ранга – аномалия, отделяющая Предуральский прогиб от Восточно-Европейской платформы. Это меридиональная ступень, простирающаяся вдоль всей Соликамской впадины. Понижение поля при переходе от платформы в Предуральский

прогиб составляет 4-8 мГал. Степень осложняется линейной отрицательной аномалией, обусловленной наличием соляного Камско-Вишерского вала, причиной которого является сгруживание соляных масс у восточной границы платформы при субширотном сжатии Предуральского прогиба на коллизионной стадии взаимодействия платформы и орогена [4, 9]. К аномалиям второго ранга отнесены также две серии положительных широтных аномалий в центральной части Соликамской депрессии, обусловленные наличием впадин в кровле соляной толщи, которые сформировались над глубинными разломами фундамента. К аномалиям третьего ранга отнесены положительные и отрицательные незначительной амплитуды аномалии гравитационного поля, наблюдаемые на остальном пространстве территории (рис. 2). Они соответствуют в основном структурам, наблюдаемым в кровле соляной толщи – валам, куполам и впадинам.

### **Заключение**

В изложенных выше материалах определены основные элементы геологического строения, которые формируют общую морфологию гравитационного поля Соликамской впадины (рис. 1, 2). Это погружение поверхности кристаллического фундамента и нижней плотной части осадочного чехла в восточном направлении под Уральские структуры; наличие в восточной части Соликамской депрессии нижнепермского терригенного клина относительно пониженной плотности и с увеличивающейся в сторону Урала мощностью; наличие в верхней части осадочного чехла Соликамской впадины соляной линзы большой мощности, распространенной практически по всей площади. Это факторы литологического характера.

Структурные (тектонические) факторы, формирующие морфологию гравитационного поля, следующие. Это граница Восточно-Европейской платформы и Предуральского прогиба, простирающаяся в меридиональном направлении через всю рассматриваемую территорию. Четкое проявление границы в виде гравитационной ступени обусловлено контактом кунгурских сульфатов и карбонатов платформы с соляными породами прогиба. Другим тектоническим фактором, определяющим морфологию гравитационного поля, являются впадины Дуринской и Боровицкой систем, ортогональные Уралу. К структурному фактору формирования наблюдаемых визуальными аномалиями гравитационного поля относятся также положительные и отрицательные структуры (валы и впадины) в кровле соляной толщи.

Гравитационное поле Соликамской впадины, таким образом, формируют как литологические, так и структурные особенности строения. Деление факторов на литологические и структурные условно, т.к. часто они являются проявлением одного и того же объекта в гравитационном поле. Гравитационное поле – суперпозиция эффектов от разных источников – отражает строение геологической среды, ее сложную пространственную конструкцию, является источником информации о геологическом устройстве территории.

Кроме геологических структур, узнаваемых в наблюдаемом поле силы тяжести, описанных выше, т.е. структур, имеющих значительные гравитационные эффекты проявляющиеся в морфологии поля, внутри геологических толщ находятся неоднородности, влияние которых в наземном поле визуально не наблюдается. К таким скрытым объектам относятся следующие плотностные неоднородности, возмущающие внутренне гравитационное поле осадочного чехла. Это франско-турнейские рифогенные массивы и структуры их облекания. Рифогенные массивы с синхронными им депрессионными отложениями представляют внутриформационный комплекс, заключенный в толще палеозойских карбонатов. Комплекс имеет изменяющуюся по простиранию мощность и изменчивый литологический состав. Глубина кровли данного рифосодержащего ком-

плекса на западе Соликамской впадины составляет около 1900 м, увеличивается до 2500 м на востоке. И хотя тела рифогенных массивов создают положительный гравитационный эффект до 1.5 мГал [10], в наземном поле он визуально не различим.

Не проявляются визуально в поле и эффекты от нижнепермских рифов в силу своих небольших горизонтальных и вертикальных размеров.

Скрыты от визуального наблюдения в морфологии гравитационного поля также локальные неровности гравиактивных поверхностей внутри осадочного чехла – тектонические структуры разной природы, а также небольшие объекты с отличающейся от окружающего пространства плотностью.

Обзор геологического строения Соликамской впадины и анализ морфологии аномального гравитационного поля в редукции Буге позволяет сделать вывод, что в гравитационном поле визуально проявляются только некоторые особенности пространственного распределения плотности геосреды.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (рег. номер 1022040500598-4-1.5.6).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. – Пермь: ИПК «Звезда», 2001. – 108 с.
2. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2001. – 429 с.: ил.
3. Новоселицкий В.М., Проворов В.М., Шилов А.А. Физические свойства пород осадочного чехла севера Урало-Поволжья. – Свердловск: Урал. рабочий, 1985. – 136 с.
4. Щербинина Г.П., Простолупов Г.В. Тектоника области сочленения Восточно-Европейской платформы и Соликамской депрессии Предуральяского прогиба / Г.П. Щербинина, Г.В. Простолупов // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Геология. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 200-207. DOI: 10.17072/psu.geol.17.3.200.
5. Чайковский И.И. Основные этапы формирования тектонических нарушений в водозащитной толще Верхнекамского калийного месторождения / И.И. Чайковский // Горн. журн. – 2008. – № 10. – С. 41-44.
6. Кассин Г.Г., Филатов В.В. Динамика Дуринского прогиба по гравиметрическим данным // Геофизические работы при региональных и геологосъемочных исследованиях на Урале. – Свердловск, 1989. – С. 28-34.
7. Щербинина Г.П. Процессы сформировавшие Дуринскую систему впадин / Г.П. Щербинина // Проблемы безопасности и совершенствование горных работ. (Мельниковские чтения): тез. докл. Междунар. конф. / ГИ УрО РАН [и др.]. – Пермь, 1999. – С. 251-252.
8. Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. – М.: Наука, 1974. – 230 с.
9. Казанцева Т.Т. Аллохтонные структуры и формирование земной коры Урала. – М.: Наука, 1987. – 158 с.: ил.
10. Щербинина Г.П. Проявление Франско-турнейских рифогенных массивов в плотностном строении верхней части разреза Соликамской впадины // Горное эхо. – 2020. – № 3 (80). – С. 98-99. – DOI: 10.7242/echo.2020.3.19.