

**И.И. Чайковский, М.В. Бубнова**  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

## ГЕОХИМИЯ ПЕЛИТОМОРФНЫХ ПОРОД СОЛИКАМСКОЙ СВИТЫ

Показана общая геохимическая специфика соликамской свиты, залегающей на кунгурских солях Верхнекамского месторождения, в титановом минимуме и селен-кадмий-теллурическом максимуме. Основная часть литофильных, халькофильных и сидерофильных элементов связана с иллитом, содержание которого по разрезу вначале снижается, а затем повышается, что объясняется трансгрессией и последующим отступлением моря. Меньшая часть связана изоморфно с карбонатным (с доломитом Mo и Pd, с кальцитом – TR) или сульфатным составом (Sr) и связанным с ним сульфат-редукцией (As, Te, Ru, Rh, Hg, Re). Показано, что породы надсолевых отложений обеднены литофильными элементами, обогащены легкоплавкими благородными металлами, что наряду с отсутствием европиевого минимума свидетельствует о существенно базальтоидном составе петрофонда, что согласующийся с фемической специализацией уральского орогена. Отмечено, что вверх по разрезу происходит постепенная «континентализация» состава осадков, проявленная в росте содержания литофилов, в том числе за счет алевропсаммитового материала.

*Ключевые слова:* Соликамская впадина, соликамская свита, геохимия малых элементов.

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2021.286**

Отложения соликамской (и шешминской свит), залегающие на кунгурских солях Верхнекамского месторождения, согласно общей стратиграфической шкале России (ОСШ) относятся к уфимскому ярусу. Реконструкция палеогеографических условий формирования надсолевых комплексов Соликамской впадины показывает [4], что накопление нижнесоликамских пород соляно-мергельной толщи (СМТ) происходило в периодически пересыхающем лагунно-морском бассейне, верхнесоликамских терригенно-карбонатной толщи (ТКТ) – в морском, в который с востока впадали речные дельты, а шешминских пестроцветной толщи (ПЦТ) – в континентальной обстановке.

В восточной части Соликамской впадины (Изверский участок, скв. 1119) поступление пестроцветных осадков началось несколько раньше шешминского времени, что позволяет разделить на этом участке разрез верхнесоликамской подсвиты на две части:

собственно терригенно-карбонатную (ТКТ1) и пестроцветную (ТКТ2). Пестроцветная толща на этом участке не сохранилась [5].

Для геохимической характеристики пород соликамской свиты было отобрано 42 образца пелитоморфных пород (аргиллиты, глины, мергели, карбонатолиты), которые предварительно исследовались на стереомикроскопе Leica MZ16. Валовой химический анализ пород определялся на сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 LMN с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Oxford Instruments INCA Energy 250/X-max 20 (аналитик Е.П. Чиркова) путем площадного сканирования. Содержание малых элементов определялось на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Aurora M90 на геологическом факультете ПГНИУ (аналитики – М.А. Волкова и А.Ю. Пузик).

Определение валового состава пород и пересчет на нормативные фазы (кальцит, доломит, глинистые минералы, гипс) позволило проследить их вариации по разрезу скважины (рис. 1). Так, для кальцита характерно постепенное возрастание вверх по разрезу от СМТ до ТКТ-1, с переходом в ТКТ-2 значения несколько понижаются, но в целом тенденция к возрастанию сохраняется. Доломит, напротив, имеет самые высокие значения в СМТ, более низкие вариации в ТКТ-1 и самые низкие в ТКТ-2, что в целом согласуется с затуханием эвапоритовой седиментации в бассейне. Иллит имеет дугообразное распределение с наименьшим содержанием в верхней части СМТ. Первая мода связана со сменой эвапоритовой седиментации в краевом бассейне морской, а вторая с интервенцией в него континентальных пестроцветных осадков. Для гипса характерно общее убывание содержания от СМТ до ТКТ-2 с локальными пиками в СМТ.

Сопоставление кривых распределения малых элементов по разрезу схожи с таковыми определенных пороодообразующих минералов. Так Fe, Co, Pt, Ni, Cu, Tl, Bi, Pb, Sb, Ge, Ag, Ga, Li, Mn, Nb и W характеризуются таким же типом кривых, как и у иллита (рис. 2), что позволяет предполагать их нахождение в сорбированной форме глинистых минералов. Кривые распределения Mo и Pd по разрезу относительно близки таковым доломита (рис. 3). Предполагается, что рост магнезиальности вод бассейна вызвал не только осаждение доломита, но и гибель морской биоты, органическое вещество которых могло концентрировать данные элементы. Распределения содержаний редких земель, соответствуют таковому кальцита, что объясняется изоморфным замещением кальция. As, Sr, Te, Ru, Rh, Hg и Re имеют такой же характер кривых распределения, как и у гипса, что позволяет предполагать их изоморфную природу (Sr) или осаждение в результате сульфат-редукции, пространственно

тяготеющей к прослоям сульфатов.

Общую «континентализацию» характеризует возрастание содержаний вверх по разрезу от СМТ до ТКТ-2 литофильных элементов: титана, тантала, циркония, олова, бария, цинка, кадмия, индия, цезия, гафния, бериллия, что отражает увеличением доли алевропсаммитового материала сносимого с суши.

Для анализа геохимической специализации надсолевых отложений значения содержаний малых элементов были нормированы на кларки земной коры и хондритов [6]. Сопоставление показало, что в целом исследуемые породы обеднены малыми элементами. Особенно низкие значения (на два порядка) характерны для титана, в меньшей мере (1-1,5 порядка) для бериллия, рубидия, иттрия, циркония, ниобия, молибдена и тантала. Дефицит этих элементов может быть связан с общей фемической металлогенической специализацией уральского орогена. По сравнению с кларком исследуемые толщи существенно обогащены селеном, кадмием и теллуrom, частично мышьяком и сурьмой (рис. 4).

Сопоставление средних содержаний редкоземельных элементов, показало постепенное убывание содержаний от легких лантаноидов к тяжелым, что типично для магматитов основного состава и продуктов их переотложения. Об этом может говорить и отсутствие европиевого минимума (рис. 6). Сопоставление с кларками глин и карбонатов платформ [1], показывает что породы соликамской свиты в целом беднее редкими землями, даже по сравнению с карбонатами, что также говорит о фемической специализации области сноса.

Нормирование благородных металлов на кларки углистого хондрита показало, что только палладий, золото и серебро близки к метеоритным содержаниям, все остальные же элементы характеризуются значительно (на 1-3 порядка) более низкими значениями (рис. 7). Существенное преобладание легкоплавких компонентов (платина, палладий, золото и серебро) может говорить о преобладании в областях сноса пород базальтоидного состава.

Анализ поведения содержаний благородных металлов в надсолевых толщах и их сопоставление между собой позволили выявить определенную последовательность максимумов на общих кривых содержания. Отмечено, что за первым (вверх по разрезу) максимумом иридия (пр. 33-34) следует максимум платины (пр. 30), а затем рутения и родия (пр. 29). Схожее «отставание» отмечено и выше по разрезу (Ir, пр. 18-19; Pt, пр. 16-17; Ru и Rh, пр. 16). Несколько независимо ведет себя палладий, который может как синхронизироваться с другими платиноидами, так и образовывать самостоятельные пики. Выявленная

последовательность в формировании повышенных концентраций (Ir → Pt → Ru, Rh) может быть связана с подвижностью платиноидов в коре выветривания. В целом, распределение благородных металлов по разрезу совершенно различно, что может отражать их различную форму переноса и накопления.

Таким образом, кривые распределения элементов по разрезу позволяют проследить эволюцию развития седиментационного бассейна, выражающуюся в переходе от эвапоритового к морскому и континентальному. Общее поведение элементов в большей степени обусловлено континентализацией за счет сноса терригенного материала с Урала и увеличения доли алевропсаммитового материала обогащенного литофильными элементами. Основная часть литофильных, халькофильных и сидерофильных элементов связана с иллитом, содержание которого по разрезу вначале снижается, а затем повышается, что объясняется трансгрессией и последующим отступлением моря. Меньшая часть связана изоморфно с карбонатным (с доломитом Mo и Pd, с кальцитом TR) или сульфатным составом (Sr) и связанным с ним сульфат-редукцией (As, Te, Ru, Rh, Hg, Re). Выявленная последовательность в формировании повышенных концентраций благородных металлов (Ir → Pt → Ru, Rh) и их повторяемость может говорить о связи с цикличностью (выветривания и/или различной форме переноса).

Сопоставление с кларками позволило выявить геохимическую специфику соликамской свиты, проявленную в титановом минимуме и селен-кадмий-теллуриновом максимуме. Содержание большинства элементов оказались на уровне литогенных. Литорудогенному уровню отвечают Sc, Ba, Sr, Mn, Cr, Ag, Te, Se, Hg, Cu, Pt, Au и Co, которые при проявлении каких-либо наложенных процессов, ведущих к перераспределению элементов, могут достигнуть рудных концентраций. Единственные содержания рудного уровня в соликамской свите были отмечены только для палладия.

Установлено, что в целом породы надсолевых отложений обеднены литофильными элементами, обогащены легкоплавкими благородными металлами, обогащены селеном, кадмием и теллурином, что наряду с отсутствием европиевого минимума свидетельствует о том, что основной петрофонд имел существенно базальтоидный состав, согласующийся с фемической металлогенической специализацией уральского орогена.

*Исследования выполнены по Программе ФНИ «Геохимическая и минералогическая эволюция осадконакопления в Соликамском палеобассейне» (Рег. № НИОКТР АААА-А18-118040690031-5).*

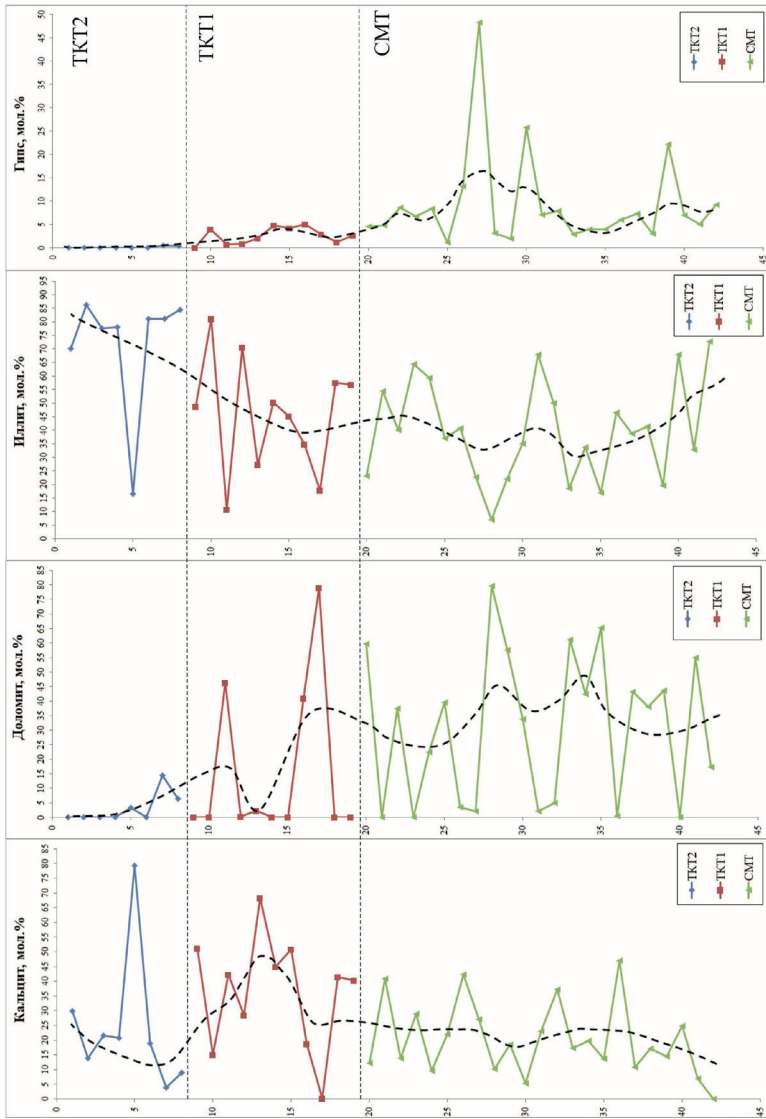


Рис. 1. Кривые распределения нормативных минералов в пелитоморфных породах соликамской свиты

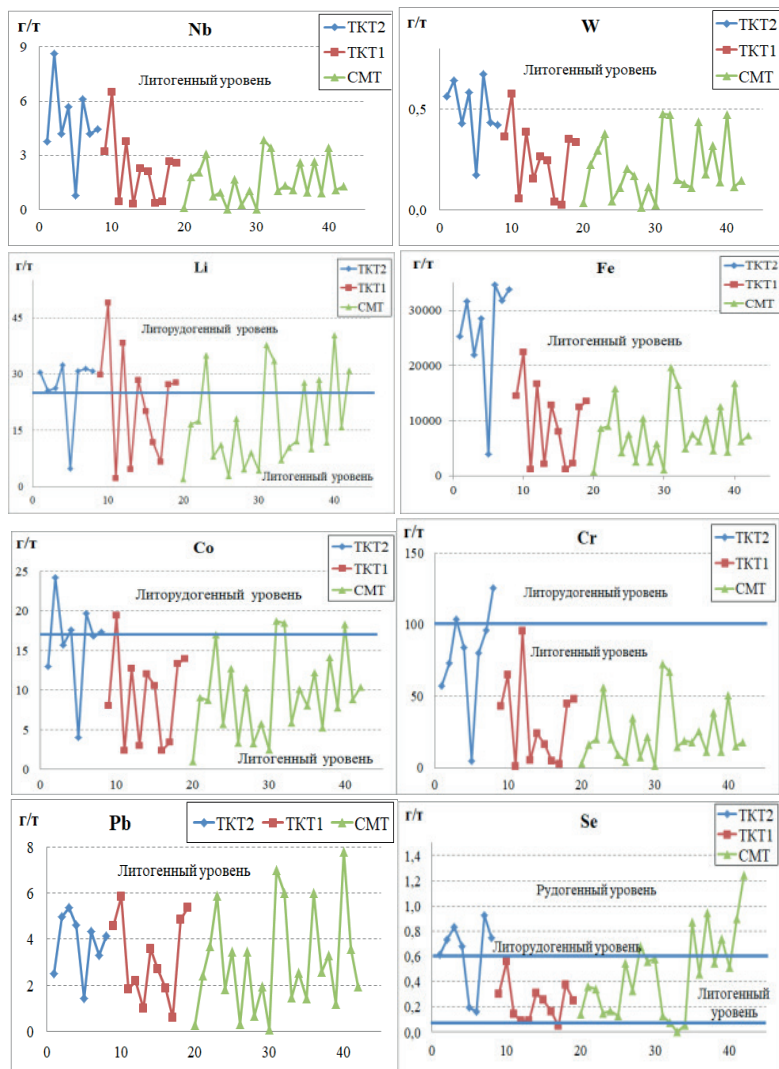


Рис. 2. Кривые распределения литофильных, сидерофильных и халькофильных элементов, связанных с глинистыми минералами. Синими линиями показаны границы литогенного, литорудогенного и рудного уровней содержания элементов по [2]

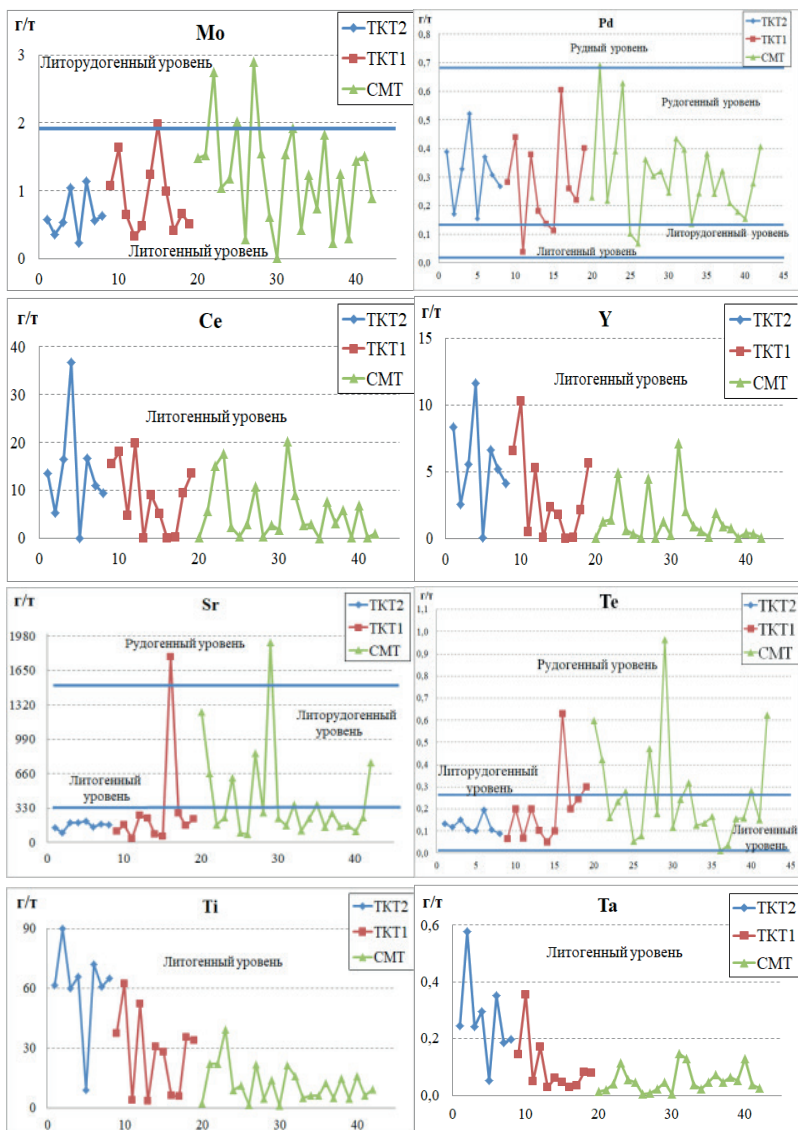


Рис. 3. Кривые распределения содержаний элементов связываемых с доломитом (Mo, Pd), кальцитом (Ce, Y) и сульфатами (Sr, Te) и ростом количества континентального материала (Ti, Ta)

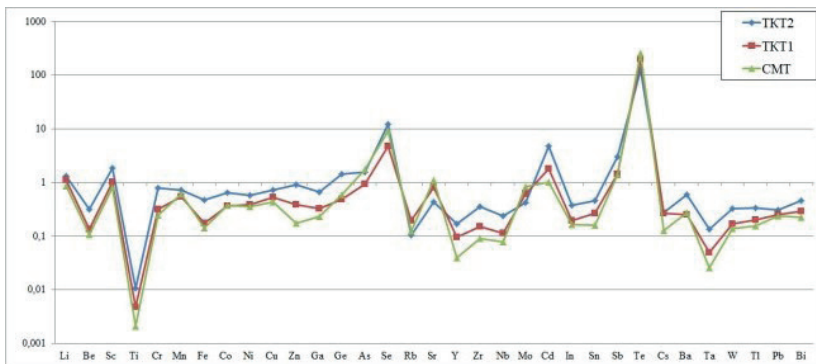


Рис. 4. Средние содержания элементов в толщах соликамской свиты, нормированные на кларки земной коры (по [7])

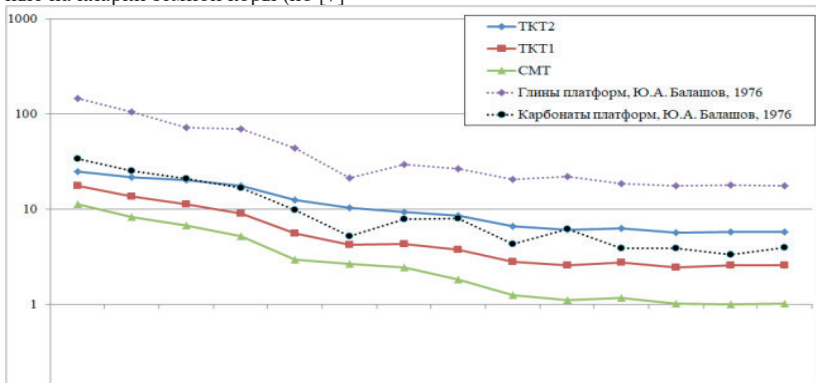


Рис. 5. Сопоставление средних содержаний редкоземельных элементов в толщах соликамской свиты с кларком глин и карбонатов платформ, нормированных на кларки хондритных метеоритов по [6]

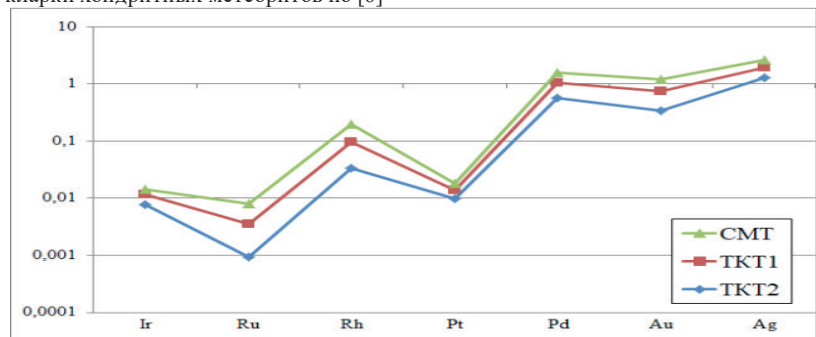


Рис. 6. Средние содержания благородных металлов толщах соликамской свиты, нормированные относительно углистого хондрита по [6]



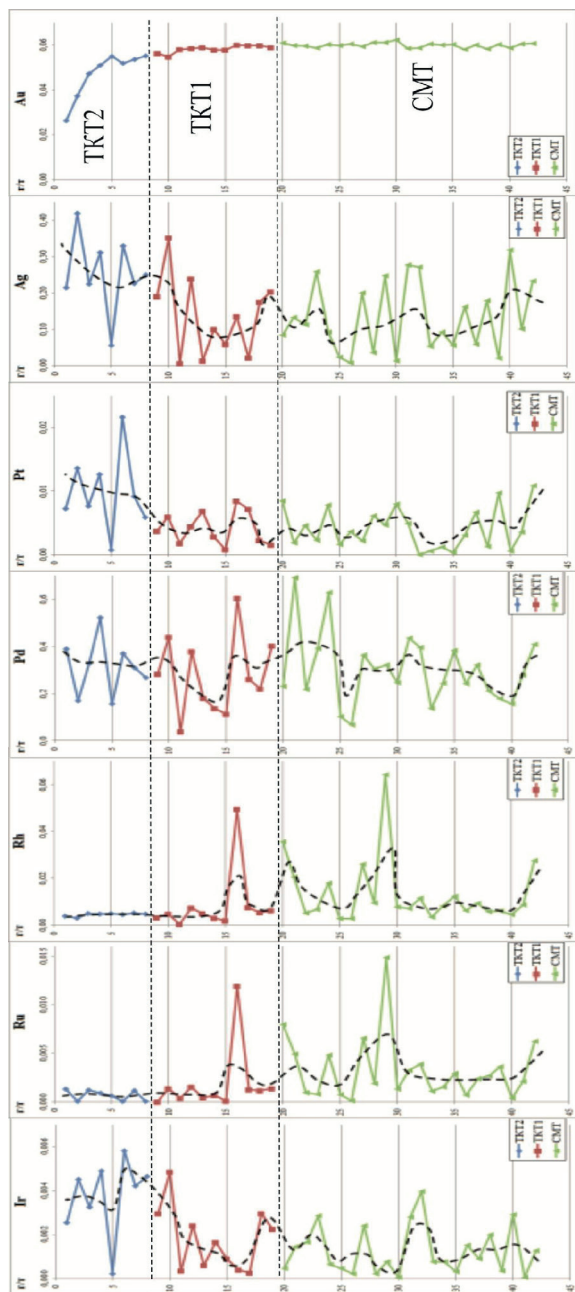


Рис. 7. Кривые распределения благородных металлов в толщах соликамской свите

### *Библиографический список*

1. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. М., «Наука», 1976.
2. *Вострокнутов Г.А.* Геохимические методы поисков и оценки рудных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1985, стр. 52-53.
3. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова. – М.: Недра, 1996.
4. *Трапезников Д.Е.* Палеогеографические и палеотектонические обстановки Соликамской впадины в уфимское время. Автореф. дисс. на соиск уч. степ к.г.-м.н. Пермь. 2019. 20 с.
5. *Чайковский И.И., Бубнова М.В., Чиркова Е.П.* Минералогия уфимских отложений Соликамской впадины // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2020. – Вып. 23. с. 50-62 с.
6. *Evensen N.M., Hamilton P.J., and O'Nions R.K.* Rare-earth abundances in chondritic meteorites // *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 1199-1212 (1978).
7. *Taylor S.R.* Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table (англ.) // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* – 1964.

## GEOCHEMISTRY OF PELITOMORPHIC ROCKS SOLIKAMSKAYA FORMATION

**I.I. Chaikovskiy, M.V. Bubnova**

*ilya@mi-perm.ru*

The general geochemical specificity of the Solikamsk Formation is shown, manifested in the titanium minimum and selenium-cadmium-tellurium maximum. Most of the lithophilic, chalcophilic, and siderophilic elements are associated with ilite, the content of which first decreases along the section and then increases, which is explained by the transgression and subsequent retreat of the sea. A smaller part is associated isomorphically with carbonate (with dolomite Mo and Pd, with calcite - TR) or sulfate composition (Sr) and associated sulfate reduction (As, Te, Ru, Rh, Hg, Re). It is shown that the rocks of the post-salt deposits are depleted in lithophilic elements, enriched in low-melting noble metals, which, along with the absence of a europium minimum, indicates a substantially basaltoid composition of the petro-fund, which is consistent with the femic specialization of the Ural orogen. It is noted that a gradual “continentalization” of the sediment composition occurs up the section, manifested in an increase in the content of lithophiles, including due to aleuropsammitic material.

*Keywords: Solikamsk depression, Solikamsk formation, geochemistry of trace elements*