

ПРОГНОЗНЫЕ КРИТЕРИИ И ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ МЕДНО-УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ УКРАИНСКОГО ЩИТА

А. А. Калашник¹, А. В. Кузьмин²

¹ КЛАНУ, Кировоград, Украина

² КП «Кировгеология», Киев, Украина

Поступила в редакцию 10 мая 2016 г.

Аннотация: представлены результаты проведенных исследований новых закономерностей размещения объектов медно-уранового типа оруденения в Западно-Ингулецкой разломной зоне Украинского щита в тесной связи с особенностями глубинного строения литосферы и ее составных частей. Проанализирован вещественный состав и изотопный возраст урановой минерализации, распределение и формы нахождения урана и меди в породах территории исследований. Для оруденения медно-уранового типа разработаны прогнозные критерии и поисковые признаки для условий Украинского щита (глубинные, геолого-структурные, радиогеохимические, минералогические, гидротермально-метасоматические).

Ключевые слова: медно-урановое оруденение, мантийные рудные компоненты, Западно-Ингулецкая разломная зона.

PROGNOSTICATION CRITERIA AND SEARCH SIGNS OF COPPER-URANIUM MINERALIZATION FOR CONDITIONS OF UKRAINIAN SHIELD

Abstract: the results of studies of new laws governing the distribution of industrial endogenous complex copper-uranium deposits of the West-Inguletska fault zone of the Ukrainian shield in close connection with the peculiarities of the deep structure of the lithosphere and its components are presented. Mineral composition and isotopic age of the uranium mineralization, distribution and speciation of uranium and copper in the rocks of research areas were analyzed. For copper-uranium mineralization prognostication criteria and search signs characteristics for conditions of Ukrainian Shield (deep, geological-structural, radiogeochemical, geochemical, mineralogical, hydrothermal-metasomatic) have been developed.

Keywords: copper-uranium mineralization, mantle ore components, West-Inguletskaya fault zone.

Медь является наиболее часто встречаемым спутником урана, иногда образуя совместные с ураном значительные скопления. На проанализированных нами медно-урановых месторождениях Южно-Африканской, Северо-Австралийской и Южно-Австралийской урановорудных провинций, урановорудных районов Индийского щита и его обрамления не отмечается соответствия между типами вмещающих пород при общности типа оруденения. Зато однозначно проявляется связь интенсивных рудообразующих процессов с глубинным строением регионов локализации месторождений, с зонами глубинных разломов. Все это свидетельствует о том, что вмещающие породы не являются основным источником рудных компонентов при формировании крупных медно-урановых рудных объектов и указывают на глубинный источник рудного вещества.

Рассматривая мантию как основной источник рудогенных компонентов, на основе выполненного анализа нами был выявлен ряд глубинных факторов формирования промышленных эндогенных месторождений урана Украинского щита [1], и обоснован ком-

плекс глубинных факторов формирования крупных U-Fe-V-TR-Sc месторождений УЩ [2]. Медно-урановый тип оруденения на Украинском щите проявлен и наиболее хорошо изучен в Западно-Ингулецкой разломной зоне. Характерным признаком объектов данного типа оруденения являются руды с преимущественно высокими содержаниями урана, но с небольшими запасами. Медное оруденение в целом наложено на урановое и складывается как комплексные медно-урановые, так и самостоятельные рудные тела. Возможное выявление в Украине комплексных урановых руд типа медно-золото-уранового оруденения в гематит-сульфидных брекчиях крупного месторождения Олимпик-Дем в Южной Австралии могло бы стать одним из перспективных направлений повышения рентабельности отечественной урановой промышленности.

Целью статьи является изучение особенностей проявленного медно-уранового оруденения на территории УЩ с учетом особенностей глубинного строения литосферы, выявление прогнозных критериев и поисковых

признаков этого типа оруденения для возможного обнаружения месторождений с богатыми рудами.

Для решения поставленных задач использовался комплекс геофизических, геохимических и структурно-геологических методов исследований.

В пределах Западно-Ингулецкой разломной зоны (ЗИРЗ) выявлено урановое оруденение нескольких урановорудных эпох с различными типами оруденения (рис. 1). Родионовский урановорудный узел, приуроченный к приконтактовой части архейских плагиигранитоидов и палеопротерозойских метаморфических толщ включает Червоношахтарское и Родионовское рудопроявления урана гидротермального трещинно-жильного типа в минерализованных зонах и ряд уранопроявлений. По преобладающему компоненту руды этих объектов делятся на урановые, медные и медно-урановые.

Изотопный возраст уранинита Червоношахтарского рудопроявления составляет 2100 ± 100 млн лет [3], изотопный возраст настурана – 2160–1980 млн лет [4]. К этому периоду относится и урановое оруденение значительной части других урановорудных объектов Западно-Ингулецкой зоны (Родионовское рудопроявление, проявления: Лозоватское, Новомихайловское, Донской овраг, балка Суперечная). В узле пересечения Девладовского широтного, Братско-Вольнянского разломов с Западно-Ингулецким, усложненным Центральным разломом выявлен ряд рудопроявлений и проявлений урановой минерализации, отнесенных к формации ураноносных кварц-карбонат-сульфидных жил и прожилков (Ивановско-Павловский рудный узел) (рис. 1). Юго-западнее от этого узла, в пределах Казанковского поднятия интенсивно развито оруденение указанного типа на Михайловском месторождении, Покровском, Чабанковском, Николаевском, Казанковском, Даниловском, Танковом рудопроявлениях (Михайловский узел).

В пределах двух этих узлов широко проявлены пегматоидные граниты и постгранитизационные образования (окварцевание и микроклинизация по зонам бластотектонитов, грейзенизация) с проявленной редкоземельно-торий-урановой минерализацией. Жильное и прожилково-вкрапленное оруденение датируется эпохами 2200–2100, 1850–1550, 1200–800 млн лет и фанерозойской (на Михайловском месторождении, Павловском, Чабанковском рудопроявлениях) [3, 4, 5].

Таким образом, ЗИРЗ контролирует неоднократное телескопированное урановое оруденение. Это позволяет предполагать, что Западно-Ингулецкий разлом, вероятно, некогда представлял единую рудную зону. Однако, вследствие тектонического стресса и активизации произошел разрыв единой рудной зоны и смещение ее южной части вдоль Центрального разлома северо-западного простирания, усложнение рудной зоны субмеридианального простирания серией разломов северо-восточного и широтного простираний, что придало Западно-Ингулецкой зоне в южной части дугоподобную форму и привело к существенному снижению проницаемости разлома.

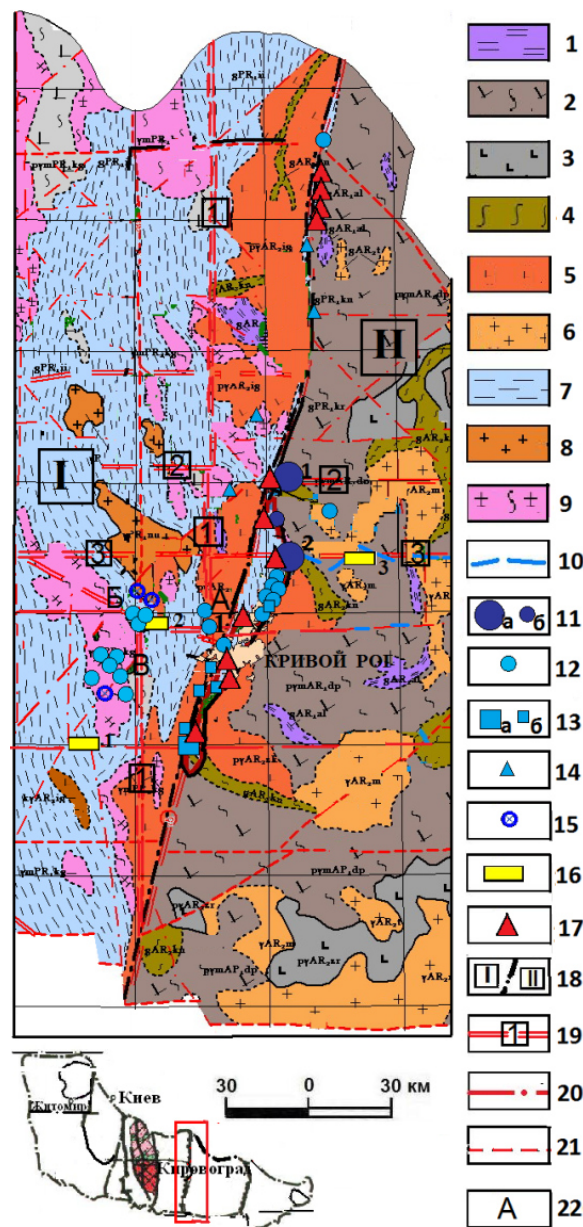


Рис. 1. Схема размещения урановорудных объектов Криворожского и Ингуло-Ингулецкого рудных районов, Западно-Ингулецкой металлогенической зоны, совмещенная с геолого-структурной основой докембрийских образований: 1 – метаморфизованные вулканогенно-осадочные формации (AR₁); 2 – формация ультраметаморфических тоналитов (AR₁); гранит-зеленокаменная ассоциация: 3 – формация интрузивных диоритов и плагиигранитов (AR₂), 4 – зеленокаменная толща (AR₂); 5 – формация ультраметаморфических плагиигранитов (AR₂); 6 – формация ультраметаморфических гранитов (AR₂); 7 – метаморфизованные осадочные и вулканогенно-осадочные формации (PR₁); 8 – формация интрузивных чарнокитоидов и трахитоидных гранитов (PR₁), 9 – формация ультраметаморфических гранитов (PR₁), 10 – девладовский комплекс (перидотиты, габбро-перидотиты) (AR₃); эндогенные урановые объекты: 11 – комплексные U-V-TR-Sc гидротермально-метасоматические (PR₁²); а – месторождения: 1 – Желтореченское, 2 – Первомайское; б – Анновское рудопроявление; 12 – рудопроявления в минерализованных зонах дробления в породах кристаллического фундамента, в том числе: 1 – Червоношахтарское; 13 – урановорудные объекты метаморфогенного типа (PR₁); а – Николо-Козельское месторождение, б –

рудопроявления того же типа 14 – рудопроявления гидротермально-метасоматические редкоземельно-торий-урановой формации (PR₁); 15 – урановорудные объекты эпигенетического типа в трещинах кристаллических пород; 16 – месторождения урана экзогенно-инфильтрационного типа: 1 – Сафоновское, 2 – Христофоровское, 3 – Девладовское; 17 – месторождения железистых кварцитов; 18 – границы мегаблоков: I – Ингульский, II – Среднеприднепровский; 19 – глубинные мантийные разломы, в том числе: 1 – Западно-Ингулецкий, 2 – Субботско-Мошоринский, 3 – Девладовский; 20 – региональные, преимущественно коровые разломы, 21 – локальные коровые разломы, 22 – урановорудные узлы Западно-Ингулецкой зоны: А – Родионовский, Б – Ивановско-Павловский, В – Михайловский.

Урановорудные объекты ЗИРЗ локализованы среди пород со средним и низким содержаниями урана (табл. 1), что указывает на отсутствие связи между процессами уранового рудообразования и первичным содержанием урана во вмещающих породах.

Это можно констатировать и относительно содержания меди во вмещающих породах (табл. 1). Медно-урановое оруденение локализовано как в породах с очень низким (в 3–4 раза ниже кларкового), так и повышенным (кларковым или немного его превышающим) содержанием, как урана, так и меди.

Таблица 1

Распределение урана и меди во вмещающих урановорудные и медно-урановые скопления породах Западно-Ингулецкой минерагенической зоны (по данным КП «Кировгеология»)

Порода	Количество проб	Параметры распределения урана nх10 ⁻⁴ , %				Параметры распределения меди nх10 ⁻³ , %			
		X	λ	S	K _к	X	λ	S	K _к
1. Гнейсы чечелевской свиты	64	2,7	0,21	1,65	1,06	3,6	0,26	2,06	1,16
2. Гнейсы спасовской свиты	39	4,0	0,42	2,39	1,52	4,3	0,39	2,35	1,47
3. Гнейсы родионовской свиты	17	1,9	0,18	0,75	0,72	4,7	0,62	2,41	1,51
4. Гнейсы ингуло-ингулецкой серии	120	3,0	0,18	1,93	1,14	4,0	0,21	0,24	1,30
5. Граниты чарнокитового комплекса	45	7,0	0,57	2,07	2,70	2,1	0,16	1,16	0,67
6. Граниты среднезернистые кировоградские	68	2,9	0,21	1,70	1,12	1,9	0,09	0,77	0,62
7. Мигматиты гранодиоритового состава	34	2,8	0,26	1,53	1,08	2,8	0,27	1,51	0,92
8. Мигматиты биотитовые	20	3,0	0,44	1,82	1,14	2,4	0,33	1,42	0,77
9. Граниты кировоградского комплекса	147	3,3	0,20	2,14	1,28	2,2	0,10	1,14	0,70
10. Плаггиомигматиты днепропетровского комплекса	57	1,8	0,23	1,61	0,70	3,7	0,30	2,20	1,21
11. Гранодиориты	12	3,3	0,51	1,70	1,27	2,7	0,44	1,32	0,86
12. Кварцевые монциты	13	1,4	0,21	0,77	0,53	2,3	0,23	0,78	0,74
13. Плаггиограниты	70	1,7	0,19	1,49	0,66	3,5	0,25	2,09	1,12
14. Аплит-пегматоидные граниты	27	5,6	0,49	2,49	2,14	3,0	0,28	1,45	0,98

Примечание: X – среднее содержание, λ – ошибка среднего, S – стандартное отклонение, K_к – региональный кларк концентрации (КП «Кировгеология»).

В то же время в Западно-Ингулецкой разломной зоне наблюдается устойчиво повторяющийся минеральный парагенезис уран-медь, который выражается в масштабном площадном концентрировании этих металлов в виде обширных геохимических аномалий (рис. 2), а также формировании многочисленных рудопроявлений и проявлений медно-уранового типа, сконцентрированных в разнородных породах (рис. 1). Все медно-урановые проявления сопровождаются радиогеохимическими аномалиями, которые представляют собой первичные ореолы рассеяния вокруг рудных тел и занимают тем большую площадь, чем интенсивнее и шире по латерали представлены процессы рудообразования (рис. 2).

Группа урановых объектов Западно-Ингулецкой зоны, включая рудопроявление Червоный Шахтарь, тяготеют к зонам повышенной радиоактивности 25–35 мкР/ч, обусловленной гранитоидами. Михайловское месторождение с группой уранопроявлений приурочены к участкам пониженной мощности экспозиционной дозы гамма-поля 10–15 мкР/ч или зонам высокого градиента радиационного поля.

По данным свинцово-изотопных исследований в целом, породам Западно-Ингулецкой зоны присущи

пониженные и низкие первоначальные (сингенетические) концентрации урана. Она характеризуется как зона локального привноса урана.

Локализация рудных концентраций урана в пределах ЗИРЗ не зависела от региональной миграции урана, от содержания урана во вмещающих породах, от степени их метаморфизма, но пространственно рудные концентрации тесно связаны с глубинным Западно-Ингулецким разломом. Радиогеохимические данные указывают на более вероятную связь уранового оруденения с активизацией тектонических процессов и привнос рудоносных растворов из нижней части земной коры или, возможно, из верхней мантии.

Для Западно-Ингулецкой зоны, как и в целом для Ингульского мегаблока высокой степени зрелости характерна максимальная в пределах УЩ мощность литосферы, которая в краевой восточной части мегаблока колеблется в пределах 210–240 км (рис. 3а). По результатам исследований методами МТЗ и АМТЗ, проведенными сотрудниками УкрНИМИ НАН Украины [6], в зоне перехода между Ингульским и Среднеприднепровским мегаблоками наблюдается резкая граница между низкоомной

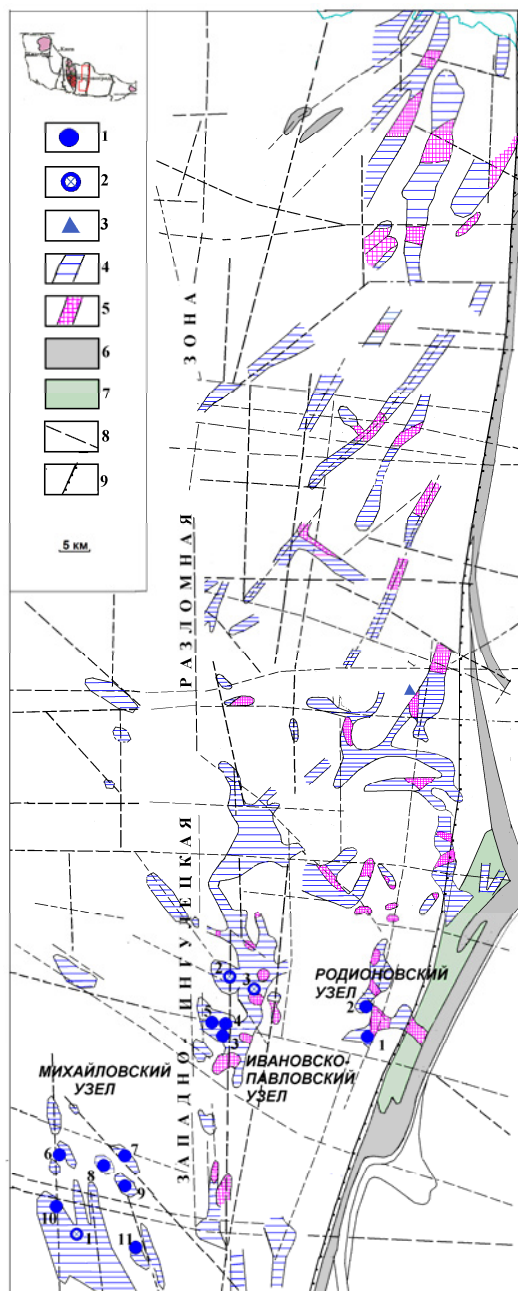


Рис. 2. Схема размещения рудопроявлений урана и геохимических аномалий урана и меди в комплексе с ураном в Западно-Ингулецкой разломной минерагенической зоне (по материалам КП «Кировгеология»): 1 – рудопроявления урана гидротермального типа в минерализованных зонах дробления в породах фундамента; 1 – Червоношахтарское, 2 – Родиноновское, 3 – Павловское, 4 – Восточно-Павловское, 5 – Северо-Павловское, 6 – Даниловское, 7 – Танковое, 8 – Казанковское, 9 – Николаевское, 10 – Чабановское, 11 – Покровское; 2 – урановые объекты эпигенетического типа в трещинах кристаллических пород фундамента и коре выветривания кристаллических пород фундамента; 1 – Михайловское месторождение, рудопроявления; 2 – Ивановское, 3 – Гейковское; 3 – рудопроявления урана гидротермально-метасоматические в пегматоидных гранитах; геохимические аномалии: 4 – урана (контрастные и слабоконтрастные), 5 – меди в комплексе с ураном; 6 – железистые кварциты и сланцы криворожской серии, 7 – сланцы, гнейсы, кварциты, песчаники криворожской серии, 8 – дизъюнктивные нарушения; 9 – осевая линия Криворожско-Кременчугского разлома.

(Ингульский мегаблок) и высокоомной (Среднеприднепровский мегаблок) областями по всей глубине амплитудного разреза до глубины 400 км, при этом низкоомная область не имеет корней. Она охватывает область между Западно-Ингулецкой и Криворожско-Кременчугской зонами разломов и может свидетельствовать о высокой проницаемости для флюидов [6].

Связь уранового оруденения с мощностью коры в районе исследований крайне неоднозначна. Михайловское непромышленное месторождение урана и ряд рудопроявлений Западно-Ингулецкой минерагенической зоны находятся в утоненной коре мощностью до 40 км, здесь наблюдается субмеридианальное утонение коры до 34–35 км. При этом вдоль южной части Западно-Ингулецкого разлома наблюдается субмеридианальное валообразное поднятие границы Мохо до 35 км (рис. 3б).

Схема мощности гранито-гнейсового слоя отражает латеральную изменчивость степени зрелости коры. По этому показателю, отражающему уровень энергомассопереноса, максимальной и повышенной мощностью гранито-гнейсового слоя до 10–15 и более км на УЩ выделяется Ингульский мегаблок, включая Западно-Ингулецкую разломную зону.

Западно-Ингулецкая разломная зона четко связана с неоднородностью субмеридианального простирания, проявленной на поверхностях М (рис. 3б), «базальтового» и «диоритового» слоев. Для Западно-Ингулецкой разломной зоны проявляется существенное смещение проницаемых зон мантийного проникновения от поверхности М к дневной поверхности с сильным усложнением структурных форм проницаемости «базальтового» и «диоритового» слоев (рис. 4а, 4б, 4в). Указанные признаки свидетельствуют, что тепловой поток и массоперенос на уровне «базальтового» и «диоритового» слоев в пределах ее проекции более дифференцирован относительно поверхности Мохо и в направлении дневной поверхности существенно усложняется. Это объективно диагностируются локальными зонами проникновения сложной конфигурации с существенным пространственным смещением отдельных фрагментов Западно-Ингулецкой разломной зоны.

В пределах ЗИРЗ на нескольких участках установлены проявления мантийного магматизма и ряд признаков флюидизатно-эксплозивных процессов. Боковьянское поле включает ряд трубок и дайки кимберлитоподобных пород. На правом берегу р. Ингулец, выше устья р. Верблюжка, в с. Чечелевка биотитовые гнейсы флишовой метаграувакковой формации включают многочисленные гранат-диопсидовые нодулы размером до 10 см. Подобные породы в составе той же формации обнаружены на правом берегу р. Боковая в с. Кардашовка, вблизи Боковьянского проявления кимберлитоподобной формации [9]. В совокупности это свидетельствует о мантийном проникновении Западно-Ингулецкого разлома, однако, главным образом с проявлением малоглубинных образований.

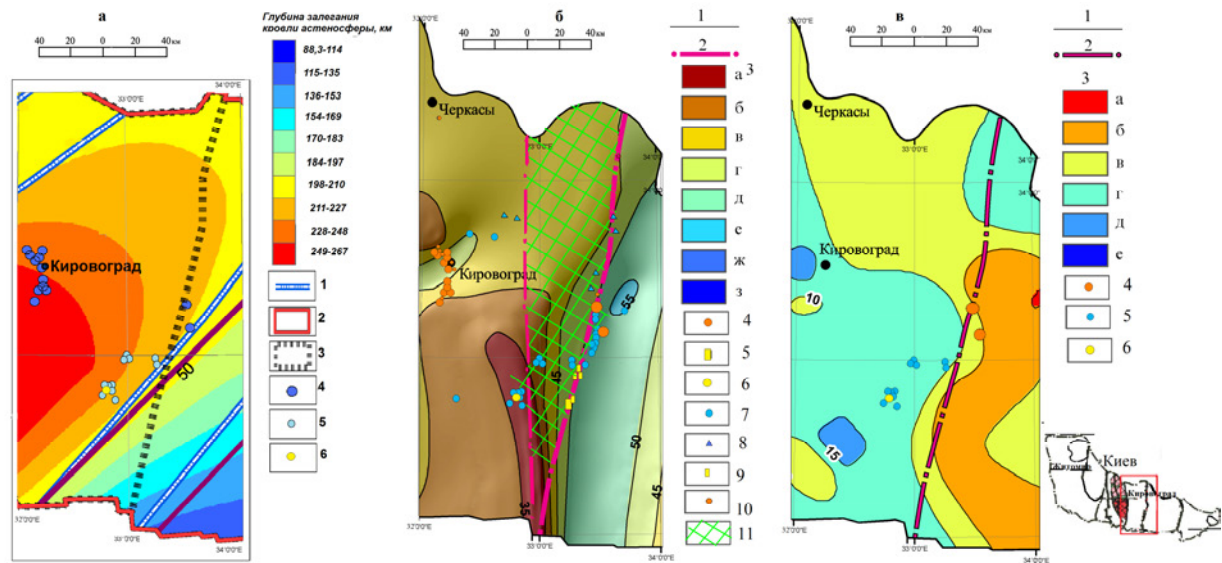


Рис. 3. Схема поверхности астеносферы (по [7]) (а), карта глубины залегания и рельефа поверхности Мохо (по [8]) (б), карта мощности гранито-гнейсового слоя (по [8]) (в) с урановыми объектами в пределах Западно-Ингулецкой зоны и сопредельных территориях: **К схеме (а):** 1 – трансрегиональные мантийные линейaments северовосточного простирания, 2 – контуры УЩ, 3 – контур Ингульского мегаблока; 4 – промышленные месторождения урана в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах, 5 – гидротермальные в минерализованных зонах дробления рудопоявления урана, 6 – Михайловское непромышленное гидротермальное в минерализованных зонах дробления месторождение урана. **К карте (б):** 1 – изолинии поверхности М, км; 2 – межмегаблоковые разломы; 3 – шкала глубин, км: а – 33–35; б – 36–40; в – 41–45; г – 46–50; д – 51–55; е – 56–60; ж – 61–65; з – 66–70; месторождения урана: 4 – в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах, 5 – осадочно-метаморфогенные в конгломератах и песчаниках кристаллического фундамента, 6 – гидротермальные в минерализованных зонах дробления (Михайловское), рудопоявления урана: 7 – гидротермальные в минерализованных зонах дробления, 8 – гидротермально-метасоматические в пегматоидных гранитах, 9 – осадочно-метаморфогенные в конгломератах и песчаниках кристаллического фундамента, 10 – в ураноносных альбититах; 11 – зона развития площадных геохимических аномалий урана и меди в комплексе с ураном. **К карте (в):** 1 – изолинии мощности гранито-гнейсового слоя, км; 2 – межмегаблоковые разломы УЩ; 3 – шкала мощности, км: а – 0; б – 0,1–5,0; в – 5,1–10,0; г – 10,1–15,0; д – 15,1–20,0; е – 20,1–25,0; промышленные месторождения урана: 4 – промышленные месторождения урана в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах, 5 – гидротермальные в минерализованных зонах дробления рудопоявления урана, 6 – Михайловское непромышленное гидротермальное в минерализованных зонах дробления месторождение урана.

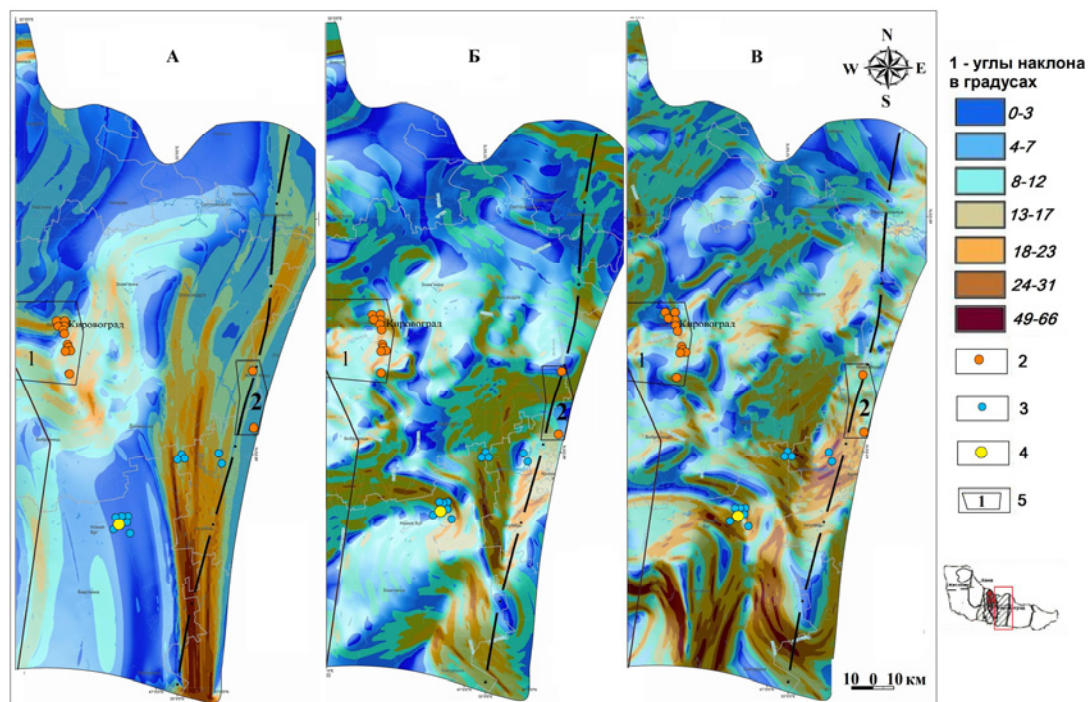


Рис. 4. Карты градиентных зон поверхностей Мохо (А), «базальтового» (Б), «диоритового» (В) слоев восточной части Ингульского мегаблока УЩ (по [8]) с урановыми объектами: 1 – углы наклона поверхностей (в градусах); 2

– месторождения урана в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах, 3 – рудопроявления урана; 4 – Михайловское непромышленное месторождение урана; 5 – урановорудные районы: 1 – Кировоградский (фрагмент), 2 – Криворожский.

Зоны уранового оруденения на Червоношахтарском участке связаны с рудоконтролирующими структурами, представленными субмеридианальными трещинами скалывания, сопровождающимися сетью оперяющих трещин. Сульфидная минерализация наблюдается и вне зон уранового оруденения (рис. 5). Результаты спектрального анализа геохимических проб, представленные в виде корреляционных диаграмм содержаний элементов-спутников урановорудного процесса указывают, что в зонах уранового оруденения, помимо урана, в повышенных содержаниях отмечаются медь, свинец, молибден (рис. 6). Их распределение неравномерное, но, как правило, максимум содержания свинца находится в полной корреляции с максимальным содержанием урана (рис. 6). Содержание меди широко варьирует независимо от содержания урана. Однако бесспорным является установленное повышенное содержание меди для всех зон уранового оруденения. Молибден является постоянным элементом-спутником для всех рудных тел и тесно связан с содержанием свинца. Свинец в рудных телах находится в составе галенита. Галенит выполняет промежутки между агрегатами настурана, иногда встречается в виде самостоятельных жилков без видимой связи с настураном, но в непосредственной близости от него.

Характерной особенностью геохимических аномалий меди, свинца, молибдена Червоношахтарского рудопроявления является то, что отсутствует их полное пространственное совмещение с урановыми аномалиями (рис. 6). Это обусловлено полигенным и полихронным характером привноса этих элементов и их концентрации. Урановые руды сопровождаются дорудными, синрудными и пострудными продуктами гидротермальных метасоматических процессов. К дорудным относятся продукты магнезиального кальциевого и щелочного метасоматоза: скарны, эпидозиты, амфиболовые породы, биотит-амфиболовые альбититы и микроклиниты. К синрудным сульфидная минерализация, гематитизация, образование самородного висмута, карбонатизация [3]. Пострудными являются прожилковая минерализация кварца и карбоната. По данным КП «Кировгеология» медь наряду с ураном накапливалась как в продуктах магнезиально-кальциевого метасоматоза, так и в урановой руде с максимальной концентрацией в последней и не обособлялась от урана. Такое сходство геохимической специализации продуктов полихронных гидротермальных метасоматических процессов в тесной структурной связи с Западно-Ингулецкой разломной зоной с нашей точки зрения свидетельствуют об общности свойств элементов парагенезиса, обуславливающих возможность совместной мобилизации и транспортировки рудоносными флюидами, об общности

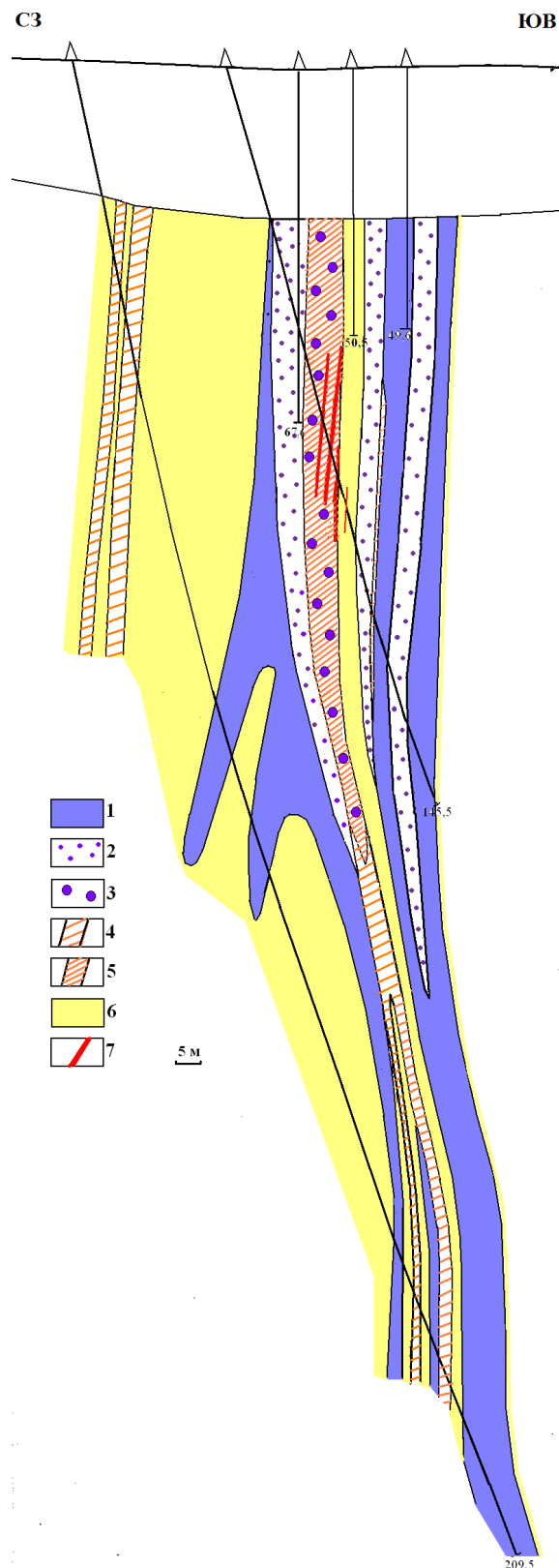


Рис. 5. Геохимический разрез по профилю X+25 (участок Червоный Шахтарь) (по материалам КП «Кировгеология»): ореолы рассеяния меди: 1 – с содержанием от 0,005 до 0,01%; 2 – с содержанием от 0,01 до 0,05%; 3 – с содержанием более 0,05%; ореолы рассеяния свинца: 4 – с содержанием от 0,005 до 0,01%; 5 – с содержанием от 0,01 до 0,05%; 6 – с содержанием более 0,05%; 7 – зоны уранового оруденения.

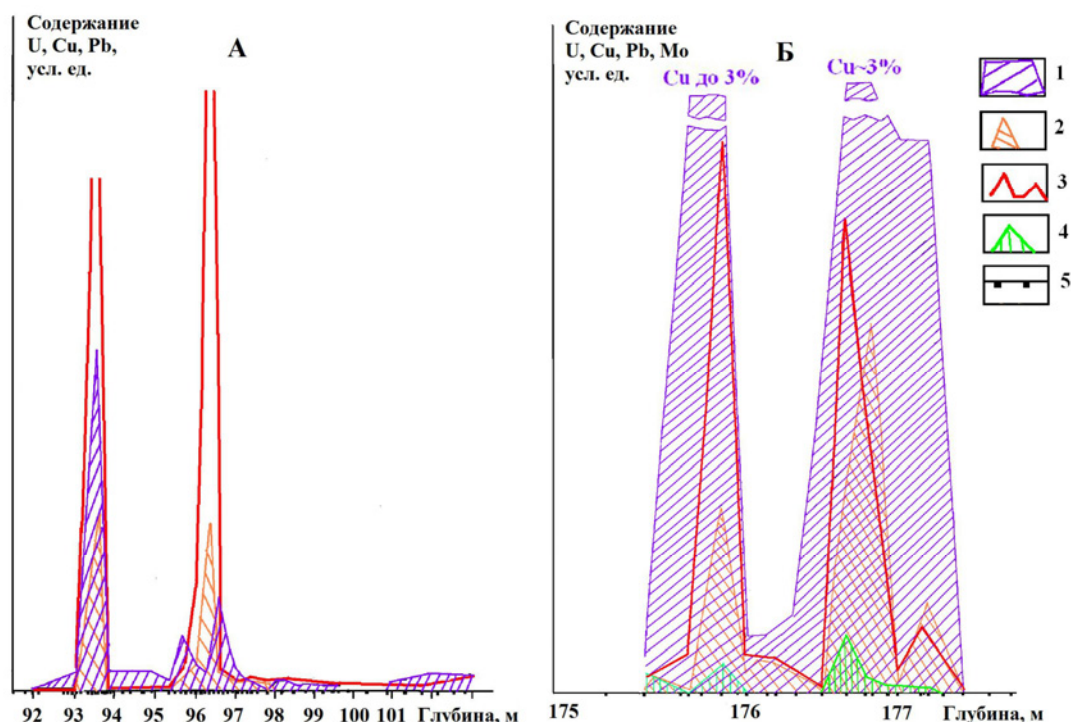


Рис. 6. Диаграммы корреляции содержаний элементов-спутников в урановорудной зоне 3 (Червоношахтарское рудопроявление) (по материалам КП «Кировгеология»): А – рудная зона 1, Б – рудная зона 3. Кривые: 1 – меди, 2 – свинца, 3 – урана, 4 – молибдена; 5 – места отбора литохимических проб.

транспортного канала переноса по единому разлому и последующего совместного осаждения рудных и устойчиво ассоциирующих с ними компонентов.

Медь может переноситься в сульфидной и(или) хлоридной форме, а молибден в виде гидромолибдатных комплексов натрия и калия. Свинец имеет выраженную халькофильность, но не такую резкую как медь, но имеет способность мигрировать в водно-хлоридных комплексах, что сближает его с медью. Возникновение крупных концентраций массивных сульфидных руд во многом обязано эффективной сепарации халькофильных элементов в условиях высоких термических контрастов на астеносферном уровне [10]. Эти контрасты отражаются в пределах соответствующих участков земной коры в виде определенных петролого-геохимических эффектов.

В основном, процесс медно-уранового рудогенеза в Западно-Ингулецкой зоне произошел в период 2,2–2,1 млрд лет с формированием богатых руд в небольших объемах (рудопроявление Червоный Шахтень, проявления Новомихайловское, Донской Овраг, Балка Суперечная). Вероятно, в период 2,2–2,1 млрд лет латеральные температурные градиенты в астеносфере в подошве восточного краевого сегмента литосферы Ингульского мегаблока были не столь контрастными, оптимальные условия для масштабного первичного сепарирования рудных компонентов отсутствовали. Анализ карт градиентных зон поверхности Мохо, «базальтового» и «диоритового» слоев свидетельствуют о резкой смене проницаемости Западно-Ингулецкого разлома по направлению к дневной поверхности вследствие латерального тектонического

стресса. В условиях повышенного тектонического стресса проницаемость литосферы в целом снижается. Очевидно, что мелкие комплексные рудные объекты рассеяны на площадках вдоль Западно-Ингулецкого разлома, где проницаемость литосферы была кратковременной и не столь значительной на фоне общего сжатия между Ингульским и Среднеприднепровскими мегаблоками. Это привело к тому, что рудоносные мантийные флюиды смогли достичь верхней части земной коры только в виде локальных инъекций флюида и вследствие этого произошло формирование мелкомащтабных объектов медно-уранового оруденения.

Выводы

Для формирования крупных медно-урановых месторождений необходимо сочетание следующих минимально необходимых факторов: наличие мощной литосферы, значительных термических контрастов на астеносферном уровне (для масштабной мантийной аккумуляции меди и урана), а также длительное существование проницаемых транслитосферных зон разломов для подъема на верхние структурные горизонты мантийных флюидов. Анализ особенностей формирования объектов медно-уранового типа оруденения на УЩ и на наиболее крупных месторождениях в мире, глубинных факторов формирования крупного эндогенного уранового оруденения на УЩ позволил сформулировать прогнозные критерии и поисковые признаки оруденения медно-уранового типа с более богатыми рудами, чем выявленные на сегодняшний день в Западно-Ингулецкой зоне для условий УЩ:

1) краевые части аномальных сегментов литосферы

высокой степени зрелости с мощностью литосферы более 160–180 км, гранито-гнейсовым слоем высокой (более 15 км) или повышенной мощности (10–15 км), с аномально выраженной радиогеохимической калиевой специализацией метаморфического субстрата верхней части земной коры, граничащие с литосферными сегментами менее высокой степени зрелости, что создает значительные термические контрасты на астеносферном уровне;

2) наличие разломных структур транслитосферного проникновения с высокоамплитудными смещениями вдоль них границы Мохо, с сильным усложнением структурных форм проницаемости от поверхности М к дневной поверхности, наличием резко выраженных градиентных зон углов наклона поверхности М (до 27,8–54,3°);

3) преимущественной геолого-структурной позицией локализации месторождений являются тектонические узлы, образованные пересечением, сочленением, резким изменением направления и другими осложнениями морфологии глубинных разломов, в первую очередь вблизи границ мегаблоков с различной геологической историей;

4) наиболее вероятная урановорудная эпоха формирования медно-урановых месторождений (в порядке убывания числа датированных объектов соответствующих эпох в мире и в частности, на УЩ) – палеопротерозойская 2200–2100 млн лет, неопротерозойская эпоха 800–1200 млн лет, возможна эпоха – 500–600 млн лет;

5) руды сопровождаются сложно построенными зонами радиогеохимических аномалий, совмещенными с зонами локального привноса урана по свинцово-изотопным данным, представляют собой первичные ореолы рассеяния вокруг рудных тел и занимают тем большую площадь, чем интенсивнее и шире по латерали представлены процессы рудообразования;

6) медь, свинец, молибден с учетом минералогических характеристик урановорудных зон и результатов геохимических исследований находятся в парагенетической связи с ураном и их образование, как правило, обусловлено единым урановорудным процессом;

7) руды преимущественно концентрируются на участках чередования метаморфических пород и гранитоидов различного состава и возраста или непосредственно в метаморфических породах, абсолютное большинство богатых руд размещается в метаморфических породах;

8) признаком более богатого оруденения является широкое развитие в зонах разломов брекчий, рассланцованных, перемятых и раздробленных пород, наличие

глинок трения;

9) типоморфными урановыми минералами в рудах являются настуран, уранинит, ненадкевит. В парагенетической ассоциации с урановыми минералами находятся, главным образом, сульфиды: халькопирит, пирит, галенит, в меньшей степени сфалерит, кубанит, пирротин и в зоне гипергенеза марказит, халькозин, борнит. Реже встречаются сорбции урана на гидроксидах железа и черни;

10) наиболее богатое медно-урановое оруденение сопровождается характерными околорудными изменениями вмещающих пород – окварцеванием, карбонатизацией, и в меньшей мере, хлоритизацией. С ростом содержания урана в рудах растет и роль выше-названных изменений.

Особый интерес для дальнейших исследований представляет сравнительный анализ факторов формирования разномасштабных уран-полиметалльных рудных объектов, расположенных в восточной краевой части Ингульского мегаблока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашник, А. А. Предпосылки формирования и критерии прогнозирования промышленных эндогенных месторождений урана Украинского щита / А. А. Калашник // Науковий вісник НГУ. – 2015. – № 4. – С. 12–21.
2. Калашник, А. А. Глубинные факторы формирования крупных U-V-TR-Sc месторождений в метасоматитах на Украинском щите / А. А. Калашник // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2015. – № 2. – С. 68–72.
3. Белевцев, Я. Н. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Я. Н. Белевцев, В. Б. Коваль, А. Х. Бакаржиев [и др.]. – К.: Наукова думка. – 1995. – 376 с.
4. Гурский, Д. С. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины: в 2 т. – Т.1. / Д. С. Гурский, К. Е. Есипчук, В. И. Калинин [и др.] / – К.-Львов: Центр Европы, 2005. – 785 с.
5. Пономаренко, О. М. Радиогеохронологія процесів метасоматозу в кристалічних породах УЩ / О. М. Пономаренко, Л. М. Степанюк, С. Г. Кривдік // Теоретичні питання і практика дослідження метасоматичних порід і руд: Тез. доп. наук. конф. 14–16 березня 2012 р. – Київ. – 2012. – С. 64–66.
6. Азаров, Н. Я. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита / Н. Я. Азаров, А. В. Анциферов, Е. М. Шеремет [и др.]. – К.: Наукова думка. – 2006. – 196 с.
7. Соллогуб, В. Б. Литосфера Украины / В. Б. Соллогуб. – К.: Наук. думка. – 1986. – 184 с.
8. Федоришин, Ю. І. Просторова модель глибинної будови літосфери Українського щита у зв'язку з перспективами промислової алмазності / Ю. І. Федоришин, О. В. Фесенко, О. Б. Денег // Мін. ресурси України. – 2006. – № 3. – С. 8–12.
9. Яценко, Г. М. Алмазоносные формации и структуры юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы / Г. М. Яценко, Д. С. Гурский, Е. М. Сливко [и др.]. – К.: УкрГГРИ. – 2002. – 331 с.
10. Абрамович, И. И. Металлогения / И. И. Абрамович. – М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2010. – 328 с.

КЛАНУ, Кировоград, Украина

Калашник Анна Анатольевна, профессор кафедры информационных технологий, доктор геологических наук
E-mail: kalashnik_anna1@mail.ru; Тел.: +380955639884
КП «Кировгеология», Киев, Украина

Кузьмин Анатолий Васильевич, ведущий геолог
E-mail: kuzmin_Kir@ukr.net; Тел.: +380962389231

KFANAU, Kirovograd, Ukraine

Kalashnyk G. A., Professor of Department of Information Technology, Doctor of Geological Sciences
E-mail: kalashnik_anna1@mail.ru; Тел.: +380955639884,
State enterprise "Kirovgeology", Kyiv, Ukraine
Kuzmin A.V., Leader Geologist,
E-mail: kuzmin_Kir@ukr.net; Тел.: +380962389231