

А. А. Калашник, д-р геол. наук, профессор (Кировоградская летняя академия
Национального авиационного университета)

ПРИЧИНЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СВЯЗИ И МОНОМЕТАЛЛЬНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОЛОТОГО И УРАНОВОГО ОРУДЕНИЙ В КИРОВОГРАДСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ УКРАИНСКОГО ЩИТА

Представлены результаты проведенных исследований новых закономерностей размещения промышленных монометалльных месторождений урана в карбонатно-натриевых метасоматитах и месторождений золота Кировоградского рудного района в тесной связи с особенностями глубинного строения литосферы и ее составных частей на основе использования модели первичного концентрирования рудогенных компонентов в астеносфере. Рассмотрена специфика связи уран-золото в карбонатно-натриевых метасоматитах.

Ключевые слова: промышленные месторождения урана, промышленные месторождения золота, монометалльное оруденение, мантийные рудогенные компоненты, мантийные флюиды.

Общая постановка проблемы и связь с практическими заданиями

Анализ связи особенностей строения литосферы и астеносферы Украинского щита (УЩ) и закономерностей формирования промышленных эндогенных месторождений урана на базе идеи масштабного инициального концентрирования урана на определенных глубинных уровнях астеносферы (по Ф. А. Летникову [8]) путем мантийной сепарации урана при определенных термобарогradientных условиях (по И. И. Абрамовичу [1]) позволил нам определить глубинные факторы формирования эндогенного промышленного уранового оруденения на УЩ и разработать принципиально новую технологию прогнозирования промышленных, в первую очередь крупных эндогенных месторождений урана [3]. Это дало возможность выполнить обоснованные прогнозные оценки потенциальной уранорудопродуктивности сегментов литосферы

УЩ и значительно минимизировать площади для дальнейших поисковых работ с целью наращивания промышленного потенциала минерально-сырьевой базы урана Украины.

В процессе исследования нами также установлены глубинные факторы формирования крупных месторождений уран-полиметалльного парагенезиса (U-V-TR-Sc) в карбонатно-натриевых метасоматитах УЩ [4]. К ним отнесены: 1) петрологические условия масштабной мантийной сепарации различных по металлогенической специализации рудогенных компонентов, которые создавались в краевой части литосферного сегмента высокой степени зрелости Ингульского мегаблока на границе со Среднеприднепровским; 2) сходство геохимической реакции U, V, TR, Sc на создававшихся в астеносфере градиенты давления и температур, что привело к их наиболее значительной комплексной концентрации в сформировавшейся глу-

бинной астеносферной ловушке и обеспечило совместный перенос в составе мантийных флюидов к верхним горизонтам земной коры по Криворожско-Кременчугскому разлому транслитосферного проникновения; 3) сходство геохимической реакции U, V, TR, Sc, необходимой для осаждения на геохимических барьерах верхних структурных горизонтов земной коры, что обеспечило их совместное массовое рудоотложение вследствие эксплозивного гидрогазоразрыва.

В мире открыт целый ряд комплексных месторождений с промышленными содержаниями урана и золота, самыми известными из которых являются Витватерсранд (золото-урановое в древних конгломератах), Олимпик-Дам (золото-уран-медное), Джабилука (золото-урановое, одно из крупнейших в мире).

Для Кировоградского рудного района характерна пространственная сопряженность в региональных тектонометасоматических структурах протерозойских золоторудных объектов с более молодыми протерозойскими промышленными месторождениями урана, а также проявлениями кимберлитового магматизма (рис. 1).

Базой эффективных прогнозно-поисковых моделей промышленного оруденения любой металлогенической специализации является исследование условий формирования месторождений, начиная от выявления первичных источников рудогенных компонентов и условий их концентрирования на стадии рудоподготовки (по И. И. Абрамовичу [1]), а также специфики формирования крупных рудо-концентраций на финальной стадии рудоотложения. Выделенные нами глубинные факторы формирования крупных по запасам промышленных монометалльных месторождений урана и крупных U-V-TR-Sc месторождений в карбонатно-натриевых метасоматитах на УЩ указывают на однозначную связь формирования крупного уранового и уран-полиметалльного оруденения с физическими характеристиками состояния недр на уровне астеносферы

Ингульского мегаблока высокой степени зрелости. Проблемы формирования промышленного золотого оруденения тесно связаны с геохимическими особенностями золота и особенностями его миграции и концентрирования в природных условиях. Данная статья является первым этапом изучения особенностей связи уран-золото в Кировоградском рудном районе, исследования причин разделения золота и урана при формировании промышленных концентраций и влияния глубинного строения Украинского щита на формирование промышленных месторождений золота.

Обзор публикаций и нерешенные части общей проблемы

Промышленные золоторудные месторождения Кировоградского ураново-золоторудного района (Юрьевское, Клиновское) монометалльные, средние по запасам и сопряжены в пространстве с промышленными месторождениями урана в карбонатно-натриевых метасоматитах (рис. 1, 2), которые также являются монометалльными, но преимущественно с крупными запасами. Это ярко проявлено для сближенных Юрьевского месторождения золота и Юрьевского месторождения урана. Отметим, что иная ситуация характерна для Червоношахтарского рудопроявления золота, вскрытого в зоне брекчирования среди мигматизированных пород железисто-кремнисто-сланцевой формации в Западно-Ингулецкой тектонической зоне Ингульского мегаблока УЩ. В ассоциации с золотом в рудных концентрациях выявлены медь, серебро, кобальт, молибден. Урановое оруденение на ряде месторождений в Кировоградском рудном районе прослежено на глубину 1000–1550 м (Северинское, Докучаевское, Новоконстантиновское). Определено [14], что источником рудогенных компонентов при формировании промышленных месторождений урана в карбонатно-натриевых метасоматитах Кировоградского рудного района является мантия. Золотое оруденение на Юрьевском месторождении золота прослежено

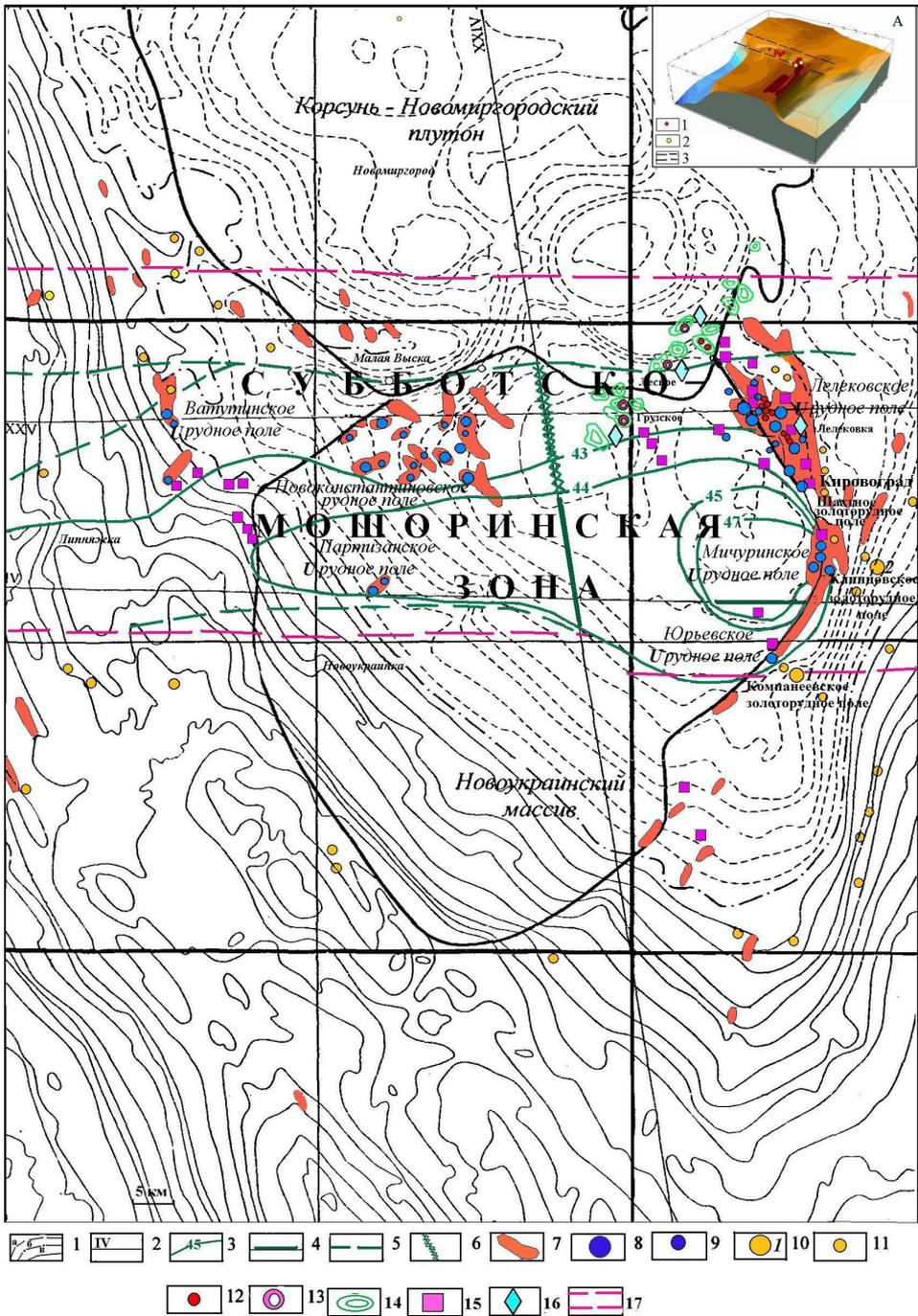


Рис. 1. Схема корреляционной связи проявлений ультраосновного щелочного магматизма, эндогенных урановорудных и золоторудных объектов центральной части Ингульского мегаблока, совмещенная со схемой гравитационного поля и элементами интерпретации сейсмических исследований:

1 – изолинии поля силы тяжести: а – отрицательные, б – нулевые, в – положительные; 2 – сейсмические профили ГСЗ, геотраверсы; 3 – изогипсы поверхности раздела Мохо; 4 – проекции на линии профилей опущенных участков поверхности рельефа Мохо; 5 – разрывные нарушения, вдоль

которых зафиксированы вертикальные смещения поверхности K_2 ; 6 – проекция на линию профиля борта мантийного прогиба; 7 – области развития щелочных метасоматитов; 8 – месторождения урана в карбонатно-натриевых метасоматитах; 9 – рудопроявления урана; 10 – месторождения золота; 11 – рудопроявления золота; 12 – дайки кимберлитов палеопротерозойского возраста; 13 – находки обломков автолитовых ксенотуфобрекчий кимберлита; 14 – контуры отрицательных гравияномалий, контролирующих эксплозивные структуры мел-палеогенового этапа тектонической активизации; 15 – дайки субщелочных пикритов (калиевая ветвь); 16 – места находок кимберлитовых алмазов; 17 – контуры Субботско-Мошоринской зоны разломов

На вставке А: Структурная схема размещения объектов промышленного эндогенного уранового оруденения Кировоградской урановорудной металлогенической области, совмещенная с 3D схемой глубины залегания поверхности М (схема поверхности М по Ю. И. Федоришину [16]): 1 – месторождения урана в карбонатно-натриевых метасоматитах, 2 – месторождения золота, 3 – положение границы Субботско-Мошоринской разломной зоны

бурением до глубины 1 000 м, на Клинцовском месторождении золота – до глубины 530 м.

При рассмотрении генезиса золоторудных месторождений наиболее дискуссионным остается вопрос об источнике металла. Природа источника рудогенных компонентов при формировании Клинцовского и Юрьевского месторождений также является предметом дискуссий. В ряде публикаций отображены представления различных исследователей [10, 11, 18] о возможных механизмах золоторудного процесса Кировоградского рудного района. По мнению Г. М. Яценко и коллег, Клинцовское месторождение золота, локализованное в зоне Кировоградского разлома, также связано с мантийными источниками рудогенных компонентов, раскрытыми этим разломом [11]. Проникновению рудоносных флюидов (или флюидизатов) при формировании Юрьевского месторождения золота также способствовали тектонические структуры, в которых происходила метасоматическая и гидротермальная переработка вмещающих.

В последние годы развиваются представления о значительной роли верхней мантии в поставке рудных компонентов различной металлогенической специализации в составе мантийных флюидов при формировании месторождений [1]. Отмечено, что золото оказывается в виде незначительной примеси в рудах разнообразного состава. Золото характеризуется высокой подвижностью в мантии и на

всех стадиях рудообразующего процесса [1]. Свидетельством высокой подвижности золота в мантии, по мнению А. Ф. Коробейникова, являются резкие вариации его содержания в магматических породах, возникших под влиянием мантийного метасоматоза [6]. Преимущественная связь месторождений золота с гранитоидами свидетельствует о концентрировании этого металла в астеносфере при значительной водонасыщенности и окисленности мантии, т. е. при высоких содержаниях во флюиде H_2O и CO_2 [1]. Нестабильность геолого-геохимических парагенезисов золота, по мнению И. И. Абрамовича, определяется его особенностью – чрезвычайно высоким коэффициентом распределения между флюидом и расплавом, который в зависимости от состава флюида, его температуры и давления несколько меняется, но для условий, близких к мантийным, стабильно остается высоким [1]. По результатам исследований разных авторов установлена единая тенденция в поведении золота – его переход во флюид существенно увеличивается при возрастании давления [1, 6].

По мнению А. Ф. Коробейникова, внутримантийные процессы преобразования глубинного вещества сопровождались перераспределением и выносом благородных металлов до 50 % от общего их количества в исходных породах мантии. Это обеспечивало возникновение металлоносных магмо-термофлюидодинамических глубинных систем в мантии [6]. Экспериментальное изучение миграции

золота в растворах и исследование его флюидных включений показывают большое разнообразие форм его переноса при преимущественной миграции в виде хлоридных соединений [1], что сближает золото и уран по геохимическим особенностям его миграции. Анализ специфики связи золото-уран в карбонатно-натрие-

вых метасоматитах крупных по запасам месторождений урана Кировоградского рудного района может позволить нам выявить условия, в том числе глубинные факторы, при которых возможна крупная совместная концентрация этих элементов или их раздельное пространственно сближенное рудоконцентрирование, как

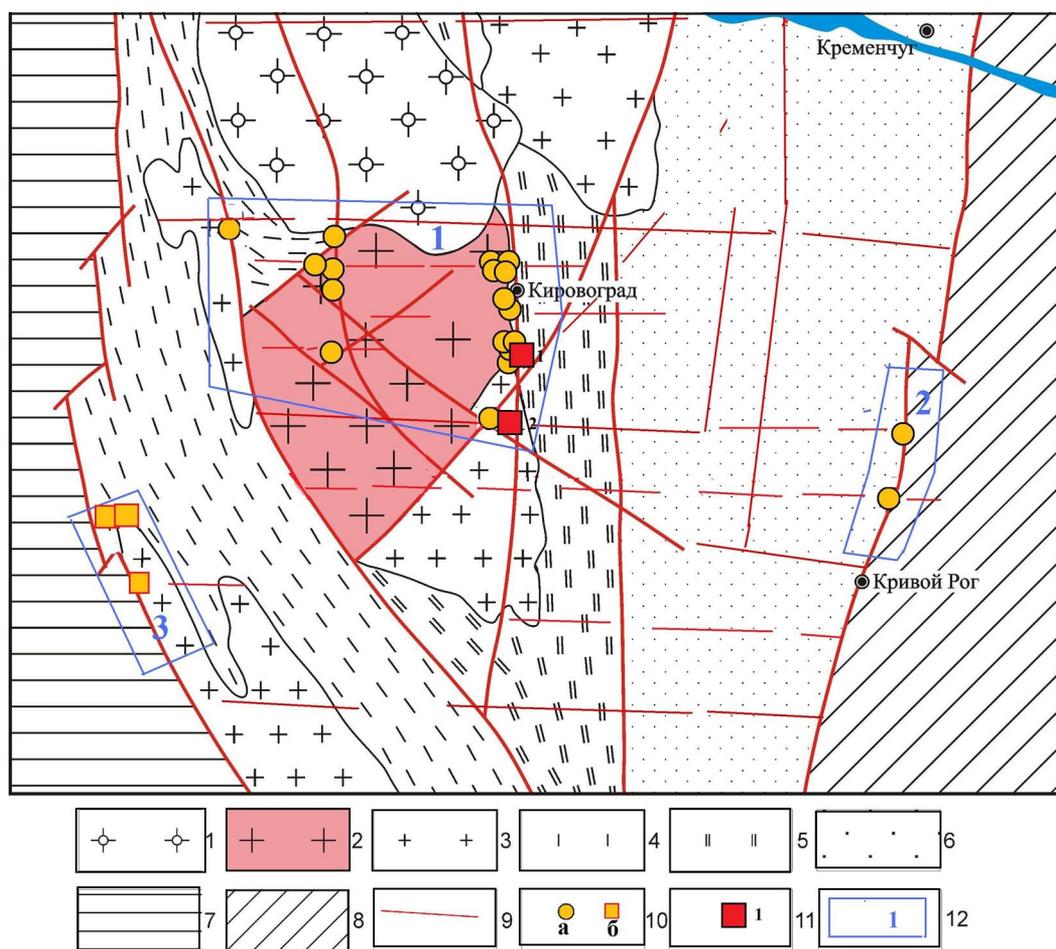


Рис. 2. Схема расположения промышленных месторождений урана и золота Ингульского мегаблока Украинского щита:

1 – граниты рапакиви и основные породы Корсунь-Новомиргородского плутона (курсунь-новомиргородский комплекс PR_2); 2 – гранитоиды Новоукраинского массива (новоукраинский комплекс PR_1); 3 – граниты и мигматиты кировоградского комплекса (PR_1); 4 – Братский синклиний; 5 – Ингулецкий синклиний; 6 – Западно-Ингулецкая полоса; 7 – Днестровско-Бугский мегаблок (архейский гранулитовый комплекс); 8 – Среднеприднепровский мегаблок (архейский гранит-зеленокаменный пояс); 9 – оси разломов; 10 – месторождения урана: а – в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах, б – в высокотемпературных кремний-калиевых метасоматитах; 11 – месторождения золота: 1 – Клиновское, 2 – Юрьевское; 12 – урановорудные районы УЩ: 1 – Кировоградский, 2 – Криворожский, 3 – Алексеевско-Лысогорский

это проявлено в восточном обрамлении Новоукраинского массива Ингульского мегаблока.

Цель статьи

Выявление специфики связи уран-золото в карбонатно-натриевых метасоматитах промышленных месторождений урана Кировоградского урановорудного района УЩ и причин пространственной сопряженности и разобщенности формирования промышленных золотого и уранового оруденений в Кировоградском рудном районе УЩ.

Методика исследований

Для решения поставленных задач использовался анализ результатов комплекса геофизических, радиогеохимических, геохимических, минералого-петрографических исследований и структурно-геологические методы исследований.

Связь уран-золото в урановорудных карбонатно-натриевых метасоматитах Кировоградского рудного района

В настоящее время достаточно распространенными являются представления о ведущем значении при формировании докембрийских месторождений золота УЩ первично обогащенных металлом вмещающих пород. Особенно широко эти взгляды были развиты применительно к месторождениям золота в зеленокаменных поясах архея, а также к стратиформным месторождениям палеопротерозоя.

Результаты изучения золотоносности пород восточного экзоконтакта Новоукраинского массива, вмещающих золоторудные объекты, указывают на сравнительно низкие уровни содержания этого металла (табл. 1). Гранитоиды кировоградского комплекса характеризуются крайне низким уровнем фоновых содержаний золота, в то время как разрез

Таблица 1. Фоновые содержания золота в породах фундамента восточного экзоконтакта Новоукраинского массива (по материалам ГРЭ-37 КП “Кировгеология”)

№ п/п	Породы	Количество проб в выборке	Средние фоновые содержания, мг/т
А. Чечелевская свита Ингуло-ингулецкой серии			
1.	Гнейсы биотитовые	1500	2,6
2.	Гнейсы кордиерит-биотитовые	219	2,7
3.	Гнейсы графит-биотитовые	114	6,2
4.	Гнейсы амфибол-биотитовые	26	5,1
5.	Гнейсы пироксен-биотитовые	42	2,2
Б. Спасовская свита Ингуло-ингулецкой серии			
6.	Гнейсы биотитовые	37	2,0
7.	Гнейсы пироксен-биотитовые	20	2,0
В. Кировоградский комплекс			
8.	Граниты и мигматиты нерасчлененные среднезернистые, биотитовые	572	1,6
9.	Граниты мелко-, среднезернистые, биотитовые	793	3,0
10.	Пегматиты, аплит-пегматоидные граниты	448	3,0
11.	Кварцевые и кварц-полевошпатовые жилы, тесно связанные с пегматитами	23	17,0

чечелевской свиты имеет повышенный и высокий уровень фоновых содержаний золота в кордиеритовых, диопсид-амфиболовых, амфиболовых и графит-биотитовых гнейсах, в сравнении с уровнем содержаний в господствующих в разрезе биотитовых гнейсах. В разрезе чечелевской свиты биотитовые гнейсы имеют самые низкие (в группе гнейсов) около-кларковые фоновые содержания золота. Наиболее высокие фоновые содержания свойственны графит-биотитовым гнейсам. Граниты и мигматиты, нерасчленённые среднезернистые, биотитовые кировоградского комплекса, характеризуются весьма низким фоновым содержанием золота. В то же время граниты мелко- и среднезернистые и аплит-пегматоидные, приуроченные к экзоконтакту Новоукраинского массива, характеризуются повышенной фоновой золотоносностью до 3 мг/т. Еще более высокий фон отмечается в тесно связанных с пегматоидами кварцевых и кварц-полевошпатовых жилах и прожилках, по простиранию нередко переходящих в пегматиты. При этом они зачастую ассоциируют с золотоносными минерализованными зонами в гнейсовом разрезе.

Десилицированные породы, а также зоны окварцевания и серицитизации, сопровождающие участки десилицированных пород и альбититов (“кварцевые шляпы” внешних зон метасоматоза), характеризуются крайне низкой фоновой золотоносностью 0,7–1,0 мг/т. По данным геохимических исследований КП “Кировгеология” монофракций пирита и графита из графит-биотитовых гнейсов чечелевской свиты ингуло-ингулецкой серии, не затронутых золоторудной минерализацией, эти минералы являются основными концентраторами золота в породах. В графитах его содержание составляет 2,25 г/т, пиритах – 0,63 г/т. Кроме того, графит является главным концентратором марганца, молибдена, олова, титана, ванадия, цинка, а пирит – кобальта, никеля, свинца. В графитовых гнейсах обычно прослеживается прямая зависимость между содержаниями

золота в породах и количеством сульфидов в ней (Ю. П. Шестаков, КП “Кировгеология”).

Проведенное ГРЭ № 37 КП “Кировгеология” опробование и анализ продуктов натриевого метасоматоза, проявленных как в гранитоидах кировоградского комплекса, так и в гнейсах чечелевской свиты, а также мощных зон серицитизации и окварцевания, сопровождающих участки десилицированных пород и альбититов ряда месторождений урана, позволили зафиксировать в ряде проб аномальное содержание золота. В частности, на Щорсовском и Подгайцевском месторождениях урана в ряде скважин содержание в рудных альбититах зафиксировано на уровне проявлений (0,1–0,4 г/т и выше). В рудных альбититах приповерхностной зоны Новоконстантиновского месторождения урана содержание золота достигает 40 мг/т. Отметим, что в урановорудных альбититах Желтореченского месторождения (Криворожский урановорудный район) отмечено увеличение содержания золота до 2 г/т. Среднее содержание золота в урановорудных карбонатно-натриевых метасоматитах Кировоградского рудного района невысокое (табл. 2).

Золотоносные концентрации чаще распределены по периферии месторождений урановорудных альбититов, в частности Центрального, Северинского, Подгайцевского, Новоконстантиновского и других. Месторождения Юрьевское урановое и Юрьевское золотое находятся в 6 км друг от друга. Золоторудная минерализация, так же как и урановая, приурочена к долгоживущим тектонометасоматическим зонам. На Юрьевском месторождении урана золотоносные зоны имеют преимущественно широкое простирание, как и зоны уранового оруденения, золотая минерализация прослежена до глубины 1 000 м (материалы КП “Кировгеология”). При средних содержаниях золота в урановорудных апогнейсовых альбититах Юрьевского месторождения урана до 45 мг/т, в зонах оруденения Юрьевского месторождения золота на отдельных

Таблица 2. Средние содержания золота в урановорудных карбонатно-натриевых метасоматитах ряда месторождений урана Кировоградского рудного района

Месторождения урана	Среднее содержание Au, $n \cdot 10^{-7} \%$
Мичуринское	271*
Северинское	19,0*
Подгайцевское	18,0*
Центральное	9,4–12,5**
Юрьевское	6,2–45,0**
Лелековское	11,0**
Западно-Коноплянское	9,1*
Южно-Коноплянское	8,7*
Новоконстантиновское (приповерхностная зона)	11,1–40,0**

Примечания. Кларк содержания золота в гранитах $4,5 \cdot 10^{-7} \%$.

Определения содержания золота выполнены нейтронно-активационным методом:

*данные ВИМС; **данные ГРЭ № 37 КП “Кировгеология”

интервалах содержание поднимается до 10–15 г/т (Ю. П. Шестаков, КП “Кировгеология”).

Проведенные анализы акцессорных минералов пирита и галенита из урановорудных альбититов, в частности Центрального, Северинского, Подгайцевского месторождений, показали невысокое содержание золота, которое составляет $4\text{--}6 \cdot 10^{-6} \%$, что соизмеримо с содержанием золота в самих урановорудных альбититах. Одновременно в рибеките урановорудных альбититов содержание золота оказалось достаточно высоким – до $4 \cdot 10^{-5} \%$ (В. Г. Руткевич, КП “Кировгеология”), что указывает на сидерофильность золота в ураноносных карбонатно-натриевых метасоматитах, сульфидная минерализация для них не характерна. На Юрьевском месторождении урана в скв. 2420 на глубинах более 800 м в апогнейсовых альбититах было зафиксировано значительное количество сульфидов (арсенопирит, пирит, халькопирит) до 10 %. При этом содержание золота в апогнейсовых альбититах увеличивалось незначительно (до $20\text{--}40 \cdot 10^{-7} \%$). В то же время в графитовых гнейсах, на участках обогащения сульфидами, наблюдалось по-

вышение содержания золота до $7 \cdot 10^{-5} \%$ и даже до 1 г/т (В. Г. Руткевич, КП “Кировгеология”). Причина указанных особенностей проявления золота в ураноносных альбититах, по нашему мнению, обусловлена невозможностью проявления золотом своих халькофильных свойств в условиях отсутствия серы в щелочных натриево-углекислых растворах и скоротечным рудоотложением урана вследствие процесса взрывного гидрогазоразрыва [7]. Основная форма нахождения золота – самородное. Оно встречается преимущественно в тонкодисперсных, реже мелкозернистых выделениях частиц размером менее 0,001 мм (И. И. Минеева, материалы КП “Кировгеология”). В редких случаях отмечены золотины размером от 0,01 до 0,005 мм. Форма золотинок округлая, несколько удлинённая, реже наблюдаются каплевидные и изометричные обособления. В альбититах золотины фиксируются по периферии и внутри зерен эгирина и щелочных амфиболов, в микротрещинах – в альбите, мелких кавернах, пустотах, выполненных гидроокислами и окислами железа (В. Г. Руткевич, КП “Кировгеология”).

Клинцовское месторождение золота, по мнению Г. М. Яценко и коллег, связано с мантийными источниками рудогенных компонентов. В его пределах выявлены две основные рудные формации: мало-сульфидная золото-кварцевая и золото-кварцевая [11]. Самородное золото встречается крайне редко. Породы рудной зоны большей частью метасоматически измененные, содержат кварцевые образования различного генезиса мощностью от 2 до 30 м, в различной степени обогащенные золотом, мышьяком и висмутом [11]. Образование Клинцовского месторождения связывают главным образом с тектонометасоматическими процессами, а не с метаморфическими и магматическими, которые присущи месторождениям золота иных классов и предлагают тектонометасоматическую модель его формирования [18].

Рудовмещающей формацией на Юрьевском месторождении золота также как и на Клинцовском является флиш-идная метаграувакковая, породы которой подверглись существенным тектоно-метасоматическим преобразованиям [11]. На Юрьевском месторождении золота преобладает оруденение золото-кварцевого типа (до 90 %) с более крупным, свободным, высокопробным золотом, обособленным в кварцевых жилах и прожилках и порядка 10 % золото-сульфидное, с мелкодисперсным, низкопробным золотом, пространственно связанным с сульфидизированными гнейсами (Ю. П. Шестаков, КП "Кировгеология").

Временной разрыв между формированием месторождений урана в карбонатно-натриевых метасоматитах рудных районов Кировоградской урановорудной области УЩ и формированием Юрьевского и Клинцовского месторождений золота, связь с другими эндогенными процессами наглядно отображены на рис. 3. В целом эндогенные процессы отчетливо делятся на две группы временных интервалов: 2,1–1,95 и 1,8–1,75 млрд лет.

Возраст золотого оруденения Компанеевского (Юрьевского) и Клинцов-

ского золоторудных полей можно оценить по определению возраста главной рудной ассоциации изотопно-свинцовым методом по галениту для Юрьевского месторождения золота, который составляет 2000 ± 20 млн лет [10] и данным Д. Н. Щербака и А. В. Гринченко для золото-кварцевых месторождений Кировоградского рудного района (1,975–1,97 млрд лет) [17]. В период активизации (2,1–1,97 млрд лет) в центральной части УЩ имел место мощный восходящий поток высокотемпературных флюидов, создавший в условиях ультраметаморфизма Новоукраинский гранитный массив, который стал фактором резкой анизотропии геологической среды в регионе. Изотопный возраст гранитов кировоградского комплекса, по Д. Н. Щербаку [17], составляет 2070–2015 млн лет. Полученные в последние годы уран-свинцовые изотопные датировки гранитоидов новоукраинского и кировоградского комплексов по монацитам показали практически один и тот же возраст 2,03–2,04 млрд лет [2, 12]. Близкие значения возрастов получены для ряда гранитоидных массивов Ингульского мегаблока (по Е. Е. Шестопаловой, Л. М. Степанюку и др. [12]): возраст монацита порфиroidных биотитовых гранитов Долинского массива, (уран-свинцовый метод) – $2021,9 \pm 1,5$ млн лет, возраст монацита из гранат-биотитового порфиroidного гранита Вознесенского массива (уран-свинцовый метод) составляет $2034 \pm 6,6$ млн лет. В эпоху 2000–1950 млн лет в Ингульском мегаблоке произошло масштабное формирование урановорудных концентраций в связи с развитием высокотемпературного кремний-калиевого метасоматоза (пик К-У минерализации на Южном, Лозоватском, Калиновском месторождениях приходится на 1,98–1,96 млрд лет [12] (Алексеевско-Лысогорский урановорудный район)). Подчеркнем, что эта датировка практически синхронна с формированием золото-кварцевых месторождений Кировоградского рудного района

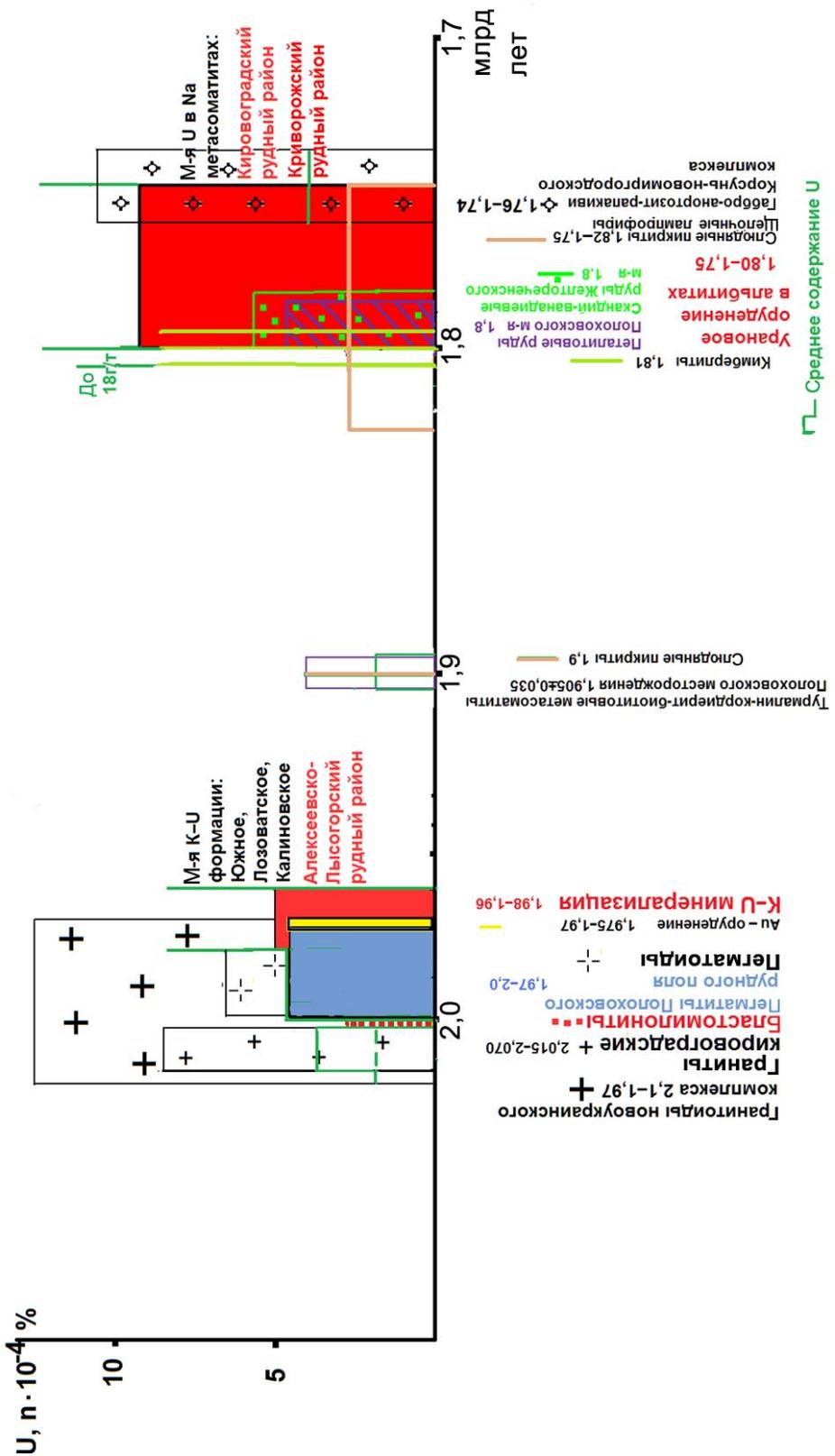


Рис. 3. Временная связь формирования урановорудных районов Кировоградской области урановорудной области УЩ с другими эндогенными процессами (с использованием данных Н. П. Щербака и др. [2], В. А. Крупеникова [7], Д. Н. Щербака и А. В. Гринченко [17], А. Н. Пономаренко [12] (цифры – возраст в млрд лет)

(1,975–1,97 млрд лет) [17]. Формирование месторождений калий-урановой формации Алексеевско-Лысогорского рудного района в высокотемпературных щелочных калиевых метасоматитах принципиально имеет связь с подкоровыми источниками рудогенных компонентов и процессами мантийной природы, отвечающими за значимое эндогенное рудообразование урана, что и месторождения урана в натриевых метасоматитах, но сформированными локально, в самостоятельной группе эндогенных процессов в тесной связи с процессами кислого гранитоидного петрогенезиса [5].

Масштабное формирование урановорудных концентраций в связи с развитием среднетемпературного натриевого метасоматоза (Кировоградский и Криворожский урановорудные районы) произошло в период 1800–1750 млн лет. Урановое оруденение в карбонатно-натриевых метасоматитах почти синхронно с альбит-петалит-литиевым оруденением Полоховского месторождения (возраст альбит-петалитовых руд Полоховского месторождения составляет 1800 ± 35 млн лет (К-Аг метод)) [10].

Исходя из данных работы [15], мощность литосферы Земли на архейском этапе ее эволюции составляла ~70 % от полной мощности. На рубеже архея и палеопротерозоя (2,8–2,6 млрд лет) и в период 2,1–2,0 млрд лет на Земле произошло массовое образование гранитоидов, которое было обусловлено возросшей активностью водородсодержащих трансмагматических флюидов и возможностью выноса ими щелочей и других некогерентных элементов с глубоких горизонтов мантии, неистощенной в отношении этих элементов [8, 9]. Нарастивание литосферы создавало условия для проникновения последующих более молодых разломов на эти уровни, их высокой последующей флюидизации с широким развитием метасоматитов, мелких очагов плавления и, как правило, высокой рудоносностью. В результате указанных преобразований интервал времени поздний архей-палеопротерозой отвечал

наиболее оптимальным условиям астеносферного концентрирования халькофильных элементов [1, 9]. На следующем этапе эволюции флюидно-мантийного процесса Земли произошло воздействие на коровые эндогенные процессы мантийных флюидов [8, 9]. При этом очередное отступление фронта восстановленных флюидов на более глубокие горизонты мантии, неистощенной в отношении углерода, щелочей и некогерентных элементов, обусловило генерации магм и расплавов, обогащенных редкими элементами в области высоких давлений. Формирование промышленного золотого и промышленного уранового оруденения на УЩ являлось составной частью этого общего геологического развития Земли в целом и региона их проявленности (в данном случае Ингульский мегаблок) в частности.

Крупным рудным провинциям и крупным по запасам месторождений различной формационной принадлежности присущи определенные диапазоны геофизических параметров мантии, отражающие наиболее оптимальные условия для первичного концентрирования тех или иных рудных компонентов [8, 9]. Наибольшая степень зрелости на УЩ по целому ряду признаков присуща Ингульскому мегаблоку. Использование анализа особенностей глубинного строения литосферы в районах формирования пространственно сопряженных промышленных месторождений урана и золота центральной части УЩ позволило выявить некоторые особенности физического состояния глубин, которые влияли на условия рудогенеза. Для Ингульского мегаблока характерна максимальная в пределах УЩ мощность литосферы, достигающая по данным ГСЗ 250 и более километров [13]. Мощность коры в пределах мегаблока изменяется от 35 до 45 км с валлообразным поднятием в Ингуло-Ингулецкой шовной зоне. Поверхность Мохо по сравнению с соседними мегаблоками образует поднятие, своеобразный приподнятый блок, в пределах которого в желобообразной впадине в поверхности М, совпадающей с Суббот-

ско-Мошоринской разломной зоной по данным ГСЗ, зафиксированы контрастно выраженные вертикальные расслоения коры (профиль XXIV), которые также отмечены и в зоне Кировоградского разлома (геотраверс IV) (рис. 1). В подошве литосферы Ингульского мегаблока высокой степени зрелости создавались наиболее оптимальные условия для масштабного первичного астеносферного концентрирования рудогенных компонентов, характеризующихся высокой степенью сродства к кислороду и фтору [8, 9]. При возникновении транслитосферной проницаемости происходил вынос к верхним горизонтам земной коры с очагов первичного астеносферного концентрирования рудогенных компонентов флюидной фазы в составе специализированного восходящего флюидного потока.

Образование гранитоидов новоукраинского и кировоградского комплексов Ингульского мегаблока совпадает с палеопротерозойским периодом массового образования гранитоидов на Земле (2,1–2,0 млрд лет). В этот период происходило эпизодическое изменение состава мантии в общепланетарном масштабе и на этом фоне, вероятно, возникла резкая вариация физических свойств и в подошве литосферы Ингульского мегаблока, с связи с интенсивным гранитообразованием в это время. Возникли благоприятные условия для геохимического обособления золота в сегменте астеносферы, подстилающей Ингульский мегаблок. Локальная скачкообразная потеря устойчивости РТ-систем подстилающей Ингульский мегаблок астеносферы, вследствие мантийных процессов, вероятно, привела к усилению миграции золота, его масштабному концентрированию и последующей генерации золотоносных флюидов. Это предопределило тенденцию к формированию высоких концентраций золота в локальной астеносферной ловушке Ингульского мегаблока при исключительной рассеянности золота в мантии с последующим формированием промышленных месторождений в тектонометасоматических зонах.

Золоторудные поля, вмещающие промышленные месторождения золота (Клинцовское, Компанеевское (Юрьевское)), а также Шахтное, которые сопряжены и перекрываются со структурами Мичуринского, Юрьевского и Лелековского урановорудных полей, являются проекцией на земную поверхность астеносферной ловушки с вероятной предрудной концентрацией золоторудных флюидов в ее пределах. При благоприятной флюидопроницаемости среды в периоды тектонических активизаций обеспечивался подъем на верхние этажи земной коры золотоносных флюидов (флюидизатов) в составе восходящего флюидного потока в период 1,975–1,970 млрд лет и впоследствии ураноносных флюидов в период 1,80–1,75 млрд лет.

Парагенетическая ассоциация золота с ураном при формировании промышленных месторождений урана в карбонатно-натриевых метасоматитах обуславливалась физико-химическими факторами, прежде всего определяющими первичное концентрирование и последующую совместную миграцию и осаждение этих элементов на финальной стадии рудоотложения. Вариации геохимических особенностей золота, обусловленные двойственностью и сочетанием сидерофильных и халькофильных свойств, определяют прежде всего многообразие форм его концентрирования на стадии рудоотложения с образованием широкого спектра типов месторождений. На этапе рудоподготовки в мантийных условиях более существенна была роль среды, определявшая высокую подвижность золота, которая должна характеризоваться присутствием галогенов, прежде всего хлора. Галогенофильность золота являлась определяющей при формировании его первичных масштабных мантийных концентраций, необходимых для возникновения крупных месторождений золота различных рудноформационных типов. Именно галогенофильность определяла подвижность золота в мантии, многообразие форм его состояния, соединений, масштабов пер-

вичного концентрирования и миграции на верхние структурные горизонты по проницаемым транслитосферным разломам. В щелочных бессульфидных натриево-углекислых растворах, формировавших ураноносные карбонатно-натриевые метасоматиты в Кировоградском рудном районе, золото могло проявлять только сидерофильную природу, транспортировалось в мантийном ураноносном флюиде в незначительных количествах. Поэтому проявление золотой составляющей при урановом рудообразовании в карбонатно-натриевых метасоматитах ярко не выражено, комплексные промышленные рудные концентрации золота совместно с ураном в них отсутствуют.

Выводы и перспективы дальнейшего развития в данном направлении

Урановорудные и золоторудные поля в восточном обрамлении Новоукраинского массива центральной части УЩ перекрываются, что указывает на определенное сходство петролого-геохимических условий концентрирования урана и золота и общность реакции генерации рудогенных компонентов и путей их миграции в астеносфере и затем на верхнекоровый уровень по общим разломам транслитосферной проницаемости. Однако монометалльность крупных месторождений урана в карбонатно-натриевых метасоматитах и средних по запасам Клиновского и Юрьевского месторождений золота Кировоградского уран-золоторудного района, существенный временной разрыв их образования указывают на специфику и геохимическую обособленность золота и урана в астеносферных условиях, определенный антагонизм условий их первичного концентрирования. Металлогеническая специализация Кировоградского рудного района, сочетающая крупные промышленные месторождения урана, крупные промышленные месторождения лития, средние по запасам промышленные месторождения золота, обусловлена единой астеносферной ловушкой с формированием локальных термических не-

однородностей в ее пределах, создающих условия для масштабной обособленной концентрации урана и золота, что согласуется с пространственной сопряженностью промышленного уранового и золотого оруденения и нередким сонахождением урановой и золотой минерализации в рудных зонах.

Учитывая монометалльность промышленных месторождений золота центральной части УЩ, важным этапом являлось геохимическое обособление золота с последующим масштабным мантийным концентрированием. Отлагаясь практически синхронно с другими металлами, золото чаще всего не связано с ними генетически, а обусловлено общностью миграции. Спецификой Ингульского мегаблока является проявленность антагонизма U-Au при формировании промышленных месторождений урана и золота в Кировоградском рудном районе, что свидетельствует о разных факторах, контролировавших их первичное астеносферное концентрирование, генерацию специализированных рудоносных мантийных флюидов, различие времени миграции с мантийного уровня на верхние горизонты земной коры. Пространственная сопряженность месторождений урана и месторождений золота обусловлена связью с единой астеносферной ловушкой и обусловлена общностью путей разновременной миграции по одним и тем же разломным структурам мантийного проникновения и узлов их пересечения. Смена металлогенической специализации монометалльных рудных формаций в Кировоградском рудном районе (золото, затем уран), первичное концентрирование которых связано с единой астеносферной ловушкой, подчинена общему ходу эволюции Земли и проявленности мантийных процессов в Ингульском мегаблоке УЩ высокой степени зрелости. В свете развиваемых представлений становится объяснимой проявленность антагонизма U-Au при формировании пространственно сопряженных промышленных монометалльных месторождений урана и золота в Кировоградском рудном районе УЩ.

На следующем этапе исследований необходимо изучить специфику связи уран-золото на урановорудных объектах различных генетических типов в Криворожском урановорудном районе с проявленным крупным уран-полиметалльным (U-V-TR-Sc) орудением.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамович И. И.* Металлогения/Абрамович И. И. – М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2010. – 328 с.
2. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой/[Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М. и др.]. – К.: Наукова думка, 2008. – 240 с.
3. *Калашиник А. А.* Новые прогнозно-оценочные критерии в технологии прогнозирования формирования промышленных эндогенных месторождений урана Украинского щита/А. А. Калашиник//Зб. наукових праць УкрДГРІ. – 2014. – № 2. – С. 27–54.
4. *Калашиник А. А.* Новые возможности технологии прогноза и поиска промышленных уран-полиметалльных месторождений на базе концепции первичного астеносферного концентрирования рудных компонентов/Зб. наукових праць УкрДГРІ. – 2014. – № 3–4. – С. 114–137.
5. *Калашиник А. А.* Структурная позиция месторождений калий-урановой формации Алексеевско-Лысогорского урановорудного района Украинского щита/А. А. Калашиник, А. В. Кузьмин//Зб. наукових праць УкрДГРІ. – 2012. – № 2. – С. 78–90.
6. *Коробейников А. Ф.* Мантийные магмотермофлюидодинамические и внутрикоровые гранитно-гидротермально-метасоматические золотоносные системы/А. Ф. Коробейников// Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 11. – № 1. – С. 36–45.
7. *Крупенников В. А.* Мантийный щелочной флюидно-магматический петрогенезис как основной рудообразующий процесс/В. А. Крупенников//Матер. II Межд. симпозиума “Уран-ресурсы, производство” (Москва, 26–28 ноября 2008 г.). – М.: Изд-во ФГУП ВИМС. – С. 28–31.
8. *Летников Ф. А.* Зрелость литосферных блоков и проблемы эндогенного рудообразования/Ф. А. Летников//Глубинные условия эндогенного рудообразования. – М.: Наука, 1986. – С. 16–24.
9. *Летников Ф. А.* Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудо-

образования/Ф. А. Летников//Вестник ОГН РАН. – 1999. – № 4 (10). – 25 с.

10. *Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины.* Том 1. Металлические полезные ископаемые/[Гурский Д. С., Есипчук К. Е., Калинин В. И. и др.]. – Киев-Львов: Изд-во “Центр Европы”, 2005. – 785 с.

11. *Металогенія золота протоплатформених структур Українського щита (Кіровоградський блок): [монографія]/Г. М. Яценко, О. В. Гайовський, Є. М. Сливко та ін.* – К.: Логос, 2009. – 243 с.

12. *Пономаренко О. М.* Радіогеохронологія процесів метасоматозу в кристалічних породах УЩ/О. М. Пономаренко, Л. М. Степанюк, С. Г. Кривдік, В. О. Синицин: тези доповідей наукової конференції “Теоретичні питання і практика дослідження метасоматичних порід і руд” (Київ, 14–16 березня 2012 р.). – ИГМР, 2012. – С. 64–66.

13. *Соллогуб В. Б.* Литосфера Украины/Соллогуб В. Б. – К.: Наукова думка, 1986. – 184 с.

14. *Степанюк Л. М.* Джерело натрію та урану ураноносних альбітитів на прикладі Докучаєвського родовища Інгульського мегаблоку УЩ/Л. М. Степанюк, С. М. Бондаренко, В. О. Сьомка и др.: тези доповідей наукової конференції “Теоретичні питання і практика дослідження метасоматичних порід і руд” (Київ, 14–16 березня 2012 р.). – ИГМР, 2012. – С. 78–80.

15. *Тейлор С. Р.* Континентальная кора: ее возраст и эволюция/С. Р. Тейлор, С. М. МакЛеннан. – М.: Мир, 1988. – 384 с.

16. *Федоришин Ю. І.* Просторова модель глибинної будови літосфери Українського щита у зв'язку з перспективами промислової алмазонасності/Ю. І. Федоришин, О. В. Фесенко, О. Б. Денегал//Мінеральні ресурси України. – 2006. – № 3. – С. 8–12.

17. *Щербак Д. Н.* Металлогенические эпохи докембрия Украинского щита/Д. Н. Щербак, А. В. Гринченко//Минер. журнал. – 1999. – 21. – № 2. – С. 22–38.

18. *Яценко Г. М.* Тектоно-метасоматические зоны – ведущая структурно-металлогеническая позиция золоторудных месторождений нижнего докембрия/Г. М. Яценко, А. К. Бабинин, Д. С. Гурский и др.//Мінеральні ресурси України. – 2000. – № 1. – С. 13–18.

REFERENCES

1. *Abramovich I. I.* Metallogeny. – Moskva: GEOKART-GEOS, 2010. – 328 p. (In Russian).
2. *Geochronology of Early Precambrian of the Ukrainian Shield.* Proterozoic/[Shherbak N. P.

Artemenko G. V., Lesnaja I. M. et al.]. – Kyiv: *Naukova dumka*, 2008. – 240 p. (In Russian).

3. Kalashnik A. A. New prognostic-evaluation criteria in technology prognosis of forming industrial endogenic uranium deposits of the Ukrainian Shield//*Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI*. – 2014. – № 2. – P. 27–54. (In Russian).

4. Kalashnik A. A. New possibilities of the technology of prpgnosis and search of uranium-polymetal industrial deposits based on the concept of initial concentration ore components in asthenosphere//*Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI*. – 2014. – № 3–4. – C. 114–137. (In Russian).

5. Kalashnik A. A., Kuzmin A. V. Structural position of the uranium deposits of potassium-formation of the Alekseevsko-Lysogorskiy uranium ore district of the Ukrainian shield//*Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI*. – 2012. – № 2. – P. 78–90. (In Russian).

6. Korobeynikov A. F. Mantle magmatic-thermo-fluidical-dynamical and inside-crust granite-hydrothermal-metasomatic gold-bearing systems//*Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*. – 2007. – Vol. 11. – № 1. – C. 36–45. (In Russian).

7. Krupennikov V. A. Mantle alkaline fluid-magmatic petrogenesis as the main ore-forming process//*Mater. II Mezhd. simpoziuma “Uran – resursy, proizvodstvo”* (Moskva, 26–28 nojabrja 2008). – Moskva: *Izd-vo FGUP VIMS*. – P. 28–31. (In Russian).

8. Letnikov F. A. Maturity of lithospheric blocks and problems of endogenous mineralization//*Glubinnye uslovija jendogennogo rudobrazovanija*. – Moskva: *Nauka*, 1986. – P. 16–24. (In Russian).

9. Letnikov F. A. Fluidal facies of continental lithosphere and problems of ore-formation//*Vestnik OGGN RAN*. – 1999. – № 4 (10). – 25 p. (In Russian).

10. Metallic and nonmetallic minerals of the Ukraine. Volume I. Metallic minerals/ [Gurskij D. S., Esipchuk K. E., Kalinin V. I. et al.]. – Kyiv-Lviv: *Izd-vo “Tsentr Evropy”*, 2005. – 785 p. (In Russian).

11. Metallogeny of aurum of protoplatformes structures of the Ukrainian Shield (Kirovograd block)/H. M. Yatsenko, O. V. Haiovskyi, Ye. M. Slyvko et al. – Kyiv: *Lohos*, 2009. – 243 p. (In Ukrainian).

12. Ponomarenko O. M., Stepaniuk L. M., Kryvdik S. H., Synytsyn V. O. Radiogeohronology of metasomatitics processes in crystal rocks of the UkrSh: tezy dopovidei naukovi konferentsii “Teoretychni pytannia i praktyka doslidzhennia metasomatychnykh porid i rud” (Kyiv, 14–16 bereznia 2012). – *IGMR*, 2012. – P. 64–66. (In Ukrainian).

13. Sollogub V. B. Lithosphere of the Ukraine. – Kyiv: *Naukova dumka*, 1986. – 184 p. (In Russian).

14. Stepaniuk L. M., Bondarenko S. M., Somka V. O. et al. Source of sodium and uranium of uraniferous albitites on the example of Dokuchaievsk field of the Ingulsky megablock of the UkrSh: tezy dopovidei naukovi konferentsii “Teoretychni pytannia i praktyka doslidzhennia metasomatychnykh porid i rud” (Kyiv, 14–16 bereznia 2012). – *IGMR*, 2012. – P. 78–80. (In Ukrainian).

15. Teylor S. P., Mc-Lennon S. M. Continental crust: its age and evolution. – Moskva: *Mir*, 1988. – 384 p. (In Russian).

16. Fedoryshyn Yu. I., Fesenko O. V., Deneга O. B. The spatial model of the deep structure of the lithosphere of the Ukrainian shield at the prospect of industrial diamond//*Mineralni resursy Ukrainy*. – 2006. – № 3. – P. 8–12. (In Ukrainian).

17. Shherbak D. N., Grinchenko A. V. Metallogenic epochs of the Ukrainian Precambrian Shield//*Miner. zhurn*. – 1999. – V. 21. – № 2. – P. 22–38. (In Russian).

18. Jacenko G. M., Babinin A. K., Gurskij D. S. et al. Tectonic-metasomatic zones are leading structural-metallogenical position of gold-ore deposits in the Precambrian//*Mineralni resursy Ukrainy*. – 2000. – № 1. – P. 13–18. (In Russian).

Рукопис отримано 11.05.2015.

Г. А. Калашник, Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

ПРИЧИНИ ПРОСТОРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ Й МОНОМЕТАЛЬНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ЗОЛОТОГО Й УРАНОВОГО ЗРУДЕНІНЬ У КІРОВОГРАДСЬКОМУ РУДНОМУ РАЙОНІ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Представлено результати проведених досліджень нових закономірностей розміщення промислових монометальних родовищ урану в карбонатно-натрієвих метасоматитах і родовищ золота Кіровоградського рудного району в тісному зв'язку з особливостями глибинної будови літосфери та її складових частин на базі використання моделі первинного зосередження рудогенних компонентів в астеносфері. Розглянуто специфіку зв'язку уран-золото в карбонатно-натрієвих метасоматитах.

Ключові слова: промислові родовища урану, промислові родовища золота, монометальне зруденіння, мантіїні рудогенні компоненти, мантіїні флюїди.

G. A. Kalashnyk, Kirovograd Flight Academy of National Aviation University

CAUSES OF SPATIAL RELATIONSHIPS AND MONOMETAL OF INDUSTRIAL GOLD AND URANIUM ORE FORMATION IN KIROVOGRAD ORE DISTRICT OF THE UKRAINIAN SHIELD

The results of studies of new laws governing the distribution of endogenous industrial uranium deposits and industrial gold deposits of the Kirovogradsky ore region of the Ukrainian Shield in close connection with the peculiarities of the deep structure of the lithosphere and its components are presented. Research was based on the idea of primary concentration of ore components in asthenosphere.

The study found that the most important factors in the formation of industrial deposits of uranium in sodium carbonate metasomatic of the Ukrainian Shield were connected of the anomalous lithospheres' segments with high degree of maturity. Uranium ore fields and gold ore fields in the eastern frame of Novoukrainsky array of Kirovograd ore region are overlap. Research results allowed us to conclude that this pattern points to a certain similarity of petrological and geochemical conditions of the concentration of uranium and gold and the community reaction ore components generation and migration routes astenosphere, and then to the upper crustal level of general faults translithospheric permeability. In article was suggested that monometallic major deposits of uranium in the carbonate-sodium metasomatic and monometallic Klintsovskoye and Yurievskoye industrial gold deposits was formed with time distance and that indicates the specificity and geochemical isolation of gold and uranium in general astenospheric trap under defined conditions of their antagonism primary concentration. Metallogenic specialization of the Kirovograd ore region combines major industrial uranium deposits, major lithium deposits, industrial gold deposits. This feature is due to a single astenospheric trap with the formation of the local thermal irregularities within it. They created the conditions for large-scale separate concentrations of uranium and gold. Change metallogenic monometallic ore formations in the Kirovograd ore district (gold, then uranium), initial concentration of which is associated with a single trap astenosphere is subject to the general course of evolution of the Earth's mantle and the formation processes in Ingulsky megablock with high degree of maturity.

Keywords: industrial uranium deposits, industrial gold deposits, monometallic mineralization, mantle ore components, mantle fluids.