

tions about early geological history of USh as a fragment of early Precambrian crust.

Practical value. Practical usage of received results in geological mapping of the Dniester-Bug province will promote more valid metallogenic assessment and increase of prospecting efficiency within this province and USh as a whole.

Keywords: *Bug granulitic complex, Paleoproterozoic, Odessa quarry, tw-pyroxene gneiss, isotope age, zircon, granulitic metamorphic facies*

Рекомендовано до публікації докт. геол. наук В.О. Сьомкою. Дата надходження рукопису 20.12.13.

УДК 553.495:550.83

А.А. Калашник, д-р геол. наук

Казенное предприятие „Кировгеология“, г.Кировград, Украина, e-mail: kalashnik_anna1@mail.ru

РОЛЬ МАНТИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА НА ПРИМЕРЕ УКРАИНСКОГО ЩИТА

А.А. Kalashnik, Dr. Sci. (Geol.)

State Enterprise “Kirovgeologiya”, Kirovograd, Ukraine, e-mail: kalashnik_anna1@mail.ru

THE ROLE OF MANTLE PROCESSES IN THE FORMATION OF COMMERCIAL ENDOGENOUS URANIUM DEPOSITS ON THE EXAMPLE OF THE UKRAINIAN SHIELD

Цель. Выявление новых закономерностей образования эндогенного промышленного уранового оруденения Украинского щита (УЩ) на основе изучения изменчивости параметров глубинной среды, которые определяют возможность возникновения условий генерации специализированных на уран мантийных флюидных потоков и формирование месторождений урана на верхних структурных этажах земной коры из мантийных рудогенных компонентов, что необходимо для усовершенствования методики прогноза и поиска промышленных месторождений урана, в первую очередь крупных по запасам, для эффективного проведения геологоразведочных работ.

Методика. Выполнен анализ большого объема геофизической, геологической, радиогеохимической информации по особенностям формирования, размещения и условиям локализации месторождений урана основных геолого-промышленных типов на территории УЩ в тесной связи с особенностями глубинного строения литосферы и астеносферы, разломной тектоникой, проявлениями мантийного магматизма с использованием современных петрологических, изотопно-геохимических данных.

Результаты. Определены глубинные факторы образования промышленного уранового рудообразования на УЩ эндогенного класса, эффективность которых доказана практическими результатами специализированных на уран исследований на хорошо изученных и разбуренных объектах и площадях УЩ, изотопно-геохимическими данными о мантийном источнике вещества растворов, формировавших урановорудные натриевые метасоматиты. Это дало возможность осуществить обоснованные прогнозные оценки потенциальной уранорудопродуктивности сегментов литосферы УЩ, значительно минимизировать площади для дальнейших поисковых работ.

Научная новизна. В отличие от укоренившихся представлений, выявлено решающее значение на формирование промышленных объектов уранового оруденения эндогенного класса УЩ мантийных источников рудогенных компонентов и особенностей глубинного строения литосферы, определяющих предпосылки возникновения специализированных ураноносных мантийных флюидных потоков и формирования месторождений урана на верхних структурных этажах земной коры из мантийных рудогенных компонентов.

Практическая значимость. Установлены новые закономерности, отражающие специфику формирования эндогенного промышленного уранового оруденения на основе использования современных представлений о металлогении урана с позиции глубинных факторов рудогенеза, первичного масштабного инициального концентрирования рудогенных компонентов в мантии при определенных РТ-условиях, что позволило научно обосновать перспективы территорий на возможность формирования промышленных эндогенных месторождений урана с выделением площадей наиболее вероятной их локализации.

Ключевые слова: *промышленные эндогенные месторождения урана, глубинные факторы оруденения, мантийный источник урана, ураноносные мантийные флюиды*

Общая постановка проблемы и связь с практическими заданиями. Национальная, энергетическая и

экономическая безопасность Украины зависят от наращивания запасов и использования стратегически важных полезных ископаемых, к которым относится и уран, использование которого для потребностей оте-

чественной атомной энергетики создает действенную альтернативу углеводородному сырью. По ресурсам и запасам урана Украина входит в первую десятку стран мира, однако ряд месторождений уже отработан (Первомайское, Желтореченское, Девладовское, Братское). Ожидаемый разрыв между производством урана и его потреблением в мире делает весьма актуальной задачу эффективного наращивания промышленного минерально-сырьевого потенциала этого полезного ископаемого, в первую очередь за счет высокорентабельных и крупных по запасам месторождений. И это при условиях, когда фонд легко открываемых месторождений практически исчерпан, а финансирование работ ограничено. Для успешного решения этой проблемы необходимо усовершенствование методики прогноза и поиска промышленных месторождений урана, разработка новых эффективных критериев, отражающих специфику формирования промышленного оруденения на основе использования современных представлений о металлогении урана с позиции глубинных факторов рудогенеза и способствующих эффективному проведению геологоразведочных работ.

Анализ последних исследований и публикаций.

На протяжении многих десятилетий важнейшим инструментом классического металлогенического анализа был учет геохимической специализации разнотипных комплексов пород, приоритетное внимание к структурно-вещественным комплексам земной коры, с которыми связывались не только рудоконтролирующие, но и практически все рудоконцентрирующие функции [1]. При этом в многочисленных случаях в так называемых „материнских породах“, в том числе в гранитоидах, содержание рудных компонентов было ниже кларкового. Существенные разногласия возникают при оценке роли источника рудного вещества и это касается практически всех генетических типов месторождений, включая уран [1–3]. Считается, что главным и непосредственным источником урана гидротермальных месторождений служили породы кристаллического фундамента, из которых он извлекался при прохождении через них трансмагматических растворов [2]. При этом полагают, что мобилизация урана происходила, в основном, в пределах гранито-метаморфического слоя в интервале глубин 10–15 км. Урановая минерализация часто пространственно сопряжена с зонами метаморфизма. Эту закономерность пытаются трактовать, связывая концентрирование урана с образованием месторождений за счет метаморфогенных растворов в процессе регионального регрессивного метаморфизма [2]. Результаты изучения флюидных включений привели Планта Дж. [3] к выводу, что ураноносные флюиды иногда могут смешиваться с растворами метаморфического происхождения, а сам метаморфизм горных пород не приводит к формированию ураноносных растворов. Происходит лишь перераспределение урана при возрастании степени метаморфизма [3]. Господствующие ныне генетические концепции формирования эндогенных месторождений урана (постмагматическая, метаморфогенная), опираются на анализ процессов уранового рудообразования, происходивших лишь в земной коре.

Накопленный в процессе проведения работ КП „Кировгеология“ фактический материал вступает в противоречие с упомянутыми гипотезами генезиса ураноносных альбититов. В частности, промышленное оруденение в карбонатно-натриевых метасоматитах размещается среди пород, характеризующихся как региональным привносом, так и выносом урана (коэффициент миграции 0,8–1,1). При этом не имеет значения уровень содержания урана в гранитизированных породах. Среди метаморфических, ультраметаморфических и магматических пород Кировоградского рудного района нет разностей, одновременно обогащенных ураном и натрием. Породы с повышенным содержанием натрия обычно имеют более низкие концентрации урана. В то же время, подтверждением важной роли глубинных факторов в формировании промышленных месторождений урана стало выявление в процессе проведения геологоразведочных работ ГРЭ№37 КП „Кировгеология“ в Лелековском урановорудном поле Кировоградского рудного района кимберлитопроявлений с высоким (до 18–20 г/т.) содержанием урана. Это свидетельствует о существовании в мантии участков, где генерация кимберлитовых расплавов сопровождалась концентрацией ураном с содержанием в десятки и сотни раз превышающих фоновые [4]. В последние годы развиваются представления о значительной роли верхней мантии в поставке рудных компонентов различной металлогенической специализации в составе мантийных флюидов в процессе формирования месторождений [5,6]. Это позволило выдвинуть ряд концептуально новых идей относительно моделирования механизмов перехода металлов из состояния первичного общепланетарного рассеяния к концентрированному состоянию в рудных месторождениях, в частности за счет механизма инициальной астеносферной сепарации рудных компонентов (Абрамович И.И. [1]).

Выделение нерешенных ранее частей проблемы. Мантийно-флюидная модель уранового рудообразования, выдвинутая Крупенниковым В.А. [5] и основанная на связи пространственно разобщенных, но генетически родственных щелочного магматизма и ураноносного натриевого метасоматоза, сопряжено с автономно развивающимися в пределах одних и тех же провинций потоками геохимически родственных щелочных флюидов, явившихся продуктами дифференциации и дегазации мантии, нуждается в дальнейшей разработке. Прежде всего, в части картируемых критериев, позволяющих прогнозировать промышленное оруденение.

В совокупности, это позволило обосновать целесообразность создания нового направления прогнозирования и поиска промышленных эндогенных месторождений урана УЩ на базе концепции первичного астеносферного концентрирования рудогенных компонентов. Связь особенностей глубинного строения литосферы и астеносферы УЩ с формированием эндогенного промышленного уранового оруденения ранее не изучалась.

Цель работы. Выявление новых закономерностей формирования промышленных эндогенных месторож-

дений урана УЩ на базе концепции первичного астеносферного концентрирования рудогенных компонентов. Усовершенствование методики прогноза и поиска промышленных, в первую очередь крупных по запасам, эндогенных месторождений урана для эффективного проведения геологоразведочных работ.

Роль мантийных процессов при формировании эндогенного промышленного уранового рудообразования на УЩ. Рассматривая мантию как основной источник урана при формировании крупных месторождений на основе анализа литературных данных [1, 5, 6], нами были обобщены условия возможности масштабного мантийного концентрирования урана и формирования мантийных ураноносных флюидов. Уран характеризуется высокой степенью сродства к кислороду, ярко выраженными фторофильными свойствами. Исследования металлогенической специализации литосферных блоков с разными уровнями зрелости позволили Ф.А. Летникову сделать вывод [6]: чем глубже размещаются рудоносные флюидные системы, тем более они обогащены элементами с высоким сродством к кислороду и фтору. Так как уран относится к элементам с высоким сродством к кислороду и фтору в составе группы Zr, Ta, Nb, TR, Be, U, Th, Y, F, B, его масштабные концентрации должны возникать на участках с наиболее зрелой литосферой, мощностью более 160–180 км и мощным гранито-гнейсовым слоем (рис. 1).



Рис. 1. Обогащение флюидов рудными компонентами в зависимости от глубины их зарождения по результатам анализа более 30 тыс. проб (по Ф.А. Летникову [6]): 1 – океаническая кора; 2 – гранито-гнейсовый слой; 3 – истощенная мантия

Промышленное эндогенное урановое оруденение развито только в центральной части УЩ и охватывает, главным образом, Ингульский мегаблок, которому территориально в металлогеническом отношении соответствует Кировоградская урановорудная область. В нее входят Кировоградский, Криворожский и Алексеевско-Лысогорский урановорудные районы (рис. 2), в пределах которых выделяются рудные поля. Промышленный потенциал Кировоградского и Криворожского рудных районов составляют месторождения урана в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах, являющиеся основой минерально-сырьевой базы урана Украины. Алексеевско-Лысогорский рудный район представлен месторождениями калий-урановой формации, однако промышленное значение этих месторождений невелико вследствие низкого содержания урана в рудах и сравнительно небольших запасов.

Вопрос об источнике натрия также является ключевым в проблеме генезиса карбонатно-натриевых метасоматитов. По расчетам А.К. Прусса привнос натрия на каждом из крупных месторождений урана УЩ составил 20–40 млн т., а общее количество натрия, необходимого для образования метасоматитов только Кировоградского рудного узла, он оценил в 500 млн т. В рамках гипотезы метаморфогенного уранового рудообразования вопрос источника натрия не решается, так как при метаморфизме толщ происходит не вынос, а, наоборот, интенсивное поглощение натрия и щелочей.

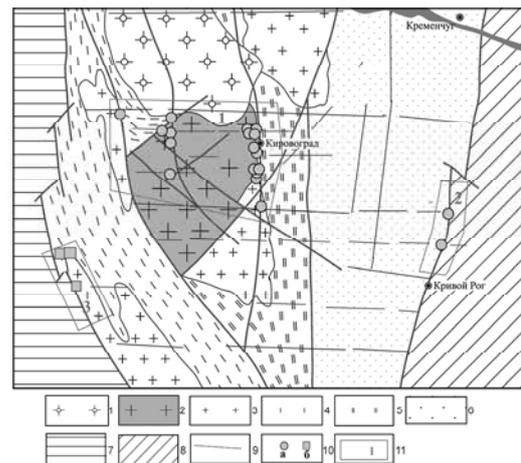


Рис. 2. Схема расположения урановорудных районов УЩ: 1 – граниты рапакиви и основные породы Корсунь-Новомиргородского плутона (корсунь-новомиргородский комплекс PR₂); 2 – гранитоиды Новоукраинского массива (новоукраинский комплекс PR₁); 3 – граниты и мигматиты кировоградского комплекса (PR₁); 4 – Братский синклиорий; 5 – Ингулецкий синклиорий; 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 – урановорудные районы УЩ: 1 – Кировоградский, 2 – Криворожский, 3 – Алексеевско-Лысогорский

На мантийную природу рудного вещества, в первую очередь, указывают изотопно-геохимические данные. По переданным ГРЭ-37 КП „Кировгеология“ образцам рудных альбититов с Новокозантиновского, Докучаевского, Партизанского месторождений Степанюком Л.М. и его коллегами были получены прямые свидетельства участия мантийного вещества при формировании урановорудных метасоматитов (альбититов) в Кировоградском урановорудном районе [7]. Так, на Новокозантиновском месторождении обнаруживается устойчивая тенденция снижения значения первичного $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношения от неизменных новоукраинских гранитов (0,725) до рудных альбититов (0,710). Такое снижение значений первичного $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

отношения может произойти, если в процессе образования альбититов участвовали растворы, обогащенные стронцием с низким (очевидно мантийным) значением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношения [7]. Чтобы исключить вероятность искажения первичного $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношения в породах, был изучен изотопный состав стронция в апатитах. Как известно, апатиты не содержат рубидия, поэтому изотопный состав стронция апатитов характеризует первичное $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношение в среде, в которой кристаллизуется апатит [7]. При этом апатит гранитов, вмещающих рудные альбититы Докучаевского месторождения, содержит стронций обогащенный изотопом ^{87}Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,764$), хотя в плагиоклазе первичное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (I^{Sr}) 0,7247. В безрудном альбитите отмечается резкое снижение I^{Sr} до 0,7146 (в плагиоклазе 0,712), и, далее, постепенное снижение (как в апатитах, так и в альбитах) с ростом содержания урана в альбититах (0,710 и ниже). Степанюком Л.М. и коллегами была выявлена прямая зависимость между содержанием урана в альбититах и его содержанием в плагиоклазах этих альбититов. Зависимость линейная и описывается уравнением $U=0,0859x-1,612$, коэффициент корреляции $R^2=0,9818$, что указывает на общую миграцию урана, натрия и стронция в метасоматизирующем растворе [7].

Таким образом, можно утверждать, что натрий, уран и стронций Новокозантиновского, Докучаевского, Партизанского месторождений имеют общий мантийный источник и одновременно были привнесены в процессе альбитизации [7]. Для карбонатов продуктивных зон уран-натровых месторождений Кировоградского рудного района также характерны глубинные значения изотопного состава $\delta^{13}\text{C}$ (от -7,9 до -6,9 ‰), для пирита рудных зон характерны глубинные значения изотопного состава $\delta^{34}\text{S}$ (от -1,1 до +3,3 ‰) [2].

Исходя из мантийной природы ураноносных флюидов, для формирования крупных по запасам эндогенных месторождений урана необходимо создание петрологических условий инициального концентрирования урана в пределах мантии в границах астеносферного канала. Агентами концентрирования могли выступать аномальные термо- и барогradientные поля, неизменно сопутствовавшие мантийному теплопереносу [1], аномальное увеличение мощности литосферы.

В процессе геологоразведочных работ нами была выявлена пространственная связь проявлений ультраосновного щелочного магматизма (кимберлиты, кимберлитоподобные породы, лампроиты, слюдяные пикриты и пр.) и гидротермальных месторождений урана в Кировоградском, Криворожском урановорудных районах [4]. В кимберлитах Лелековского и Щорсовского участков Кировоградского урановорудного района установлены глубинные ксенолиты гранатовых дунитов и гарцбургитов, мелкие алмазы перидоти-тового парагенезиса, полный комплекс индикаторных минералов кимберлитов (ИМК). Часть ИМК кимберлитов Грузского, Лесного участков, в частности пиропов ($\text{Cr}_2\text{O}_3=6,1-7,1\%$, $\text{MgO}=19,33-20,01\%$, $\text{CaO}=4,14-4,38\%$, с содержанием кноррингитового компонента у большинства зерен $>10\%$ мол., хромшпинелидов ($\text{Cr}_2\text{O}_3=45,32-$

$62,17\%$, $\text{MgO}=7,3-12,5\%$) относится к алмазной ассоциации. Все это позволяет оценить глубину генерации отдельных очагов кимберлитовых магм в Ингульском мегаблоке не менее чем 140–150 км.

Проведенный анализ причин отмеченной сопряженности кимберлитопроявлений и уранового оруденения в карбонатно-натриевых метасоматитах на УЩ позволил нам установить физико-химические общности их образования [4]. По петрологическим данным, для генерации кимберлитовых магм, кроме давления 35×10^8 Па, которому соответствуют глубины более 150 км, необходимо присутствие углекислоты, источником которой служат мантийные флюиды, проникающие в зоны генерации магм по проницаемым каналам из мантии, возникающим при тектонических активизациях [4]. Важнейшим компонентом в процессе гидротермального уранового рудообразования также является углекислота. Для различных фаціальных типов урановорудных альбититов УЩ характерно устойчиво высокое содержание в них CO_2 , достигающее для хлорит-гематитовых альбититов 10–17 мас%. В кимберлитах, выявленных в урановорудных районах УЩ, содержание CO_2 достигает 22,34–25,4 мас%, урана – до 18–20 г/т. В неизмененных вмещающих альбититы и кимберлиты породах содержание CO_2 не поднимается выше 0,1–0,2 мас%. Установленная прямая связь между содержанием CO_2 и ураном в урановорудных альбититах и увеличение ее концентрации в ряду „бедная-рядовая-богатая“ руда обусловлены уранил-карбонатной формой привноса урана [4]. При такой форме привноса, при прочих благоприятных условиях, происходит формирование промышленных концентраций урана с запасами, пропорциональными интенсивности поступления углекисловодных ураноносных флюидов, содержащих в достаточном количестве натрия и урана.

Структурная связь кимберлитопроявлений и объектов промышленного уранового оруденения Кировоградской урановорудной области обусловлена наличием в астеносфере Ингульского мегаблока высокой степени зрелости зоны масштабной мантийной генерации ураноносных флюидов, совмещенной с очагом генерации кимберлитовых магм, а в литосфере – проницаемых зон, по которым с мантийных глубин периодически осуществлялся подъем ураноносных флюидных потоков и кимберлитовых флюидо-магматических колонн. При этом проявляется автономный характер этих геологических процессов. Генерация кимберлитовых магм со значительным содержанием урана происходила на мантийных глубинах, а локализация урановых руд из мантийных рудогенных компонентов осуществлялась в метасоматитах урановорудной специализации на верхних структурных этажах земной коры.

Таким образом, формирование промышленных эндогенных месторождений урана требует наличия открытой физико-химической системы и свободного поступления потоков мантийных флюидов, обогащенных ураном, а также благоприятных условий для продуктивного рудообразования на геохимических барьерах на верхних структурных горизонтах земной коры. Однако положение урановорудных районов УЩ предло-

пределяется, в первую очередь, физическими и химическими неоднородностями мантии, способными привести к масштабной генерации мантийных ураноносных флюидов.

Нами было проведено исследование связи размещения выявленных промышленных месторождений урана с особенностями глубинного строения УЩ, в частности с аномальными участками строения литосферы, с особенностями строения поверхности Мохо, с мощностью земной коры, с градиентными зонами поверхностей „базальтового“ и „диоритового“ слоев, с мощностью гранито-гнейсового слоя, с глубинными разломами.

Для Ингульского мегаблока, вмещающего все промышленные эндогенные месторождения урана, характерна максимальная, в пределах УЩ, мощность литосферы, достигающая, по данным глубинного сейсмозондирования (ГСЗ), 250 и более километров [8] (рис. 3).

Данные ГСЗ, вследствие погрешности метода, могут давать значения мощности литосферы с существенными погрешностями (до 10–30%) (Соллогуб В.Б.). Для объективного анализа уранорудопроductивности литосферных сегментов УЩ нами были использованы данные мощности литосферы по ГСЗ

(рис. 3), откорректированной по результатам петрологических исследований глубинных ксенолитов и минералов-спутников алмаза районов проявления мантийных пород (рис. 4). Это позволило сделать вывод, что соответствующая потенциальной уранорудопроductивности мощность литосферы на УЩ характерна только для Ингульского мегаблока (250 км и более) и для Подольского блока Днестровско-Бугского мегаблока (~200км). Это отражено на разрезе по профилю I-I' (рис. 4), секущем основные аномальные неоднородности литосферы и все урановорудные районы УЩ. Максимальной и повышенной мощностью гранито-гнейсового слоя (10–15 км и более), отражающей уровень энергомассопереноса и латеральную изменчивость степени зрелости коры, выделяются Ингульский мегаблок и в контуре Коростенского плутона – фрагмент Волынского мегаблока. Подольский блок характеризуется низкой (<5 км) мощностью гранито-гнейсового слоя. По результатам сейсмических исследований для поверхности Мохо Подольского блока фиксируется наличие троговой структуры северо-западного простирания, в разрезе выделяется мощный (до 30км) слой коро-мантийной смеси, которые обуславливают низкую проницаемость и литосферную консервацию.

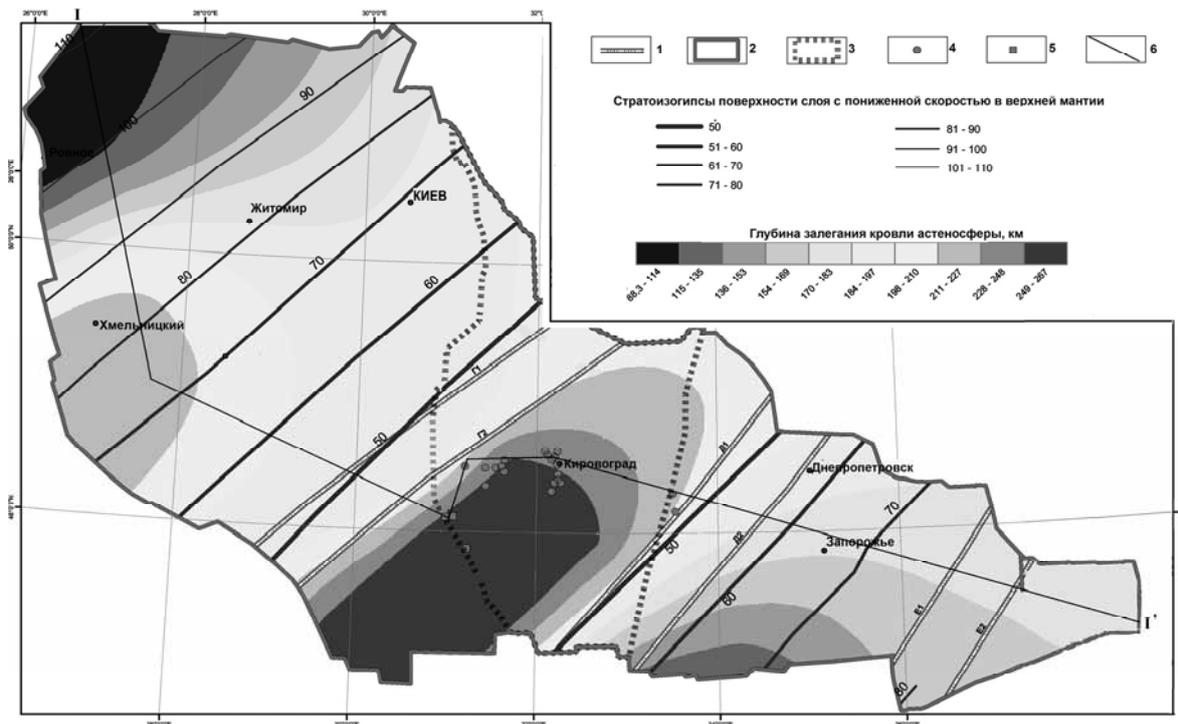


Рис. 3. Схема поверхности астеносферы в пределах Украинского щита (по Соллогубу В.Б.) с данными по промышленному урановому оруденению: 1 – трансрегиональные мантийные линейменты северо-восточного простирания; 2 - контур УЩ; 3 – контур Ингульского мегаблока; месторождения урана: 4 – в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах; 5 – калий-урановой формации; 6 – линия разреза I-I'

Далеко не все мантийные расплавы и флюиды достигают земной поверхности из-за недостаточной проницаемости литосферы. Специализированные магмы и очаги генерации мантийных флюидов, находящиеся в литосферной консервации в условиях отсутствия проницаемых разломов, могут не обязательно

априори быть связаны с формированием месторождений на верхних структурных этажах коры. Поэтому разломы транслитосферного проникновения, осуществляющие функции транспортных каналов мантийного вещества, также стали объектом наших исследований.

Эпизодически возникающая мантийная проницаемость, связанная с формированием разломов в процессе разрядки планетарных напряжений [8], создает условия для подъема к поверхности специ-

ализированных расплавов и флюидов, которые в благоприятных структурах коры формируют рудные месторождения соответствующего металлогенического профиля.

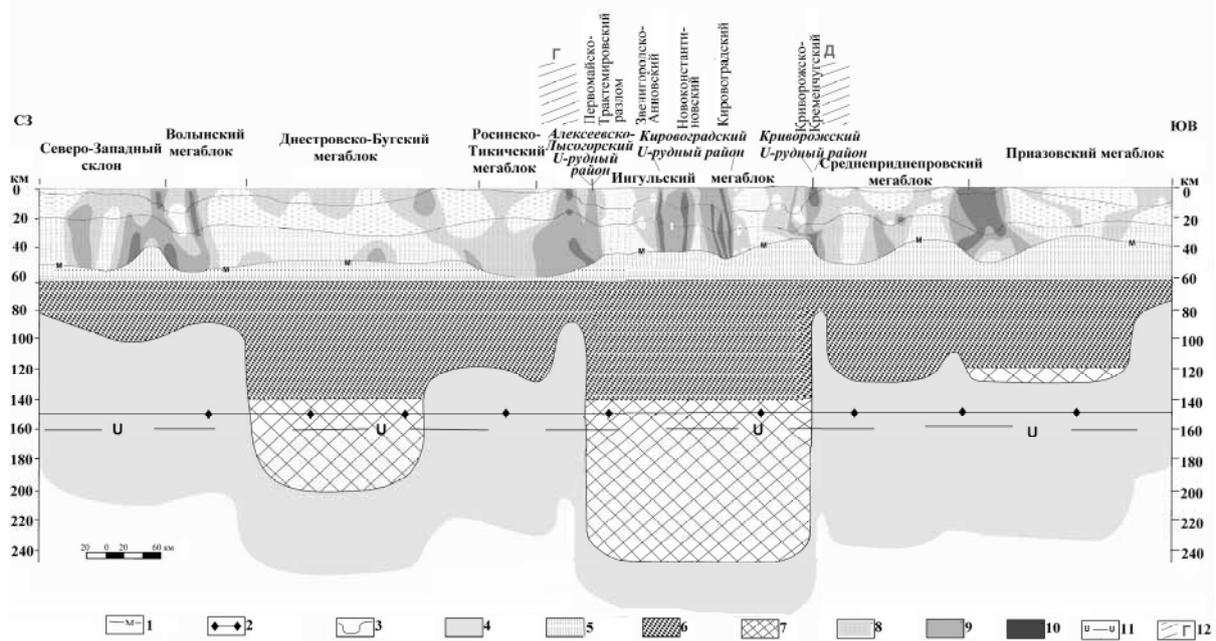


Рис. 4. Разрез литосферы в пределах Украинского щита по профилю I-I (по материалам Ю.И. Федоришина [9], В.Б. Соллогуба) с дополнениями автора: 1 – граница Мохо; 2 – граница стабильности графит-алмаз; 3 – граница литосфера-астеносфера; 4 – астеносфера; 5 – железистые ультрабазиты (железистые дуниты, ильменит-флогопит-гранат-оливиновые породы); 6 – амфиболовые и пироксеновые глиммериты, итинель-гранатовые, гранатовые лерцолиты; 7 – хромитинелевые гарцбургит-лерцолитовая и дунит-перидотитовая серииты с реликтами деформированных структур, гранатовые лерцолиты с реликтами деформированных структур; зоны дислокаций с различной степенью проницаемости: 8 – низкой; 9 – средней; 10 – высокой; 11 – уровень формирования очаговых потоков ураноносных трансмагматических флюидов; 12 – проекция положения литосферных линейментов (по В.Б. Соллогубу)

Глубинные разломные минерагенические зоны становятся рудоконцентрирующими только при пересечении ими областей аккумуляции мантийных геохимически специализированных флюидов. А значит, ожидать обнаружения крупных рудных концентраций урана следует на участках высокой проницаемости в сегментах литосферы высокой степени зрелости (с мощностью литосферы не менее 160 км), удовлетворяющих петрологическим условиям масштабной первичной сепарации урана.

Небольшие по запасам одиночные непромышленные месторождения, многочисленные мелкие объекты оруденения – рудопроявления, проявления урана, могут образовываться в различных геодинамических условиях при образовании мелких обособлений специализированного ураноносного флюида в широком диапазоне РТ-условий. Однако формирование крупных промышленных объектов возможно лишь при масштабной концентрации урана в астеносферных ловушках при низком положении геозотерм, и, соответственно, достаточно мощной литосфере.

Наиболее общей закономерностью положения промышленных месторождений урана и границы Мохо в пределах УЩ является их концентрация в зонах глубоких разломных структур с высокоамплитудными

(от 4–5 до 15 км) смещениями вдоль них границы Мохо, с наличием резко выраженных градиентных зон углов наклона поверхности М (до 27,8–54,3°) в Ингульском мегаблоке высокой степени зрелости.

Основные растворопроводящие структурные элементы месторождений урана в альбититах – объемные катаклазиты – являются результатом последовательно сменявших друг друга импульсов эксплозивного гидрогазоразрыва пород [5]. Взрывной механизм определялся высоким содержанием углекислоты и степенью закрытости рудоконтролирующих разломов на верхних структурных горизонтах. Поэтому необходимым условием формирования промышленного уранового оруденения в щелочных натриевых метасоматитах при мантийном источнике рудогенных компонентов была высокая проницаемость разломных структур на нижних горизонтах земной коры и мантии, относительная закрытость на верхних горизонтах земной коры

Характер анизотропии среды и неоднородностей на поверхностях базальтового и диоритового слоев для районов концентрации промышленных месторождений урана УЩ усиливается в направлении к дневной поверхности, что отчетливо выделяется сращиванием градиентных зон, пространственным смещением зон проникновения от поверхности М к „базальтово-

му“ слою и затем к „диоритовому“. Это свидетельствует об усилении дислокационных процессов в направлении к дневной поверхности и об образовании зон проникновения сложной конфигурации. В совокупности это обеспечивало спорадическое экранирование проницаемых разломов на верхних горизонтах, необходимое для масштабного рудоотложения из мантийных источников рудогенных компонентов.

На основе проведенного нами анализа радиогеохимической специализации пород верхней части земной коры УЩ, по результатам измерений их естественной гамма-активности в 4π пространстве, подсчетов на долю урана, тория, калия в суммарной радиоактивности, первичных и современных концентраций урана в породах УЩ, установлено следующее. Породы Ингульского мегаблока характеризуются повышенной радиоактивностью, но не самыми высокими содержаниями урана и тория в них (рис. 5), уступая по содержанию этих элементов породам Волынского и Росинско-Тикичского мегаблоков, которые имеют более низкую среднюю радиоактивность.

Таким образом, масштабность уранового оруденения в натриевых метасоматитах не обнаруживает закономерной связи с содержанием урана во вмещающих породах и дополнительно указывает, что уран не заимствован из них, а привнесен с мантийными ураноносными флюидами.

При установленной пестрой радиогеохимической специализации мегаблоков УЩ урановорудные метасоматиты встречены лишь в Ингульском мегаблоке. Породы Ингульского мегаблока характеризуются аномально высоким региональным содержанием калия в породах среди мегаблоков УЩ (среднее 3,6%, максимальное до 4,1%) и это указывает на то, что Ингульский мегаблок является сегментом наиболее интенсивного дифференцированного энергоассоцированного вследствие привноса флюидов из астеносферы и обусловленной этим повышенной калиевоностью пород верхней части земной коры.

При различной геохимической специализации вмещающих пород, геохимическая специализация натриевых метасоматитов характеризуется выдержанным набором элементов-спутников урана (бериллий, ванадий, цирконий). Это указывает на очевидность того, что породы, вмещающие урановорудные метасоматиты, являются лишь средой для проявления эндогенного рудообразующего процесса, определяемого глубинными оболочками Земли.

Проведенный анализ связи размещения выявленных промышленных месторождений урана с особенностями глубинного строения УЩ, радиогеохимической специализации пород позволил выявить ряд глубинных факторов формирования промышленного уранового оруденения на УЩ. Высокая степень зрелости литосферы, мощностью более 160–180 км, является главным фактором возможности создания петрологических условий для масштабной мантийной генерации ураноносных флюидов. Верхнекоровыми индикаторами зрелости литосферы, вследствие масштабного энергоассоцированного из флюидизированной мантии,

являются: 1) гранито-гнейсовый слой высокой или повышенной мощности; 2) аномально выраженная радиогеохимическая калиевая специализация метаморфического субстрата верхней части земной коры. Наличие разломов транслитосферного проникновения, способных достигать гипсометрического уровня астеносферных областей масштабной генерации мантийных ураноносных флюидов, является определяющим структурным фактором для реализации процесса формирования промышленных месторождений урана УЩ из мантийных рудогенных компонентов на верхних структурных этажах земной коры в аномальных сегментах литосферы высокой степени зрелости. Другие факторы – стратиграфический, метаморфический и такой, ранее отмечавшийся геохимический фактор, как содержание урана во вмещающих породах, не играют важной роли для формирования промышленного уранового оруденения.

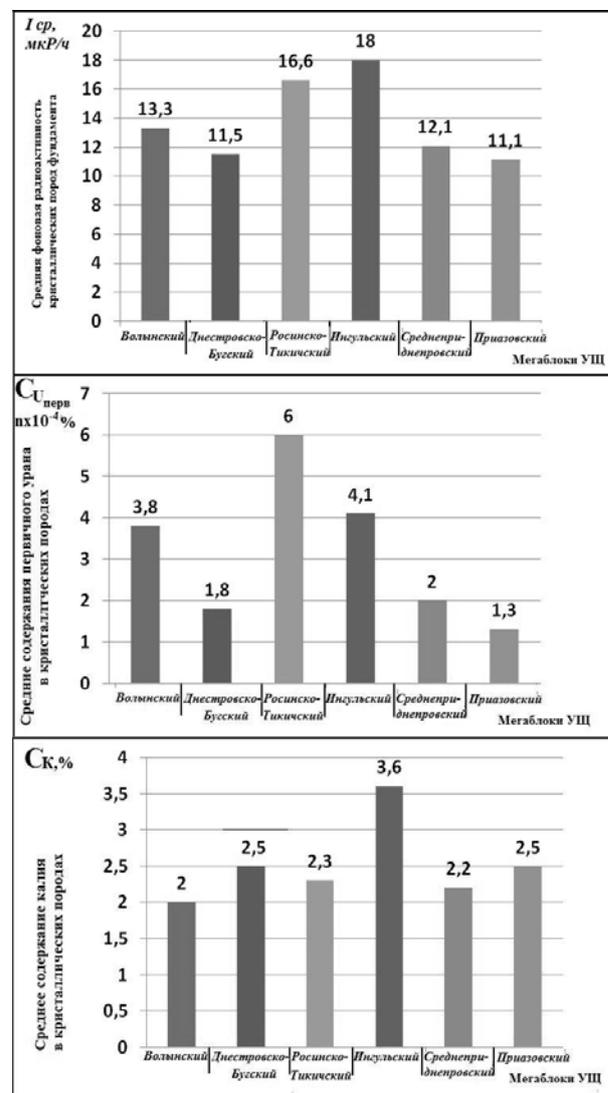


Рис. 5. Диаграммы распределения средних значений: фоновой радиоактивности, содержаний сингенетического урана, калия пород фундамента УЩ по результатам обработки данных гаммакаротажа

В свете полученных данных, которые ранее не принимались во внимание для оценки уранорудопроductивности различных металлогенических единиц, установлено, что максимальное проявление всех выявленных глубинных факторов продуктивного эндогенного уранового оруденения характерно лишь для Кировоградской урановорудной металлогенической области, в пределах которой сосредоточены все известные промышленные месторождения урана УЩ эндогенного класса (рис. 2, 4), и это подтверждается многолетними интенсивными, но безрезультатными специализированными поисками аналогов ее рудных районов в других частях УЩ.

Значительная глубина погружения кровли астеносферы по данным ГСЗ до уровня 200 км, и одновременно низкая мощность гранито-гнейсового слоя (<5 км), отсутствие аномально выраженной калиевой радиогеохимической специализации метаморфического субстрата верхней части земной коры не позволяют рассматривать как потенциально уранорудопроductивный Подольский блок Днестровско-Бугского мегаблока. Это подтверждается выявленным одиночным рудопроявлением урана в его пределах (Хмельникским) и несколькими проявлениями урановой минерализации.

Выводы и перспективы дальнейшего развития в данном направлении. В процессе проведенного исследования выявлена корреляция промышленных месторождений урана с физическими неоднородностями мантии, отражающими специфику связи мантии с рудообразованием на верхних структурных этажах. Вышесказанное в комплексе с изотопно-геохимическими данными, подтверждающими мантийную природу рудогенных компонентов урановорудных альбититов Кировоградского рудного района и закономерной пространственной ассоциацией промышленного уранового оруденения с кимберлитопроявлениями, в том числе существенно обогащенными ураном, является неоспоримым свидетельством активного участия мантийных процессов в формировании эндогенных промышленных месторождений урана УЩ. Таким образом, выполненный по комплексу геофизических, петрологических, изотопно-геохимических, радиометрических данных анализ глубинного строения УЩ дает возможность обоснованно разделять литосферные мегаблоки или их фрагменты по степени зрелости, которая выражается общей мощностью литосферы, мощностью гранито-гнейсового слоя и радиогеохимической специализацией пород верхней части земной коры, что позволяет осуществлять научно обоснованное прогнозирование уранорудопроductивности отдельных сегментов литосферы. В данном контексте вопрос прогноза формирования промышленного уранового оруденения УЩ ранее не рассматривался.

Это позволяет в значительной мере по новому подойти к прогнозированию возможности обнаружения объектов промышленного эндогенного уранового оруденения в различной геологической обстановке, исходя из мантийного источника рудогенных компонентов. Появление новых научных сведений, уточняющих геологические предпосылки возникновения месторожде-

ний различных рудноформационных типов, использование идеи о главенствующей роли мантийного источника рудогенных компонентов при их формировании заставляют пересматривать многие укоренившиеся представления и развивать новые подходы к решению практических задач не только прогноза потенциально рудоносных площадей, но и обоснованной оценки вероятности выявления в их пределах тех или иных крупных по запасам месторождений полезных ископаемых.

Список литературы / References

1. Абрамович И.И. Металлогения / Абрамович И.И. – М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2010. – 328 с.

Abramovich, I.I. *Metallogeniya* (2010), [Metallogeny], GEOKART-GEOS, Moscow, Russia.

2. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / [Белевцев Я.Н., Коваль В.Б., Бакаржиев А.Х. и др.]; под ред. Я.Н. Белевцева, В.Б. Коваля. – К.: „Наукова думка“, 1995. – 376 с.

Belevtsev, Ya.N., Koval, V.B. and Bakarzhiev, A.Kh. (1995), *Geneticheskiye tipy i zakonmernosti razmeshcheniya uranovykh mestorozhdeniy Ukrainy* [Genetic Types and Regularities of Location Uranium Deposits of Ukraine], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.

3. Plant, J., Simpson, P. and Smith, B. (1999), “Uranium ore deposits: Product of Radioactive Earth”, *Uranium Mineralogy Geochemistry and the Environment*, Rev. Mineral, Vol.38, pp. 255–320.

4. Калашник А.А. Связь уранового рудообразования и проявлений щелочно-ультраосновного магматизма в пределах Лелековского и Мичуринского урановорудных полей Кировоградского блока УЩ / А.А. Калашник // Мін. ресурси України. – 2009. – № 4. – С. 18–21.

Kalashnyk, G.A. (2009), “The relations of uranium ore formation and ultra-basic magmatism within Lelekovskoe and Michurinskoe uranium-ore fields of the Kirovograd block of the Ukrainian Shield”, *Mineralni Resursy Ukrainy*, no. 4, pp. 18–21.

5. Крупенников В.А. Мантийный щелочной флюидно-магматический петрогенезис как основной рудообразующий процесс: матер. II Межд. симпозиума „Уран – ресурсы, производство“ (Москва 26–28 ноября 2008 г.) / В.А. Крупенников – М.: Из-во ФГУП ВИМС. – С. 28–31.

Krupennikov, V.A. (2008), “Mantle alkaline fluid-magmatic petrogenesis as the main ore-forming process”, *Proc. of the 2nd Int. Symposium “Uranium Resources, Production”*, November 26–28, 2008, Publishing House of FSUE VIMS, Moscow, pp. 28–31.

6. Летников Ф.А. Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования / Ф.А. Летников // Вестник ОГН РАН. – 1999. – № 4 (10). – 25 с.

Letnikov, F.A. (1999), “The fluid facies of the continental lithosphere and problems mineralization”, *Vestnik OGGN RAS*, no. 4 (10), pp. 25.

7. Степанюк Л.М. Джерело натрію та урану ураноносних альбітітів на прикладі Докучаєвського родовища Інгульського мегаблоку УЩ: тези доповідей наукової конференції „Теоретичні питання і практика дослі-

дження метасоматичних порід і руд“ (Київ 14–16 березня 2012 р.) / Л.М. Степанюк, С.М. Бондаренко, В.О. Сьомка // ИГМР. – 2012. – С 78–80.

Stepaniuk, L.M., Bondarenko, S.M. and Somka, V.O. (2012), “Source of sodium and uranium in uranium-bearing albitites, the example of Dokuchaievsk field Ingulsky megablock of the Ukrainian Shield”, *Abstracts of Scientific Conference “Theoretical Issues and Research of Metasomatic Rocks and Ore”*, Kyiv, March 14–16, 2012), IGMO, pp. 78–80.

8. Тяпкин К.Ф. Оценка новой ротационной гипотезы в тектоносфере Земли с позиций диалектического материализма / К.Ф.Тяпкин // Научный вестник НГУ. – 2013. – № 1. – С. 11–24.

Tyarkin, K.F. (2013), “Evaluation of the new rotational hypothesis of the Earth’s tectonosphere structure formation from the perspective of dialectical materialism”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 1, pp. 11–24.

9. 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.

Fedoryshyn, Yu.I., Fesenko, O.V. and Deneha, O.B. (2006), “The spatial model of the deep structure of the lithosphere of the Ukrainian shield at the prospect of industrial diamond”, *Mineralni Resursy Ukrainy*, no. 3, pp. 8–12.

Мета. Виявлення нових закономірностей утворення ендегенного промислового уранового зруденіння Українського щита (УЩ) на основі вивчення мінливості параметрів глибинного середовища, які визначають можливість виникнення умов генерації спеціалізованих на уран мантійних флюїдних потоків і формування родовищ урану на верхніх структурних поверхнях земної кори з мантійних рудогенних компонентів, що необхідно для вдосконалення методики прогнозу та пошуку промислових родовищ урану, у першу чергу, значних за запасами, для ефективного проведення геологорозвідувальних робіт.

Методика. Виконано аналіз великого обсягу геофізичної, геологічної, радіогеохімічної інформації з визначенням особливостей формування, розміщення та умов локалізації родовищ урану основних геолого-промислових типів на території УЩ у тісному зв’язку з особливостями глибинної будови літосфери та астеносфери, розломною тектонікою, проявами мантійного магматизму з використанням сучасних петрологічних, ізотопно-геохімічних даних.

Результати. Визначені глибинні чинники формування промислового уранового рудоутворення ендегенного класу на УЩ, ефективність яких доведена практичними результатами спеціалізованих на уран досліджень на добре вивчених і розбурених об’єктах і площах УЩ, ізотопно-геохімічними даними щодо мантійного джерела речовини розчинів, що формували урановорудні натрієві метасоматити. Це дало можливість здійснити обґрунтовані прогнозні оцінки потен-

ційної уранорудопродуктивності сегментів літосфери УЩ, значно мінімізувати площі для подальших пошукових робіт.

Наукова новизна. На відміну від укорінених уявлень виявлено вирішальне значення на формування промислових об’єктів уранового зруденіння ендегенного класу Українського щита мантійних джерел рудогенних компонентів і особливостей глибинної будови літосфери, що визначають передумови виникнення спеціалізованих ураноносних мантійних флюїдних потоків і формування родовищ урану на верхніх структурних поверхнях земної кори з мантійних рудогенних компонентів.

Практична значимість. Встановлені нові закономірності, що відображають специфіку формування ендегенного промислового уранового зруденіння на основі використання сучасних уявлень щодо металогенії урану з позиції глибинних чинників рудогенезу, первинного масштабного ініціального концентрування рудогенних компонентів у мантії за певних РТ-умов, що дозволило науково обґрунтувати перспективи територій на можливість формування промислових ендегенних родовищ урану з виділенням площ з найбільш вірогідною їх локалізацією.

Ключові слова: промислові ендегенні родовища урану, глибинні чинники зруденіння, мантійне джерело урану, ураноносні мантійні флюїди

Purpose. To determine new regularities of formation of commercial endogenous uranium deposits of the Ukrainian shield based on the study of deep lithosphere parameters variability that predetermine the appearance of conditions suitable for formation of specialized uranium mantle fluid flows resulting in uranium deposits on the upper floors of the crustal structure which consist of the mantle ore components. This is needed to improve the methodology and results of the forecast of commercial uranium deposits, primarily with large reserves, and to raise the effectiveness geological exploration.

Methodology. We have analyzed large amounts of geophysical, geological, and radioactivity geochemical data concerning the peculiarities of formation and conditions of localization of commercial uranium deposits in the Ukrainian shield (UkrSh) taking into account the peculiarities of the deep structure of the lithosphere and asthenosphere, fault tectonics, mantle magmatism. We have used the results of modern petrological, isotopic geochemical studies.

Findings. We have determined the depth factors of formation of commercial uranium deposits of endogenous class located in the Ukrainian shield. Their effectiveness has been proved by practical results of specialized studies on uranium at drilled-up well-studied areas of the Ukrainian shield. Isotopic and geochemical data proves the mantle nature of the solutions that formed sodium uranium ore metasomatic rocks. This gives us the opportunity to exercise science estimates of potential uranium-ore productive lithosphere segments of the Ukrainian shield and significantly minimize areas for further exploration works.

Originality. As opposed to traditional notions, we have determined that mantle sources of uranium ore-

formation components and peculiarities of the lithosphere deep structure are of crucial importance for the formation of commercial uranium endogenous deposits in the Ukrainian shield. As they cause uranium mantle fluid flows resulting in uranium deposits formation on the upper floors of the crustal structure from mantle ore components.

Practical value. New laws of occurrence of commercial endogenous uranium deposits have been discovered based on the modern ideas about metallogenesis of uranium with primary initial stage of concentration of uranium-ore components in the mantle under certain PT-

conditions. They reflect the specific formation of endogenous uranium mineralization. This made it possible to scientifically substantiate promising territories of formation of industrial uranium deposits with determination of the most probable areas of their localization.

Keywords: *commercial endogenous uranium deposits, depth factors of ore formation, mantle source of uranium, uranium-bearing mantle fluids*

Рекомендовано до публікації докт. геол. наук М.М. Довбнічем. Дата надходження рукопису 13.01.14.

УДК 550.4 : 519.233.5 : 546.791 : 546.795 : 550.428(477)

І.І. Михальченко, канд. геол. наук

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, м.Київ, Україна, e-mail: alcoldan@i.ua

СТАТИСТИЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК УРАНУ Й ТОРІЮ В РУДОНОСНИХ АЛЬБІТИТАХ НОВООЛЕКСІВСЬКОГО РУДОПРОЯВУ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

I.I. Mikhalchenko, Cand. Sci. (Geol.),

M. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation under NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: alcoldan@i.ua

STATISTICAL RELATION BETWEEN URANIUM AND THORIUM IN ORE-BEARING ALBITITES FROM NOVOALEKSEEVKA ORE DEPOSIT (THE UKRAINIAN SHIELD)

Мета. Оцінка тісноти статистичного зв'язку U та Th у рудоносних альбітитах андрадит-актиноліт-діопсидових з титанітом Новоолексіївського рудопрояву рудної формації ураноносних натрієвих метасоматитів Центральноукраїнського урановорудного району (Український щит).

Методика. Збір даних попередніх геологічних досліджень, геологічна та радіометрична документація кернів новітньої свердловини, відбір проб, статистичні розрахунки. Зважаючи на те, що альбітити по розподілу в об'ємі урану неоднорідні, статистичний зв'язок урану й торію досліджений із застосуванням одного з непараметричних методів кореляційного аналізу – визначенням коефіцієнта рангової кореляції Спірмена. Верифікація наявності статистичного зв'язку здійснена розрахунком коефіцієнта детермінації за значеннями коефіцієнтів b_1 та b_2 лінійних рівнянь регресій, відповідно, торію на уран та урану на торій.

Результати. Оцінка коефіцієнта рангової кореляції Спірмена урану й торію андрадит-актиноліт-діопсидових альбітитів Новоолексіївського рудопрояву становить $\approx 0,84$, відповідно, статистичний зв'язок цих хімічних елементів класифікований як тісний, позитивний. Проведеним дослідженням підтверджена „стійкість“ застосованого непараметричного методу кореляційного аналізу до наявності у досліджуваних вибірках пар „видатних“ значень.

Наукова новизна. Уперше доведена наявність лужних натрієвих метасоматитів високотемпературної андрадит-актиноліт-діопсидової групи апогранітних метасоматичних фацій геологічної формації лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів з тісним статистичним зв'язком урану й торію. Це доводить правомірність розгляду асоціації цих хімічних елементів як парагенетичної.

Практична значимість. Отримані дані дають підставу виконувати оцінку масової частки супутнього компонента (торію) за визначенням масової частки головного компонента (урану) в рудах, та більш якісно проводити інтерпретацію даних гама-каротажу свердловин.

Ключові слова: *уран, торій, статистичний зв'язок, коефіцієнт рангової кореляції Спірмена, альбітит*

Вступ. Наразі досить добре відомі геохімічні особливості поведінки урану (U) та торію (Th) в ендегенних

процесах утворення й перетворення гірських порід земної кори. Якщо при магматичних процесах ці елементи мігрують і осаджуються, як правило, разом, то по мірі розвитку постмагматичних процесів, зниження темпе-