

ЗОНЫ ДЕФИЦИТА (ВЫНОСА) УРАНА И ИХ ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С ПРОЦЕССОМ УРАНОВОГО РУДОГЕНЕЗА НА ПРИМЕРЕ НОВОКОНСТАНТИНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОРМАЦИИ ЩЕЛОЧНЫХ НАТРИЕВЫХ МЕТАСОМАТИТОВ (КИРОВОГРАДСКИЙ УРАНОВОРУДНЫЙ РАЙОН)

Б.Н. Иванов¹, Л.М. Степанюк², Н.А. Донской², В.А. Сёмка², С.Н. Бондаренко²

1 – ПСЭ № 46, КП “Кировгеология”

*2 – Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины
03680, просп. акад. Палладина, 34, г. Киев, Украина*

Изучены новоукраинские гранитоиды Новоконстантиновского месторождения формации щелочных натриевых метасоматитов: определены содержания U, Th, щелочей (K_2O и Na_2O), Pb и его изотопов, для части проб выполнена f -радиография. По геологическому положению гранитоидов, залегающих среди щелочных метасоматитов, выделены три группы, имеющие свою геохимическую специфику. Гранитоиды первой группы залегают внутри ореола щелочных метасоматитов и контактируют с телами “сиенитов” и альбититов, отличаются повышенным содержанием урана относительно гранитоидов кристаллического основания. Вторая группа приурочена к висячему боку месторождения и находится вне ореолов щелочных пород, отличается существенной геохимической неоднородностью; незначительно, по сравнению с гранитоидами кристаллического основания и первой группы, обеднены ураном. Третья группа также находится вне ореолов щелочных натриевых метасоматитов и приурочена к глубоким горизонтам Новоконстантиновского месторождения. С породами этого типа связан дефицит урана. Вынос его происходит за счет легкоподвижных, миграционно способных форм. Существование зон дефицита (выноса) урана на Новоконстантиновском месторождении позволяет из всей совокупности гипотез о генетической природе урановорудных объектов выделить предпочтительную – гипотезу ближней или дальней (глубинной) мобилизации.
Ключевые слова: Новоконстантиновское месторождение, щелочные натриевые метасоматиты, уран, геохимия, рудогенез.

Вступление. Кировоградский урановорудный район расположен в центральной части Ингульского мегаблока Украинского щита. Район охватывает шесть рудных полей, урановорудные объекты которых относятся к формации щелочных натриевых метасоматитов (ЩНМ) палеопротерозойского возраста.

Пространственное положение указанных рудных полей контролируется Анновско-Звенигородской и Кировоградской зонами глубинных разломов, ориентированных в субмеридиональном направлении. Анновско-Звенигородская и Кировоградская зоны ограничивают соответ-

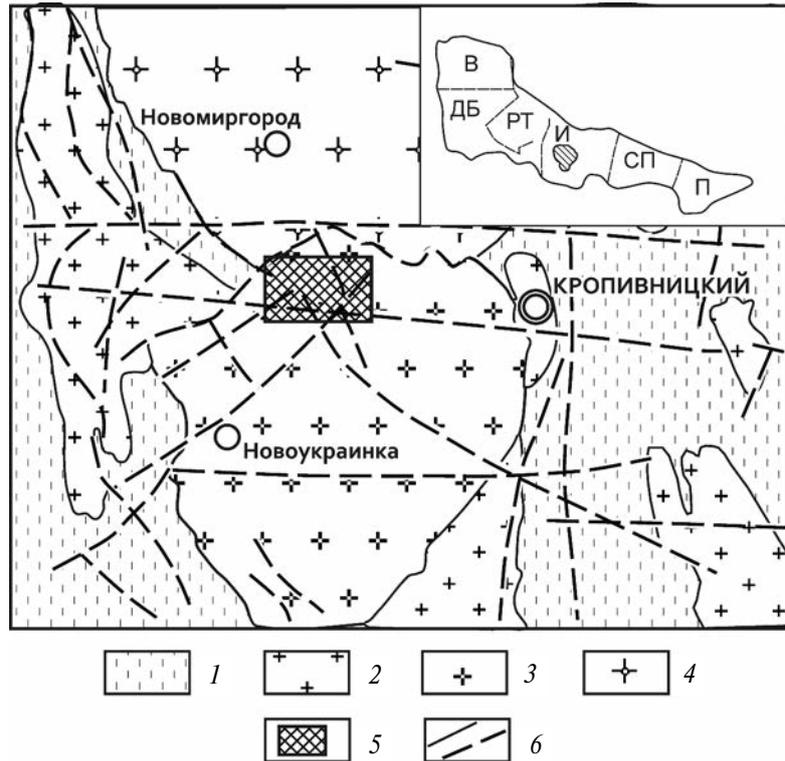
ственно с запада и востока центральную часть Ингульского мегаблока, представленную Корсунь-Новомиргородским плутоном гранитов рапакиви и основных пород на севере и Новоукраинским гранитным массивом на юге. Новоконстантиновская зона прослеживается внутри последнего. Она контролирует Новоконстантиновское рудное поле, в состав которого входит одноименное месторождение (рис. 1).

Площадь за пределами Новоукраинского массива и Корсунь-Новомиргородского плутона сложена метаморфитами ингуло-ингулецкой серии и гранитоидами кировоградского комплекса.

Изотопный возраст Корсунь-Новомиргородских гранитов рапакиви и основных пород 1720–1750, гранитов новоукраинского и кировоград-

© Иванов Б.Н., Степанюк Л.М., Донской Н.А.,
Сёмка В.А., Бондаренко С.Н., 2016

Рис. 1. Схематическая геологическая карта Кировоградского урановорудного района: 1 – метаморфические породы ингуло-ингулецкой серии $AR(?)$ - PR_1 ; 2 – гранитоиды кировоградского комплекса PR_1 ; 3 – гранитоиды новоукраинского комплекса (Новоукраинский массив) PR_1 ; 4 – граниты и основные породы корсунь-новомиргородского комплекса (Корсунь-Новомиргородский плутон) PR_1^2 ; 5 – Новоукраинское рудное поле; 6 – геологические границы (сплошная линия) глубинные разломы (пунктир). На врезке в верхнем углу изображено блоковое строение Украинского щита, мегаблоки: П – Приазовский; СП – Среднеприднепровский; И – Ингульский; РТ – Росинско-Тикичский; ДБ – Днестровско-Бугский. Косой штриховкой обозначен Новоукраинский массив, в котором находится Новоукраинское рудное поле



ского комплексов 2020–2060, метаморфитов ингуло-ингулецкой серии 2560–2670 млн лет [3], уранового оруденения и щелочных метасоматитов Новоукраинского месторождения – 1800–1835 млн лет [1].

Новоукраинское месторождение приурочено к северной части Новоукраинского массива, вблизи его контакта с гранитоидами Корсунь-Новомиргородского плутона. Граниты Новоукраинского массива на площади месторождения представлены порфиroidными биотитовыми и гранат-биотитовыми разностями.

В структурном плане Новоукраинское месторождение приурочено к системе разломов меридионального, северо-восточного и северо-западного простирания. Основные залежи ЩНМ приурочены к узлам пересечения последних.

Щелочные метасоматиты образуют устойчивые ореолы протяжённостью до нескольких километров. Они прослежены на глубину почти на 2 км. В строении метасоматических ореолов имеет место не всегда чётко проявленная горизонтальная зональность. В общем виде метасоматический ореол включает внешнюю, промежуточную и внутреннюю зоны [14].

Внешняя зона – зона диафтореза, представлена слабоизменёнными хлоритизированными, гематитизированными гранитами. Химические характеристики пород в ряду неизменённый → диа-

фторированный гранит существенно не меняются. Существует также мнение, что диафторированные породы никак не связаны со ЩНМ, а образовались на этапе дислокационного регрессивного зеленосланцевого метаморфизма, проявленного вдоль зон глубинных разломов [9, 17].

В этой связи следует указать на две особенности Новоукраинского рудного поля. Во-первых, изменения диафторитового ряда развиваются здесь за счёт гранитов, обычно не затронутых тектоническими процессами. При этом диафториты образуют ореолы, площадь которых во много раз превышает размер линейных зон как регрессивного метаморфизма, так и щелочных натриевых метасоматитов [7]. Для справки следует указать, что из 300 км² площади Новоукраинского рудного поля 185 км² приходится на диафторированные новоукраинские граниты (данные 4222 картировочных скважин).

Во-вторых, в ряду неизменённый → диафторированный гранит происходит незначительный рост содержания урана. Это, вероятнее всего, связано с новообразованием легкоподвижных, миграционно способных форм последнего. Указанная способность описываемого процесса отмечена В.К. Титовым и Ю.А. Фоминым [17, 19]. Ю.А. Фомин, в частности, писал, что “будучи безрудными, диафториты, тем не менее, часто содержат уран в повышенных количествах десятками

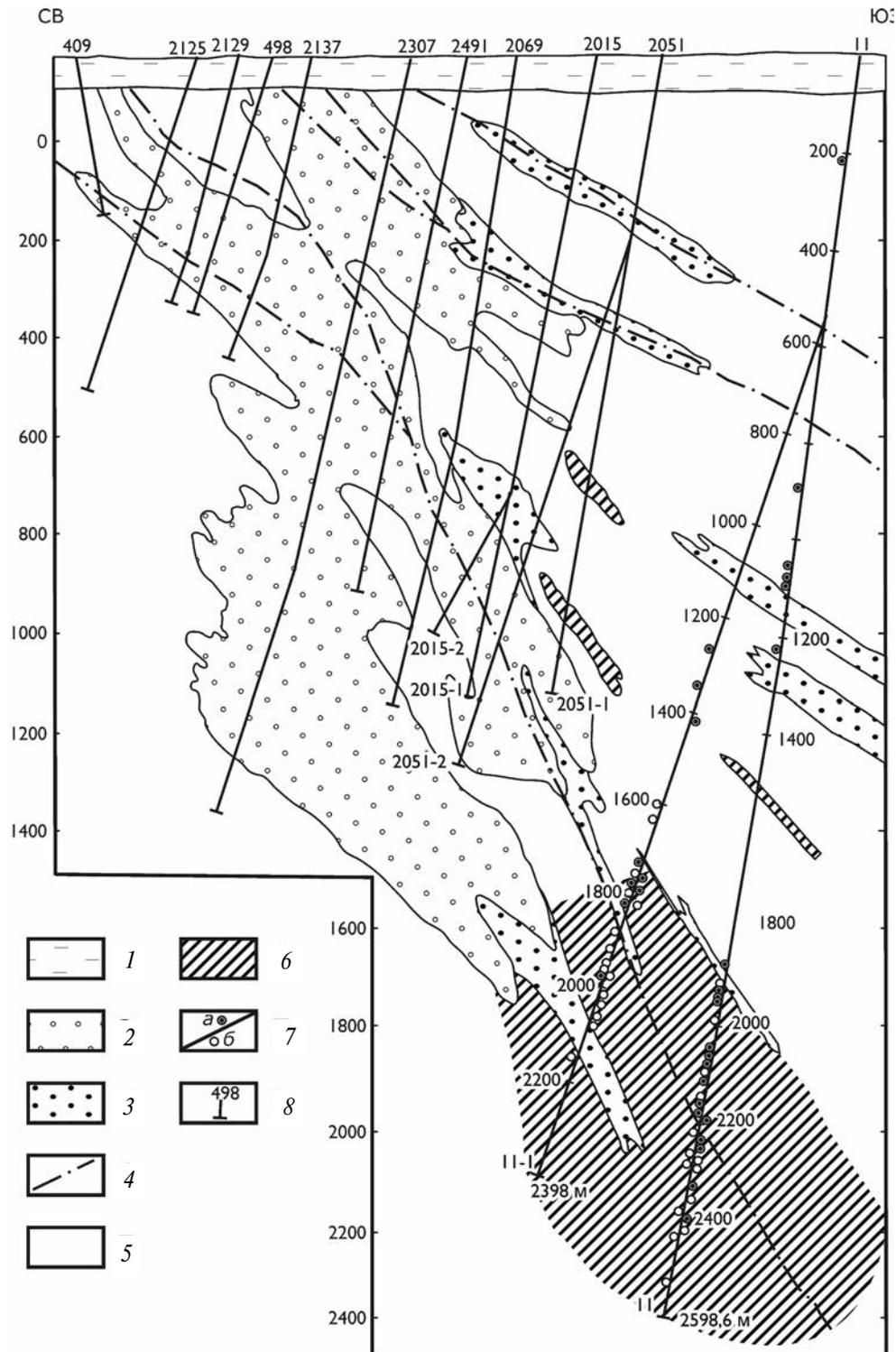


Рис. 2. Схематический геологический разрез по профилю 35, Новоконстантиновское месторождение: 1 – рыхлые отложения; 2 – альбититы; 3 – сиенитоподобные метасоматиты (“сиениты”); 4 – тектонические нарушения; 5 – гранат-биотитовые граниты, чарнокиты (Новоукраинский массив); 6 – зоны дефицита (выноса) урана; 7 – пробы с повышенными 30 г/т (а) и пониженными 10 г/т (б) содержаниями тория; 8 – стволы скважин и их номера

грамм на тонну, причем уран таких зон характеризуется увеличением подвижных форм” [19, С. 132].

Две следующие зоны метасоматической колонки – промежуточная и внутренняя – пред-

ставлены, соответственно, сиенитоподобными метасоматитами (“сиенитами”) и альбититами.

“Сиениты” – это двуполевошпатовые породы, суммарное содержание калиевого полевого

шпата и альбита в которых достигает 80–90 %. Около 10–20 % объема “сиенитов” приходится на кварц, карбонат, биотит, хлорит, эпидот. Изредка к перечисленным минералам присоединяются эгирин и рибекит.

Альбититы относятся к группе однополевошпатовых пород. Содержание альбита не опускается в них ниже 80–90 %, остальной объем занимают кварц, карбонат и темноцветные минералы. Среди последних преобладают рибекит и эгирин. Альбититы с иным набором темноцветных минералов (хлорит, эпидот, андрадит, диопсид, актинолит) имеют подчинённое значение.

Промышленное урановое оруденение Ново-константиновского месторождения и всего Кировоградского района приурочено всегда к альбититам.

Вопрос о природе формации ЩНМ и сопряженного с ней уранового оруденения относится к числу наиболее трудно решаемых. Разными исследователями по этому поводу предлагались самые разнообразные гипотезы. Основные среди них таковы: метаморфическая, ультраметаморфическая, магматическая, латерально-секреционная (извлечение урана и других компонентов из вмещающих пород поверхностными – метеорными водами), мантийная и ближней или дальней (глубинной) мобилизации урана. Краткая характеристика перечисленных гипотез приведена в [6]. Уровень современных знаний позволяет отказаться от большей части из них. В первую очередь это касается метаморфической, ультраметаморфической, магматической и латерально-секреционной гипотез. Ни одна из них не может объяснить ни источник урана, натрия и углекислоты, ни однотипную геохимическую специализации формации ЩНМ и её полную независимость от региональных процессов, состава вмещающих пород и типов земной коры. Перечисленные концепции так же игнорируют возрастные перерывы между щелочными метасоматитами с сопряженным урановым оруденением и процессами регионального метаморфизма, ультраметаморфизма и Корсунь-Новомиргородского магматизма. Две оставшиеся гипотезы – мантийная и ближней или дальней (глубинной) мобилизации урана – исходят из подкоровой природы рудоформирующих растворов. Первая из них появилась в начале 1980-х годов и с тех пор поддерживается многими исследователями [8, 10, 16, 18, 21]. Описываемая гипотеза исходит из представлении о едином глубинном источнике как флюидов, формирующих щелочные метасоматиты, так и сопряженного с ними уранового оруденения.

Основным аргументом против мантийной гипотезы стало соображение “об отсутствии реальных данных, по которым можно было бы судить о привносе урана из подкоровых глубин, так как вещества нижней коры и верхней мантии, очевидно, очень бедны ураном” [2, С. 238].

Вторая из указанных гипотез – ближней или дальней (глубинной) мобилизации – основана на представлении о выщелачивании урана глубинными флюидами из вмещающих пород [15].

Если это так, то вокруг или на глубине под урановорудными объектами, принадлежащими к формации ЩНМ, должны были возникать зоны дефицита урана. С этой точки зрения абсолютное большинство урановых месторождений и рудопроявлений, связанных со щелочными метасоматитами, не изучалось. В геологической литературе, посвященной ураноносности Кировоградского района, имеется одно упоминание о “размазанном” ореоле дефицита урана вокруг Мичуринского месторождения (Кировоградская зона разломов) [12].

Авторам статьи впервые удалось выявить несколько ореолов аномально низкого содержания урана на площади Ново-константиновского месторождения. Все они приурочены к неизменённым и диафторированным гранитоидам Новоукраинского массива. Наиболее масштабный ореол дефицита тяготеет к участку выклинивания на глубине залежей щелочных метасоматитов (рис. 2). Более локальные ореолы зафиксированы в средних и верхних частях Ново-константиновского месторождения.

Цель работы – исследование связи уранового рудогенеза с зонами дефицита (выноса) урана Ново-константиновского месторождения формации ЩНМ Кировоградского урановорудного района.

Фактический материал и методика его изучения. Ореолы дефицита (выноса) урана были выявлены в результате отбора 298 металлометрических проб из новоукраинских гранитоидов. В каждой из проб определяли содержание урана, тория, свинца и щелочей (K_2O , Na_2O). В этих пробах произведены и свинцово-изотопные определения ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb на спектроанализаторах УКСА-64М, УКСА-72.

Напомним, что изотоп ^{208}Pb образовался в результате распада тория (^{232}Th). Изотопы ^{206}Pb и ^{207}Pb – это конечные продукты распада соответственно ^{238}U и ^{235}U . На долю первого из них приходится 99,27, второго – 0,72 % массы урана природных объектов.

Кроме металлометрических проб, в скважине 11-1 (гл. 1256–2398 м) было отобрано 53 образца для изготовления препаратов осколковой радиографии на лавсане (*f*-радиографии). В этих же образцах выполнено определение тория.

Наличие данных о количественном составе ураногенных изотопов свинца позволило в каждом конкретном случае вычислить коэффициент миграции Q_M . Для этого предварительно рассчитали содержание изотопа ^{238}U по формуле: $^{238}\text{U} = 0,0359(^{206}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}) \times \text{Pb}_{\text{общ}}$. Коэффициент Q_M определен как отношение измеренного содержания урана к вычисленному.

Общеизвестно, что изотопы ураногенного свинца, по сравнению с изотопами урана, более инертны и сохраняют относительную неподвижность в ходе последующих геологических процессов [22]. Если это так, то, используя коэффициент миграции (Q_M) в совокупности с данными о современных содержаниях урана, можно оценить степень геохимической сохранности относительно U отдельных блоков, в том числе и блоков,

сложенных новоукраинскими гранитами, обладающими фоновыми содержаниями урана.

Естественно, что наиболее “нарушенные блоки”, обеднённые ураном за счёт его выноса, будут характеризоваться пониженным значениям коэффициента Q_M . Наоборот, в блоках, обогащённых ураном, значение указанного коэффициента должно возрастать.

Результаты работ. Гранитоиды изученной части Новокопстантиновского месторождения обладают различными геохимическими особенностями в зависимости от их пространственного положения по отношению к зоне развития щелочных метасоматитов. По этому признаку вся совокупность названных пород расчленяется на три типа. Гранитоиды первого типа залегают внутри ореола щелочных метасоматитов и часто напрямую контактируют с телами “сиенитов” и альбититов. Гранитоиды второго и третьего типов встречаются соответственно висячем боку и в подальбититовой (подрудной) части месторождения, т. е. вне ореолов развития ЩНМ.

Таблица 1. Среднее содержание радиоактивных элементов, свинца (г/т), щелочей (вес. %), изотопов свинца (%), коэффициента миграции (Q_M) в гранитоидах Новокопстантиновского рудного поля и одноименного месторождения

Элементы, изотопы свинца, коэффициент миграции Q_M	Новокопстантиновское рудное поле / поверхность кристаллического основания	Новокопстантиновское месторождение, профиль 35		
		Гранитоиды первого типа (средняя и верхняя часть месторождения)	Гранитоиды второго типа (висячий бок месторождения)	Гранитоиды третьего типа (подрудная часть месторождения, глубинная зона дефицита (выноса) урана)
U	<u>2,0; 1,6 (4255)</u> 1,3	<u>2,4; 1,7 (129)</u> 1,8 (0,6–13,0)	<u>1,8; 1,4 (95)</u> 1,4 (0,7–9,20)	<u>0,9; 0,6 (74)</u> 1,2 (0,2–9,40)
Th	<u>20; 19 (4361)</u> 6,1	<u>21; 21</u> 5,6 (6–58)	<u>23; 22</u> 7,2 (12–61)	<u>20; 16</u> 12,3 (5–70)
Pb	Не определяли	<u>30; 30</u> 6,2 (17–51)	<u>25; 25</u> 5,4 (13–40)	<u>22; 21</u> 4,6 (13–43)
K ₂ O	<u>5,39; 5,35 (2999)</u> 0,7	<u>5,40; 5,40</u> 0,9 (3,13–7,19)	<u>5,34; 5,25</u> 0,9 (2,81–7,50)	<u>5,07; 5,11</u> 0,9 (2,45–7,28)
Na ₂ O	<u>2,99; 2,99 (2999)</u> 0,3	<u>3,36; 3,34</u> 0,4 (2,75–4,31)	<u>3,34; 3,30</u> 0,4 (2,75–4,90)	<u>3,39; 3,33</u> 0,3 (2,90–5,14)
²⁰⁶ Pb	Не определяли	<u>24,4; 24,1</u> 1,5 (21,2–32,6)	<u>23,4; 23,2</u> 0,9 (21,4–27,1)	<u>23,3; 23,2</u> 1,4 (20,2–31,0)
²⁰⁷ Pb	Не определяли	<u>20,9; 21,0</u> 0,5 (18,6–21,8)	<u>20,7; 20,7</u> 0,4 (18,6–21,1)	<u>20,4; 20,7</u> 0,9 (16,4–21,7)
²⁰⁸ Pb	Не определяли	<u>53,4; 53,7</u> 1,4 (47,5–57,8)	<u>54,7; 54,8</u> 1,0 (51,0–58,9)	<u>55,1; 54,9</u> 2,0 (48,5–61,7)
Q_M	Не определяли	<u>0,6; 0,6</u> 0,3 (0,1–2,30)	<u>0,8; 0,6</u> 0,7 (0,2–5,70)	<u>0,4; 0,3</u> 0,2 (0,1–1,3)

Примечание. Определение урана произведены люминесцентным, тория и свинца – рентгеноспектральным, щелочей – химическим методами; изотопы свинца определяются на микроанализаторе. В числителе: первая цифра – среднее арифметическое, вторая – медиана, в скобках – количество определений; в знаменателе: первая цифра – стандартное отклонение, в скобках – пределы изменений содержаний.

Гранитоиды первого типа (гранитоиды-1) изучены в скв. 409, 2125, 2069, 2115, 2115-2, 2051-1, 2051-2 (см. рис. 2). Они представлены порфировидными гранат-биотитовыми гранитами и чарнокитами. На долю последней разновидности приходится около 20 % общего объема гранитоидов.

Метасоматические процессы в перечисленных породах ограничиваются в основном широко проявленным диафторезом, состоящем в хлоритизации и гематитизации вмещающих пород.

Макроскопически гранитоиды первого типа имеют свежий облик и практически не отличаются от однотипных пород поверхности кристаллического основания. Геохимически они также близки к “поверхностным” гранитам. Особенно это заметно по поведению калия, количество которого в ряду “поверхностный” гранит – гранитоид-1 сохраняется примерно на одном уровне (табл. 1).

Среднее содержание Na_2O в указанном направлении возрастает с 2,99 до 3,34–3,36 %, что легко объясняется появлением в группе описываемых пород чарнокитов.

Главная особенность гранитоидов первого типа состоит в повышенной роли урана. Его среднее содержание достигает 2,4 г/т, что заметно выше аналогичного показателя, характерного для гранитов поверхности кристаллического основания. Распределение урана имеет невыдержанный характер, обусловленный возможным привносом названного элемента. Вместе с этим, в гранитоидах-1 появляются отдельные локальные зоны интенсивного выноса (дефицита) урана. Ширина таких зон колеблется от 30 до 70 м, по падению и восстанию они быстро выклиниваются (скв. 2051-1, см. рис. 2). Содержание урана в пределах локальных зон не превышает 0,8–0,9 г/т, а значение коэффициента миграции – 0,2–0,3.

Совсем по-другому ведёт себя торий, его распределение в выборке описываемых гранитов характеризуется максимальной однородностью: anomalously количество тория, превышающее 30 г/т (1,5 фона и выше), установлено в единичных пробах. При этом среднее содержание тория остаётся близким к уровню гранитов поверхности кристаллического основания.

Гранитоиды-1 отличаются повышенным содержанием свинца. Вероятнее всего, большая часть последнего связана с ураногенными изотопами ^{206}Pb и ^{207}Pb , что находится в полном соответствии с ранее отмеченным ростом содержаний урана.

В целом, гранитоиды первого типа принадлежат к относительно стабильной группе пород со

сложным распределением урана. Поведение остальных элементов (щелочи, торий, свинец) более однородно и подчиняется нормальному закону распределения.

Гранитоиды второго типа приурочены к всяческому боку Новоконстантиновского месторождения (скв. 11, гл. 100–1875,8 м; скв. 11-1, гл. 1300–1800 м). Они представлены порфировидными гранат-биотитовыми гранитами, плагиогранитами, чарнокитами. Количественное отношение перечисленных разностей остаётся примерно таким же, как и в случае гранитоидов первого типа.

Метасоматические процессы, за исключением фрагментарного диафтореза, в гранитоидах всячего бока проявлены слабо. По содержанию щелочей они практически не отличаются от однотипных пород, описанных выше.

Более информативно поведение радиоактивных элементов и свинца. Среднее содержание урана составляет в этом случае 1,8 г/т, что заметно ниже фоновых величин, характерных как для гранитоидов-1, так и гранитов поверхности кристаллического основания. Обеднение ураном описываемой группы пород может быть связано с его частичным выносом. В отдельных узких зонах процесс выноса урана проявляется в более отчётливой форме. Одна из таких зон вскрыта в скв. 11 (гл. 1492–1510 м). Содержание урана в гранитах, расположенных внутри последней, понижается до 0,9 г/т, а значение коэффициента миграции – до 0,3.

Относительно тория выборка гранитоидов-2 выглядит крайне неоднородной. Происходит это за счёт появления большого количества проб, в которых содержание указанного элемента превышает 34 г/т (1,5 фона и выше).

Количество свинца в гранитоидах всячего бока по сравнению с аналогичными породами первого типа незначительно уменьшается, что находится в полном соответствии с ранее отмеченным снижением содержания урана.

В целом, гранитоиды второго типа отличаются двумя особенностями.

Во-первых, они обеднены ураном, что, скорее всего, связано с частичным выносом последнего.

Во-вторых, описываемые породы обладают значительной геохимической неоднородностью. Из всей совокупности изученных элементов нормальный закон распределения характерен только для одного свинца.

Гранитоиды третьего типа (гранитоид-3) приурочены к глубоким горизонтам Новоконстантиновского месторождения. Они изучены в скв. 11

(гл. 1875,5–2600 м) и 11-1 (гл. 1725–2400 м). Пространственно “глубинные” гранитоиды тяготеют к участку выклинивания колонны щелочных натриевых метасоматитов, прослеженных по падению почти на 2000 м от поверхности кристаллического основания (+100 – +120 м) до места их выклинивания на высотной отметке – 1750 м (рис. 2). Ниже указанной отметки ЩНМ резко обрываются, а на их продолжении по падению фиксируются обычные новоукраинские граниты. Последние имеют свежий облик и, кроме неравномерно проявленного диафореза, не подвергаются метасоматическим процессам.

Как и в случае с породами висячего бока, “глубинные” гранитоиды представлены порфировидными гранат-биотитовыми гранитами и чарнокитами. Количество последней разности возрастает до 30–35 %. Это приводит к дальнейшему уменьшению содержания K_2O и росту – Na_2O (см. табл. 1). Появление таких более натриевых (плагиоклазовых) разностей на глубоких горизонтах Новоконстантиновского рудного поля ранее отмечалось А.К. Мигутой [11].

Поведение радиоактивных элементов в гранитоидах третьего типа обусловлено в основном постгранитоидными процессами. Среднее содержание тория в описываемых породах остаётся близким к фону “поверхностных” разностей и незначительно понижается (по сравнению с аналогичными породами висячего бока). Но пределы изменения содержания (5–70 г/т) здесь много шире, чем в выше описанных двух типах гранитоидов. Количество проб с аномальной долей тория (30 г/т и выше) достигает в этом случае 20 %. Процент отрицательных аномалий тория (10 г/т и

ниже) также приближается к 20. Т. е. общее количество проб с нарушенным балансом названного элемента составляет 40 %. Чередование проб с повышенными и пониженными содержаниями тория происходит незакономерно. Участок такого чередования зафиксирован в скв. 11 и 11-1 (см. рис. 2). Можно предположить, что это локальное (местное) перераспределение названного элемента.

С участком нестабильного поведения тория совпадает зона дефицита (выноса) урана. Последняя вскрыта скв. 11 в интервале от 1850–1900 м до забоя выработки на глубине 2600 м. Из участка пониженных содержаний урана скв. 11 не вышла. Т. е. видимая ширина зоны дефицита урана составляет здесь не менее 700–750 м.

Среднее содержание урана в гранитоидах указанной зоны опускается до 0,6–0,9 г/т, а коэффициент миграции – до 0,3–0,4. По сравнению с гранитоидами других частей профиля 35 и всего Новоконстантиновского рудного поля, фоновое количество урана уменьшается более чем в два раза. Контраст становится ещё заметнее, если сопоставить описываемые гранитоиды с аналогичными породами всего Новоукраинского массива, фоновое содержание урана в которых, по данным разных исследователей, составляет от 2,3 [1, С. 298] до 2,9 г/т [4]. Вероятнее всего, что отмеченное обеднение ураном связано с выносом указанного элемента. Происходит это, прежде всего, за счёт легкоподвижных, миграционно способных форм.

Сказанное подтверждают результаты изучения f -радиографий, образцы для изготовления которых были отобраны в скв. 11-1 (инт. 1256–2398 м). В неизменённых гранитах указанного

Таблица 2. Характер распределения радиоактивности в гранитоидах Новоконстантиновского месторождения и Новоукраинского массива

Объекты изучения	Количественный состав треков в процентах			
	Неизменённые граниты		Диафорированные граниты	
	связанные с акцессорной минерализацией	связанные с вторичными формами	связанные с акцессорной минерализацией	связанные с вторичными формами
Новоконстантиновское месторождение, профиль 35, “глубинная” зона дефицита (выноса) урана (гранитоиды третьего типа)	100 (25)	–	79 (22)	21 (6)
Злынковская площадь, поверхность кристаллического основания	83 (10)	17 (2)	21 (4)	79 (15)
Помошнянская площадь, поверхность кристаллического основания	71 (5)	29 (2)	20 (5)	80 (20)

Примечание. В скобках – количество f -радиографий, участвовавших в подсчёте. Прочерк в ячейке означает отсутствие треков для пород соответствующего типа.

интервала все 100 % радиоактивности обусловлены треками, связанными с акцессорными минералами (апатит, циркон, монацит, реже ильменит, табл. 2). В диафторированных разностях с этой же глубины с акцессорными минералами связано 79 % треков, а на долю радиоактивности, вызванной легкоподвижными формами урана (микротрещинки, дефекты кристаллов, псевдоморфозы хлорита по биотиту), приходится всего 21 %.

Для сравнения следует указать, что на удалении от рудных объектов легкоподвижные формы урана сохраняются значительно чаще и в большем объёме. В этом случае даже в неизменённых гранитах количество треков, фиксирующих легкоподвижный уран, составляет 17–29 %. В гранитах, испытывающих процесс диафореза, их количество возрастает до 79–80 % (табл. 2).

Количество свинца в “глубинных” гранитоидах, по сравнению с аналогичными породами всякого бока, заметно уменьшается, что находится в полном соответствии с ранее отмеченным падением содержания урана. Но если в случае с ураном имеет место двукратное сокращение его количества, то уменьшение содержания свинца в 1,1–1,3 раза менее масштабное.

Изотопный состав свинца в “глубинных” гранитоидах отличается крайней неоднородностью (табл. 1). Здесь появляется группа пород с аномальным содержанием изотопов: ^{206}Pb от 20,2 до 22,5, ^{207}Pb от 16,4 до 20,2 и ^{208}Pb от 57,4 до 61,7 %. Количество таких аномальных проб составляет не менее 20 %. Точки их изотопного состава образуют на тройной диаграмме компактный ореол (рис. 3). Указанный ореол плавно сливается с полями обыкновенного свинца по направлению к стороне треугольника ^{206}Pb – ^{207}Pb . В противоположном направлении этот же ореол “сдвигает” область гра-

нитоидов третьего типа в сторону торогенной вершины ^{208}Pb .

Анализируя всю совокупность особенностей гранитоидов третьего типа, следует указать на две их характерные черты.

По сравнению с аналогичными породами Новокопстантиновского месторождения, они более чем в два раза обеднены ураном, что, скорее всего, вызвано выносом легкоподвижных форм последнего. Поведение тория в зоне выноса урана отличается крайней нестабильностью и, видимо, определяется локальным (местным) перераспределением указанного элемента. Для гранитоидов зоны дефицита также характерно некоторое снижение содержания свинца. Но, в отличие от урана, его количество сокращается только в 1,1–1,3 раза.

Гранитоиды-3 обладают максимальной геохимической неоднородностью, которая проявляется в поведении всех изученных элементов: распределение ни одного из них не подчиняется нормальному закону. Эта же особенность описываемых пород подчёркивается поведением коэффициента миграции, средняя величина которого снижается с 0,6–0,8 в гранитоидах первого и второго типов до 0,3–0,4 в “глубинных” гранитоидах-3.

Обсуждение полученных результатов и выводы.

Гранитоиды изученной части Новокопстантиновского месторождения расчленяются на три типа в зависимости от их пространственного положения по отношению к области развития щелочных метасоматитов.

Гранитоиды первого типа (гранитоиды-1) залегают внутри ореола щелочных метасоматитов и часто напрямую контактируют с телами “сиенитов” и альбититов. В геохимическом отношении гранитоиды-1 принадлежат к практически стабильной группе пород. По сравнению с гранита-

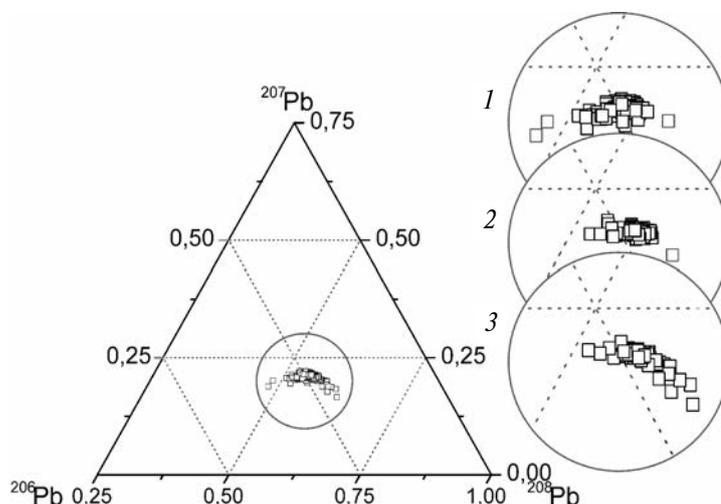


Рис. 3. Тройная диаграмма ^{206}Pb – ^{207}Pb – ^{208}Pb . Окружность на тройной диаграмме – увеличенный фрагмент рисунка, приведенный справа от неё: 1 – гранитоид-1; 2 – гранитоид-2; 3 – гранитоид-3

ми поверхности кристаллического основания, они заметно обогащены ураном, что может быть связано с привносом последнего из зоны щелочного метасоматоза.

Гранитоиды второго типа (гранитоиды-2) приурочены к висячему боку Новокопстантиновского месторождения, т. е. находятся вне ореолов развития ЩНМ. Описываемые породы обладают значительной геохимической неоднородностью. По сравнению с гранитоидами-1 и аналогичными породами поверхности кристаллического основания, они незначительно обеднены ураном, что может быть связано с частичным выносом указанного элемента.

Гранитоиды третьего типа (гранитоиды-3) также залегают вне ореола развития щелочных метасоматитов и приурочены к глубоким горизонтам Новокопстантиновского месторождения. Здесь происходит резкое выклинивание колонны щелочных пород, на продолжении которых по падению располагается блок, сложенный гранитами третьего типа. Последние имеют свежий облик и, кроме неравномерно проявленного диафтореза, не подвергаются метасоматическим процессам. С описываемыми породами связана зона пониженного содержания урана (зона дефицита). Неполная ширина этой зоны 700–750 м. Поведение радиоактивных элементов внутри последней определяется не вмещающими гранитоидами, а более поздними (постгранитоидными) процессами.

Характер распределения тория обусловлен, скорее всего, его локальным (местным) перераспределением.

Поведение урана характеризуется резким сокращением его количества. Среднее содержание названного элемента в гранитоидах третьего типа уменьшается, по сравнению с аналогичными породами Новокопстантиновского рудного поля и всего Новоукраинского массива, более чем вдвое. Происходит это, прежде всего, за счёт выноса легкоподвижных миграционноспособных форм урана.

Для гранитоидов зоны дефицита также характерно некоторое снижение содержания свинца. Но, в отличие от урана, его количество сокращается только в 1,1–1,3 раза. Видимо, в процессе выноса урана свинец вёл себя как менее подвижный элемент.

Доказанное существование зон дефицита (выноса) урана на площади Новокопстантиновского месторождения позволяет сузить представление о генетической природе урановорудных

объектов формации щелочных натриевых метасоматитов, и из всей совокупности разных точек зрения, изложенных в первой части статьи, выделить в качестве предпочтительной гипотезу ближней или дальней (глубинной) мобилизации. Этому выводу не противоречат данные, полученные для Докучаевского месторождения [16].

Указанная гипотеза исходит из представления о существовании подкорковых (мантийных) флюидов, в состав которых входили CO_2 , F, Cl, K, Na, P, Zr, PЗЭ, Sc, Be и др. Радиоактивные элементы в таких флюидах отсутствовали или присутствовали в ничтожно малых количествах. Ураноносными описываемые флюиды становились только за счёт экстракции урана из вмещающих пород. По мнению одних исследователей, это могли быть глубинные закристаллизовавшиеся гранитоиды нижних или средних уровней земной коры (дальняя или глубинная мобилизация) [15]. Другие учёные полагали, что мобилизация урана осуществлялась глубинными флюидами, но из пород, непосредственно вмещающих урановорудные объекты (ближняя мобилизация) [1, 5, 17].

“Мобилизационная” гипотеза на сегодняшний день наиболее популярна среди специалистов, изучавших ураноносность Советского Союза. С её позиций делается попытка обоснования генезиса урановых месторождений не только формации щелочных натриевых метасоматитов, но и урановорудных объектов других формационных типов [13, 15, 20].

Авторы первой из цитируемых работ выделяют этапы формирования урановых месторождений: рудоподготовительный, активизационный и рудообразующий.

Рудоподготовительный этап связан с формированием и развитием гранито-гнейсовых купольных структур, в процессе становления которых происходило накопление радиоактивных, редкоземельных и других металлов.

В ходе второго (активизационного) этапа в гранитизированных блоках и гранитных массивах возникали зоны повышенной проницаемости, способствовавшие дополнительному привносу и перераспределению урана с дальнейшим ростом его миграционноспособных форм.

Третий (рудообразующий) этап – взаимодействие восходящих термальных карбонатных, сульфидно-карбонатных растворов с радиогеохимически подготовленными вмещающими породами.

В случае Новокопстантиновского месторождения, так же как и всего Кировоградского рай-

она, к рудоподготовительному этапу следует относить формирование палеопротерозойских гранитоидов кировоградского и новоукраинского комплексов.

Второй (активизационный) этап также ярко проявлен. В состав этого этапа следует включать возникновение разноориентированных палеопротерозойских разломов и близкий к ним по времени процесс диафтореза. В результате последнего образовались обширные поля слабо изменённых пород, большая часть урана которых была переведена в легкоподвижную, миграционно способную форму.

Наконец, наименее изученный третий (рудобразующий) этап – вынос урана из вмещающих

гранитоидов с образованием зон дефицита указанного элемента. Несколько таких зон установлено в пределах Новокозантиновского месторождения. Наиболее масштабная из них приурочена к подальбититовой (подрудной) части последнего.

Остаётся неясным, весь ли уран поступал в систему из вблизи расположенных зон дефицита, аналогичных описанным выше, или какая-то его часть привносилась из более глубоких уровней земной коры? Однозначный ответ на этот вопрос, к сожалению, не может быть получен в ближайшем обозримом будущем из-за полной остановки поисково-оценочных и научно-исследовательских работ на уран.

Литература

1. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. Ред. Я.Н. Белевцев. Киев: Наук. думка, 1995. 395 с.
2. Геология и генезис месторождений урана в осадочных и метаморфических толщах. Ред. Я.Н. Белевцев, В.И. Данчев. М.: Недра, 1980. 270 с.
3. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Ред. Н.П. Щербак. Киев: Наук. думка, 2008. 240 с.
4. Егоров Ю.П. Химические составы горных пород, региональные кларки и геохимические фоны химических элементов Украинского щита. *Геол. журн.* 1985. № 6. С. 83–95.
5. Жуков Ф.И., Гнатенко О.В., Лапуста В.Ф. Источники вещества рудогенных растворов на месторождениях урана альбититового типа по данным изотопного состава S, C, O, Pb. *Материалы по геологии урановых месторождений.* 1981. № 68. С. 118–123.
6. Иванов Б.Н. Анализ гипотез образования урановорудных объектов формаций щелочных натриевых метасоматитов центральной части Украинского щита. *Минерал. журн.* 2014. № 1. С. 74–81.
7. Иванов Б.Н., Михальченко И.И. Минералого-геохимическая характеристика и особенности пространственного распространения диафторированных пород центральной части Украинского щита. *Мінеральні ресурси України.* – 2015. № 2. С. 39–44.
8. Калашник А.А., Москаленко Г.М. Геолого-структурные особенности пространственного размещения кимберлитопроявлений и урановорудных объектов в Кировоградском рудном районе Украинского щита. *Мінеральні ресурси України.* 2010. № 2. С. 8–17.
9. Комаров А.Н., Черкашин Л.А. Редкометалльные тектоно-метасоматические зоны Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1991. 180 с.
10. Крупенников В.А., Толкунов А.Е., Хорошилов Л.В. и др. Геологические структуры эндогенных урановых рудных полей и месторождений. М., 1986. 232 с.
11. Мигута А.К. Петрохимическая зональность ультраметаморфических гранитоидов центральной части Украинского щита. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение геологии.* 1987. 62, Вып. 4. С. 76–86.
12. Мигута А.К. Ведущие типы ураноносных месторождений докембрийских щитов и перспективы выявления высокорентабельных рудных объектов. *Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов.* 1991. № 132. С. 32–38.
13. Мигута А.К., Модников И.С. Историко-геологическая модель эндогенного уранового рудообразования. *Отеч. геология.* 1995. № 1. С. 28–35.
14. Омеляненко Ю.И. Околорудные гидротермальные изменения пород. М.: Недра, 1978. 214 с.
15. Рыболов Б.Л., Омеляненко Б.И. Источники рудного вещества эндогенных урановых месторождений. М.: Наука, 1989. 280 с.
16. Степанюк Л.М., Бондаренко С.М., Сьомка В.О. та ін. Джерело натрію та урану ураноносних альбітитів (на прикладі Докучаївського родовища Інгульського мегаблоку Українського щита). *Геохімія та рудоутворення.* 2012. № 31–32. С. 99–104.
17. Титов В.К. Дислокационный метаморфизм и рудообразование. *Материалы по геологии урановых месторождений.* 1983. № 84. С. 17–28.
18. Тишкин А.И., Тарханов А.В., Стрельцов В.А. Урановые месторождения древних щитов. М.: Недра, 1990. 143 с.
19. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Суцук Е.Г. Поведение урана в процессе эволюции альбититовых месторождений Кировоградского мегаблока. *Докл. НАН Украины.* 2010. № 1. С. 131–137.
20. Шмариович Е.М., Модников И.С. К проблеме источника урана при рудообразовании. *Геология рудных месторождений.* 1988. № 5. С. 5–16.

21. Шмураева Л.Я. Формационная самостоятельность двух типов натриевых метасоматитов. *Сов. геология*. 1985. № 7. С. 94–101.
22. Шувалов Ю.М., Бузовкин С.В., Булычёв А.В. и др. Промышленные типы урановых месторождений и методики их поисков. Л.: Недра, 1984. 263 с.

References

1. Belevtsev, Ya.N. (ed) (1995), Genetic types and regularities of location of the uranium deposits of Ukraine [Geneticheskie tipy i zakonmernosti razmeshcheniya uranovykh mestorozhdenii Ukrainy], Nauk. dumka, Kiev, 395 p.
2. Belevtsev, Ya.N., Danchev, V.I. (1980), Geology and genesis of uranium deposits of sedimentary and metamorphic series [Geologiya i genezis mestorozhdenii urana v osadochnykh i metamorficheskikh tolshchakh], Nedra, Moscow, 270 p.
3. Shcherbak, N.P. (ed) (2008), Geochronology of Early Precambrian of the Ukrainian Shield: the Proterozoic [Geokhronologiya rannego dokembriya Ukrainского shchita. Proterozoi], Nauk. dumka, Kiev, p. 240.
4. Egorov, Yu.P. (1985), Chemical composition of rocks, regional percentage abundances and geochemical background concentrations of chemical elements of the Ukrainian Shield [Khimicheskie sostavy gornyykh porod, regional'nye klarki i geokhimicheskie fony khimicheskikh elementov Ukrainского shchita], *Geol. Journ.* No 6, P. 83–95.
5. Zhukov, F.I., Gnatenko, O.V., Lapusta, V.F. (1981), Sources of material of ore solutions in the albitite-type uranium deposits based on S, C, O, Pb isotopic data [Istochniki veshchestva rudogennykh rastvorov na mestorozhdeniyakh urana albititovogo tipa po dannym izotopnogo sostava S, C, O, Pb], *Materialy po geologii uranovykh mestorozhdenii*, No 68, P. 118–123.
6. Ivanov, B.N. (2014), Formation of uranium ore objects of the alkaline sodium metasomatite rock association in the central part of the Ukrainian Shield: analyze of the hypotheses [Analiz gipotez obrazovaniya uranovorudnykh ob'ektov formatsii shchelochnykh natrievykh metasomatitov tsentral'noi chasti Ukrainского shchita], *Mineral. Journ.* No 1, P. 74–81.
7. Ivanov, B.N., Mihalchenko, I.I. (2015), Mineralogical and geochemical characteristic and features of spatial distribution of the diaphthorized rocks of the Ukrainian Shield [Mineralogo-geokhimicheskaya kharakteristika i osobennosti prostranstvennogo rasprostraneniya diaftorirovannykh porod tsentral'noi chasti Ukrainского shchita], *Mineral resources of Ukraine*. No 2, pp. 39–44.
8. Kalashnik, A.A., Moskalenko, G.M. (2010), Geological and structural features of spatial distribution of kimberlitic and uranium occurrences in the Kirovograd ore region of the Ukrainian Shield [Geologo-strukturnye osobennosti prostranstvennogo razmeshcheniya kimberlitoproyavlenii i uranovorudnykh ob'ektov v Kirovogradskom rudnom raione Ukrainского shchita]. *Mineral resources of Ukraine*. No 2, pp. 8–17.
9. Komarov, A.N., Cherkashin, L.A. (1991), Rare metallic tectonic and metasomatic zones of the Ukrainian Shield [Redkometal'nye tektono-metasomaticheskie zony Ukrainского shchita], Nauk. dumka, Kiev, 180 p.
10. Krupennikov, V.A., Tolkunov, A.E., Khoroshilov, L.V. (1986), Geological structures of endogenous uranium ore fields and deposits [Geologicheskie struktury endogennykh uranovykh rudnykh polei i mestorozhdenii], Nedra, Moscow, 232 p.
11. Miguta, A.K. (1987), Petrochemical zoning of ultrametamorphic granitoids of the central part of the Ukrainian Shield [Petrokhimicheskaya zonal'nost' ul'trametamorficheskikh granitoidov tsentral'noi chasti Ukrainского shchita], *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdelenie geologii*, vol. 62, No 4, pp. 76–86.
12. Miguta, A.K. (1991), Main types of uranium deposits of the Precambrian shields and prospects of discovery of highly-profitable ore objects [Vedushchie tipy uranovykh mestorozhdeniy dokembriyskikh shchitov i perspektivy vyyavleniya vysokorentabel'nykh rudnykh ob'ektov], *Materialy po geologii mestorozhdeniy urana, redkikh s redkozemel'nykh metallov*, No 132, P. 32–38.
13. Miguta, A.K., Modnikov, I.S. (1995), Historical and geological model of endogenous uranium ore genesis [Istoriko-geologicheskaya model' endogennogo uranovogo rudoobrazovaniya], *Otechestvennaya geologiya*, No 1, pp. 28–35.
14. Omel'yanenko, Yu.I. (1978), Wallrock hydrothermal alterations of rocks [Okolorudnye gidrotermal'nye izmeneniya porod], Nedra, Moscow, 214 p.
15. Rybolov, B.L., Omel'yanenko, B.I. (1989), Sources of ore material of endogenous uranium deposits [Istochniki rudnogo veshchestva endogennykh uranovykh mestorozhdeniy], Nauka, Moscow, 280 p.
16. Stepaniuk, L.M., Bondarenko, S.M., Syomka, V.O. (2012), Source of sodium and uranium in uranium-bearing albitites. The case study of the Dokuchaevka deposit of the Ingul megablock of the Ukrainian Shield [Dzherelo natriyu ta uranu uranonosnykh al'bititov (na prykladi Dokuchaevskogo rodovyshcha Ingul's'kogo megabloku Ukrain's'kogo shchita)], *Geochemistry and ore formation*. No 31-32, pp. 99-104.
17. Titov, V.K. (1983), Dislocational metamorphism and ore genesis [Dislokatsionnyi metamorfizm i rudoobrazovanie], *Materialy po geologii uranovykh mestorozhdenii*, No 84, pp. 17–28.
18. Tishkin, A.I., Tarkhanov, A.V., Streltsov, V.A. (1990) Uranium deposits of ancient shields [Uranovye mestorozhdeniya drevnykh shchitov], Nedra, Moscow, 143 p.
19. Fomin, Yu.A., Demikhov, Yu.N., Sushchuk, E.G. (2010), Behavior of uranium during evolution of albitite deposits of the Kirovograd megablock [Povedenie urana v protsesse evolutsii al'bititovykh mestorozhdenii Kirovogradskogo megabloka]. *Dopov. Nac. Acad. Nauk Ukr.*, No 1, pp. 131–137.
20. Shmariovich, E.M., Modnikov, I.S. (1988), On issue of uranium source during ore genesis [K probleme istochnika urana pri rudoobrazovanii], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*, No 5, P. 5–16.
21. Shmuраева, L.Ya. (1985) Sequential independence of two types of sodium metasomatites [Formatsionnaya samostoyatel'nost' dvukh tipov natrievykh metasomatitov], *Sov. geologiya*, No 7, P. 94–101.
22. Shuvalov, Yu.M., Buzovkin, S.V., Bulychev, A.V. (1984), Industrial types of uranium deposits and ore search techniques [Promyslennye tipy uranovykh mestorozhdenii i metodiki ikh poiskov], Nedra, Leningrad, 263 p.

Іванов Б. Н., Степанюк Л.М., Донський М.О., Сьомка В.О., Бондаренко С.М.

Зони дефіциту (виносу) урану та їх можливий зв'язок із процесом уранового рудогенезу на прикладі Новокосянтинівського родовища формації лужних натрієвих метасоматитів (Кіровоградський урановорудний район).

Вивчені новоукраїнські гранітоїди Новокосянтинівського родовища формації лужних натрієвих метасоматитів: визначений вміст U, Th, лугів (K_2O і Na_2O), Pb (загальний вміст і ізотопний склад), для частини проб виконана *f*-радіографія. За геологічним положенням гранітоїдів, що залягають серед лужних метасоматитів, виділено три групи, які мають свою геохімічну специфіку. Гранітоїди першої групи розташовані серед лужних метасоматитів і контактують з тілами “сієнітів” і альбітитів, відрізняються підвищеним вмістом урану порівняно з гранітоїдами кристалічної основи. Друга група приурочена до висячого боку родовища і знаходиться за межами ореолів лужних порід. Вона відрізняється суттєвою геохімічною неоднорідністю; незначно, в порівнянні з гранітоїдами кристалічної основи та першої групи, збіднена на уран. Третя група також знаходиться поза межами ореолів лужних натрієвих метасоматитів і приурочена до глибоких горизонтів Новокосянтинівського родовища. З породами цього типу пов'язаний дефіцит урану. Винос його відбувається за рахунок легкорухливих, міграційноздатних форм. Існування зон дефіциту (виносу) урану на Новокосянтинівському родовищі дозволяє зі всієї сукупності гіпотез щодо генетичної природи урановорудних об'єктів виділити основну – гіпотезу ближньої або дальньої (глибинної) мобілізації.

Ключові слова: Новокосянтинівське родовище, лужні натрієві метасоматити, уран, геохімія, рудогенез.

Ivanov B., Stepanyuk L., Donskoy N., Syomka V., Bondarenko S.

Depletion zones of uranium and their probable linkage to uranium ore genesis: the case of the Novokonstantinovka deposit of alkaline sodium metasomatite rock association of Kirovograd uranium area.

The novoukrainka granitoids of the Novokonstantinovka deposit have been studied: grades of U, Th, alkali (K_2O and Na_2O), Pb and its isotopic composition, as well as fission track radiography for a part of the samples have been determined. Three groups of certain geochemical specification have been aggregated from granitoids located among alkaline metasomatites using their geological setting. The first group of granitoids is located inside a zone of alkaline metasomatites. It has a contact with bodies of “syenites” and albitites. In comparison with granitoids of crystalline basin they have less content of uranium. The second one is related to hanging layer of the deposit and located outside alkaline metasomatites' zone. It is distinct in huge geochemical inhomogeneity. It is inconsiderably depleted in uranium as compared to the granitoids of crystalline basin and the first group. The third one is located outside the alkaline sodium metasomatites' zone as well. It is confined to the deep horizons of the Novokonstantinovka deposit. The rocks of this type are associated with zones of uranium deficit (depletion). Export of uranium occurs at the expense of mobile, migration available forms.

Keywords: Novokonstantinovka deposit, alkaline sodium metasomatite, uranium, geochemistry, ore genesis.

Поступила 11.05.2016.