

substantiated. A rate of reduction of the thickness of mother substance of the basin's coal was determined for a linear series of mature peat-coal ($P_m - C$). The morphological-genetic typification of splittings was carried out, and their main were revealed. It was established that in the Lviv-Volyn Basin tectonic and atectonic types of splittings are developed. The distribution of coalbed splittings along the area of the basin was genetically analyzed. Systematization of their areal distribution showed that it is of zonal character.

Originality. Study of the morphology of coal seams and, in particular, determination of the splitting geneses and their areal distribution is the integral part of the methods of formation analysis of coal-bearing deposits. Morphological studies open up possibilities in studying a series of questions as regards the formation, structure, comparative analysis and structural alterations of coal-bearing formations of typical

УДК 553.495:550.83

А.А. Калашник, д-р геол. наук.

coal basins and development of the methods of analyzing Carboniferous deposits.

Practical value. Developed morphologic-genetic typification of splittings of coal seams by morphological indications – mining-geological factors, is very important for characterization, comparative estimation and compilation of maps of morphology of coal seams and prediction of working conditions of the coalfields. Results of the morphological analysis of coal seams form the basis for predictive assessment of the potential for the coal presence, including deep horizons.

Keywords: *morphology, tectonic, atectonic and z-like splittings, bifurcation, coefficient of shrinkage, morpho-structural analysis, paleoreconstruction*

Рекомендовано до публікації докт. геол. наук В.С. Савчуком. Дата надходження рукопису 16.05.14.

Геологоразведочная экспедиция № 37 Казенного підприємства „Кировгеология“ г. Кировоград, Украина, e-mail: kalashnik_anna1@mail.ru

ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ И КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА НА УКРАИНСКОМ ЩИТЕ

A.A. Kalashnik, Dr. Sci. (Geol.)

Exploration Expedition No. 37, State Enterprise “Kirovgeologiya”, Kirovograd, Ukraine, e-mail: kalashnik_anna1@mail.ru

PRECONDITIONS OF FORMATION AND CRITERIA FOR PROGNOSTICATION OF INDUSTRIAL ENDOGENOUS URANIUM DEPOSITS ON THE UKRAINIAN SHIELD

Цель. Разработка новых подходов к прогнозированию промышленных эндогенных месторождений урана на базе использования концепции инициального концентрирования урановорудных компонентов на мантийном уровне, выявленных глубинных факторов формирования промышленных месторождений урана Украинского щита (УЩ) из мантийных рудогенных компонентов.

Методика. Анализ геолого-структурных закономерностей размещения месторождений урана основных геолого-промышленных типов на территории УЩ в свете новых представлений о мантийном источнике рудогенных компонентов, в тесной связи с глубинными литосферными и астеносферными неоднородностями, разломной тектоникой и проявлениями ультраосновного щелочного магматизма.

Результаты. Выявлены новые прогнозно-поисковые критерии промышленных, в первую очередь, крупных по запасам, месторождений урана на верхних структурных этажах земной коры из мантийных рудогенных компонентов. Выделены наиболее перспективные площади для проведения дальнейших разномасштабных геолого-разведочных работ.

Научная новизна. Существенно уточнены новые представления об особенностях связи глубинного строения УЩ с формированием промышленных эндогенных месторождений урана. Определена потенциальная уранорудопродуктивность различных литосферных сегментов УЩ на определенные геолого-промышленные типы уранового оруденения. Обоснованы принципиально новые региональные прогнозно-поисковые критерии эндогенных промышленных месторождений урана урановорудной провинции Украинского щита. Это позволило по-новому подойти к прогнозированию промышленного эндогенного уранового оруденения в различной геологической обстановке.

Практическая значимость. Выполнены научно обоснованные прогнозные оценки относительно локализации уранорудоперспективных территорий для выявления месторождений урана основных геолого-промышленных типов УЩ и выделены наиболее перспективные участки и объекты для дальнейшего наращивания промышленного потенциала минерально-сырьевой базы урана Украины.

Ключевые слова: *промышленные месторождения урана, прогнозно-поисковые критерии*

Общая постановка проблемы и связь с практическими заданиями. На современном этапе наиболее

остро стоит проблема поиска крупномасштабного оруденения различной металлогенической специализации, выявления условий формирования крупных рудных провинций, значимых объектов оруденения различных рудноформационных типов. В связи с этим исследова-

ния проводились нами целенаправленно на уточнение и конкретизацию предпосылок, а также региональных прогнозных и поисковых критериев и признаков выделения разноранговых объектов, перспективных на выявление именно значительных по запасам промышленных эндогенных месторождений урана.

Основой прогнозирования месторождений являются существующие представления о генетических моделях рудообразования и о закономерностях размещения месторождений во времени и пространстве. Выявление новых закономерностей размещения промышленных месторождений рудных полезных ископаемых в тесной связи с особенностями глубинного строения литосферы, обуславливающих РТ-условия инициального масштабного концентрирования рудогенных компонентов в мантии с последующим формированием промышленных рудных концентраций в верхних частях земной коры, представляет собой чрезвычайно перспективное направление развития геологической науки. Появление новых научных сведений, подтверждающих главенствующую роль мантийного источника рудогенных компонентов при формировании крупных рудных промышленных месторождений, заставляет пересматривать многие укоренившиеся представления и развивать новые подходы к решению практических задач. Разработка критериев промышленного оруденения сводится к выявлению геофизических, петрологических, минералогических, геохимических признаков, которые могут быть показателями рудоносности. Они позволяют не только осуществлять прогноз потенциально рудоносных площадей, но и выполнять обоснованную оценку вероятности выявления в их пределах тех или иных крупных по запасам рудных месторождений полезных ископаемых.

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно укоренившимся представлениям метаморфогенной модели уранового рудообразования, крупные месторождения и рудные районы пространственно ассоциируются с гранитизированными блоками докембрийских щитов и срединных массивов, неоднократно претерпевшими тектоно-термальную активизацию [1]. Полагают, что полихронная гранитизация и связанная с ней пневматолито-гидротермальная деятельность в длительные рудоподготовительные этапы сопровождалась перемещением огромных масс различных компонентов, среди которых главнейшими, привносимыми в область гранитизации, являлись кремний, калий, редкие и радиоактивные элементы. Регрессивный и катакластический метаморфизм способствовали переводу накопившегося урана в подвижную форму. Таким образом, согласно метаморфогенной модели рудообразования, развитие рудоподготовительных процессов привело к формированию специализированных на уран формационных комплексов, которые служили потенциальными источниками урана при последующем рудообразовании [1]. Это определило подход к выделению перспективных для выявления месторождений урана территорий – к ним отнесены области проявления метаморфических пород амфиболитовой фации, особенно тех, которые содержат повышенные концентрации урана.

Поскольку метаморфические породы амфиболитовой фации занимают порядка 60% площади УЩ, такую же по размерам площадь занимают и гранитоиды, это делает использование разработанных в соответствии с метаморфогенной гипотезой региональных прогнозно-поисковых критериев не эффективным.

Результаты последних изотопно-геохимических исследований подтвердили мантийный источник рудных компонентов при формировании урановорудных карбонатно-натриевых метасоматитов ряда месторождений Кировоградского урановорудного района [2]. Поэтому важным аспектом исследований стала возможная оценка физического состояния глубин и металлогенической специализации геохимических неоднородностей мантии, создавших предпосылки для первичной мантийной сепарации урана с последующим формированием промышленных месторождений.

Исходя из мантийно-флюидной модели рудообразования, этот процесс контролируется законами поведения химических элементов, возможностями концентрированной формы их существования в мантии [3]. Именно они определяли глубинные факторы для первоначального формирования геохимических неоднородностей в астеносфере, а затем образования крупных месторождений и рудных районов в верхней части земной коры из мантийных рудогенных компонентов. Рудные компоненты распределялись зонально, накапливаясь на разном расстоянии от областей экстремального давления и температуры [4]. Это было важнейшим фактором, приводившим к формированию геохимических неоднородностей в мантии и коре.

Экспериментальные и фактические данные свидетельствуют, что при высоких РТ-параметрах, свойственных мантии, флюиды были интенсивно насыщены SiO_2 , K, Na и другими некогерентными компонентами [5]. Это приводило к повышению температуры солидуса истощенной мантийной матрицы и ее преобразованию в твердое состояние (литосферу), к обогащению указанными компонентами земной коры. Закономерная связь зрелости и мощности литосферы вытекают из флюидной модели Ф.А. Летникова [5]. Положение подошвы литосферы обусловлено дегазацией Земли и „высушиванием“ мантийного субстрата вследствие выноса флюидных и петрогенных компонентов в верхние горизонты литосферы [5]. Степень зрелости литосферы зависит от количества привнесенных сиалических петрогенных компонентов в кору, определяющим мощностю гранито-гнейсового слоя коры. Таким образом, степень гранитизации коры и мощностю гранито-гнейсового слоя являются отображением процесса становления литосферы. Главная тенденция эволюции состава верхней части коры в процессе становления литосферы состояла в замещении протосубстрата, который имел натриевую специализацию, в направлении увеличения содержания в породах K и Si, увеличения содержания некогерентных элементов, в частности урана и тория, уменьшалась концентрация Na, Ca, Mg и Fe, вследствие чего порода приближалась по составу к гранитам [5]. Такой подход относительно образования гранитоидных пород можно объяснить лишь значительным энергопереносом

из мантии (астеносферы) потоков флюидов, обогащенных калием и другими компонентами, в частности ураном. Этим объясняется и относительно повышенное содержание урана в породах земной коры. Но это не дает оснований рассматривать породы коры в качестве источников урана для формирования промышленных месторождений. С этим выводом согласуются особенности глубинного строения урановорудной провинции Украинского щита, изотопно-геохимические данные, которые подтверждают мантийный источник вещества растворов, формировавших урановорудные метасоматиты Кировоградского рудного района. Петролого-геохимические данные свидетельствуют о существовании в мантии в центральной части УЩ участков, где формировались кимберлитовые расплавы с концентрацией урана, превышающей в десятки и сотни раз фоновые [6].

Выделение нерешенных ранее частей проблемы. Имея наложенный эпигенетический характер по отношению к структурно-формационным комплексам земной коры, промышленные эндогенные месторождения урана на УЩ проявляют выраженную связь с особенностями строения глубинных оболочек Земли [6]. Это, в совокупности с выявленными нами новыми закономерностями размещения промышленных месторождений урана УЩ, позволяет утверждать, что глубинные факторы уранового оруденения, которые ранее не принимались во внимание для оценки уранорудопродуктивности, являлись главными для формирования промышленных урановорудных объектов. Это позволяет разработать новые региональные прогнозно-поисковые критерии формирования промышленных месторождений урана эндогенного класса для выполнения обоснованных прогнозных оценок потенциальной уранорудопродуктивности сегментов литосферы УЩ и значительно минимизировать площади для дальнейших поисковых работ с целью наращивания промышленного потенциала минерально-сырьевой базы урана Украины.

Цель работы. Разработка новых подходов к прогнозированию промышленных эндогенных месторождений урана на базе использования концепции инициального концентрирования урановорудных компонентов на мантийном уровне, наработка новых критериев, отражающих специфику формирования промышленного оруденения с позиции глубинных факторов рудогенеза.

Изложение основного материала. Разработка нового подхода к прогнозированию промышленных эндогенных месторождений урана УЩ. Мы выполнили целенаправленный анализ огромного объема геофизической, геологической, радиогеохимической информации по особенностям генезиса, размещения и условиям локализации месторождений урана основных геолого-промышленных типов на территории Украинского щита в тесной связи с особенностями глубинного строения литосферы, астеносферы, разломной тектоникой, проявлениями мантийного магматизма, радиогеохимической специализации пород верхней части земной коры УЩ [6]. Рассматривая мантию как основной источник рудогенных компонентов, на основе выполненного анализа, нами выявлен ряд глубинных факторов форми-

рования промышленных месторождений урана УЩ [6]. Отметим, что в изложенном в статье контексте связь формирования промышленных эндогенных месторождений урана УЩ с особенностями глубинного строения литосферы и астеносферы ранее не рассматривалась.

Нами использовался комплекс геофизических (глубинное сейсмозондирование – ГСЗ, гравиразведка, магниторазведка), петрологических, изотопно-геохимических, радиогеохимических и структурно-геологических методов исследований.

Первый этап наших исследований был ориентирован на оценку потенциальной уранорудопродуктивности литосферных сегментов УЩ по совокупности структурно-геологических, петрологических и геофизических данных (рис.1). Исходя из геохимических свойств урана (большой ионный радиус, ярко выраженные окси- и фторофильные свойства), инициальная концентрация урана могла осуществляться при низком положении геоизотерм, и, соответственно, достаточно мощной литосфере (более 160–180 км) [5] (рис. 1). Данные глубинного сейсмозондирования (ГСЗ) вследствие погрешности метода могут давать значения мощности литосферы, завышенные на 10–30%. Для объективного анализа уранорудопродуктивности литосферных сегментов УЩ нами использованы данные мощности литосферы по ГСЗ, скорректированной по результатам петрологических исследований глубинных ксенолитов и минералов-спутников алмаза районов проявления мантийных пород [7]. Это позволило сделать вывод: соответствующая потенциальной промышленной уранорудопродуктивности мощность литосферы (более 160–180 км) характерна только для Ингульского мегаблока (250 и более км) и Подольского блока Днестровско-Бугского мегаблока (до 200 км). Также нами анализировались связь промышленных месторождений урана с мощностью гранито-гнейсового слоя, аномальными плотностными неоднородностями вещества верхней мантии по вариациям значений гравитационного потенциала, градиентными зонами поверхностей М, „базальтового“ и „диоритового“ слоев, с региональной радиогеохимической и металлогенической зональностью отдельных сегментов литосферы УЩ. Максимальная (>15 км) и повышенная (10–15 км) мощности гранито-гнейсового слоя отражают уровень энергомассопереноса и изменчивость степени зрелости коры. Этим признакам на УЩ отвечают Ингульский мегаблок (10–15 км), а в контуре Коростенского плутона – фрагмент Волынского мегаблока (>15 км).

Анализ радиогеохимической специализации пород верхней части земной коры УЩ осуществлен нами по результатам измерений их естественной гамма-активности по данным гамма-каротажа, пересчетов на долю урана, тория, калия в суммарной радиоактивности, выяснения первичных концентраций урана в породах УЩ. Установлено, что породы Ингульского мегаблока характеризуются повышенной радиоактивностью, но не самыми высокими содержаниями урана и тория в них. Они уступают по содержанию этих элементов породам Волынского и Росинско-Тикичского мегаблоков. Породы верхней части земной коры Ингульского мегаблока

характеризуются аномально высоким региональным содержанием калия, признак наиболее интенсивного энергопереноса в прошлом, привноса флюидов из астеносферы. При пестрой радиогеохимической специализации мегаблоков УЩ урановорудные метасоматиты встречаются лишь в Ингульском мегаблоке. Таким образом, масштабы уранового оруденения в натриевых метасоматитах не обнаруживают закономерной связи с содержанием урана во вмещающих породах.

Формирование крупных месторождений урана в литосферных сегментах высокой степени зрелости те-

сно связано с транслитосферными разломами, которые могли обеспечить привнос рудных компонентов из астеносферы. Поэтому пристальное внимание уделялось разломам транслитосферного проникновения (мегаблоковым и иным) (рис. 1). Выяснилось, что все выявленные промышленные эндогенные месторождения урана УЩ находятся в районах высокоамплитудных (от 4–5 до 10–15 км) смещений границы Мох (М) вдоль глубинных региональных разломов с наличием резко выраженных градиентных зон углов наклона поверхности М до 27,8–54,3°.

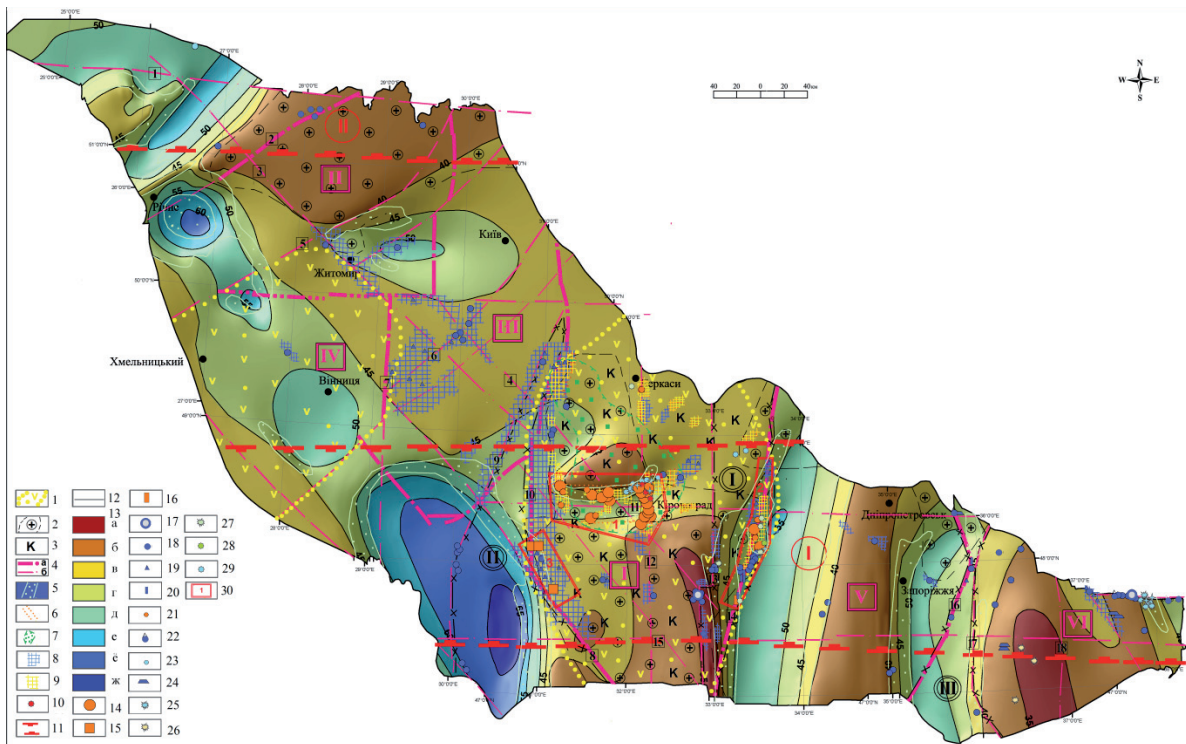


Рис. 1. Схема прогноза эндогенных промышленных месторождений урана в породах фундамента УЩ, совмещенная со схемой рельефа поверхности Мох Украинского щита (схема рельефа поверхности М по Ю.И. Федоришину и др. [7]): 1–11 – глубинные критерии промышленного эндогенного уранового оруденения: 1 – аномальные литосферные сегменты с мощностью литосферы > 160 км (по данным ГСЗ, скорректированным по результатам петрологических исследований мантийных ксенолитов глубинных пород); 2 – области развития гранито-гнейсового слоя повышенной (10–15 км) и высокой (> 15 км) мощности; 3 – области с аномальной калиевой радиогеохимической специализацией метаморфического субстрата верхней части земной коры; 4 – осевые линии разломов мантийного проникновения: а – межмегаблоковые, б – иные; 5 – градиентные зоны поверхности Мох (с углом наклона (27,8–54,3°)); 6 – участки разломных структур с высокоамплитудными (от 4–5 до 15 км) смещениями поверхности Мох и региональными зонами смены мощности земной коры вдоль них; 7 – зоны аномально низкой плотности вещества верхней мантии по результатам расчета гравитационного потенциала; 8–9 – ореолы радиогеохимических аномалий, связанных с привнесом урана в эпохи: 8 – 2000–1900 млн лет в связи с развитием высокотемпературного кремний-калиевого метасоматоза, 9 – 1850–1700 млн лет в связи с развитием среднетемпературного карбонатно-натриевого метасоматоза (по результатам свинцово-изотопных исследований КП „Кировгеология“); 10 – кимберлитопоявления дайковой фауны, значительно обогащенной ураном; 11 – границы мезазон активизации (по Галецькому Л.С. и др., [8]): I – Центрально-Украинская; II – Северо-Украинская; 12 – изолинии поверхности М, км; 13 – шкала глубин залегания поверхности М, км: а – 33–35; б – 36–40; в – 41–45; г – 46–50; д – 51–55; е – 56–60; ж – 61–65; з – 66–70; месторождения урана: 14 – в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах, 15 – калий-урановой формации; 16–24 – рудопоявления урана эндогенного класса различных генетических групп; 25 – кимберлитовые трубки, 26 – лампроитовые трубки, 27 – трубки кимберлитоподобных пород, 28 – проявления кимберлитоподобных пород дайковой фауны; 29 – лампроитопоявления дайковой фауны; 30 – урановорудные районы: 1 – Кировоградский, 2 – Криворожский, 3 – Алексеевско-Лысогорский

На этом этапе была оценена принципиальная возможность перспектив обнаружения крупных эндогенных месторождений урана на УЩ в пределах отдельных литосферных сегментов (рис.1). Выявленные особенности глубинного строения УЩ лишь локально соответствуют петрологическим предпосылкам для формирования уранорудогенерирующей системы, которая способна генерировать ураноносные флюиды на астеносферном уровне, транспортировать их к месту локализации по глубинным разломам и влиять на локализацию промышленных урановорудных концентраций на верхних структурных этажах.

Так, Подольский блок Днестровско-Бугского мегаблока нельзя рассматривать потенциально уранорудопродуктивным по следующим критериям: 1 – значительная мощность литосферы (~200 км) при совмещенности с троговой структурой поверхности М; 2 – наличие подстилающей коромантийной смеси мощностью до 30 км; 3 – низкая мощность гранито-гнейсового слоя; 4 – по результатам геологоразведочных работ выявлено только одно рудопроявление урана.

На территории УЩ, как благоприятную для поиска и локализации новых промышленных урановорудных объектов, можно рассматривать только Кировоградскую урановорудную металлогеническую область, территориально совпадающую с Ингульским мегаблоком: мощность литосферы (250 и более км), мощность гранито-гнейсового слоя 10–15 км, ярко выраженная калиевая специализация пород метаморфического субстрата верхней части земной коры.

Небольшие по запасам одиночные непромышленные месторождения, многочисленные мелкие объекты оруденения – рудопроявления, проявления урана могли образовываться в различных геодинамических условиях при образовании мелких обособлений специализированного ураноносного флюида в широком диапазоне РТ-условий. Однако формирование крупных промышленных объектов было возможно лишь при масштабной концентрации урана в астеносферных ловушках с определенными РТ-параметрами, которые могли создаваться только в подошве литосферного сегмента высокой степени зрелости.

На следующем этапе исследования нами был выполнен анализ особенностей глубинного строения УЩ и связи общих особенностей металлогении урана и урановой геохимической специализации УЩ с его основными структурными элементами с целенаправленным изучением возможных рудолокализирующих структур земной коры, благоприятных для формирования эндогенных месторождений урана на верхних структурных этажах. При этом принимался во внимание весь имеющийся комплекс информации – геофизической, геологической, петрологической, радиогеохимические аномалии привноса урана, проявленность метасоматических формаций специализированных на уран. Основными путями движения потоков ураноносных флюидов при формировании месторождений урана в карбонатно-натриевых метасоматитах центральной части УЩ являлись узлы пересечений разломов субмеридианального (Кировоградский, Новокопачевский,

Криворожско-Кременчугский, Звенигородско-Анновский) и диагонального (Адабашский) простирающихся с широтными Субботско-Мошоринским и Девладовским разломами (рис.1).

Основная масса оруденения в карбонатно-натриевых метасоматитах месторождений урана Кировоградского и Криворожского рудных районов связана с зонами предрудного объемного катаклаза. Формирование последних обусловлено процессами взрывного гидрогазоразрыва вследствие эволюции щелочного гидротермального ураноносного раствора (флюида) [3], который привел к масштабному скоротечному массовому рудоотложению. Таким образом, формирование объемных катаклазитов вследствие взрывного (взрывного) процесса является типоморфным признаком месторождений в натриевых метасоматитах и важнейшим условием образования промышленного уранового оруденения. Осуществление взрывного механизма обусловлено высоким содержанием углекислоты и степенью открытости-закрытости рудоконтролирующих разломов. При низком парциальном давлении CO_2 , как и при открытом характере рудоконтролирующих разломов в верхних горизонтах земной коры, взрывных явлений с образованием катаклазитов не произошло, и уран рассеивался по всему объему альбититов, не образуя рудных концентраций, и частично выносился из зон натриевого метасоматоза, рассеиваясь во вмещающих породах [3].

Величина вертикального размаха оруденения определялась, в основном, степенью открытости-закрытости в верхних частях разлома и масштабам эндогенного процесса. Структурные условия рудообразования определялись сочетанием факторов: тектоническими подвижками вдоль рудоконтролирующих разломов, обеспечивавшими возможность подъема ураноносных флюидов с мантийных глубин на уровни рудообразования и эволюцией самого флюида, обладавшего, вследствие сверхвысокого давления, структурообразующей способностью. Следовательно, необходимым условием формирования промышленного уранового оруденения в щелочных натриевых метасоматитах при мантийном источнике рудогенных компонентов является высокая проницаемость разломных структур на нижних горизонтах земной коры и мантии и относительная закрытость на верхних горизонтах земной коры.

Спорадическое экранирование проницаемых разломов на верхних горизонтах, необходимое для масштабного рудоотложения, вероятнее всего, было обусловлено смещением и усложнением конфигурации фрагментов зон проницаемости от поверхности М к дневной поверхности, что подтверждается по данным ГСЗ [6]. Анизотропия степени целостности сред, которые формируют граница Мохо, „базальтовый“, „диоритовый“ слои, и характер деформаций поверхностей каждого из этих слоев в пределах Кировоградского, Криворожского, Алексеевско-Лысогорского рудных районов усиливаются к дневной поверхности. В совокупности это обеспечивало изменения степени проницаемости разноглубинных слоев коры, необходимой для формирования масштабного уранового оруденения.

Привнос урана фиксировался как непосредственно минерализованными объектами (месторождения, рудопроявления), так и результатами радиогеохимических и изотопных исследований. По материалам свинцово-изотопных исследований (данные КП „Кировгеология“) на прогнозную карту были нанесены радиогеохимические аномалии с привносом и перераспределением урана в наиболее продуктивные для УЩ эпохи – 2000–1900 млн лет, в том числе в связи с развитием высокотемпературных кремний-калиевых метасоматитов, и 1800–1750 млн лет, в том числе в связи с развитием среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитов (рис. 1).

Нами был проведен анализ последних данных изотопных исследований рудных формаций и вмещающих их пород Кировоградского, Криворожского, Алексеевско-Лысогорского урановорудных районов и других эндогенных процессов в Кировоградской урановорудной области УЩ (рис.2).

В период эпохи активизации (2,1–1,97 млрд лет) в центральной части УЩ имел место мощный восходящий поток высокотемпературных флюидов, создавший в условиях ультраметаморфизма Новоукраинский гранитный массив, который стал фактором резкой анизотропии геологической среды, что отчетливо проявлено в гравитационном поле, в данных глубинного сейсмозондирования (ГСЗ). Изотопный возраст гранитов кировоградского комплекса по результатам исследований Щербака Д.Н. и др. [9] – 2015–2070 млн лет. Возраст золотого оруденения для золото-кварцевых месторождений Кировоградского района составляет 1,975–1,97 млрд лет [9].

В эпоху 2000–1900 млн лет в Ингульском мегаблоке произошло масштабное формирование урановорудных концентраций в связи с развитием высокотемпературного кремний-калиевого метасоматоза (пик К-U минерализации на Южном, Лозоватском, Калиновском мес-

торожениях приходится на 1,98–1,96 млрд лет [10] (Алексеевско-Лысогорский урановорудный район). По данным [11] изотопный возраст литиевых пегматитов Полоховского литиеворудного поля, примыкающего с севера к Ватутинскому урановорудному полю, находится в пределах 2000–1970 млн лет, что соответствует возрасту пегматоидов кировоградского комплекса, а возраст петалитовых руд Полоховского месторождения, определенный К-Ag методом по мусковиту из зоны грейзенизации сподуменовых петалитов, равен 1800±35 млн лет. Возраст турмалин-кордиерит-биотитовых метасоматитов Полоховского месторождения по биотиту составляет 1905±35 млн лет [11].

В эпоху 1800–1750 млн лет произошло масштабное формирование урановорудных концентраций в связи с развитием среднетемпературного натриевого метасоматоза (Кировоградский и Криворожский урановорудные районы). Масштабным геологическим процессом региона было формирование Корсунь-Новомиргородского плутона габбро-анортозит-рапакиви-гранитной формации (1,76–1,74 млрд лет) [10]. В мировой практике промышленных месторождений урана, непосредственно связанных с формацией габбро-анортозит-рапакиви, пока не известно. В экзо-эндоконтактной зоне Корсунь-Новомиргородского плутона Кировоградского урановорудного района выявлены лишь несколько рудопроявлений, находящихся в пространственной связи с ураноносными альбититами (Андреевское, Вербовское, Кохановское, Тимошевское, Яровское). Промышленные месторождения урана Кировоградского рудного района имеют с Корсунь-Новомиргородским плутоном лишь структурную связь, обусловленную периодическими кардинальными перестройками земной коры и мантии в литосферном сегменте высокой степени зрелости в пределах центральной части УЩ.

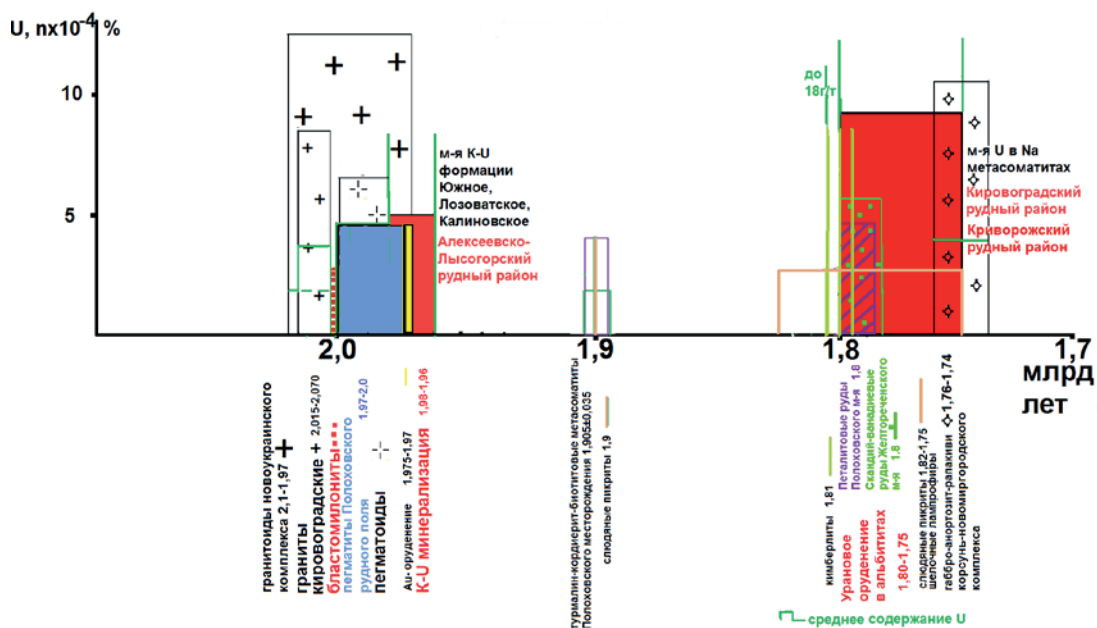


Рис. 2. Временная связь формирования урановорудных районов Кировоградской урановорудной металлогенической области УЩ с другими эндогенными процессами (с использованием данных В.А. Крупенникова [3], Д.Н. Щербака и др. [9], А.Н. Пономаренко и др. [10] (цифры по горизонтали – возраст в млрд лет.)

Урановорудные карбонатно-натриевые метасоматиты являются самостоятельной группой эндогенных образований, сформированных в этап активизации 1,8–1,75 млрд лет. Они являются одним из многочисленных представителей группы разнородных эндогенных образований, приуроченных к аномальному очагу мантии центральной части УЩ, в которую входят кимберлиты, пикриты, слюдяные щелочные лампрофиры, разнообразные щелочные метасоматиты различной металлогенической специализации. Пространственно-временная сопряженность проявлений урановорудного натриевого метасоматизма и кимберлитопоявлений обусловлена общим мантийным источником полезных компонентов (в первую очередь, углекислоты и некогерентных элементов) в литосферном сегменте высокой степени зрелости центральной части УЩ. В разломных зонах кимберлитопоявления и урановорудные натриевые метасоматиты ассоциируют друг с другом в соподчиненных самостоятельных минерагенических структурах, взаимосвязанных линейным характером структур рудолокализации мантийного проникновения. Их совместное проявление в верхних структурных горизонтах обусловлено наличием в астеносфере, подстилающей Ингульский мегаблок, аномальной зоны масштабной мантийной генерации ураноносных флюидов, совмещенной с очагом генерации кимберлитовых магм. Это объясняется физико-химической связью процессов их рудогенерации, вызванной, в частности, возникновением в астеносфере, при определенных РТ-условиях, мощного источника углекислотных мантийных флюидов, а в литосфере – проницаемых зон, по которым с мантийных глубин периодически осуществлялся подъем ураноносных флюидных потоков и кимберлитовых флюидо-магматических колонн.

Таким образом, проявление в разломных зонах кимберлитов, значительно обогащенных ураном, является петролого-геохимическим показателем аномальных проницаемых участков мантии с характерным концентрированием урана и может дополнительно учитываться в комплексе критериев для оценки возможности обнаружения гидротермального уранового оруденения в промышленных концентрациях в других потенциальных урановорудных районах, узлах, зонах, в первую очередь, для метасоматизма натриевой линии.

На третьем этапе исследований проводилось целенаправленное изучение рудолокализирующих структур земной коры, которые, в соответствии с разработанным нами (с учетом мантийного источника рудогенных компонентов) расширенным комплексом локальных критериев и признаков промышленного уранового оруденения, максимально сочетают благоприятные условия для рудоотложения. При этом использовались все имеющиеся геолого-геофизические материалы, в том числе геохимические аномалии набора элементов-спутников, характерного для уранового оруденения определенного рудоформационного типа (Pb, V, Be, Zr), области развития специализированных на уран метасоматических формаций), вещественный состав руд и т.д.

Кора играла рудоконцентрирующую функцию, которая определялась структурно-литологическими ло-

вушками и геохимическими барьерами. Литологические факторы контроля оруденения в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах заключаются в исключительной приуроченности уранового оруденения к альбититам. Наиболее благоприятными для локализации промышленного оруденения в карбонатно-натриевых метасоматитах являются узлы пересечения разломов диагонального и субмеридианального простираний с дизъюнктивными проницаемых широтных разломов. Основная масса оруденения в карбонатно-натриевых метасоматитах месторождений урана Кировоградского и Криворожского рудных районов связана с зонами предрудного объемного катаклаза, формирование последних обусловлено процессами эксплозивного гидрогазоразрыва вследствие эволюции щелочного гидротермального ураноносного раствора (флюида) [3], который привел к масштабному скоротечному массовому рудоотложению.

Таким образом, исходя из мантийной природы ураноносных флюидов, ряда установленных нами благоприятных предпосылок, глубинных факторов формирования и закономерностей локализации промышленных эндогенных месторождений урана на УЩ, предлагаются новые региональные прогнозно-поисковые критерии для выделения потенциальных урановорудных областей и районов с вероятным крупномасштабным эндогенным урановым оруденением (рис.1):

1) мощность литосферы, которая, исходя из экспериментальных и петрологических данных по глубине возможного масштабного инициального концентрирования урана, должна быть не менее 160–180 км;

2) наличие гранито-гнейсового слоя высокой (более 15 км) или повышенной (10–15 км) мощности;

3) аномально выраженная калиевая радиохимическая калиевая специализация метаморфического субстрата верхней части земной коры;

4) наличие глубинных проницаемых разломных структур, которые способны достигать гипсометрического уровня астеносферных областей масштабной генерации ураноносных флюидов. Они характеризуются высокоамплитудными (от 4–5 до 15 км) смещениями вдоль них границы Мох, наличием резко выраженных градиентных зон углов наклона поверхности Мох (до 27,8–54,3°);

5) наличие участков аномально низкой эффективной плотности вещества мантии по результатам расчета гравитационного потенциала;

6) проявление в пределах глубинных разломов ультраосновного щелочного магматизма, прежде всего, кимберлитов с высоким (до 18–20 г/т) содержанием в них урана, которые, по сути, являются петролого-геохимическими индикаторами проницаемых зон, дренировавших аномальные участки мантии с характерной дифференциацией и сепарацией урана;

7) узлы пересечения глубинных разломных структур субмеридианального и диагонального простираний с дизъюнктивными рудоконцентрирующими разломных структур широтного простирания, в первую очередь, Субботско-Мошоринской и Девладовской в аномальном сегменте литосферы высокой степени зрелости центральной части УЩ;

8) наличие радиогеохимических аномалий, связанных с привнесом урана в эпоху 2000–1900 млн лет в связи с развитием высокотемпературного кремний-калийевого метасоматоза и эпоху 1800–1750 млн лет в связи с развитием среднетемпературного карбонатно-натриевого метасоматоза.

Использование нового комплекса прогнозно-поисковых критериев, с соблюдением принципов системности, последовательных приближений и соответствия изучаемых объектов масштабам исследований, позволяет последовательно:

1) обоснованно оценить перспективы выявления крупного уранового оруденения литосферных сегментов;
2) выполнить выделение потенциальных рудолокализирующих структур земной коры, наиболее вероятно обеспечивавших благоприятные условия для формирования месторождений на финальной стадии рудогенеза – осаждения рудогенных компонентов на геохимических барьерах.

Основным геолого-промышленным типом эндогенного уранового оруденения УЩ был и остается в обозримом будущем метасоматический тип в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах. Максимальному проявлению обоснованного нами комплекса прогнозно-поисковых критериев промышленного уранового оруденения на УЩ и условиям формирования крупных месторождений урана соответствует только территория Кировоградской урановорудной металлогенической области, территориально совмещенная с Ингульским мегаблоком (рис. 1). Это подтверждается многолетними интенсивными, но безрезультатными, поисками аналогов ее рудных районов в других частях УЩ.

Задача наращивания запасов урана промышленных категорий объектов эндогенного класса может быть решена только при проведении работ в Кировоградском рудном районе.

Исходя из характера проявленности нового комплекса прогнозно-поисковых критериев и расширенного комплекса локальных критериев и признаков промышленного уранового оруденения, степени изученности, это возможно:

1) за счет увеличения запасов разведанных и прошедших стадию оценочных работ месторождений (Щорсовского, Юрьевского, Партизанского);
2) проведения поисково-оценочных работ на флангах основных эксплуатируемых месторождений (Ватутинское, Новокозариновское);
3) проведения поисково-оценочных работ на флангах разведанных и переданных в эксплуатацию месторождений (Докучаевское);
4) за счет разведываемых месторождений (Апрельское).

Одним из наиболее перспективных объектов в Кировоградском рудном узле является Щорсовское месторождение урана, на котором в 80-е годы с позитивным результатом была выполнена предварительная буровая разведка. Месторождение характеризуется рядом специфических особенностей (благоприятные для обогащения технологические, геохимические, вещественные особенности урановых руд, благоприятные гидрогеологические условия для эксплуатации месторожде-

ния, распространение оруденения на флангах месторождения на значительную глубину и пр.). Возможность значительно увеличить запасы Щорсовского месторождения может дать уточнение геолого-структурных условий локализации уранового оруденения и элементов залегания рудных тел, полный пересчет запасов по новым кондиционным требованиям с учетом внедрения в производство новых технологий и техники добычи и переработки урановых руд. Это в совокупности позволяет отнести данное месторождение к разряду наиболее перспективных объектов для дальнейших геологоразведочных работ. По результатам проведенной нами комплексной геолого-геофизической интерпретации также обоснованы значительные перспективы выявления промышленного уранового оруденения в сложном построенном тектоническом узле на южном фланге Докучаевского месторождения урана, сформированном пересечением Новокозариновской, Адабашской, Аникеевско-Лозоватской, Субботско-Мошоринской разломных зон.

Выводы и перспективы дальнейшего развития данного направления. Эффективность прогнозно-металлогенических построений существенно возрастает при последовательном анализе всех стадий рудообразующего процесса, что предполагает расширение спектра используемых критериев рудоносности за счет петролого-геохимических и геофизических индикаторов режима начального концентрирования рудных компонентов в астеносфере, что и было нами использовано для выявления особенностей формирования промышленных месторождений урана на УЩ. В результате проведенных исследований нами обоснованы принципиально новые региональные прогнозно-поисковые критерии эндогенных промышленных месторождений урана урановорудной провинции Украинского щита.

Выполнены научно обоснованные прогнозные оценки относительно локализации уранорудоперспективных территорий для выявления промышленных эндогенных месторождений урана на УЩ, выделены наиболее перспективные участки и объекты для дальнейшего наращивания промышленного потенциала минерально-сырьевой базы урана Украины.

Такая прогнозная оценка позволяет на научной основе объективно минимизировать территории для проведения дальнейших специализированных на уран геологоразведочных работ, поскольку существенно ограничивает площади, где возможно формирование крупного по запасам эндогенного промышленного уранового оруденения.

Список литературы / References

1. 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. Ковалья. – К.: „Наукова думка“, 1995. – 376 с.

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

2. Степанюк Л.М. Джерело натрію та урану ураноносних альбітітів на прикладі Докучаєвського родовища Інгульського мегаблоку УЩ: міжнародна наукова конференція (Київ 14–16 березня 2012 р.): тези доповідей / Л.М. Степанюк, С.М. Бондаренко, В.О. Сьомка // Теоретичні питання і практика дослідження метасоматичних порід і руд: ИГМР. – К.: 2012. – С 78–80.

Stepaniuk, L.M., Bondarenko, S.M. and Somka, V.O. (2012), “Source of sodium and uranium cheers nonosnyh albitites, the example Dokuchaievsk field Ingulsk megablock of the UkrSh”, *Proc. of the Intern. Sci. Conf. Theoretical Issues and Research Practice Metasomatic Rocks and Ore*, Kyiv, March 14–16, 2012, IGMO, pp. 78–80.

3. Крупенников В.А. Мантийный щелочной флюидно-магматический петрогенезис как основной рудообразующий процесс: матер. П межд. симпозиума „Уран – ресурсы, производство“ (Москва 26–28 ноября 2008 г.) / В.А. Крупенников – М.: Из-во ФГУП ВИМС, 2008. – 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”*, Moscow, November 26–28, 2008, FSUE VIMS, Moscow, Russia, pp. 28–31.

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

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

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

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

6. Калашник А.А. Роль глубинных факторов в формировании промышленного эндогенного уранового рудообразования УЩ / А.А. Калашник // 36. научных праць УкрДГРІ. – 2013. – № 3. – С.33–48.

Kalashnyk, G.A. (2013), “The role of the depth factors in the formation of endogenous industrial uranium ore formation of the UkrSh”, *Zbirnyk Naukovykh Prats UkrDGRI*, no. 3, pp. 33–48.

7. Федоришин Ю.І. Просторова модель глибинної будови літосфери Українського щита у зв'язку з перспективами промислової алмазонасності / Ю.І. Федоришин, О.В. Фесенко, О.Б. 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.

8. Причины размещения родовищ та рудопроявів у шовних зонах Українського щита / Л.С. Галецький, О.В. Орлінська, Д.С. Пікареня [та ін.] // Геол. журн. – 2010. – №2. – С. 14–21.

Galetsy, L.S., Orlinska, O.V. and Pikarenya, D.S. (2010), “Reasons for placing deposits and occurrences in the

suture zone of the Ukrainian”, *Geologichnyi Zhurnal*, no. 2., pp. 14–21.

9. Щербак Д.Н. Найважливіші металогенічні епохи докембрію Українського щита / Д.Н. Щербак, В.А. Михайлов, О.В. Грінченко // Вісник Київського університету. Серія: Геологія. – 2004. – Вип. 31/32. – С. 50–53.

Scherbak, D.N., Mikhailov, V.A. and Grinchenko, A.V. (2004), “The most important metallogenic epoch Precambrian of the Ukrainian Shield”, *Bulletin of the Kiev University. Series: Geology*, vol.31/32, pp. 50–53.

10. Радіогеохронологія процесів метасоматозу у кристалічних породах УЩ: міжнародна наукова конференція (Київ 14–16 березня 2012 р.) / О.М. Пономаренко, Л.М. Степанюк, С.Г. Кривдік [та ін.] // Теоретичні питання і практика дослідження метасоматичних порід і руд: ИГМР. – К., 2012. – С 64–66.

Ponomarenko, O.M., Stepanyuk, L.M. and Kryvdik, S.G. (2012), “Radioheochronology metasomatism processes in crystalline rocks of the UkrSh”, *Proc. of the Int. Sci. Conf. Theoretical Issues and Metasomatic Rocks and Ore Research Practice*, Kyiv, March 14–16, 2012, IGMO, pp. 64–66.

Мета. Розробка нового підходу до прогнозування промислових ендегенних родовищ урану на базі використання концепції ініціального концентрування урановорудних компонентів на мантийному рівні, виявлених глибинних чинників формування промислових родовищ урану Українського щита (УЩ) з мантийних рудогенних компонентів.

Методика. Аналіз геолого-структурних закономірностей розміщення родовищ урану основних геолого-промислових типів на території УЩ у світлі нових даних про мантийне джерело рудогенних компонентів, у тісному зв'язку з глибинними літосферними та астеносферними неоднорідностями, розломною тектонікою й проявами ультраосновного лужного магматизму.

Результати. Виявлені нові прогнозно-пошукові критерії промислових, у першу чергу, значних за запасами, родовищ урану на верхніх структурних поверххах земної кори з мантийних рудогенних компонентів. Визначені найбільш перспективні площі для проведення подальших різномасштабних геолого-розвідувальних робіт.

Наукова новизна. Істотно уточнені нові погляди на особливості зв'язку глибинної будови УЩ та формування промислових ендегенних родовищ урану. Визначена потенційна уранорудопродуктивність різних літосферних сегментів УЩ на певні геолого-промислові типи уранового зруденіння. Обґрунтовані принципово нові регіональні прогнозно-пошукові критерії ендегенних промислових родовищ урану урановорудної провінції Українського щита. Це дозволило по-новому підійти до прогнозування об'єктів промислового ендегенного уранового зруденіння в різній геологічній обстановці.

Практична значимість. Виконані науково обґрунтовані прогнозні оцінки щодо локалізації уранорудоперспективних територій для виявлення родовищ урану основних геолого-промислових типів УЩ і виділені найбільш перспективні ділянки та об'єкти для подальшого

нарошування промислового потенціалу мінерально-сировинної бази урану України.

Ключові слова: промислові родовища урану, прогностико-пошукові критерії

Purpose. The development of a new approach to prognostication and prospecting of endogenous uranium deposits based on the concept of initial concentration of components of uranium ore on the mantle level and the identified depth factors of the formation of industrial uranium deposits in the Ukrainian shield (UkrSh) from ore components of mantle.

Methodology. Analysis of geological and structural regularities of uranium deposits of basic geological-industrial types in the UkrSh based on new ideas about mantle source of ore components in close connection with lithospheric and asthenospheric depth inhomogeneities, fault tectonics and manifestations of ultrabasic alkaline magmatism.

Findings. New prognostication-search criteria of industrial, primarily with large reserves, uranium deposits formation on the upper structure floors of the Earth crust from the ore components of mantle were identified. It allowed identifying the most promising areas for further different-scale geological works.

Originality. New ideas about the features of the connection between the deep structure of the UkrSh and formation of industrial endogenous uranium deposits were refined significantly. The potential formation of industrial deposits of the main geological-industrial types within certain lithospheric segments of UkrSh was determined. Conceptually new regional prognostication-search criteria for prospecting of endogenous industrial uranium deposits within the uranium-ore province of the Ukrainian shield were proposed. This allowed employing the new approach to the prognosis of industrial endogenous uranium mineralization in different geological conditions.

Practical value. Science-based forecasts were fulfilled to identify the areas promising for localization of industrial uranium deposits of the main geological-industrial types within the UkrSh. The most promising areas and objects for further grow of the industrial potential of the uranium mineral base of the Ukraine were identified.

Keywords: industrial uranium deposits, prognostication-search criteria

*Рекомендовано до публікації докт. геол. наук
М.М. Довбнічем. Дата надходження рукопису 24.01.14.*