

А. А. Калашник, д-р геол. наук, главный геофизик ГРЭ-37 КП “Кировгеология”

НОВЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА УКРАИНСКОГО ЩИТА

Представлены результаты проведенных исследований новых закономерностей размещения промышленных эндогенных месторождений урана Украинского щита в тесной связи с особенностями глубинного строения литосферы и ее составных частей на основе использования модели первичного концентрирования урановорудных компонентов в астеносфере. Это позволило в значительной мере по-новому подойти к прогнозированию возможности формирования объектов промышленного эндогенного уранового оруденения в различной геологической обстановке.

Ключевые слова: эндогенные промышленные месторождения урана, мантийные рудогенные компоненты, ураноносные мантийные флюиды.

Общая постановка проблемы и связь с практическими заданиями

Выявление новых закономерностей размещения и особенностей формирования промышленных, в первую очередь крупных по запасам промышленных месторождений рудных полезных ископаемых в тесной связи с особенностями глубинного строения литосферы, обусловливающих РТ-условия инициального масштабного концентрирования рудогенных компонентов в мантии с последующим формированием промышленных рудных концентраций в верхних частях земной коры из мантийных рудогенных компонентов и их использование при прогнозе и поисках представляет собой новое чрезвычайно перспективное и динамично развивающееся направление развития геологической науки. Появление новых научных сведений, уточняющих геологические предпосылки возникновения месторождений различных рудноформационных типов, использование идеи о главенствующей роли мантийного источника рудогенных компонентов

при их формировании заставляют пересматривать многие укоренившиеся представления и развивать новые подходы к решению практических задач не только прогноза потенциально рудоносных площадей, но и обоснованной оценки вероятности выявления в их пределах тех или иных крупных по запасам месторождений полезных ископаемых. Месторождения редких и радиоактивных металлов в этой связи заслуживают особого внимания, поскольку представляют собой минерально-сырьевые ресурсы будущего. За последние годы произошли заметные изменения в контроле ведущими странами мира за сырьевыми ресурсами редких элементов, что вполне объяснимо. Достаточно упомянуть, что экономическим показателем развития стран среди прочих критериев являются объемы производства и потребления редких и радиоактивных элементов, которые используются во многих высокотехнологических процессах. Национальная, энергетическая и экономическая безопасность Украины зависит от наращивания запасов и использования страте-

гически важных полезных ископаемых, к которым относится и уран, использование которого для потребностей отечественной атомной энергетики создает действенную альтернативу углеводородному сырью. Прогноз и поиски *промышленных месторождений* редких и радиоактивных металлов, включая уран, отличаются рядом специфических особенностей, связанных в первую очередь с минералого-геохимическими свойствами этих элементов, определяемыми их принадлежностью к литофильным элементам с большим ионным радиусом, переменной валентностью урана и его высокой миграционной способностью при определенных РТ-условиях. Все это обуславливает формирование широкой гаммы природных типов редкометалльных и урановых месторождений, специфические условия их проявления и сложность их обнаружения. Достаточно отметить, что в течение 2004–2008 гг. в мире на геологоразведочные работы на уран было израсходовано 3,2 млрд долларов. В 2008 году около 900 компаний вели геологоразведочные работы на 3 000 перспективных объектах [12]. Несмотря на это, не было открыто ни одного богатого или крупного месторождения урана. Природные типы урановых месторождений достаточно разнообразны, однако лишь отдельные из них играют значительную роль в общем балансе запасов, в объеме добычи урановых руд и успешно используются промышленностью. Выявление новых особенностей формирования крупных по запасам эндогенных месторождений урана Украинского щита (УЩ) на основе использования новой концепции мантийного источника рудогенных компонентов может стать основой для смены технологии прогноза и поиска промышленных типов месторождений урана и в других регионах планеты. Для успешного решения этой проблемы необходимо усовершенствование методики прогноза и поиска промышленных месторождений урана, наработка новых эффективных критериев, отражающих специфику формирования промышленного оруденения

на основе использования современных представлений о металлогении урана с позиции глубинных факторов рудогенеза и способствующих эффективному проведению геологоразведочных работ.

Обзор публикаций и нерешенные части общей проблемы

Основой прогнозирования месторождений являются существующие представления о генетических моделях рудообразования и о закономерностях размещения месторождений во времени и пространстве. Господствующие ныне генетические концепции формирования эндогенных месторождений урана (постмагматическая, метаморфогенная), опираются на анализ процессов уранового рудообразования, происходивших лишь в земной коре. Считается, что главным и непосредственным источником урана эндогенных промышленных месторождений УЩ служили породы кристаллического фундамента, и мобилизация урана происходила, в основном, в пределах гранитогнейсового слоя [3]. При использовании метаморфогенной гипотезы уранового рудообразования региональным прогнозно-поисковым критерием является развитие метаморфических пород амфиболитовой фации, особенно тех, которые содержат повышенные концентрации урана. В соответствии с гипотезой постмагматического уранового рудообразования главным региональным прогнозно-поисковым критерием уранового рудообразования являются области развития полей и крупных массивов палеопротерозойских ультраметаморфических гранитоидов [3]. 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 и постмагматической гипотезами региональных прогнозно-поисковых критериев не эффективным. В ходе проведения КП “Кировгеология” специализированных на уран работ на территории УЩ был выявлен ряд гео-

логических фактов, которые не могут быть удовлетворительно объяснены с позиций корового источника рудогенных компонентов и свидетельствуют о явном противоречии с упомянутыми гипотезами генезиса урановорудных альбититов. В частности, промышленное оруденение в карбонатно-натриевых метасоматитах размещается среди пород, характеризующихся как региональным привносом, так и выносом урана (коэффициент миграции 0,8–1,1) (В. А. Анисимов, материалы КП “Кировгеология”). При этом не имеет значения уровень содержания урана в гранитизированных породах. Среди метаморфических, ультраметаморфических и магматических пород Кировоградского рудного района нет разностей, одновременно обогащенных ураном и натрием. Породы с повышенным содержанием натрия обычно имеют более низкие концентрации урана (А. В. Кузьмин, материалы КП “Кировгеология”) и другие факты. Это подчеркивает автономность процесса уранового рудообразования данной формации, формирование которого невозможно объяснить за счет урана из вмещающих оруденение структурно-вещественных комплексов земной коры. До последнего времени основным доводом против подкорового источника урана считалось весьма низкое его содержание в ультраосновных и основных породах. В то же время, подтверждением важной роли глубинных факторов в формировании промышленных месторождений урана стало выявление в процессе проведения геологоразведочных работ ГРЭ № 37 КП “Кировгеология” в Лелековском урановорудном поле Кировоградского рудного района кимберлитопроявлений с высоким (до 18–20 г/т [18]) содержанием урана, что свидетельствовало о существовании в мантии участков, где генерация кимберлитовых расплавов сопровождалась концентрацией урана с содержанием в десятки раз превышающих фоновые. Кировоградский рудный район характеризуется наличием густой сетки даек, представленных, в частности, глубинными субще-

лочными титан-авгитовыми габброидами (камптонитами, вогезитами, одинитами), которые также характеризуются повышенными содержаниями урана [18].

В последние годы развиваются представления о значительной роли верхней мантии в поставке рудных компонентов различной металлогенической специализации в составе мантийных флюидов в процессе формирования месторождений (В. А. Крупенников [8], Ф. А. Летников [9] и др.), что позволило выдвинуть и развить ряд концептуально новых идей относительно моделирования механизмов перехода металлов из состояния первичного общепланетарного рассеяния к концентрированному состоянию в рудных месторождениях (И. И. Абрамович [1]). Мантийно-флюидная модель уранового рудообразования, выдвинутая В. А. Крупенниковым [8] и основанная на связи пространственно разобщенных, но генетически родственных щелочного магматизма и ураноносного натриевого метасоматоза сопряженно и автономно развивающимися в пределах одних и тех же провинций потоками геохимически родственных щелочных флюидов, явившихся продуктами дифференциации и дегазации мантии, нуждается в дальнейшей разработке. Прежде всего, в части картируемых критериев, позволяющих прогнозировать промышленное оруденение. В совокупности, это позволяет обосновать целесообразность создания нового направления прогнозирования и поиска промышленных месторождений урана на основе использования концепции первичной масштабной сепарации урановорудных компонентов на мантийном уровне, выявления глубинных факторов формирования месторождений урана на верхних структурных горизонтах земной коры из мантийных рудогенных компонентов. С этим согласуются особенности глубинного строения урановорудной провинции УЩ, физические и химические неоднородности мантии, а также выявленные в последние годы геофизические и петрологические признаки масштабного мантийного тепломассопе-

реноса. На мантийную природу рудного вещества, в первую очередь, указывают изотопно-геохимические данные.

Цель статьи

Целенаправленный анализ огромного объема геофизической, геологической, радиогеохимической информации по особенностям формирования, размещения и условиям локализации месторождений урана основных геолого-промышленных типов на территории Украинского щита в тесной связи с особенностями глубинного строения, разломной тектоникой, проявлениями мантийного магматизма с использованием современных петрологических, изотопно-геохимических данных для выявления новых закономерностей развития уранового рудогенеза промышленного масштаба, использование которых обеспечит выполнение научно обоснованных прогнозов, улучшение возможностей существующих поисковых методов и позволит определить главные направления дальнейших геологоразведочных работ для эффективного наращивания промышленного потенциала минерально-сырьевой базы урана Украины, как основного источника сырья для стабильной работы отечественной атомной энергетики на современном этапе.

Методика исследований

На основе синтеза и анализа всей имеющейся геолого-геофизической информации выполнено изучение геолого-структурных условий формирования эндогенных месторождений урана основных геолого-промышленных типов для УЩ. На основе исследования связи размещения выявленных промышленных месторождений урана с особенностями глубинного строения УЩ по комплексу геофизических данных (глубинное сейсмическое зондирование (ГСЗ), гравиметрия, магнитометрия), в частности с аномальными участками строения литосферы и поверхности астеносферы, с особенностями строения поверхности Мохо, мощностью земной коры, с градиентны-

ми зонами поверхностей базальтового и диоритового слоев земной коры, мощностью гранитогнейсового слоя, участками аномальной плотности вещества верхней мантии, закономерностями проявлений глубинной тектоники; по исследованию выявленной связи промышленного уранового оруденения с кимберлитовыми проявлениями и выявлением сути проявления такой связи с потенциальными рудогенерирующими обстановками с учетом изотопно-геохимических данных об источнике вещества растворов, формировавших урановорудные натриевые метасоматиты УЩ, выполнено создание принципов комплексной прогнозной оценки потенциала формирования эндогенного промышленного уранового оруденения.

Закономерности размещения и формирования эндогенных промышленных месторождений урана УЩ в тесной связи с особенностями глубинного строения литосферы

Выяснение закономерностей размещения эндогенных промышленных месторождений урана УЩ в различных геологических условиях, частью которых являются проведенные нами металлогенетические исследования, связаны прежде всего с новыми результатами, полученными в области выяснения связи особенностей строения литосферы и ее главнейших элементов, а также подстилающей ее астеносферы с возможностью создания РТ-условий для масштабного первоначального концентрирования металлов во флюидах из исходно кларковых их содержаний в мантии, исходя из их специфических геохимических свойств [1, 10, 11].

Металлогенетический анализ литосферных блоков с разными уровнями зрелости и анализ степени сродства различных элементов к кислороду и фтору позволил Ф. А. Летникову сделать вывод [10, 11]: чем глубже размещаются рудоносные флюидные системы, тем более они обогащаются элементами с высоким сродством к кислороду и фтору. Учитывая, что уран относится к элементам с высоким срод-

ством к кислороду в составе следующей группы элементов: Zr, Ta, Nb, TR, Be, U, Th, Y, F, B, по данным исследований Ф. А. Летникова, масштабные концентрации урана формируются на участках с наиболее зрелой литосферой с мощностью 160–180 и более километров с мощным гранитогнейсовым слоем.

Мантийная природа урановорудных компонентов промышленных месторождений урана в карбонатно-натриевых метасоматитах УЩ доказана результатами изотопно-геохимических исследований. Исследование переданных ГРЭ-37 КП “Кировгеология” образцов рудных альбититов с НовоCONSTANTINOVSKOGO, ДОКУЧАЕВСКОГО, ПАРТИЗАНСКОГО месторождений позволило Л. М. Степанюку с коллегами [15] получить прямые свидетельства участия мантийного вещества при формировании урановорудных метасоматитов (альбититов) в Кировоградском урановорудном районе по устойчивой тенденции снижения значения первичного $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношения от неизменных новоукраинских гранитов до рудных альбититов, а также выявить прямую зависимость между содержанием урана в альбититах и его содержанием в плагиоклазах этих альбититов, что указывает на общую миграцию урана, натрия и стронция в метасоматизирующем растворе. Для флогопит-карбонатных прожилков из урановорудных альбититов Кировоградского рудного района характерны “глубинные” значения изотопного состава $\delta^{13}\text{C}$, для пирита рудных зон характерны “глубинные” значения изотопного состава $\delta^{34}\text{S}$ [3, 7].

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

оруденение порождала длительно подпитываемая флюидами астеносферная ловушка. При этом особую роль играли разломы, дренировавшие астеносферу, которые создавали условия проницаемости и подъема флюида из астеносферной ловушки на верхние структурные горизонты земной коры, где при благоприятных структурных, геохимических и прочих условиях происходил процесс рудо локализации. Таким образом, формирование промышленных эндогенных месторождений урана требует наличия открытой физико-химической системы и свободного поступления потоков мантийных флюидов, обогащенных ураном, а также благоприятных условий для продуктивного рудообразования на геохимических барьерах на верхних структурных горизонтах земной коры. Однако, положение урановорудных районов УЩ предопределяется в первую очередь физическими и химическими неоднородностями мантии, способными привести к масштабной генерации мантийных ураноносных флюидов. Формирование крупных месторождений урана в Кировоградском и Криворожском урановорудных районах, полученные изотопно-геохимические данные, подтверждающие мантийный источник рудных компонентов, сформировавших урановорудные метасоматиты, указывают на существование благоприятных условий для генерации ураноносных флюидов из мантийных рудогенных компонентов в этих регионах, несомненно, обусловленных особенностями глубинного строения центральной части Украинского щита.

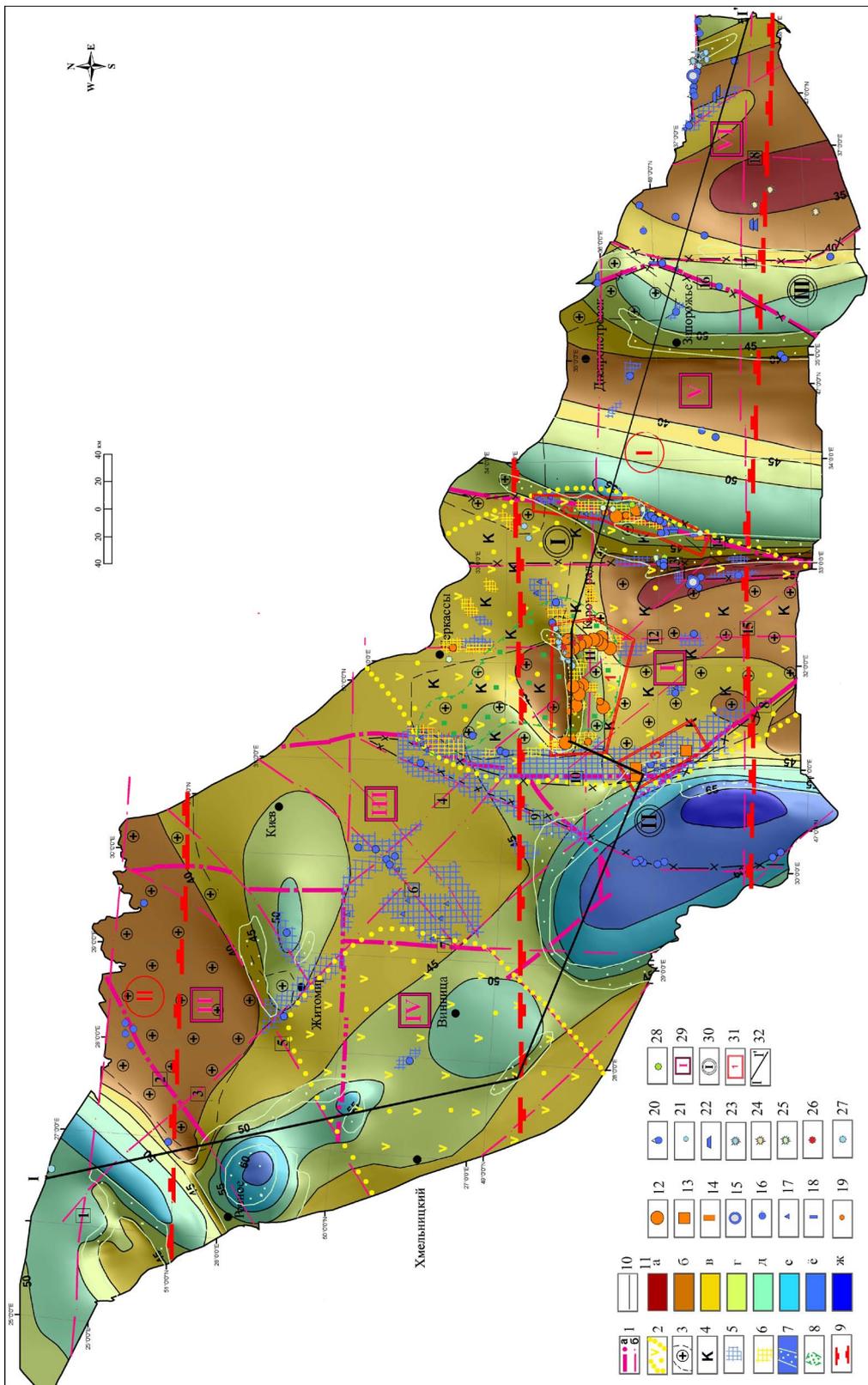
На современном этапе наиболее остро стоит проблема поиска крупномасштабного оруденения различной металлогенической специализации, выявления условий формирования крупных рудных провинций, значимых объектов оруденения различных рудноформационных типов. В связи с этим исследования проводились нами целенаправленно на уточнение и конкретизацию региональных и поисковых критериев и признаков выделения разноранговых объектов, перспективных

на выявление промышленных месторождений урана.

Исходя из астеносферного концентрирования урановорудных компонентов, первый этап исследований был ориентирован на оценку потенциальной уранорудопродуктивности литосферных сегментов УЩ по совокупности структурно-геологических, петрологических и геофизических данных. Результатом этих исследований стала оценка основных благоприятных для инициального концентрирования урана характеристик структуры литосферы УЩ (вариации глубины залегания кровли астеносферы, мощность литосферы, откорректированная по результатам петрологических исследований ксенолитов мантийных пород, мощность гранитогнейсового слоя, аномальные плотностные неоднородности вещества верхней мантии по вариациям значений гравитационного потенциала, наличие градиентных зон поверхностей Мохо (М), “базальтового” и “диоритового” слоев, зон интенсивной перестройки коры и мантии), региональная радиогеохимическая и металлогеническая зональность отдельных сегментов литосферы УЩ и наличие проницаемых зон для возможной транспортировки ураноносных флюидов на верхние структурные этажи земной коры (наличие глубинных разломов, дренирующих аномальный участок литосферы и достигающих очага масштабной генерации ураноносных флюидов). На этом этапе была оценена принципиальная возможность перспектив обнаружения крупных эндогенных месторождений урана на УЩ в пределах отдельных литосферных сегментов. Поскольку эндогенное оруденение контролируется зонами глубинных разломов, обеспечивающими привнос мантийных рудогенных компонентов из астеносферы, пристальное внимание уделялось разломам транслитосферного проникновения (межмегаблоковым и иным) (рис. 1). На следующем этапе был выполнен анализ особенностей глубинного строения УЩ и связи 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. Привнос урана фиксировался как непосредственно минерализованными объектами (месторождения, рудопроявления), так и результатами радиогеохимических и изотопных исследований. По материалам свинцово-изотопных исследований (В. А. Анисимов, материалы КП “Киров-геология”) 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).

Анализ схемы мощности литосферы УЩ, уточненной по петрологическим данным, позволил сделать вывод, что соответствующая промышленной уранорудопродуктивности мощность литосферы (160–180 и более километров) характерна только для Ингульского мегаблока и зоны его сочленения со Среднеприднепровским и Голованевской шовной зоны, также для Подольского блока Днестровско-Бугского мегаблока и зоны его сочленения с южной частью Волынского мегаблока, где по сейсмическим данным мощность литосферы достигает 200 км. Мощность литосферы для масштабного формирования ураноносных мантийных флюидов по экспериментальным и петрологическим данным должна быть не менее 160 км. Это основной благоприятный региональный критерий, который позволяет раз-



- | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 1. Схема прогноза эндогенных месторождений урана в породах фундамента Украинского щита, совмещенная со схемой рельефа поверхности Мохо (схема рельефа поверхности Мохо, по Ю. И. Федоришину и др. [16])

1 – разломы мантийного проникновения; а – межмегаблоковые, б – иные, цифры в квадратах (название разлома): 1 – Полесский, 2 – Суцано-Пержанский, 3 – Сарненско-Варваровский, 4 – Центральный, 5 – Тетеревский, 6 – Немировский, 7 – Брусиловский, 8 – Алексеевско-Дашевский, 9 – Мироновско-Тальвовский, 10 – Первомайско-Трактемировский, 11 – Субботско-Мошоринский, 12 – Кировоградский, 13 – Западно-Ингулецкий, 14 – Криворожско-Кременчугский, 15 – Конкский, 16 – Орехово-Павлоградский, 17 – Западно-Приазовский, 18 – Центрально-Приазовский; 2 – аномальные литосферные сегменты с мощностью литосферы ≥ 160 км; 3 – области развития гранитоидного слоя повышенной (10–15 км) и высокой (>15 км) мощности; 4 – области с аномальной калиевой радиогеохимической специализацией метаморфического субстрата верхней части земной коры; 5–6 – ореолы радиогеохимических аномалий, связанных с привнесом урана в эпохи: 5 – 2 000–1 900 млн лет в связи с развитием высокотемпературного кремний-калийевого метасоматоза, 6 – 1 850–1 700 млн лет в связи с развитием среднетемпературного карбонатно-натриевого метасоматоза; 7 – градиентные зоны по поверхности Мохо (с углом наклона 27,8–54,3°) (по Ю. И. Федоришину и др. [16]); 8 – зона аномально низкой плотности вещества верхней мантии по результатам расчета гравитационного потенциала; 9 – границы мегазон активизации (по Л. С. Галецкому и др. [2]) (цифры в кружках): I – Центрально-Украинская; II – Северно-Украинская; 10 – изолинии поверхности М, км; 11 – шкала глубин залегания поверхности М, км: а – 33–35; б – 36–40; в – 41–45; г – 46–50; д – 51–55; е – 56–60; ё – 61–65; ж – 66–70; месторождения урана: 12 – в среднемтемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах, 13 – калий-урановой формации, 14 – осадочно-метаморфогенные в конгломератах и песчаниках кристаллического фундамента, 15 – гидротермальные в минерализованных зонах дробления; рудопроявления урана различных генетических типов: 16 – гидротермальные в минерализованных зонах дробления, 17 – гидротермально-метасоматические в пегматойдных гранитах, 18 – осадочно-метаморфогенные в конгломератах и песчаниках кристаллического фундамента, 19 – в ураноносных альбититах, 20 – гидротермальные уранбитумные в зонах дробления кристаллических пород, 21 – типа “несогласия”; 22 – магматические в интрузивных массивах щелочных сиенитов, лейкократовых гранитов и карбонатитов; 23 – кимберлитовые трубки, 24 – лампроитовые трубки, 25 – трубки кимберлитоподобных пород, 26 – кимберлитопроявления дайковой фации, 27 – лампроитопроявления дайковой фации; 28 – проявления кимберлитоподобных пород дайковой фации; 29 – мегаблоки УЩ; I – Ингульский (Кировоградская урановорудная металлогенная область), II – Волынский, III – Росинско-Тикичский, IV – Днестровско-Бугский, V – Среднеприднепровский, VI – Приазовский; 30 – шовные зоны: I – Ингулецко-Криворожская, II – Голованевская, III – Орехово-Павлоградская; 31 – урановорудные районы: 1 – Кировоградский, 2 – Криворожский, 3 – Алексеевско-Лысогорский; 32 – положение линии глубинного разреза I–I'

делить литосферу УЩ по степени потенциальной уранопродуктивности. Однако, на наш взгляд, один только этот критерий нельзя считать определяющим при оценке перспектив уранорудопродуктивности литосферных мегаблоков. Поэтому мы использовали для региональной оценки потенциальной уранорудопродуктивности еще ряд критериев, исходящих из мантийно-флюидной модели уранового рудообразования. Это совмещение литосферы мощностью не менее 160 км с мощным гранитогнейсовым слоем. Для участков с высокой зрелостью литосферы должно выполняться условие, отображающее специфику энергомассопереноса, и, как следствие, степень гранитизации коры: максимальная мощность гранитогнейсового (гранитного) слоя и коррелирующая с ней минимальная глубина залегания поверхности Мохо [9–11]. Кроме существования аномальных глубинных потенциально-уранорудопродуктивных неоднородностей, для формирования эндогенных промышленных месторождений урана необходимо наличие разломных зон, дренировавших аномальный участок астеносферы и служивших транспортными каналами мантийного ураноносного флюида к верхним структурным горизонтам земной коры. Для оценки этих параметров потенциальной уранорудопродуктивности был проведен анализ сейсмической модели земной коры и верхней мантии УЩ.

Анализ структуры поверхности Мохо УЩ, мощности земной коры и связи эндогенных месторождений урана с определенными их особенностями позволил сделать такие выводы.

Структурный план поверхности Мохо УЩ характеризуется неоднородностью. Глубинные разломы, разделяющие мегаблоки и блоки УЩ, по данным ГСЗ пересекают земную кору и уходят в пределы верхней мантии. С ними связаны значительные перепады глубин залегания поверхности Мохо, вследствие чего план поверхности Мохо имеет резкие градиентные зоны, обусловленные расчлененным ступенчатым рельефом с изменением

глубин в диапазоне 28–65 км. Общеизвестные тектонические границы мегаблоков УЩ характеризуются смещениями поверхности Мохо по разломам, с амплитудами, достигающими 10–15 км. По Субботско-Мошоринскому широтному разлому также происходит амплитудное (на 4–5 км) смещение поверхности Мохо, вследствие чего он хорошо отображается на карте глубины залегания рельефа поверхности Мохо (рис. 1) и карте градиентных зон поверхности Мохо. Широтное погружение поверхности Мохо вдоль Субботско-Мошоринского разлома в центральной части Ингульского мегаблока представляет особый интерес, поскольку в нем сконцентрированы все месторождения урана Кировоградского рудного района.

Градиентные зоны поверхности М в наибольшей мере отвечают зонам развития участков высокой проницаемости мантийного проникновения. Участки, контролируемые в пределах УЩ размещение промышленного гидротермального уранового оруденения, характеризуются по данным сейсмогеологической характеристики литосферы зонально развитыми нарушениями гомогенности среды, деформированностью поверхности Мохо, проявляющимся латеральным характером изменения глубины ее залегания с высокоамплитудными смещениями вдоль них поверхности Мохо и наличием резко выраженных градиентных зон углов наклона ее поверхности (до 27,8–54,3°) (рис. 1). Наиболее общей закономерностью положения урановых месторождений и границы Мохо в пределах УЩ является их концентрация в зонах глубинных разломных структур с высокоамплитудными (от 4–5 до 15 км) смещениями вдоль них границы Мохо.

Урановорудные объекты на УЩ связаны с областями с различной мощностью коры: тонкой (менее 40 км), нормальной (40–45 км), толстой (более 45 км). Закономерной является лишь связь выявленных урановорудных объектов с региональными зонами смены мощности земной коры,

которые связаны с глубинными разломными структурами различных систем.

Зоны мантийной проницаемости, мигрируя в направлении к поверхности, проявляют тенденции к пространственному смещению, смене формы, мощности, степени проницаемости, которые зависят от характера дислоцированности и прочих причин. Все это имеет непосредственную связь с промышленным урановым оруденением разломных зон на верхних структурных горизонтах в аномальных сегментах литосферы, отвечающих петрологическим условиям возможности генерации ураноносных флюидов. Более детальное исследование особенностей перестройки земной коры и мантии, которые, несомненно, происходят под влиянием глубинных процессов, позволило обнаружить новые закономерности формирования и размещения месторождений урана на УЩ.

Основными путями движения потоков ураноносных флюидов при формировании месторождений урана в карбонатно-натриевых метасоматитах центральной части УЩ являлись узлы пересечений омоложенных долгоживущих разломов субмеридионального (Кировоградский, Звенигородско-Анновский, Криворожско-Кременчугский, Новоконстантиновский) и диагонального (Адабашский) простираний с региональными глубинными широтными Субботско-Мошоринским и Девладовским разломами. По мнению В. А. Крупенникова [8], основные растворопроводящие структурные элементы месторождений урана в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах – объемные катаклазиты – имеют неотектоническую природу и являются результатом ряда последовательно сменявшихся друг друга импульсов взрывного гидро-газоразрыва пород, производимого ураноносными растворами (флюидами) в условиях относительно закрытого характера рудоконтролирующих разломов и градиентов давления (между давлением флюида и литостатическим давлением). Таким образом, формирование объемных катаклазитов вследствие взрывного

процесса является типоморфным признаком месторождений в натриевых метасоматитах и важнейшим условием образования уранового промышленного оруденения [8]. Массовый объемный катаклаз, проявлявшийся в связи с явлениями приразломного щелочного метасоматоза на верхних горизонтах земной коры, можно считать свидетельством деятельности потоков мантийных флюидов. 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 происходило, и уран рассеивался по всему объему альбититов, не образуя рудных концентраций, и частично выносился из зон натриевого метасоматоза, рассеиваясь во вмещающих породах [8]. Величина размаха оруденения определялась в основном степенью открытости-закрытости в верхних частях разлома и масштабом 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 и формировавшего структурную обстановку (зоны объемного катаклаза) при взрывных гидро-газоразрывах в зоне потенциального рудоотложения на верхних структурных горизонтах.

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.

Изменение степени проницаемости разломных рудоконтролирующих структур в областях положения урановорудных районов УЩ позволил выявить анализ градиентных зон поверхностей, так называемых “базальтового” и “диоритового” слоев земной коры в районе их развития. Кировоградский урановорудный район четко связан с неоднородностью широтного простирания, проявленной на поверхностях М, “базальтового” и “диоритового” слоев, четко корреспондируется с общим погружением указанных поверхностей. Характер анизотропии среды и неоднородностей на поверхностях “базальтового” и “диоритового” слоев в пределах проекции Кировоградского рудного района усиливается в направлении к дневной поверхности. Указанные признаки свидетельствуют, что тепловой поток и массоперенос на уровне “базальтового” и “диоритового” слоев в пределах проекции Кировоградского рудного района более дифференцирован относительно поверхности Мохо. Для Криворожского и Алексеевско-Лысогорского урановорудных районов объективно диагностируются локальные зоны проникновения сложной конфигурации с пространственным смещением отдельных фрагментов Криворожско-Кременчугского и Первомайско-Трактемировского разломов субмеридионального простирания соответственно.

Для Кировоградского, Криворожского, Алексеевско-Лысогорского урановорудных районов отчетливо выделяется разрастание градиентных зон, пространственное смещение зон проникновения от поверхности М к “базальтовому” слою и затем выше к “диоритовому”, что свидетельствует об усилении внутрикорового проникновения и дислокационных процессов в направлении к дневной поверхности и о формировании зон проникновения сложной конфигурации. В совокупности, это обеспечивает условия изменения степени проницаемости разноглубинных слоев коры, заключающейся во фрагментарной относительной закрытости разломных зон на верхних горизонтах (за

счет смещения и усложнения конфигурации зон проницаемости), необходимой для формирования масштабного уранового оруденения. Для урановорудных районов УЩ отчетливо проявляется унаследованное развитие проницаемых зон мантийного проникновения от поверхности М к дневной поверхности с локальным усложнением структурных форм проницаемости “базальтового” и “диоритового” слоев (рис. 1).

Отметим, что Кировоградский и Криворожский рудный районы контролируются отрезками субмеридиональных разломов мантийного проникновения (Кировоградским, Новокопачевским, Звенигородско-Анновским, Криворожско-Кременчугским, отстоящими друг от друга в плане на расстоянии 50–90 км, Адабашским с азимутом простирания СВ 55°) в узлах пересечения с субширотными дизъюнктивами Субботско-Мошоринской и Девладовской разломных зон в пределах литосферной неоднородности в центральной части УЩ, и, возможно, промышленные урановорудные концентрации в их пределах на верхних структурных этажах поступали из одной и той же области неистощенной мантии, генерировавшей ураноносные флюиды на глубине предполагаемой сепарации урана (250 и более километров), либо отдельных ее сегментов, имеющих специфические особенности, что привело к формированию промышленных урановых руд одного возраста и генезиса в этих достаточно отдаленных рудных районах. В любом случае, синхронный масштабный размах формирования промышленного уранового оруденения в среднетемпературных карбонатно-натриевых метасоматитах в Кировоградском и Криворожском рудных районах, проявленная эволюция уранового оруденения в Кировоградской урановорудной металлогенической области в различные эпохи уранового оруденения, подчас телескопированно на протяжении 2 млрд лет (Криворожский рудный район) [4, 5] в пределах разломов мантийного проникновения, обусловлены свя-

зью с активизацией единой аномальной глубинной структуры мантии, длительно контролировавшей в условиях стабильно возбужденной мантии интенсивно функционировавшие флюидные мантийные системы на протяжении ряда металлогенически специализированных эпох уранового рудообразования, с периодической проявленностью продуктов дифференциации мантийного вещества в различные эпохи тектономагматических активизаций на верхних структурных горизонтах земной коры.

Схема мощности гранитогнейсового слоя УЩ отражает латеральную изменчивость степени зрелости коры. По этому показателю, отражающему уровень энергомассопереноса, максимальной и повышенной мощностью гранитогнейсового слоя выделяются Ингульский мегаблок и в контуре Коростенского плутона – фрагмент Волынского мегаблока (рис. 1). Положение подошвы литосферы обусловлено дегазацией Земли и “высушиванием” мантийного субстрата вследствие выноса флюидных и петрогенных компонентов в верхние горизонты литосферы [9]. Степень зрелости литосферы зависит от количества привнесенных сиалических петрогенных компонентов в кору, определяющих мощность гранитогнейсового слоя коры. Таким образом, степень гранитизации коры и мощность гранитогнейсового слоя являются отображением процесса становления литосферы. Отмечается четкая корреляция между глубиной погружения поверхности Мохо и мощностью гранитогнейсового слоя: участки с минимальным погружением границы Мохо характеризуются максимальными и средними мощностями гранитогнейсового слоя, что также отражает особенности энергомассопереноса, и как следствие, степень гранитизации коры. Разработанная Ф. А. Летниковым флюидная модель [9] предусматривает, что тепловой поток и миграция комплекса некогерентных элементов (включая уран и торий), направленные из мантии к поверхности, приводят к истощению мантии, перерас-

пределению компонентов в литосфере (расслоенности). Пространственная дифференциация теплового фронта обуславливает вертикальное смещение сейсмических границ, которые отражают различные уровни литосферы [13]. При этом поверхность Мохо отображает глубинные РТ-условия равновесия фазовой границы. В. Б. Соллогуб предположил, что главной причиной смещений положения границы Мохо являются физико-химические процессы, которые происходят в мантии [13, 14]. Таким образом, зональная смена глубины залегания поверхности Мохо является прямым индикатором дифференциации мантийного потока, следовательно, погруженные сегменты поверхности Мохо будут фиксировать ослабление теплового потока и минимальный привнос некогерентных элементов в земную кору, приподнятые, свидетельствуют о высокой мощности теплового потока, максимальном привносе некогерентных и теплогенерирующих компонентов [9–11]. Ингульский мегаблок, включающий Кировоградский, Криворожский и Алексеевско-Лысогорский урановорудные районы характеризуется повышенной мощностью гранитогнейсового слоя, высокой степенью зрелости земной коры на УЩ, что дополнительно отражается и в относительно приподнятом региональном положении поверхности Мохо в его пределах. Согласно флюидной теории, Ингульский мегаблок потенциально ассоциирует с литосферным сегментом масштабного мантийного теплопереноса и соответственно высокой степени рудогенерирующей способности верхней мантии. Характерной особенностью является связь максимума мощности гранитогнейсового слоя с зоной Субботско-Мошоринского разлома с приуроченным к нему Кировоградским урановорудным районом и отсутствие значимой связи максимума гранитизации с Криворожско-Кременчугским и Первомайско-Трактемировским межмегаблоковыми разломами, с которыми соответственно связаны Криворожский и Алексеевско-Лысогорский урано-

ворудные районы, что свидетельствует о преимущественной перспективности уранорудопродуктивности центральной части Ингульского мегаблока, связанной с Субботско-Мошоринской разломной зоной.

Полициклический характер развития литосферы в целом и ее верхней части – коры, в частности, привел к появлению расслоенности в коре и мантии, к формированию структурно-вещественной неоднородности на всех уровнях литосферы УЩ. Участки максимальной тектонической перестройки и мантийно-коровой проницаемости фиксируются по данным сейсмических исследований. Размещение выявленных промышленных месторождений урана подтверждает, что участки максимального погружения кровли астеносферы, трансформации поверхности Мохо, в том числе участки минимального ее погружения, совмещающиеся с участками гранитогнейсового слоя повышенной и высокой мощности, участки с аномальной вариацией плотности мантийного вещества и с увеличением мощности литосферы до уровня ≥ 160 км характеризуются максимальной эндогенной активностью урановой специализации. Совместный анализ карт мощности литосферы УЩ по данным ГСЗ, скорректированной по результатам петрологических исследований мантийных ксенолитов глубинных пород, глубины поверхности кровли астеносферного слоя УЩ, мощности гранитогнейсового слоя, градиентных зон поверхностей Мохо, “базальтового”, “диоритового” слоев и изучение характера связи совокупности особенностей отражаемых ими параметров с наличием разломов мантийного проникновения – зон высокой проницаемости, потенциальных транспортных каналов специализированных мантийных ураноносных флюидов и размещением объектов промышленного уранового оруденения, четко разграничивает сегменты литосферы УЩ, которые могут быть уранорудопродуктивными. Это наглядно продемонстрировано на разрезе по линии I–I’ (рис. 2), секущем основные литосферные аномалии и все урановорудные

районы УЩ: Кировоградский, Криворожский, Алексеевско-Лысогорский, отражающем зоны максимальной проницаемости, которые являются потенциальными транспортными каналами для мантийных ураноносных флюидов от гипсометрического уровня их масштабной мантийной генерации (на глубинах более 160–180 км (по Ф. А. Летникову [9])) до места локализации промышленных урановорудных концентраций на верхних структурных горизонтах в сегментах литосферы высокой степени зрелости центральной части Украинского щита.

Территория УЩ по данным радиохимических исследований в целом является высокодифференцированной радиохимической провинцией. Полями высоких концентраций урана характеризуются Волынский и Росинско-Тикичский мегаблоки. Среднее содержание урана в приповерхностной части слагающих их пород составляет $3,2 \cdot 10^{-4}$ %. Поля со средним содержанием урана в породах, близкими к кларку земной коры, характерны для Ингульского мегаблока ($2,5 \cdot 10^{-4}$ %). Пониженные и низкие концентрации урана присущи породам Среднеприднепровского ($1,7 \cdot 10^{-4}$ %) и Приазовского ($0,8 \cdot 10^{-4}$ %) мегаблоков, а также характерны для Голованевской, Западно-Ингулецкой, Орехово-Павлоградской структурно-металлогенических зон.

Исходя из флюидной модели, интенсивность проникновения флюидного потока, его рассеяние обусловили пространственную структурно-вещественную неоднородность коры и мантии за счет экстракции кремнезема со щелочами и другими некогерентными элементами из мантии и переносом их в кору. Ингульский мегаблок и Подольский блок Днестровско-Бугского мегаблока по данным ГСЗ (В. Б. Соллогуб [13]) имеют максимальную мощность литосферы в пределах УЩ. На основе анализа радиохимической специализации пород верхней части земной коры УЩ по результатам измерений их естественной гамма-активности в 4л пространстве, пересчетов на

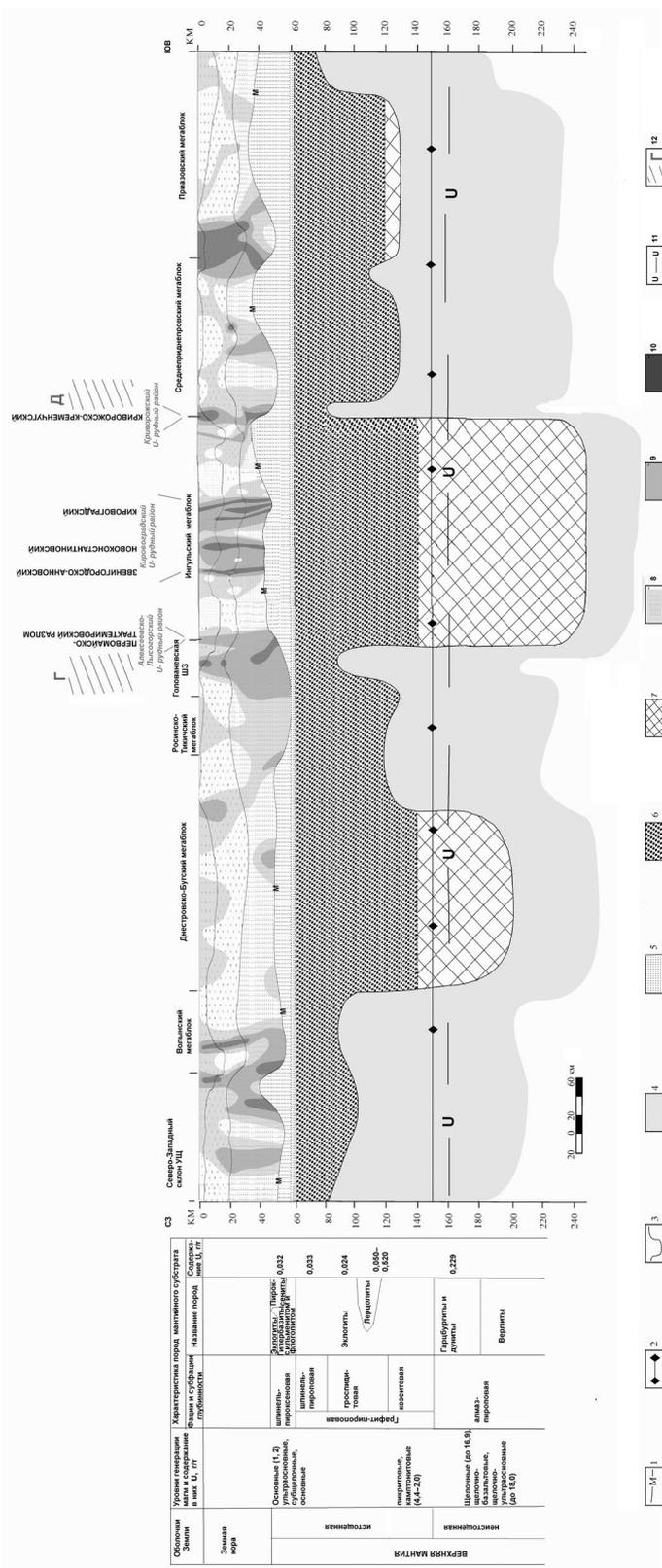


Рис. 2. Разрез литосферы в пределах Украинского щита по профилю I–Г (по материалам Ю. И. Федоришина [17], В. Б. Соллогуба [13]) с результатами петрологического прогноза состава пород в мантийном субстрате и данными по содержанию в них урана (по В. А. Крупеникову [80], С. Н. Цымбалу и С. Г. Кривдику [18]) с дополнениями автора

1 – граница Мохо; 2 – граница стабильности графит-алмаз; 3 – граница литосфера-астеносфера; 4 – астеносфера; 5 – железистые ультрабазиты (железистые дуниты, ильменит-флогопит-гранат-оливиновые породы); 6 – амфиболовые и пироксеновые глиммериты, шинель-гранатовые, гранатовые лерцолиты; 7 – хромшпинелевые гарцбургит-лерцолитовая и дунит-перидотитовая серии с реликтами деформированных структур, гранатовые лерцолиты с реликтами деформированных структур; зоны дислокаций с различной степенью пронцаемости: 8 – низкой, 9 – средней, 10 – высокой; 11 – уровень формирования очаговых потоков ураноносных трансмагматических флюидов; 12 – проекция положения литосферных линейментов (по В. Б. Соллогубу и А. В. Чекунову [14])

долю урана, тория, калия в суммарной радиоактивности, первичных и современных концентраций урана в породах УЩ установлено (рис. 3): породы Ингульского мегаблока характеризуются повышенной радиоактивностью, но не самыми высокими содержаниями урана и тория в них, уступая по содержанию этих элементов породам Волынского и Росинско-Тикичского мегаблоков, которые имеют более низкую среднюю радиоактивность. При установленной пестрой радиогеохимической специализации мегаблоков УЩ урановорудные метасоматиты встречаются

лишь в Ингульском мегаблоке. Породы Ингульского мегаблока характеризуются аномально высоким региональным содержанием калия в породах среди мегаблоков УЩ (среднее 3,6; максимальное до 4,1 %) и это указывает, что Ингульский мегаблок является сегментом наиболее интенсивного дифференцированного энергопереноса вследствие привноса флюидов из астеносферы (рис. 1) и обусловленной этим повышенной калиево-костью пород верхней части земной коры. Таким образом, эта часть УЩ является ураноруднопродуктивной по показателю

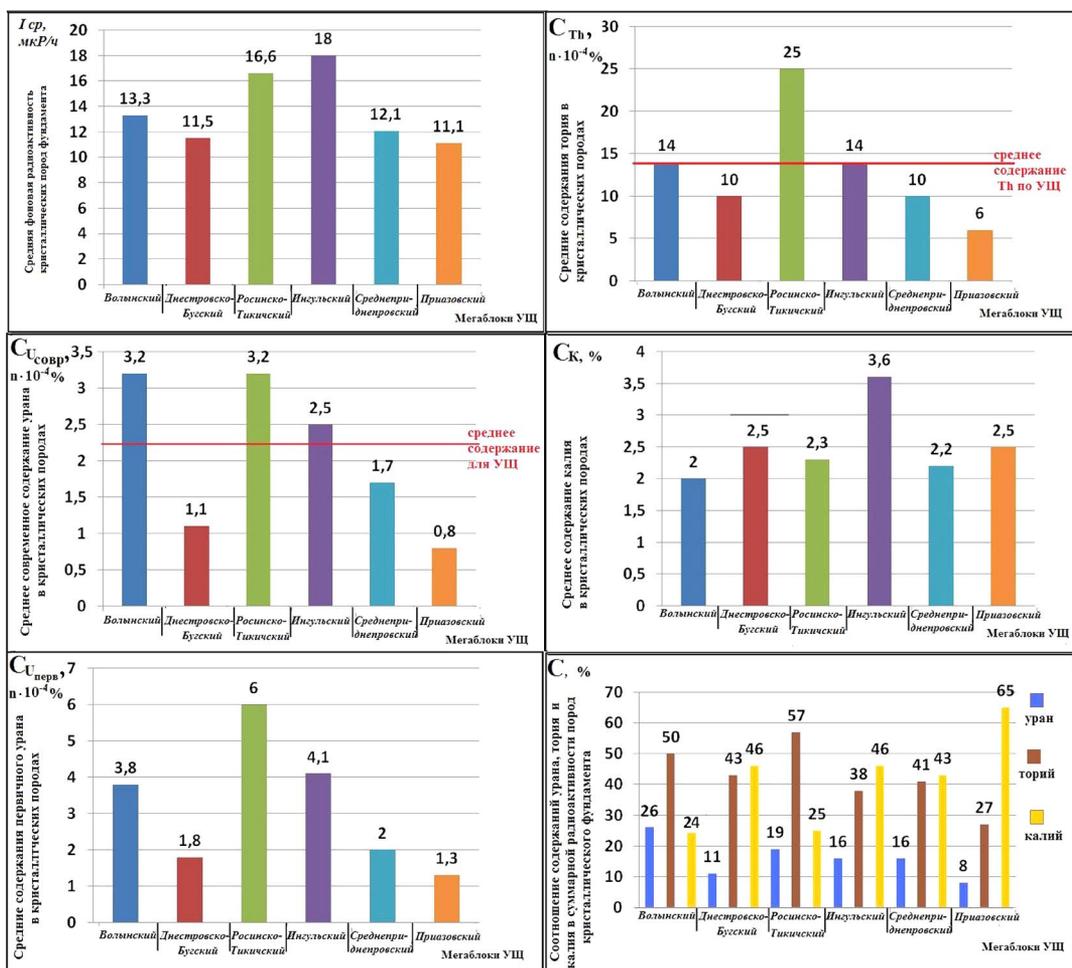


Рис. 3. Диаграммы распределения средних значений фоновой радиоактивности, содержаний урана (сингенетического и современного), тория, калия, радиогеохимической специализации пород фундамента УЩ (с использованием данных КП “Кировгеология”)

степени зрелости литосферы, гипсометрии нижней границы литосферы, степени калиевости. При различной геохимической специализации вмещающих пород, геохимическая специализация натриевых метасоматитов характеризуется выдержанным набором элементов-спутников урана (бериллий, ванадий, цирконий) [6]. Это указывает на очевидность того, что породы, вмещающие урановородные метасоматиты, являются лишь средой для проявления эндогенного рудообразующего процесса, определяемого глубинными оболочками Земли.

В пределах УЩ не установлены достаточно широко распространенные специализированные на уран метаморфизованные геологические формации. В целом участки с повышенным первоначальным содержанием урана имеют очень локальный характер. Микроклиновые граниты и мигматиты отличаются средними и повышенными содержаниями урана, но имеют очень локальный характер распространения. В рудных полях УЩ фиксируются значительные по площади участки с повышенной радиоактивностью, фиксирующие зоны диафтореза или тектонические зоны.

Эти повышения связываются лишь с локальным перераспределением радиоактивных элементов или с их привнесением вне зависимости от петрографической разновидности пород. Урановые месторождения УЩ располагаются среди разнообразных метаморфических и ультраметаморфических пород, существенно различных по своей геохимической специализации, по содержанию урана. Однако размещение этих месторождений не обнаруживает закономерной связи с содержанием урана или величиной мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, связанной с содержанием радиоактивных элементов, в первую очередь урана. В то же время в пределах крупных гранитомигматитовых массивов – Уманском, Вознесенском, Токовском, проявляющимся высокой радиоактивностью не выявлены значимые урановые объекты, находки ограничились единичными рудо-

проявлениями и проявлениями урана. Результаты исследований по миграции урана и его концентрированию, проведенные КП “Кировгеология” (В. А. Анисимов, материалы КП “Кировгеология”), свидетельствуют о том, что значительные концентрации урана, связанные с региональным метаморфизмом, в пределах УЩ не выделяются. Это может быть объяснено рассеянием урана в ходе регионального метаморфизма и последовавшего за ним палингенно-анатектического гранитообразования. Отсюда следует, что уран, так же как и его элементы-спутники не заимствован из вмещающих пород при формировании месторождений урана, а имеет глубинный источник. Существование источника урана во вмещающих породах земной коры исключается по причине крайне низкого содержания урана во всех вмещающих урановые месторождения типах пород на УЩ. По данным свинцово-изотопных исследований (по результатам расчетов радиогенных добавок свинца и их сопоставлений с измеренными концентрациями урана в породах определенного возраста), проведенных в КП “Кировгеология” (В. А. Анисимов), большинство пород УЩ характеризуются пониженными относительно среднего для земной коры первоначальными сингенетическими содержаниями урана, следовательно, не могли служить источником урана для формирования крупных по запасам месторождений.

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 К 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 [9]. Такой подход относительно образования гранитоидных пород можно объяснить лишь значительным энергомассопереносом из астеносферы потоков флюидов, обогащенных

калием и другими компонентами, в частности ураном. Но это не дает оснований рассматривать породы коры в качестве источников урана для формирования промышленных месторождений. Таким образом, в пределах участков с высокой степенью зрелости литосферы и погружением ее до глубины возможности масштабного инициального концентрирования урана и натрия в астеносфере (более 160–180 км) [10] и формирования ураноносных флюидов, должен наблюдаться рост содержания в породах верхней части земной коры отдельных петрогенных элементов (прежде всего K и Si) и некогерентных элементов. Однако, это лишь петролого-геохимические следствия консолидации, утончения и частичного превращения астеносферы в литосферу. Исходя из мантийного источника рудогенных компонентов [1, 9], процесс рудообразования контролируется законами поведения химических элементов, возможностями концентрированной формы их существования, определяющей возникновение первичных масштабных геохимических неоднородностей в пределах верхней мантии и последующее формирование крупных месторождений и рудных районов, а также особенности геохимической специализации пород верхней части земной коры. Рудные компоненты распределяются в астеносфере зонально, накапливаясь на разном расстоянии от областей экстремального давления и температуры [1]. Это один из важнейших факторов, приводящих к формированию крупных промышленных месторождений различных рудноформационных типов.

Первопричиной масштабного промышленного уранового оруденения является глубинная литосферная неоднородность в центральной части УЩ, специфическая зональность мантии, обусловившая петрологические предпосылки формирования Кировоградской металлогенической урановорудной области, территориально связанной с Ингульским литосферным мегаблоком.

Подольский блок Днестровско-Бугского мегаблока с выявленным аномальным участком астеносферы с глубиной погру-

жения кровли около 200 км характеризуется наличием троговой структуры поверхности Мохо, мощностью коры более 45 км, установленным по данным ГСЗ корово-мантийным субстратом, крайне низкой мощностью гранитного слоя (<5 км), что свидетельствует о низкой проницаемости разломных структур, в том числе и для проникновения металлогенически специализированных ураноносных флюидов, и подтверждается единичным установленным рудопроявлением урана (Хмельникским) и несколькими проявлениями. Все это в совокупности делает Подольский блок Днестровско-Бугского мегаблока малоперспективным с точки зрения формирования промышленного уранового оруденения.

Небольшие по запасам одиночные непромышленные месторождения, многочисленные мелкие объекты оруденения – рудопроявления, проявления урана могут образовываться в различных геодинамических условиях при образовании мелких обособлений специализированного ураноносного флюида в широком диапазоне РТ-условий, однако формирование крупных промышленных объектов возможно лишь при масштабной концентрации урана в мантийных флюидах в астеносферных ловушках с определенными РТ-параметрами, исходя из геохимических свойств урана (большой ионный радиус, ярко выраженные окси- и фторофильные свойства) при низком положении геоизотерм, и соответственно достаточно мощной литосфере и в тесной связи с глубинными разломами, способными быть транспортными каналами специализированного мантийного рудоносного флюида с глубин его масштабной генерации.

Именно мантийные ураноносные флюиды приводили при подъеме на верхние структурные горизонты земной коры при соблюдении ряда благоприятных факторов рудолокализации к формированию крупных месторождений урана и урановорудных районов в Кировоградской урановорудной области за счет мантийного источника урана

вне зависимости от вещественно-структурного состава и геохимической специализации вмещающих рудные районы пород. Мантийный уран приводил при процессах диффузии к возникновению рассеянных концентраций урана в породах верхнего структурного этажа в процессе, предшествовавшего масштабному урановому рудообразованию, этапа развития коры над аномальным участком астеносферы, в данном случае, подстилавшим площадь центральной части УЩ. Вероятно, при формировании крупных месторождений урана дополнительным источником рудного вещества могли служить ранее сформированные существенные по площади урансодержащие толщи (альбититы дорудной стадии, граниты, контаминированные ураном), из которых при поверхностной диффузии и латеральном промыве глубинными углекислотными флюидами происходила мобилизация, миграция и последующая локализация в породах-концентраторах определенной части урана. Однако, приповерхностные коровые источники урана (вмещающие породы) при масштабном эндогенном урановом рудообразовании в эпоху (1800–1750 млн лет) играли лишь роль незначительного дополнительного источника урана.

Мантийную природу ураноносных флюидов, мантийных источников рудогенных компонентов, условий их сепарации и подъема на верхние структурные горизонты земной коры необходимо учитывать при металлогенических и прогнозных построениях и оценках перспектив промышленного уранового оруденения эндогенного класса, выполняя оценку возможности формирования и выявления крупных месторождений урана в тесной связи с мантийными неоднородностями, связью с разломообразованием и вне связи с коровым вещественным составом и геохимической специализацией вмещающих пород верхнего структурного этажа, в первую очередь с коровым гранитоидным магматизмом, принимавшимся ранее

за один из главных критериев возможности формирования уранового рудоотложения натриевой линии метасоматизма.

Выводы и перспективы дальнейшего развития в данном направлении

В результате анализа геолого-структурных закономерностей формирования промышленного уранового оруденения на территории УЩ мы установили следующее.

1. Имея наложенный эпигенетический характер по отношению к структурно-формационным комплексам земной коры, эндогенные промышленные месторождения урана на УЩ проявляют выраженную связь с сегментами наиболее зрелой литосферы, которые характеризуются максимальным погружением кровли астеносферы, наличием гранитогнейсового слоя повышенной и высокой мощности и аномально выраженной калиевой специализацией пород верхних этажей земной коры. Наиболее общей закономерностью положения промышленных месторождений урана УЩ в пределах потенциально уранорудопродуктивных литосферных сегментов высокой степени зрелости является их концентрация в зонах глубинных разломных структур с высокоамплитудными (от 4–5 до 15 км) смещениями вдоль них границы Мохо с наличием резко выраженных градиентных зон углов наклона поверхности М (до 27,8–54,3°).

2. Уранорудопродуктивность сегментов литосферы УЩ по целому ряду критериев подтверждена по принятому районированию только для Кировоградской уранорудной области (Ингульского мегаблока), которая вмещает все известные эндогенные месторождения урана урановорудной провинции УЩ. Значительная мощность литосферы (~200 км) по данным ГСЗ и одновременное совмещенные с троговой структурой поверхности Мохо, наличие подстилающей корово-мантийной смеси мощностью до 30 км, низкая мощность гранитогнейсового слоя, результаты петрологических исследований

глубинных минералов и результаты специализированной изученности на уран (выявлено лишь одно проявление урана (Хмельникское) и ряд мелких уранопроявлений) не позволяют рассматривать как потенциально уранорудопродуктивный Подольский блок Днестровско-Бугского мегаблока.

3. Исходя из модели флюидного формирования литосферы, можно констатировать, что особенности строения поверхностей базальтового и диоритового слоев в областях развития урановорудных районов УЩ с ярко выраженным характером анизотропии среды и неоднородностей на их поверхностях, степень их унаследованной связи с особенностями строения поверхности М, их общее локальное погружение в зонах транслитосферных разломов с разрастанием градиентных зон, пространственным смещением зон проникновения от поверхности М к базальтовому слою и выше к диоритовому свидетельствуют о максимальном влиянии при их формировании эндогенного флюидного теплопереноса и о выполнении одного из условий формирования промышленного уранового оруденения – высокой проницаемости разломных структур, к которым приурочены урановорудные районы при их относительной закрытости на верхних структурных горизонтах (за счет смещения и усложнения конфигурации зон проницаемости).

4. Согласно принятой нами за основу генетической концепции эндогенного уранового рудообразования из мантийных рудогенных компонентов и результатов проведенного анализа радиохимической специализации пород верхней части земной коры УЩ, первоначальных концентраций урана в породах, миграции урана и рудообразования в ходе формирования УЩ, соотношения геохимической специализации урановорудных метасоматитов и вмещающих их пород можно утверждать, что только при обеспечении глубинных петрологических условий образования уранорудогенерирующей системы, которая способна се-

парировать уран на мантийном уровне, генерировать ураноносные флюиды, транспортировать их к месту локализации по глубинным разломам и влиять на их локализацию на верхних структурных этажах, происходило формирование крупных эндогенных месторождений урана и урановорудных районов вне зависимости от вещественно-структурного состава и геохимической специализации вмещающих урановорудные районы УЩ пород за счет мантийного источника урана, что доказано геохимически, структурно, и учитывая степень специализированной изученности, это позволяет рассматривать как благоприятную для локализации и поиска новых промышленных урановорудных объектов только центральную часть УЩ.

Таким образом, выявление новых закономерностей формирования промышленных месторождений урана УЩ на основе изучения изменчивости параметров глубинной среды, которые определяют возможность возникновения условий генерации специализированных на уран мантийных флюидных потоков и формирование месторождений урана на верхних структурных этажах земной коры из мантийных рудогенных компонентов в тесной связи с разломами мантийного проникновения, участками интенсивных процессов перестройки земной коры и мантии, мантийной дифференциации вещества на основе использования совокупности геофизических, петрологических, изотопно-геохимических, радиохимических и структурно-геологических данных, дает возможность последовательно выполнить оценку зональности и потенциальной уранорудопродуктивности сегментов литосферы, научно обосновать перспективы территорий на возможность формирования промышленных месторождений урана с выделением площадей наиболее вероятной их локализации.

На следующем этапе нами будут представлены результаты целенаправленного изучения рудолокализирующих структур Украинского щита, которые на основе

разработанных нового комплекса региональных поисково-оценочных критериев и расширенного комплекса локальных критериев и признаков формирования эндогенного промышленного уранового оруденения перспективных геолого-промышленных типов, максимально сочетают благоприятные условия для рудоотложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамович И. И.* Металлогения/И. И. Абрамович. М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2010. 328 с.
2. *Галецький Л. С.* Причини розміщення родовищ та рудопроявів в шовних зонах Українського щита/Л. С. Галецький, О. В. Орлінська, Д. С. Пікареня та ін.//Геол. журнал. 2010. № 2. С. 14–21.
3. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины/Белевцев Я. Н., Коваль В. Б., Баркажиев А. Х и др.; под ред. Я. Н. Белевцева, В. Б. Ковалья. К.: Наукова думка, 1995. 376 с.
4. *Калашиник А. А.* Источники рудных компонентов Криворожско-Кременчугской минерогенической зоны Украинского щита. Статья 1. Пространственная и геохимическая связь ураново-, железорудных объектов и кимберлитов (лампроитов)-проявлений в пределах Криворожско-Кременчугской зоны/А. А. Калашиник//Мінеральні ресурси України. 2011. № 3. С. 14–23.
5. *Калашиник А. А.* Геолого-структурные особенности пространственного размещения кимберлитовых проявлений и урановых объектов в Кировоградском рудном районе Украинского щита/А. А. Калашиник, Г. М. Москаленко//Мінеральні ресурси України. 2010. № 2. С. 8–18.
6. *Калашиник А. А.* Минерогенический потенциал широтных разломных зон Украинского щита/А. А. Калашиник//Мінеральні ресурси України. 2010. № 3. С. 24–36.
7. *Кривдік С. Г.* Типы лужных метасоматитов Украинского щита та фації їх глибинності/С. Г. Кривдік, В. Г. Моргун, О. В. Дубина//Геохімія та рудоутворення. 2012. Вип. 31–32. С. 4–11.
8. *Крупенников В. А.* Мантийный щелочной флюидно-магматический петрогенезис как основной рудообразующий процесс/В. А. Крупенников//Матер. II Межд. симпозиума “Уран-ресурсы, производство” (Москва 26–28 ноября 2008 г.). М.: Из-во ФГУП ВИМС. С. 28–31.
9. *Летников Ф. А.* Зрелость литосферных блоков и проблемы эндогенного рудообразования/Ф. А. Летников//Глубинные условия эндогенного рудообразования. М.: Наука, 1986. С. 16–24.
10. *Летников Ф. А.* Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования/Ф. А. Летников//Вестн. ОГГН РАН. 1999. № 4 (10). 25 с.
11. *Летников Ф. А.* Флюидный режим термоградиентных систем/Ф. А. Летников, Н. С. Жатнуев, В. В. Лашкевич. Новосибирск: Наука, 1985. 116 с.
12. *Синчук В. В.* Взаимосвязь технологий добычи и переработки урановых руд и состояния балансовых запасов/В. В. Синчук//Доклады Межд. научно-практ. конф. “Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых”. (Симф.–Судак, 27 сент.–3 окт. 2010 г.). К.: Академперіодика, 2011. С. 118–123.
13. *Соллогуб В. Б.* Литосфера Украины/В. Б. Соллогуб. К.: Наукова думка, 1986. 184 с.
14. *Соллогуб В. Б.* Принципиальные черты строения литосферы Украины/В. Б. Соллогуб, А. В. Чекунов//Геофиз. журнал. 1985. № 6. С. 43–54.
15. *Степанюк Л. М.* Джерело натрію та урану ураноносних альбітитів на прикладі Докучаєвського родовища Інгульського мегаблока УЩ/Л. М. Степанюк, С. М. Бондаренко, В. О. Сьомка та ін.: тези доповідей наукової конференції “Теоретичні питання і практика дослідження метасоматичних порід і руд”, (Київ, 14–16 березня 2012 р.). ІГМР, 2012. С. 78–80.
16. *Федоришин Ю. І.* Просторова модель глибинної будови літосфери Українського щита у зв'язку з перспективами промислової алмазоносності/Ю. І. Федоришин, О. В. Фесенко, О. Б. Денег //Мінеральні ресурси України. 2006. № 3. С. 8–12.
17. *Федоришин Ю. І.* Модель прогнозу та пошуків джерел корінної алмазоносності і її реалізація на території Українського щита: дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.01/Федоришин Юрій Іванович. К., 2007. 408 с.
18. *Цымбал С. Н.* Особенности вещественного состава кимберлитов Украины/С. Н. Цымбал, С. Г. Кривдик: матер. наук.-техн. наради “Стан, перспективи та напрямки геологорозвідувальних робіт на алмази в Україні” (Київ, 19–22 мая 2003 г.). К.: УкрДГРІ, 2003. С. 22–31.

Рукопис отримано 12.01.2014.

Г. А. Калашник

НОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗМІЩЕННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ЕНДОГЕННИХ РОДОВИЩ УРАНУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Представлено результати проведених досліджень нових закономірностей розміщення промислових ендегенних родовищ урану Українського щита в тісному зв'язку з особливостями глибинної будови літосфери та її складових частин на основі використання моделі первинного концентрування урановорудних компонентів в астеносфері. Це дало змогу значною мірою по-новому підійти до прогнозування можливості формування об'єктів промислового ендегенного уранового зруденіння в різній геологічній обстановці.

Ключові слова: ендегенні промислові родовища урану, мантіїні рудогенні компоненти, ураноносні мантіїні флюїди.

A. A. Kalashnyk

NEW LAWS OF PLACEMENT AND FEATURES OF FORMATION OF INDUSTRIAL ENDOGENIC URANIUM DEPOSITS OF THE UKRAINIAN SHIELD

The results of studies of new laws governing the distribution of endogenous industrial uranium deposits of the Ukrainian shield in close connection with the peculiarities of the deep structure of the lithosphere and its components are presented. Research was based on the idea of primary concentration of uranium ore components in asthenosphere. This allowed a significant new approach to the prediction of possible formation of industrial endogenous uranium deposits in different geological conditions.

Keywords: endogenous industrial uranium deposits, mantle ore uranium components, uranium-bearing mantle fluids.