

## Новые данные о металлогении и глубинном строении Кировоградского полиметалльного рудного района (Украинский щит)

© В. И. Старостенко<sup>1</sup>, **В. И. Казанский**<sup>2</sup>, Н. И. Попов<sup>3</sup>,  
Г. М. Дрогицкая<sup>1</sup>, В. Б. Заяц<sup>3</sup>, А. А. Трипольский<sup>1</sup>,  
М. В. Чичеров<sup>2</sup>, 2013

<sup>1</sup>Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>КП "Кировгеология", Киев, Украина

Поступила 17 августа 2012 г.

*Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым*

Розглянуто структурно-петрологічні умови локалізації та вікові співвідношення родовищ урану та золота. Описано адуляр-хлоритові змінення бічних порід, що супроводжують золото-сульфідну мінералізацію. Встановлено співвідношення родовищ урану, золота, літію з топографією поверхонь  $K_2$  та  $M$ . Запропоновано 3D сейсмічну модель Кіровоградського рудного району.

Structural and petrological localization conditions and age relationships of uranium and gold deposits are discussed. A specific type of adularia-chlorite wallrock alteration is found to be associated with sulfide-gold mineralization. The relation between uranium, gold, lithium deposits and the topography of  $K_2$  and  $M$  surfaces are described. A 3D seismic model of the Kirovograd ore district is suggested.

**Введение.** Статья продолжает серию публикаций в "Геофизическом журнале" под общим названием "От поверхностных структур к интегральной глубинной модели Кировоградского рудного района" [Старостенко и др., 2010; 2011]. Все публикации основаны на корреляции геологических и сейсмических данных и исходят из широкой трактовки геологических границ Кировоградского рудного района, включения в эти границы не только главных метасоматических урановых месторождений, но также сопровождающих их месторождений и рудопроявлений золота и лития. Широкая трактовка границ Кировоградского рудного района позволяет в едином ключе проанализировать условия локализации различных по генезису рудных месторождений и их связь с глубинными неоднородностями. Статья состоит из

двух частей. В первой сопоставлены структурно-петрологические условия локализации месторождений урана и золота. Во второй части рассмотрены пространственные соотношения месторождений урана, золота, лития с неоднородностями коры и раздела Мохо.

**Структурно-петрологические условия локализации месторождений урана и золота.** Структурно-петрологический подход направлен на расшифровку условий локализации и образования рудных месторождений, залегающих в докембрийских метаморфических комплексах [Генетические ..., 1995]. В Кировоградском рудном районе сначала он был использован для реконструкции дометасоматических структур Мичуринского уранового месторождения, затем других урановых месторождений Кировоградской зоны разломов и Кировоград-

ской зоны разломов в целом [Казанский и др., 1976].

В результате проведенных исследований установлено, что Кировоградская зона разломов возникла во время внедрения гранитоидов кировоградского комплекса в стратифицированную ингуло-ингулецкую серию, о чем свидетельствует ориентировка контакта трахитоидных и порфириовидных гранитов кировоградского комплекса, мигматитовых полей и "внутриразломных" интрузий среднезернистых гранитов (рис. 1, а). Одновременно стратифици-

рованные породы испытали прогрессивный метаморфизм амфиболитовой фации и вместе с гранитоидами образовали интрузивно-ультраметаморфический цоколь Кировоградской зоны разломов.

Наложенные на цоколь разломы унаследовали его структурный план. Они формировались в обстановке регрессивного метаморфизма кристаллических пород, и выполнены катаклазитами и милонитами зеленосланцевой фации. Наложенные разломы протягиваются в меридиональном, северо-западном и северо-восточном направлениях, сочленяются между собой и образуют единую систему. В нее входят и обширные поля диафторитов. Восточной границей этой системы служат более крупные Мичуринский и Бережинский разломы (рис. 1, б).

Метасоматические урановые месторождения располагаются в осевой части указанной системы [Старостенко и др., 2010]. Их геологическое строение в плане и вертикальном разрезе определяют литологический состав вмещающих пород, различные комбинации структур цоколя и наложенных разрывов, а размещение урановых руд — зональность натровых метасоматитов и интенсивность проявления в них постальбититовой минерализации.

Установлены два крайних типа зональности натровых метасоматитов: эгирин-рибекитовый и эпидот-хлоритовый. Наибольшим развитием пользуются метасоматиты смешанного типа с преобладанием либо одной, либо другой разновидности. При этом во всех случаях вкрапленные уранинит-браннеритовые руды приурочены к альбититам с переменным количеством более поздних флогопита, карбонатов, хлорита, гематита. Внешние зоны метасоматитов, сложенные десилицированными породами, урановых руд не содержат.

Например, Мичуринское урановое месторождение локализуется в лежачем боку одноименного разлома в клиновидном блоке гнейсов, мигматитов, среднезернистых гранитов, пегматитов. Перечисленные породы многократно перемежаются между собой. Они нарушены зонами катаклаза и милонитизации и замещены натровыми метасоматитами эгирин-рибекитового и смешанного типа (рис. 2, а, б). На глубине 400—500 м указанный рудовмещающий блок сменяется сплошными среднезернистыми гранитами, альбититы и урановые руды выклиниваются, хотя сам Мичуринский разлом распространяется еще глубже. Но здесь его сопровождают только десилицированные породы, лишенные урановой минерализации.

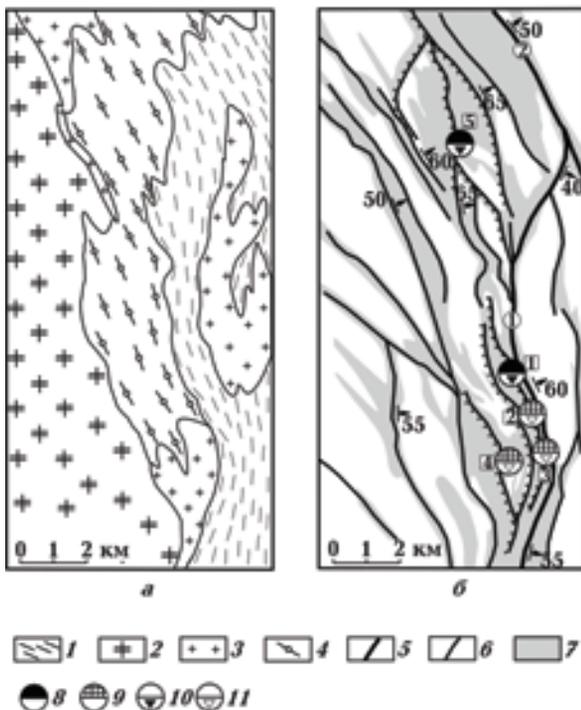


Рис. 1. Совмещенные карты интрузивно-ультраметаморфического цоколя (а) и наложенных структур и урановых месторождений (б) Кировоградской зоны разломов. Составлены с использованием материалов картировочного и разведочного бурения, выполненного КП "Кировгеология": 1 — гнейсы ингуло-ингулецкой серии; 2—4 — кировоградский интрузивный комплекс (2 — трахитоидные и порфириовидные граниты, 3 — среднезернистые граниты, 4 — мигматиты); 5, 6 — разломы (5 — I порядка, 6 — II порядка); 7 — диафториты; 8, 9 — минеральные типы натровых метасоматитов (8 — существенно эгирин-рибекитовый, 9 — существенно эпидот-хлоритовый); 10, 11 — интенсивность постальбититовой минерализации (10 — сильная, 11 — умеренная). Урановые месторождения (цифры в квадратах): 1 — Мичуринское, 2 — Северо-Коноплянское, 3 — Южно-Коноплянское, 4 — Западно-Коноплянское, 5 — Центральное. Разломы (цифры в кружках): 1 — Мичуринский, 2 — Бережинский.

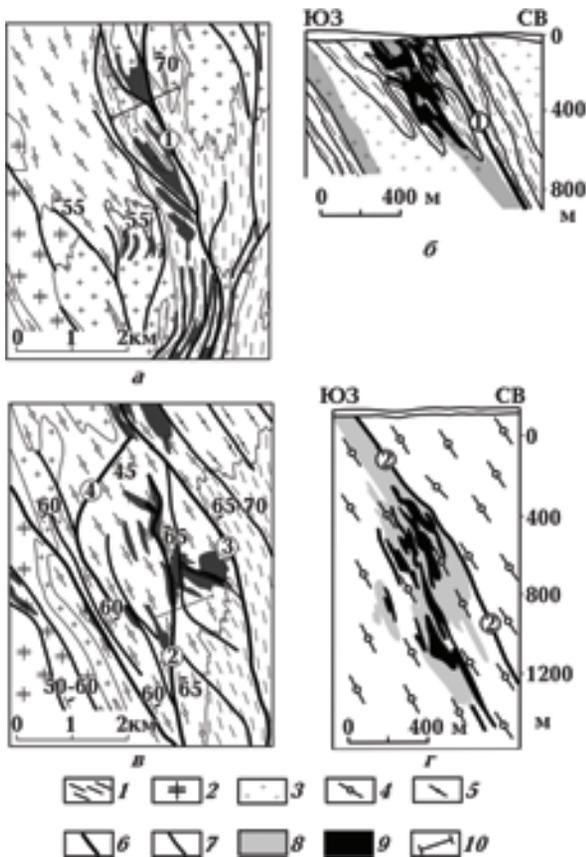


Рис. 2. Геологическое положение и геологические разрезы Мичуринского (а, б) и Центрального (в, г) урановых месторождений: 1 — гнейсы; 2 — трахитовые и порфировидные граниты; 3 — среднезернистые граниты; 4 — мигматиты; 5 — гранитизированные гнейсы; 6, 7 — разломы (6 — главные, 7 — второстепенные); 8 — натровые метасоматиты; 9 — рудные тела; 10 — линии геологических разрезов. Разломы (цифры в кружках): 1 — Мичуринский, 2 — Западный, 3 — Кущевский, 4 — Литейный.

Центральное урановое месторождение залегает в линзообразном блоке порфиробластических мигматитов, ограниченном Кущевским и Литейным разломами и рассеченном субмеридиональным Западным разломом (рис. 2, в, г). Здесь в однородной среде ураноносные альбититы прослежены на глубину 1400 м при средней мощности около 100 м. На месторождении встречаются рибекит-эгириновые альбититы, но преобладающим развитием пользуются хлорит-флогопитовые альбититы с карбонатами и гематитом. В лежачем боку Западного разлома рудные тела сосредоточены на глубинах от 300 до 1275 м и вверх по восстанию все более приближаются к плоскости разлома. На северном фланге Западного разлома с ним сочленяется

Диагональный разлом, имеющий северо-западное  $310\text{--}330^\circ$  простирание, а тот, в свою очередь, примыкает к Кущевскому разлому. В этом тройном сочленении разломов натровые метасоматиты достигают максимальной мощности, а рудные тела приобретают наиболее сложные формы.

В Кировоградской зоне разломов некоторые урановые месторождения содержат золоторудную минерализацию. Наиболее полные данные о структурно-петрологических условиях ее локализации и соотношениях с ураноносными натровыми метасоматитами получены в Юрьевском рудном поле, которое находится на юго-западном продолжении Кировоградской зоны разломов и включает Юрьевское месторождение урана, Юрьевское месторождение золота и Западно-Юрьевское рудопроявление золота (рис. 3).

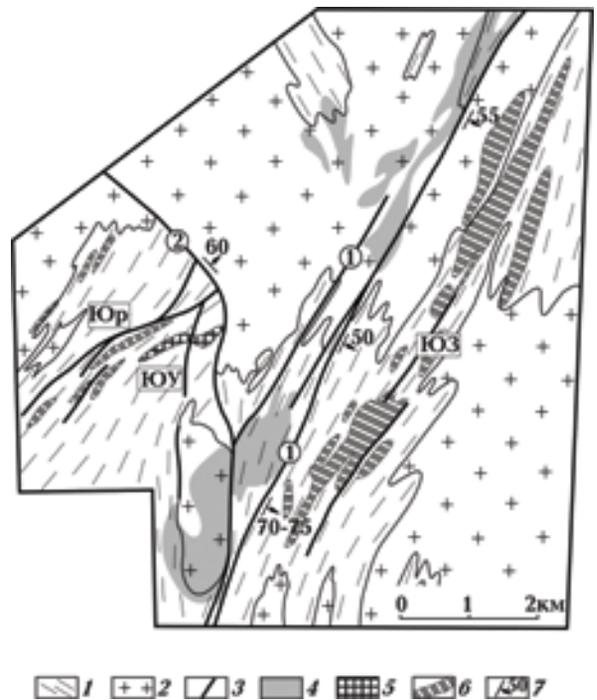
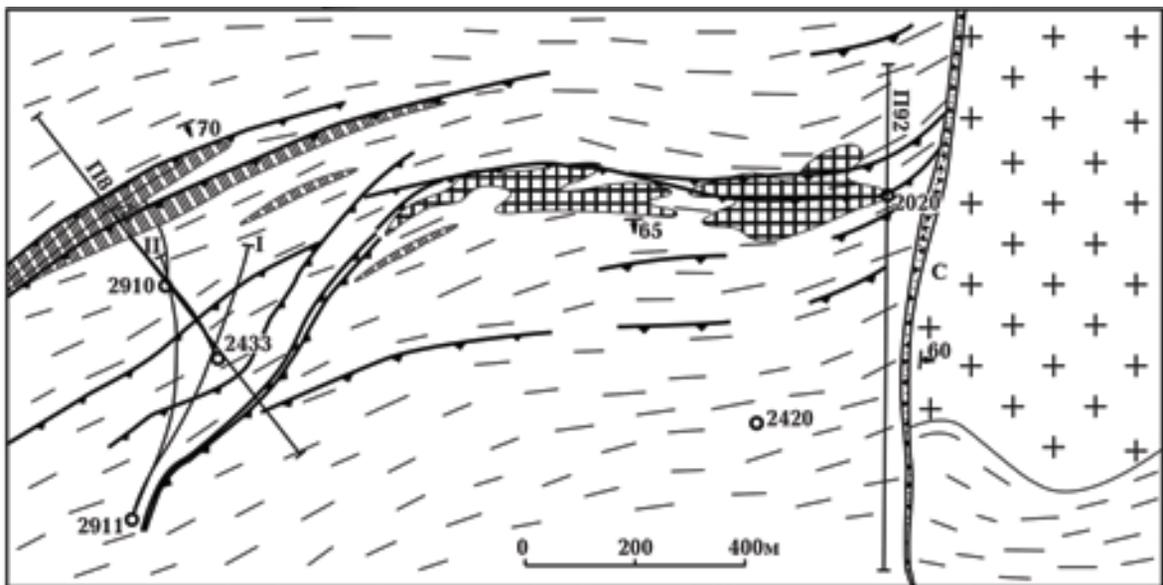


Рис. 3. Схематическая геологическая карта Юрьевского рудного поля: 1 — гнейсы ингуло-ингулецкой серии; 2 — гранитоиды кировоградской комплекса; 3 — разломы; 4 — безрудные альбитизированные породы, 5 — ураноносные натровые метасоматиты; 6 — зоны повышенной золотоносности; 7 — элементы залегания. Цифры в кружках: 1 — Софиевско-Компанеевская зона разломов, 2 — Суловский разлом. Рудные месторождения и рудопроявления (обозначения в прямоугольниках): ЮЗ — Юрьевское золоторудное, ЮУ — Юрьевское урановое месторождение, ЮР — Западно-Юрьевское рудопроявление золота.

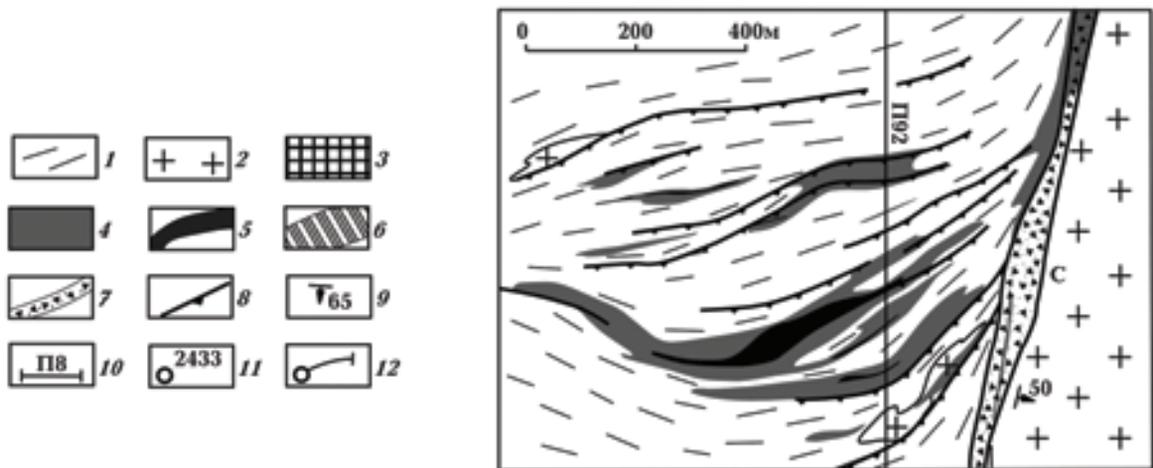
Интрузивно-ультраметаморфический цоколь рудного поля также слагают гранитоиды Кировоградского комплекса и метаморфические породы ингуло-ингулецкой серии. Общий структурный план рудного поля определяет Софиевско-Компанеевская зона разломов, которая протягивается в северо-восточном 30—40° направлении вдоль узкой полосы гнейсов, зажатой между гранитоидами.

Юрьевское урановое месторождение приурочено к обособленному блоку метаморфических пород ингуло-ингулецкой серии, окружен-

ному гранитоидами. Вмещающие его породы представлены главным образом биотитовыми гнейсами. С ними перемежаются кордиеритовые, пироксен-биотитовые, графит- и гранат-содержащие гнейсы. Все они простираются в субширотном направлении, падают на юг под углами от 60 до 80° и содержат согласные жильобразные тела аплит-пегматоидных гранитов. На востоке пачка рудовмещающих гнейсов ограничена Суловским разломом — одним из боковых ответвлений Софиевско-Компанеевской зоны разломов (рис. 4, а, б). Суловский



а



б

Рис. 4. Схематическая карта поверхности Юрьевского уранового месторождения (а) и план горизонта – 350 м (б): 1 — гнейсы; 2 — среднезернистые граниты; 3 — ураноносные натровые метасоматиты; 4 — альбититы; 5 — урановорудные тела; 6 — золотоносные зоны; 7, 8 — зоны катаклаза и милонитизации (7 — в масштабе, 8 — вне масштаба); 9 — элементы залегания; 10 — разведочные профили; 11 — разведочные скважины и их номера, упоминаемые в тексте; 12 — горизонтальные проекции разведочных скважин.

разлом протягивается в субмеридиональном направлении в виде мощной (15—25 м) зоны катаклазированных и милонитизированных гранитов и гнейсов, наклоненной на восток под углами 50—65°. Пространственная связь ураноносных натровых метасоматитов и согласных зон катаклаза и милонитизации с Суловским разломом наиболее четко фиксируется на горизонте – 350 м.

Геологическая позиция Юрьевского уранового месторождения сходна с таковой Мичуринского уранового месторождения. Ураноносные натровые метасоматиты здесь также относятся к эгирин-рибекитовому типу с интенсивно проявленной постальбититовой минерализацией. Среди них преобладают гематит-карбонат-рибекитовые, гематит-карбонат-флогопитовые и гематит-карбонат-хлоритовые альбититы. Основная часть урановых руд связана с гематит-карбонат-рибекитовыми альбититами. Десилицированные породы имеют ограниченное распространение и развиты преимущест-

венно на флангах и в подрудной части ураноносных залежей. Главные урановые минералы — браннерит, продукты его изменения и уранинит, второстепенные — настуран, коффинит и минералы вторичного происхождения. Мощность затронутой натровым метасоматозом зоны достигает 450 м и уменьшается до 80 м по мере удаления от Суловского разлома. Урановорудные тела имеют линзообразную и каплеобразную форму, залегают согласно с вмещающими породами и кулисообразно сменяют друг друга по простиранию и падению (рис. 5, а).

Важнейшая отличительная черта Юрьевского уранового месторождения — его пространственная и структурная связь с Западно-Юрьевским рудопроявлением золота. С некоторым отклонением от традиционных названий их можно объединить в Юрьевское золотоурановое месторождение.

Западно-Юрьевское рудопроявление пересечено разведочным профилем 8, в который вхо-

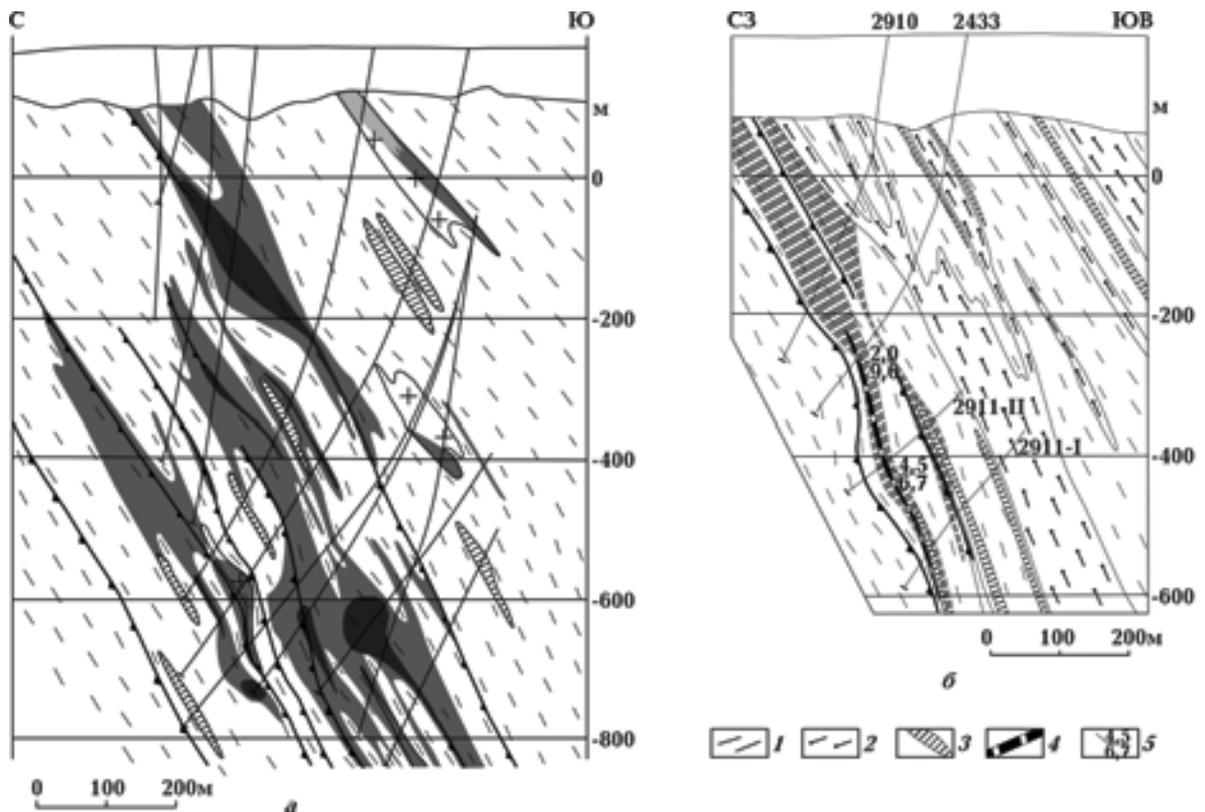


Рис. 5. Геологические разрезы Юрьевского уранового месторождения по профилю 92 (а) и Юрьевского рудопроявления золота по профилю 8 (б): 1 — биотитовые гнейсы; 2 — кордиеритовые гнейсы; 3 — аплит-пегматоидные граниты и пегматиты; 4 — золотосульфидные рудные тела; 5 — параметры золотых руд (в числителе — мощность, м; в знаменателе — содержание золота, г/т). Остальные условные обозначения см. на рис. 4.

дят глубокие скважины 243, 2910, 2911-I и 2911-II. Структурно-петрологические исследования керн на перечисленных скважин позволили выделить особый тип адуляр-хлоритовых метасоматитов, сопровождающих золотосульфидную минерализацию, и установить наложение этих метасоматитов на метаморфические породы и ураноносные натровые метасоматиты [Прохоров и др., 1984].

Среди вмещающих метаморфических пород здесь преобладают биотитовые и кордиеритовые гнейсы с подчиненным количеством гранатовых разновидностей и кристаллических сланцев (рис. 5, б). Биотитовые гнейсы содержат среднежелезистый биотит ( $f = 0,50$ ;  $TiO_2 = 1,93-3,15$ ) и гранат с содержанием алмандина 72—74%. В кордиеритовых гнейсах присутствуют силлиманит и биотит такого же состава, как и в биотитовых гнейсах. Кристаллические сланцы состоят из анортита (№ 97—99), салита ( $f = 0,50 \div 0,61$ ) и кварца в ассоциации с волластонитом и реже гранатом. Гранат содержит 77—85% гроссуляра и 11—19% андрадита. По химизму гнейсы и кристаллические сланцы соответствуют вулканическим породам кислого и среднего состава, частично грауваккам, метапелитам и мергелям.

По физико-химическим параметрам метаморфизм вмещающих пород соответствует высокотемпературной амфиболитовой фазии, что определяется ассоциацией кордиерита, силлиманита, клинопироксена и волластонита, а также высоким содержанием  $TiO_2$  в биотитах и Fe в кордиерите. По составам сосуществующих минералов температура метаморфизма оценена в 600—650 °С. Давление, определенное по реакции гроссуляр + кварц = анортит + волластонит, не превышает 2—3 кбар.

По минеральному составу и условиям образования адуляр-хлоритовые метасоматиты принципиально отличаются от вмещающих метаморфических пород. Они состоят из калишпата, альбита, мусковита, хлорита, карбоната, пренита, эпидота. Калиевый полевой шпат прозрачен и не содержит пертитовых вростков. В поляризованном свете в нем обнаруживается характерное для адуляра чередование светлых и темных участков. По данным рентгеноспектральных анализов содержание альбитового минала в калишпате не превышает 3%. Рентгеноструктурные исследования монофракций калишпата показали, что степень упорядоченности, определенная по параметрам элементарной ячейки, составляет 0,87 в позиции Т, что также соответствует адуляру. Хлорит в мета-

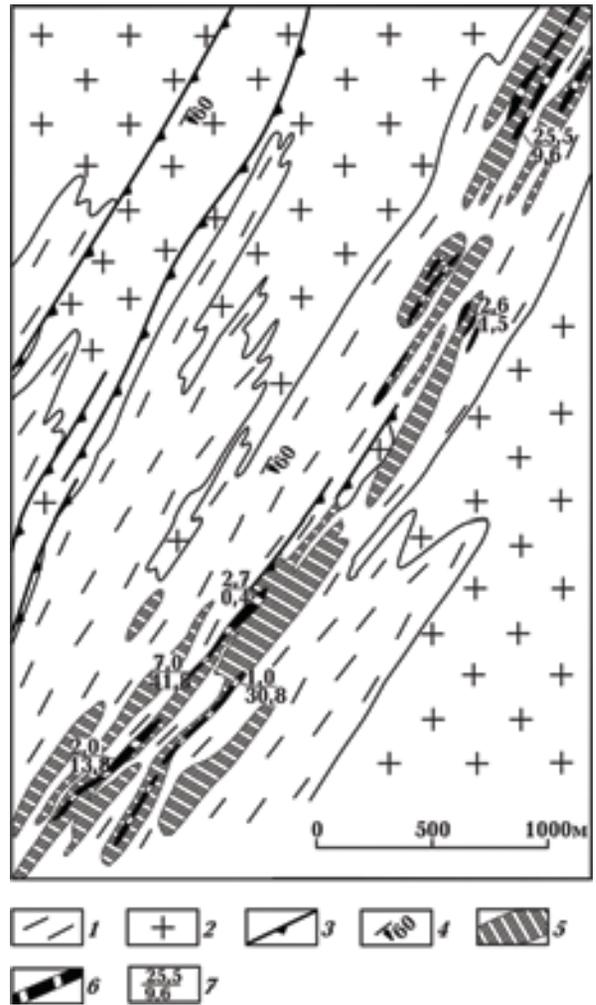


Рис. 6. Фрагмент геологической карты Юрьевского месторождения золота: 1 — гнейсы ингуло-ингулецкой серии; 2 — среднезернистые и порфирировидные граниты кировоградского комплекса; 3 — зоны катаклаза и мионитизации; 4 — элементы залегания; 5 — ореолы повышенной золотоносности с бортовым содержанием золота 0,01 г/т; 6 — золоторудные жилы; 7 — параметры золотого оруденения: в числителе — мощность рудного пересечения, м; в знаменателе — содержание золота, г/т.

соматитах представлен двумя разновидностями. Первая образует полные или частичные псевдоморфозы по биотиту исходных пород. Вторая мелкозернистая ассоциируется с адуляром и представлена пикнохлоритом и диабантитом. Мусковиты по данным рентгеноспектральных анализов содержат до 20—60% фенгитового минала. Содержание в них парагонитового минала не превышает 5—7%. Эпидот по химическому составу варьирует от почти чистого клиноцоизита до эпидота с  $F = 25 \div 30\%$ .

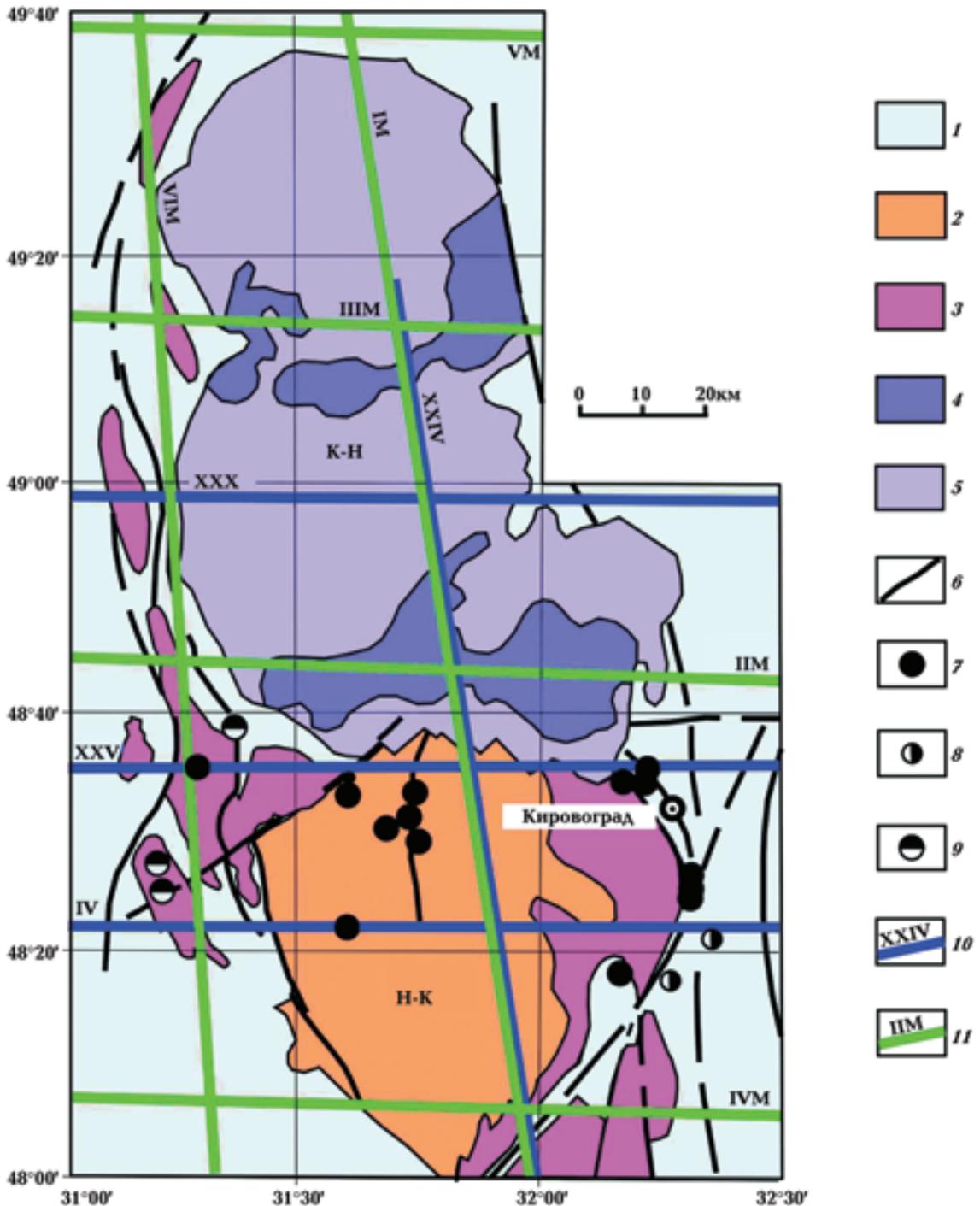


Рис. 7. Сейсмическая изученность Кировоградского рудного района: 1 — ингуло-ингулецкая серия; 2, 3 — Новоукраинско-Кировоградский массив (Н-К) (2 — диорит-монцонитовая формация, 3 — гранит-мигматитовая формация); 4, 5 — Корсунь-Новомиргородский массив (К-Н) (4 — габбро-анортозитовая формация, 5 — рапакиви-гранитная формация); 6 — разломы; 7—9 — месторождения и рудопроявления (7 — урана, 8 — золота, 9 — лития); 10 — профили ГСЗ и их номера; 11 — профили МОВЗ и их номера.

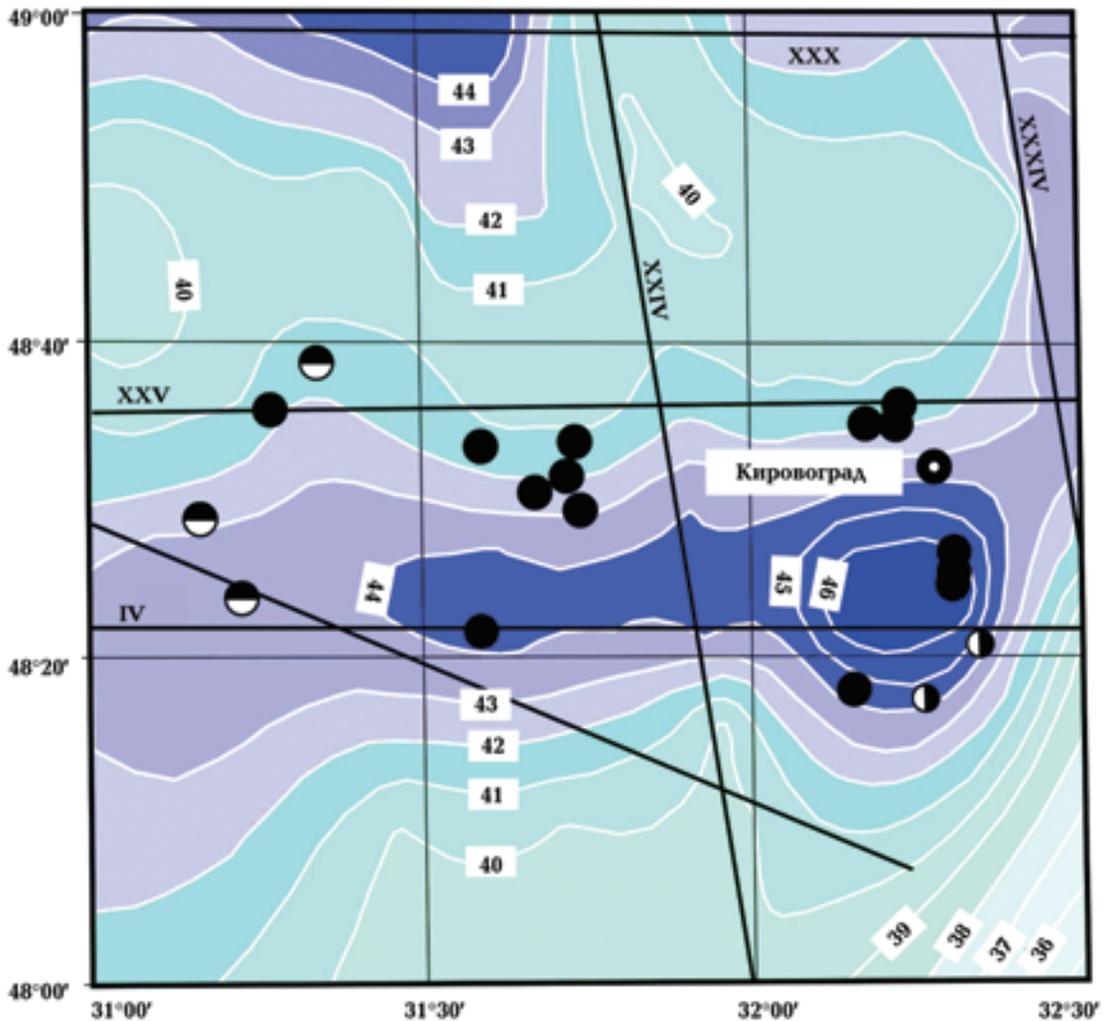


Рис. 9. Вертикальные проекции месторождений урана, золота, лития на рельеф раздела Мохо (отметки изолиний рельефа, км). Месторождения, профили ГСЗ и их номера нанесены согласно рис. 7.

Карбонат по составу относится к кальциту с суммарным содержанием железа, марганца, магния до 2—4 %.

Ассоциация адуляра с кальцитом свидетельствует о низкотемпературном характере метасоматических преобразований, а устойчивость эпидота-клиноцоизита и пренита — о средних температурах этого процесса. С некоторой долей условности верхнюю температурную границу адуляр-хлоритовых изменений можно оценить в 350 °С, а нижнюю — в 250—200 °С.

Адуляр-хлоритовые метасоматиты замещают все типы метаморфических пород, залегающие среди них аплит-пегматоидные граниты и натровые метасоматиты. При этом в биотитовых гнейсах биотит замещается хлоритом и мусковитом, олигоклаз превращается в аль-

бит, а при более интенсивном изменении по альбиту развивается адуляр. В амфибол-биотитовых гнейсах и кристаллических сланцах основной плагиоклаз преобразуется в агрегат мусковита, эпидота, кальцита, который, в свою очередь, пересекают прожилки адуляра. В тех случаях, когда адуляр-хлоритовые метасоматиты наложены на ураноносные альбититы, адуляр в ассоциации с пренитом и кальцитом замещает альбит, а по сплошным агрегатам рибекита образуются псевдоморфозы хлорита. К этому следует добавить, что в скважине 2420 на глубине 790,5 м в альбититах зафиксировано содержание золота в 7 г/т и установлено присутствие самородного золота в ассоциации с кварцем, пиритом, арсенопиритом.

На Западно-Юрьевском рудопроявлении с

помощью бурения установлены две параллельные зоны повышенной золотоносности, которые залегают согласно с гнейсами, жильобразными телами гранитов и тектоническими швами, выполненными катаклазитами и милонитами. Внутри них располагаются жильные рудные тела со средним содержанием золота около 5 г/т (см. рис. 5, б). Обе зоны сопровождаются окварцеванием вмещающих пород и рассеянной сульфидной минерализацией. Сульфиды присутствуют в виде тонкой вкрапленности, заполняют мелкие трещины, иногда сростаются с метасоматическими минералами. Наибольшим распространением пользуются пирротин, арсенопирит, халькопирит, пирит, сфалерит. Реже встречаются пентландит, герсдорфит, кобальтин, маккинавит, марказит, молибденит. Сульфидные минералы объединяются в две минеральные ассоциации: более раннюю пирит-арсенопиритовую с молибденитом и более позднюю пирротин-сфалеритовую с халькопиритом и кобальтином. Золото в первой ассоциации заключено в арсенопирите, во второй находится в самородном виде. Первая ассоциация по сравнению со второй характеризуется более тесной связью с адуляр-хлоритовыми метасоматитами.

Изложенные сведения об условиях локализации и минеральном составе золотоносных зон Западно-Юрьевского рудопроявления в целом согласуются с имеющимися данными по Юрьевскому месторождению золота. Последнее залегает среди биотитовых гнейсов с подчиненным количеством гранатовых, кордиеритовых и графитсодержащих разновидностей. Гнейсы содержат будины кристаллических сланцев и жильобразные тела аплит-пегматоидных гранитов. Все перечисленные породы залегают согласованно, обладают выдержанным падением на восток под углами от 60 до 70° и нарушены послынными зонами катаклаза и милонитизации.

На Юрьевском месторождении золотоносные зоны наследуют структуру метаморфического субстрата, но отличаются значительно большей протяженностью и мощностью. Они сосредоточены в полосе длиной около 8 км и шириной от 0,5 до 1,5 км, параллельной Софиевско-Компанеевской зоне разломов (рис. 6). Зоны повышенной золотоносности протягиваются в длину на 400—1400 м при мощности от 8—10 до 20—50 м. Внутри них располагаются золоторудные жилы длиной от 100 до 400 м при мощности от 0,2 до 40 м. Содержание золота в рудных жилах варьирует от десятых долей грам-

ма до 34,5 г/т. Максимальная глубина подсечения золоторудной минерализации — 980 м.

Кроме самородного золота в рудах установлены пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, леллингит, сфалерит, галенит, блеклая руда, пентландит, марказит, самородный висмут, мальдонит и некоторые другие сульфиды, что в целом подобно списку рудных минералов на Юрьевском рудопроявлении золота [Нечаев и др., 2005].

К сожалению, на Юрьевском месторождении золота метасоматические изменения пород изучены не столь детально, как рудные минералы и их ассоциации. Помимо окварцевания здесь отмечены хлоритизация и калишпатизация вмещающих пород. Не исключено, что в ореолах гидротермальных изменений присутствуют и адуляр-хлоритовые метасоматиты. Но это предположение нуждается в проверке путем точной диагностики метасоматических минералов, прежде всего калиевого полевого шпата, и анализа парагенезисов метасоматических минералов.

Согласно распространенной точке зрения, в центральной части Украинского щита месторождения золота древнее урановых. Она опирается в основном на изотопные датировки сульфидов, сопровождающих золоторудную минерализацию, и урановых минералов, равные соответственно 2,0 и 1,8 млрд лет [Коваль и др., 1997; Яценко и др., 1998; Щербак и др., 2008]. Приведенные данные противоречат этой точке зрения и свидетельствуют о более позднем возрасте золоторудной минерализации по сравнению с урановой. Отсюда следует еще один вывод: о необходимости и возможности использования опыта и результатов поисков и разведки урановых месторождений при дальнейшем прогнозировании, изучении и оценке месторождений золота.

**Соотношения месторождений урана, золота, лития с неоднородностями коры и раздела Мохо.** Центральная часть Украинского щита, где расположен Кировоградский рудный район, по плотности сейсмических наблюдений не имеет аналогов в мире. Первые сейсмические профили здесь были пройдены в 1950-х — начале 1960-х годов. Но главные объемы сейсмических исследований были выполнены позднее по договору, заключенному между Институтом геофизики Академии наук УССР, с одной стороны, и Кировским ПГО Министерства геологии СССР, с другой. В соответствии с указанным договором в 1977—1980 гг. методами ГСЗ—КМПВ и МОВЗ были изучены пять широтных

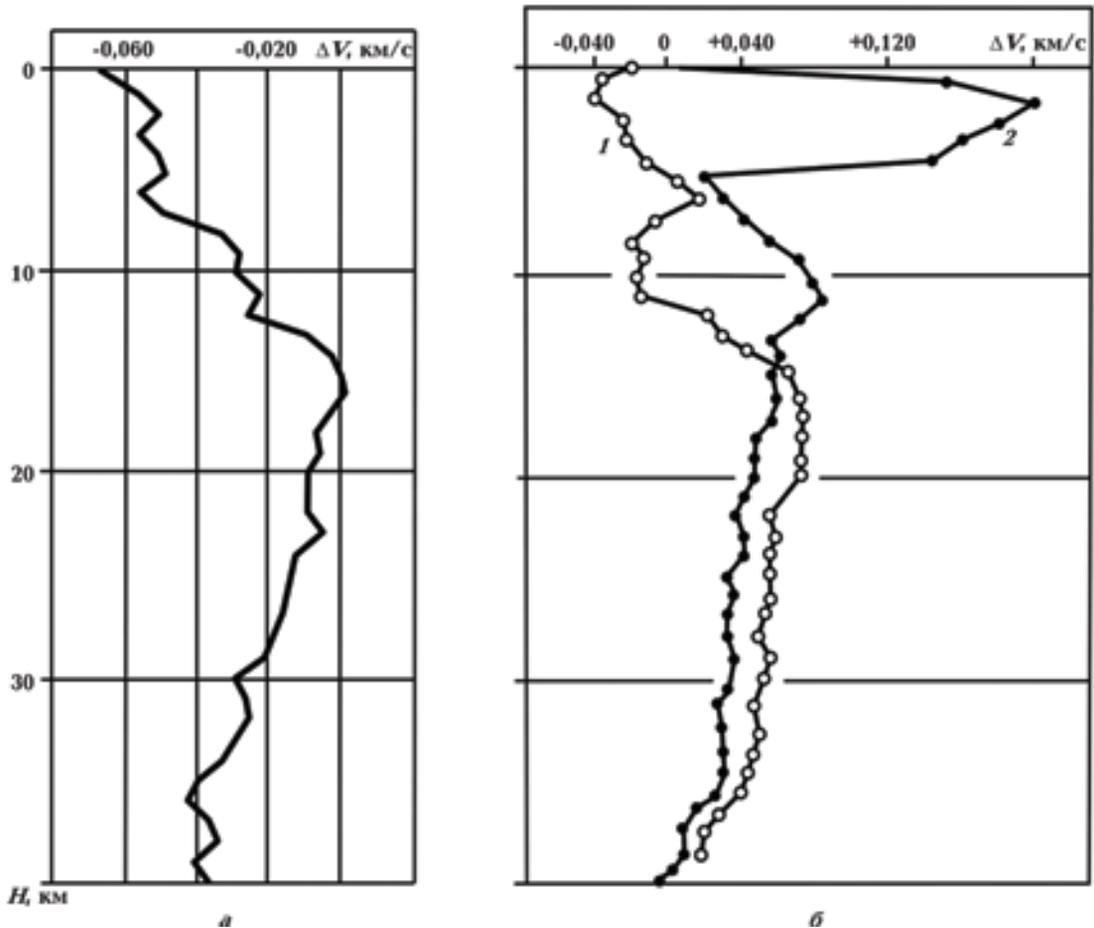


Рис. 8. Соотношения осредненных скоростей распространения продольных волн в коре Ингульского мегаблока ( $V_{ин}$ ) и Украинского щита ( $V_{ущ}$ ), где  $\Delta V = V_{ин} - V_{ущ}$  (а), и в вертикальном разрезе Новоукраинско-Кировоградского гранитоидного (1) и Корсунь-Новомиргородского рапакиви-анортозитового массивов (2) в сопоставлении со скоростью кривой Ингульского мегаблока, где  $\Delta V = 0$  на тех же глубинах (б).

и три меридиональных профиля, увязанные друг с другом. Профили пересекают все поверхностные структуры и докембрийские комплексы Кировоградского рудного района, а некоторые из них проходят в непосредственной близости от рудных полей и месторождений (рис. 7, с. 9).

Результаты сейсмических работ 1978—1980-х гг. изложены в отчете В. Б. Соллогуба и др. [1982], который хранится в архиве Института геофизики НАН Украины<sup>1</sup>. В методических главах

отчета дана характеристика зарегистрированного волнового поля и скоростной модели, использованной при обработке экспериментальных данных. В результативных геофизических главах приведены структурные разрезы и скоростные модели по всем отчетным профилям. В специальной главе описаны схемы рельефа поверхностей  $K_2$  и М. Геологические главы посвящены природе глубинных геофизических границ, расслоенности земной коры и глубинному геотектоническому районированию территории.

Собранные сейсмические данные вошли в известную монографию [Соллогуба, 1986] и многочисленные статьи [Ильченко, Крюченко, 1981; Трипольский и др., 1984 и др.].

Установлено, что в Ингульском мегаблоке, где находится Кировоградский рудный район,

<sup>1</sup> Соллогуб В. Б., Трипольский А. А., Ильченко Т. В., Гейко В. С., Красовский С. С., Антоненко Л. В., Квачук Л. А., Кононкова П. Я., Куприенко П. Я., Леонова Л. И., Трипольская В. А. Отчет о сейсмических исследованиях методом ГСЗ—КМПВ, выполненных в центральной части Украинского щита по системе увязанных пересекающихся профилей в 1978—1980 гг. — Киев, 1982.

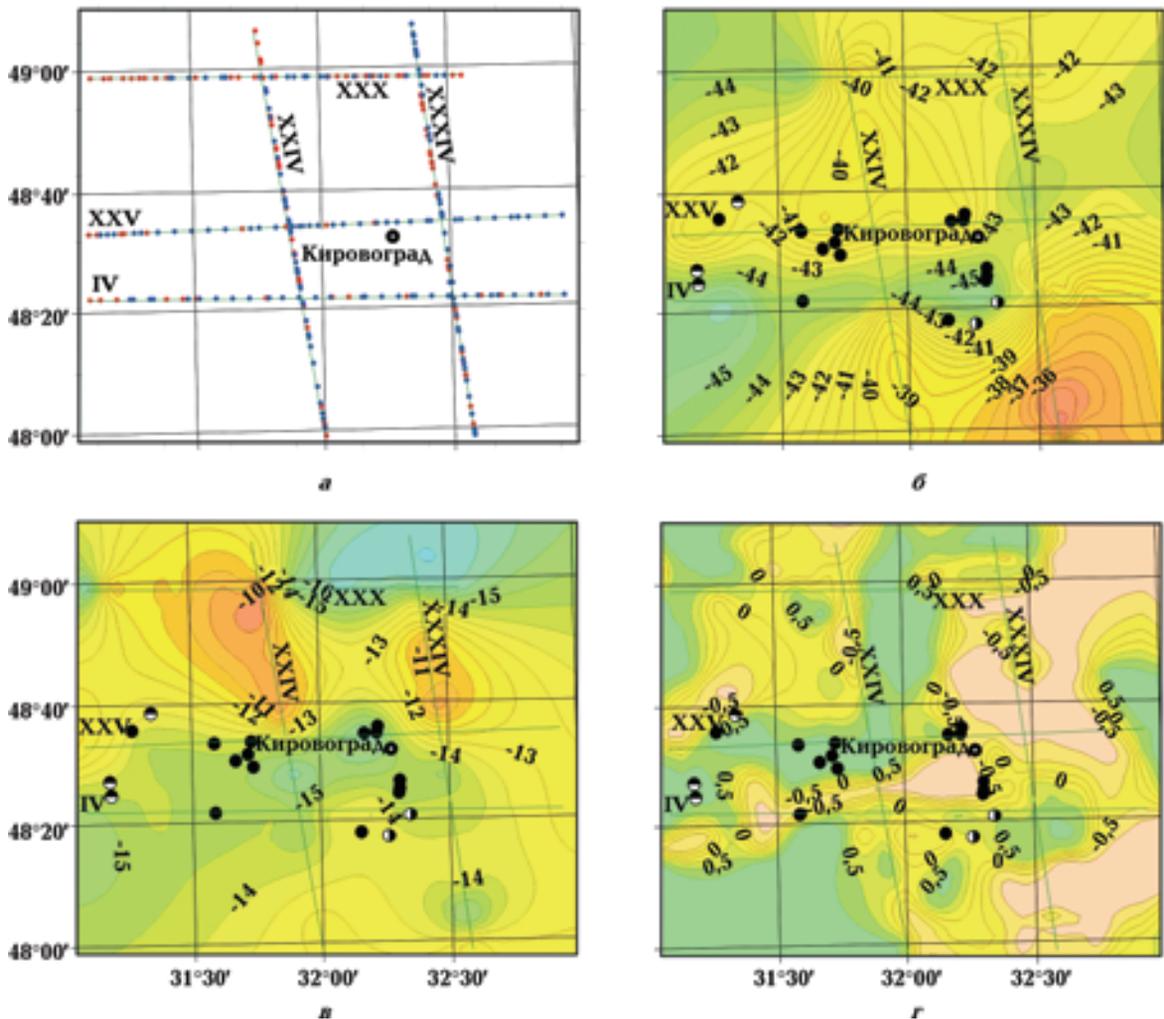


Рис. 10. Пространственные соотношения рельефа поверхностей М и К<sub>2</sub> и месторождений урана, золота, лития; а — расположение сейсмических профилей и точек определения глубины до поверхностей (красные отметки М, синие отметки К<sub>2</sub>), б — схематическая карта рельефа М, в — схематическая карта рельефа К<sub>2</sub>, г — схема корреляции поверхностей М и К<sub>2</sub>. На схемах б, в, г показаны вертикальные проекции месторождений урана, золота, лития в соответствии с рис. 7.

скорости распространения продольных волн в коре на 0,04—0,07 км/с или на 0,8—1,2 % ниже, чем на Украинском щите. Максимальные отклонения зафиксированы в верхней и нижней части коры (рис. 8, а). Это объясняется наиболее мощным на Украинском щите проявлением раннепротерозойского интрузивного магматизма в Ингульском мегаблоке.

В свою очередь, Новоукраинско-Кировоградский гранитоидный и Корсунь-Новомиргородский рапакиви-анортозитовый массивы отличаются по вариациям скоростей продольных волн в вертикальном разрезе коры (рис. 8, б). Вблизи поверхности (интервал 3—9 км) скорости продольных волн в Корсунь-Новомир-

городском массиве значительно превышают осредненные значения скоростей Ингульского мегаблока. В противоположность этому, кора Новоукраинско-Кировоградского массива вблизи поверхности характеризуется пониженными скоростями (–0,040 км/с или –0,7 %). Еще ниже в интервале 9—13 км эти соотношения сохраняются, но амплитуда отклонений от нормальных значений скорости уменьшается в 2—2,5 раза. В целом соотношения скоростных неоднородностей массивов в интервале 0—15 км имеет зеркальный характер. Максимум положительных отклонений скорости продольных волн в Корсунь-Новомиргородском массиве вблизи поверхности объясняется наличием значи-

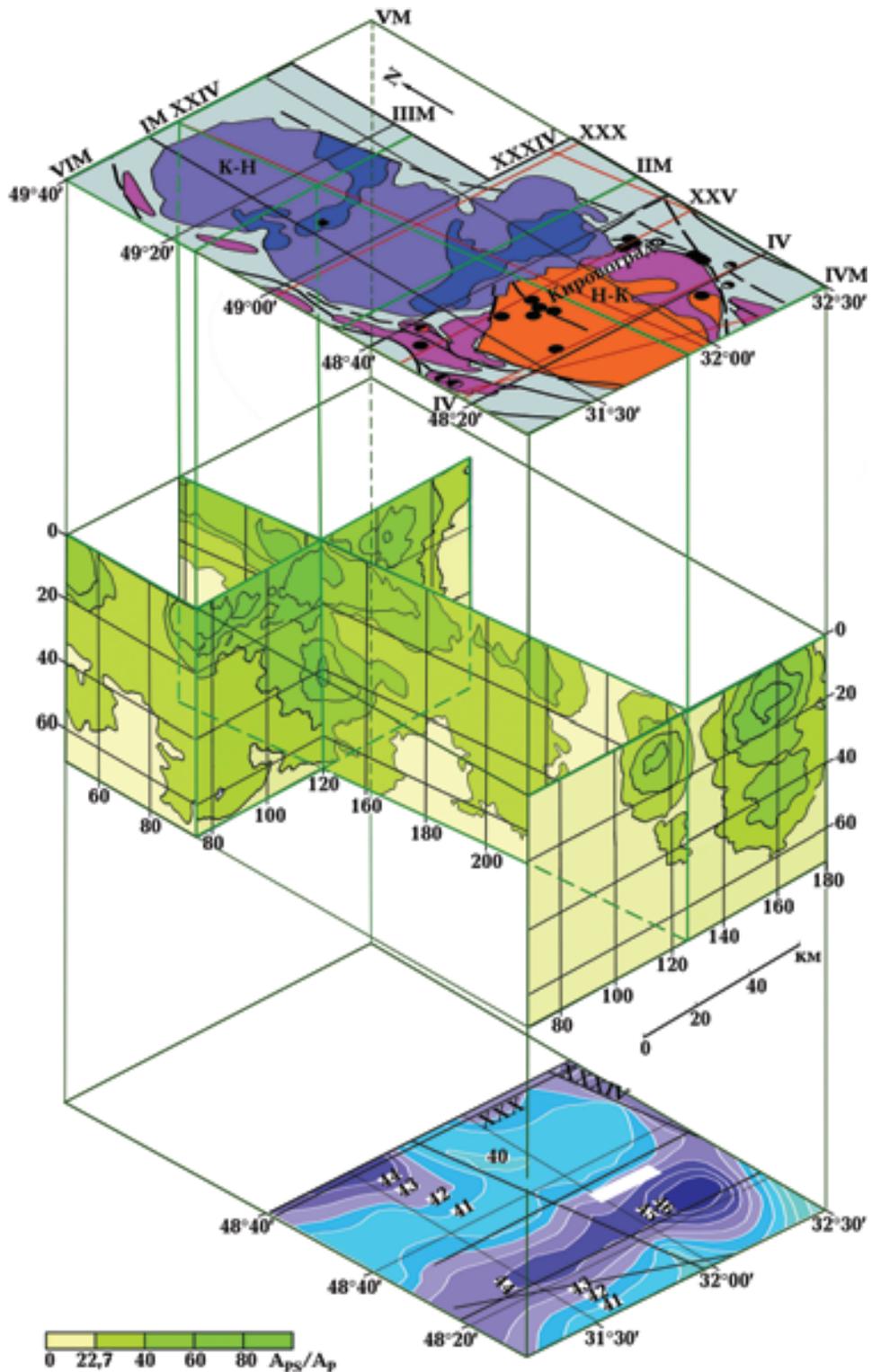


Рис. 11. Объемная сейсмогеологическая модель Кировоградского рудного района. Вверху — современный эрозионный срез рудного района, в средней части — каркасная блок-диаграмма поля обменных волн землетрясений, внизу — проекция месторождений урана, золота, лития на рельеф поверхности Мохо. Остальные пояснения в тексте.

тельных объемов пород основного состава (габбро, габбро-анортозиты, габбро-лабрадориты, анортозиты). Понижение скорости в Корсунь-Новомиргородском массиве в интервале 16—40 км позволяет предположить, что значительная часть пород основного состава поступила в верхнюю кору через среднюю и нижнюю кору.

В те же 1980-е годы в районе г. Кировоград была выявлена аномалия в рельефе Мохо. На структурной схеме раздела Мохо, которую составил В. Б. Соллогуб (1986), она изображена в виде комбинации широтных и меридиональных изоглубин этого раздела. Тогда аномалия в рельефе Мохо не привлекла особого внимания. И только в 2006 г. в результате переинтерпретации профилей ГСЗ с помощью современных технологий было установлено, что аномальная комбинация широтных и меридиональных изоглубин совпадает с общим планом поверхностных структур Кировоградского рудного района [Дрогицкая и др., 2007; Старостенко и др., 2007]. Одновременно была обнаружена пространственная связь месторождений урана, золота, лития с широтным прогибом в рельефе Мохо или "мантийным рвом" (рис. 9, с. 10). Эти месторождения на поверхности сосредоточены в широтной полосе, охватывающей Новоукраинско-Кировоградский гранитоидный массив, Кировоградскую и Звенигородскую зоны разломов. Ранее предполагалось, что эта полоса опущена по широтным разломам, что и сохранило месторождения от последующей эрозии.

Чтобы подтвердить существование мантийного рва и сопоставить его с внутрикоревой поверхностью  $K_2$ , в 2010 и 2011 гг. данные ГСЗ и МОВЗ были обработаны с использованием программных пакетов Surfer 8 и КОСКАД 3D [Никитин и др., 2004]. Для этой работы был выбран участок площадью 150—130 км<sup>2</sup>, пересеченный пятью профилями ГСЗ и максимально насыщенный данными о глубинах поверхностей М (239 определений) и  $K_2$  (229 определений). Поскольку программное обеспечение Surfer 8 и КОСКАД 3D работают только в системах прямоугольных координат, географические координаты исходных точек были преобразованы в прямоугольные (рис. 10, а). Интерполяция проведена по сети 5 × 5 км методом Крайгинга (линейная модель) с последующим сгущением сети двумерным сплайном до 2 × 2 км. Функция линейного коэффициента корреляции между глубинами поверхностей М и  $K_2$  вычислена в скользящем окне размером 7 × 7 точек (12 × 12 км).

Результаты работы представлены в виде карт рельефа поверхностей М и  $K_2$  и их площадной корреляции, на которые спроектированы месторождения урана, золота и лития. В рельефе поверхности М широтный мантийный ров четко обособлен от смежных поднятий и прогибов (рис. 10, б). В рельефе поверхности  $K_2$ , он проявлен в менее контрастной форме (рис. 10, в). Этот факт, возможно, свидетельствует о тектонической переработке коры в направлении снизу вверх. Наконец, в поле корреляции М и  $K_2$  мантийный ров имеет вид узкой положительной линейной аномалии широтного простираения (рис. 10, г). Хотя на рис. 10, б, г конфигурация и размеры мантийного рва различаются, его оси совпадают друг с другом. Отметим еще одно важное обстоятельство: и в том, и другом случаях вертикальные проекции месторождений урана, золота, лития приходятся на мантийный ров и его бортовые склоны.

Наличие пространственной связи поверхностных структур, аномального рельефа раздела Мохо и месторождений урана, золота, лития лежит в основе объемной сейсмогеологической модели Кировоградского рудного района, изображенной на рис. 11. Она построена в единой системе координат и в одном и том же масштабе по горизонтали и вертикали. Модель опирается на два горизонтальных сечения Кировоградского рудного района. Верхнее сечение соответствует современному эрозионному срезу района и характеризует положение рудных месторождений в его поверхностных структурах (см. рис. 7). Нижнее сечение располагается на глубине около 40 км и показывает локальные неоднородности рельефа Мохо и соотношения с этими неоднородностями рудных месторождений, точнее, их вертикальных проекций (см. рис. 9). Связующим звеном между верхним и нижним сечениями служат каркасные блок-диаграммы поля обменных волн землетрясений (МОВЗ). Методика анализа этого поля и построения каркасных блок-диаграмм детально описаны в статье [Старостенко и др., 2011].

Объемная сейсмогеологическая модель отражает современное глубинное строение Кировоградского рудного района на всю мощность древней континентальной земной коры, включая раздел Мохо. Она учитывает пространственную сопряженность Новоукраинско-Кировоградского гранитоидного и Корсунь-Новомиргородского рапакиви-анортозитового массива в виде единого плутона. Согласно модели, именно Новоукраинско-Корсунь-Новомир-

городский плутон определяет архитектуру Кировоградского рудного района как на поверхности, так и на глубине. Вместе с тем модель демонстрирует принципиальное различие указанных массивов не только по генезису, но и по вертикальной протяженности, морфологии и внутреннему строению.

Новоукраинско-Кировоградский гранитоидный массив образовался путем частичного плавления стратифицированных пород ингуло-ингулецкой серии, имеет внутрикоровое происхождение и протягивается на глубину 15—20 км. В отличие от него, Корсунь-Новомиргородский массив уходит своими корнями в верхнюю мантию и связан с сублитосферными источниками. В то же время его основные породы контаминированы сиалическим материалом и имеют смешанное мантийно-коровое происхождение, а исходные расплавы гранитных магм возникли в низах коры под воздействием более глубоких флюидов [Мітрохін, 2011].

Статистический анализ поля обменных волн землетрясений приводит к выводу, что широтную полосу концентрации месторождений урана, золота, лития на поверхности и мантийный ров связывает зона сейсмической прозрачности, в которой происходит интерференция сейсмических волн [Старостенко и др., 2011]. Приведенные результаты корреляции поверхностей  $M$  и  $K_2$  подтверждают существование этой зоны. Но ее внутреннее строение пока не расшифровано, и остается неясным, каким именно образом рудоносные структуры и рудные месторождения соединяются и взаимодействуют с мантийным рвом.

Таким образом, исследования глубинного строения Кировоградского рудного района, с одной стороны, доказывают важную роль глубинных факторов в его формировании, а с другой, порождают новые проблемы, требующие дополнительного анализа.

**Заключение.** Изложенные в настоящей статье данные дополняют результаты изучения Звенигородской зоны разломов и Станковатского рудного поля [Старостенко и др., 2011] и приводят к выводу, что в палеопротерозое в Кировоградском рудном районе происходил закономерный переход от пегматитовых литиевых

к метасоматическим урановым и далее гидротермальным золоторудным месторождениям. При этом изменялись не только структурно-петрологические условия локализации рудных тел, но и характер боковых изменений пород. На месторождениях лития это были высокотемпературные автометасоматические изменения редкометалльных пегматитов, на месторождениях урана — процессы среднетемпературного натрового метасоматоза, на месторождениях золота — окварцевание и адуляр-хлоритовые изменения боковых пород.

Кировоградский рудный район — второй после Печенгского рудного района, где установлена пространственная связь палеопротерозойских рудных месторождений с локальными неоднородностями раздела кора—мантия. Если в Печенгском районе она выявлена для магматических медно-никелевых месторождений и мантийных габбро-верлитовых интрузий, то в Кировоградском рудном районе — для месторождений другого генезиса: гранитных пегматитов, гидротермальных месторождений урана и золота.

Этот вывод меняет традиционные представления о металлогении Кировоградского рудного района. Чтобы подтвердить его обоснованность, в статье дан краткий исторический обзор сейсмических исследований центральной части Украинского щита, показано когда и как обрабатывались экспериментальные данные и приведены дополнительные доказательства пространственной связи месторождений урана, золота, лития в рельефе поверхностей  $M$  и  $K_2$ .

В наиболее общей форме результаты проведенных исследований представлены в виде объемной сейсмогеологической модели Кировоградского рудного района. Она отражает его современное глубинное строение. На очереди генетическая интерпретация сейсмогеологической модели, преобразование ее в интегральную глубинную модель Кировоградского полиметалльного рудного района.

*Работа выполнена по соглашению о научном сотрудничестве между Институтом геофизики НАН Украины и Институтом геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН при частичной финансовой поддержке программ ОНЗ-2 и П-27.*

## Список литературы

Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Отв. ред. Я. Н. Белевцев, В. Б. Коваль. — Киев: Наук. думка, 1995. — 396 с.

Дрогицкая Г. М., Трипольский А. А., Попов Н. И., Казанский В. И., Тарасов Н. Н., Шаров Н. В. Сейсмогеологическая позиция Кировоградского рудного района (Украинский щит) в связи с ло-

- кальными неоднородностями поверхности Мохо // Геофизика XXI столетия 2006 г.: Сб. тр. Восьмых геофиз. чтений им. В.В. Федынского (2—4 марта 2006 г., Москва). — Москва: Научный мир, 2007. — С. 21—27.
- Ильченко Т.В., Крюченко В.А.* Результаты комплексной интерпретации сейсмических и гравиметрических данных по профилю ГСЗ ХХV Бабанка — Пятихатки // Геофиз. журн. — 1981. — 3, № 1. — С. 82—88.
- Казанский В.И., Омеляненко Б.И., Прохоров К.В., Кузьменко А.В., Руткевич В.Г., Руткевич И.С.* Структурно-петрологические условия образования ураноносных натровых метасоматитов в Кировоградской зоне разломов // Матер. по геологии урановых месторождений. — Москва: ВИМС, 1976. — Вып. 43. — 82 с.
- Коваль В.Б., Коптюх Ю.М., Ярошук М.А., Фомин Ю.А., Лапуста В.Ф.* Золоторудные месторождения Украинского щита // Геология рудных месторождений. — 1997. — 39, № 3. — С. 229—246.
- Мітрохін О.В.* Анортозит-рапаківігранітна формація Українського щита (геологія, речовинний склад і умови формування): Автореф. дис. ... д-ра геол. наук. — Київ, 2011. — 38 с.
- Нечаев С.В., Есипчук К.Е., Шумлянский В.А., Лебедь Ю.И., Третьяков Ю.И.* Золото. Юрьевское месторождение // Металлические и нематаллические полезные ископаемые Украины. — Киев; Львов: Центр Европы, 2005. — Т. 1. — С. 511—519.
- Никитин А.А., Петров А.В., Алексахин А.С.* Комплекс спектрально-корреляционного анализа данных "КОСКАД 3D". — Москва: Изд. Моск. геологоразвед. ун-та, 2004. — 158 с.
- Прохоров К.В., Глаголев А.А., Кузнецов А.В.* Золотоносные метасоматиты Юрьевского рудопроявления центральной части Украинского щита // Отечественная геология. — 1994. — № 3. — С. 17—25.
- Соллогуб В.Б.* Литосфера Украины. — Киев: Наук. думка, 1986. — 184 с.
- Старостенко В.И., Казанский В.И., Дрогицкая Г.М., Макивчук О.Ф., Попов Н.И., Тарасов Н.Н., Трипольский А.А., Шаров Н.В.* Связь поверхностных структур Кировоградского рудного района (Украинский щит) с локальными неоднородностями коры и рельефом раздела Мохо // Геофиз. журн. — 2007. — 29, № 1. — С. 3—21.
- Старостенко В.И., Казанский В.И., Попов Н.И., Дрогицкая Г.М., Заяц В.Б., Макивчук О.Ф., Трипольский А.А., Чичеров М.В.* От поверхностных структур к интегральной глубинной модели Кировоградского рудного района (Украинский щит). I // Геофиз. журн. — 2010. — 32, № 1. — С. 3—33.
- Старостенко В.И., Казанский В.И., Попов Н.И., Дрогицкая Г.М., Заяц В.Б., Макивчук О.Ф., Трипольский А.А., Чичеров М.В.* От поверхностных структур к интегральной глубинной модели Кировоградского рудного района (Украинский щит). II // Геофиз. журн. — 2011. — 33, № 5. — С. 5—18.
- Трипольский А.А., Квачук Л.А., Трипольская В.А.* Особенности сейсмической расслоенности земной коры Кировоградского блока // Геофиз. журн. — 1984. — 6, № 3. — С. 88—94.
- Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная Н.М., Пonomаренко А.Н., Шумлянский Л.В.* Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. — Киев: Наук. думка, 2008. — 239 с.
- Яценко Г.М., Бабынин А.К., Гурский Д.С., Братчук О.И., Марченко М.И., Паршина М.А., Росихина М.А., Сливко Е.М., Фалькович А.Л.* Месторождения золота в гнейсовых комплексах докембрия Украинского щита. — Киев: Геоинформ, 1998. — 256 с.