

Напряженно-деформированное состояние и кинематические характеристики верхней части земной коры в районе Мичуринского месторождения (Кировоградский рудный район) Украинского щита

© С. В. Мычак, 2012

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 29 апреля 2011 г.

Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым

Наведено результати тектонофізичних досліджень, виконаних у 2010 р. у центральній частині Українського щита поблизу Мичуринського уранового родовища. Досліджено внутрішню будову та напружено-деформований стан земної кори за результатами структурно-парагенетичного аналізу тріщинуватості, а також поля напружень за даними замірів дзеркал ковзання. Встановлено, що рудоутворювальною фазою деформації в межах родовища була бобринецько-живанівська зсуво-насувна, під час якої формувались тріщини відриву і структури розтягу. Перерозподіл рудної речовини відбувався на суботсько-мошоринському і корсунь-новомиргородському етапах.

The results of the tectonophysical research carried out in 2010 in the central part of the Ukrainian shield near the Michurinsk uranium deposit are given in this article. The internal structure and stress-strained state of the Earth's crust have been investigated by the results of the structural and paragenetic fracturing analysis as well as the stress fields by the data of measurements of the fault slip. It was established that the ore-forming phase of deformation within the deposit was the Bobrinetsk-Zhivanovsk shear-thrust one during which a crack separation and extension structures were formed. The redistribution of the ore substance occurred in the Subbotsk-Moshorinsk and Korsun-Novomirgorod stages.

В 2010 г. при изучении геодинамики центральной части Ингульского мегаблока Украинского щита методами полевой тектонофизики автор особое внимание уделил группе обнажений пород фундамента, расположенных по р. Ингул в 1—2 км севернее Мичуринского уранового месторождения (рис. 1, 2). Целью этих исследований было изучение напряженно-деформированного состояния земной коры в районе месторождения до, во время и после основной фазы рудообразования для выяснения геодинамических условий, в которых происходило его формирование.

Мичуринское урановое месторождение (МУМ), открытое в Кировоградском рудном районе (КРР) в 1954 г. [Бакаржиев и др., 1995], изучалось и разрабатывалось геологами ПГО «Кировгеология». Месторождение расположено в Кировоградской субмеридиональной зоне разломов и входит в группу урановых месторождений КРР, составляющих основу минерально-сырьевой базы Украины.

КРР представляет особый интерес как в геодинамическом, так и в металлогеническом отношении. Район сформирован в центральной части Ингульского мегаблока в результате сложного сочетания магматических, метаморфических, дислокационных и рудообразующих процессов в интервале 2,1—1,7 млрд лет [Старостенко и др., 2010]. Горные породы в пределах КРР представлены гнейсами ингуло-ингулецкой серии и тектонизированными кировоградскими или новоукраинскими гранитами, гранитогнейсами, мигматитами, бластомилонитами, милонитами, динамометаморфической полосчатостью, зонами рассланцевания и катаклаза, переработанными мощными метасоматическими процессами [Гинтов, 2005]. «Узнаваемость» первичных комплексов обусловлена сохранностью их на отдельных участках, не затронутых или слабо затронутых процессами динамометаморфизма и метасоматоза.

Урановые месторождения КРР объединя-

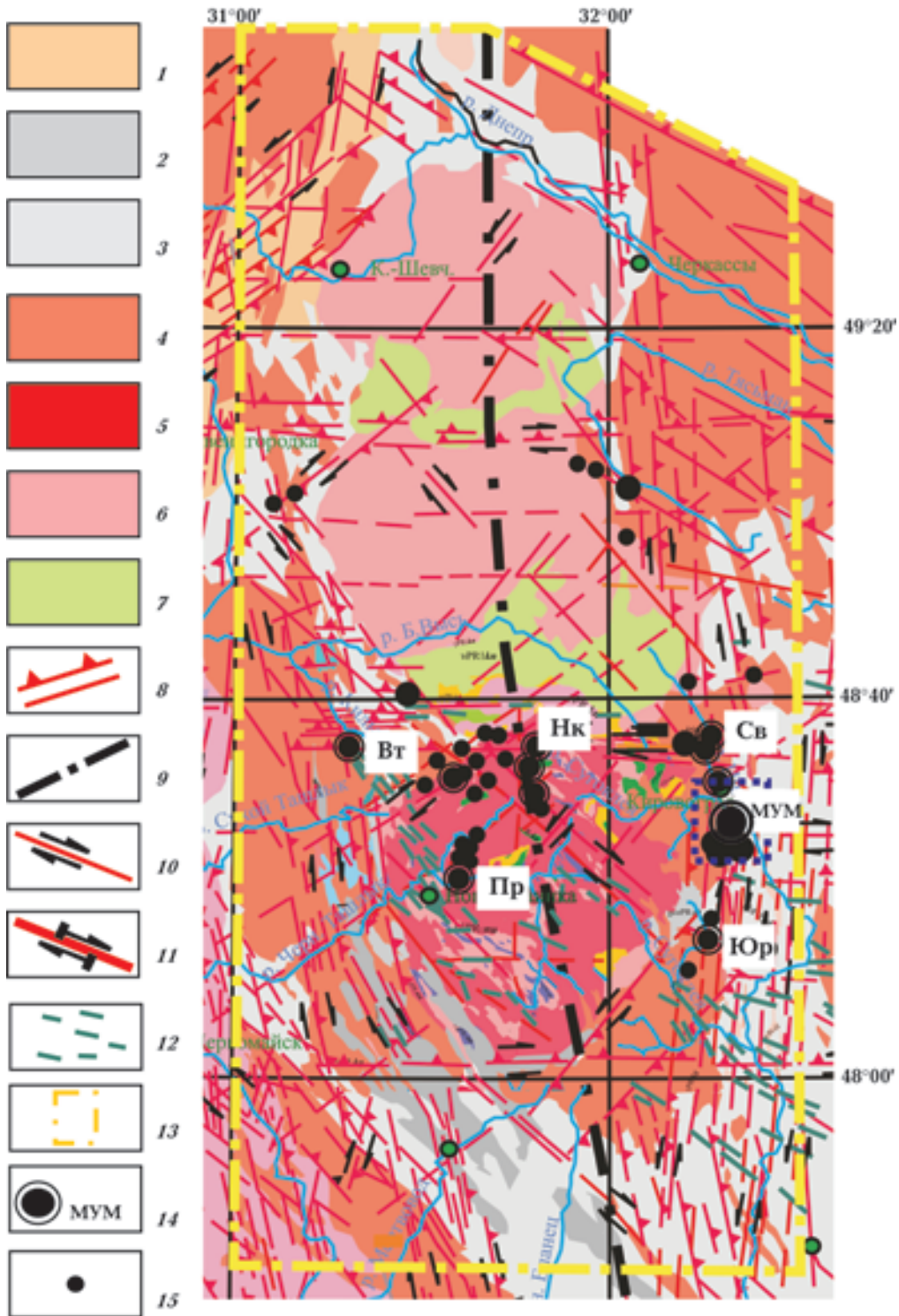


Рис. 1. Схема геологического строения центральной части Ингульского мегаблока УЩ: 1 — росинско-тикичская серия (AR_3), звенигородский, гайсинский комплексы (PR_1-I); ингуло-ингулецкая серия (PR_1-I); 2 — родионовская, спасовская свиты; 3 — рошаховская, чечелеевская свиты; 4 — кировоградский, уманский, ставищанский комплексы (PR_1-I); 5 — новоукраинский (PR_1-I), корсунь-новомиргородский комплексы (PR_1-II); 6 — рапаквивидные граниты; 7 — габбро-анортозиты; 8 — эшелонированные сколы (сместители) зон разломов (берг-штрихи указывают направление падения); 9 — трансрегиональный тектонический шов Херсон — Смоленск; кинематические знаки для зон разломов: 10 — правый сдвиг, 11 — взбросо-сдвиг, 12 — дайки габбро-диабазов, лампрофиров и др.; 13 — контур КРР; 14 — урановые месторождения (МУМ — Мичуринское, Вт — Ватутинское, Св — Севериновское, Юр — Юрьевское, Нк — НовоCONSTANTINOVSKOYE, Пр — Партизанское); 15 — рудопроявления урана.

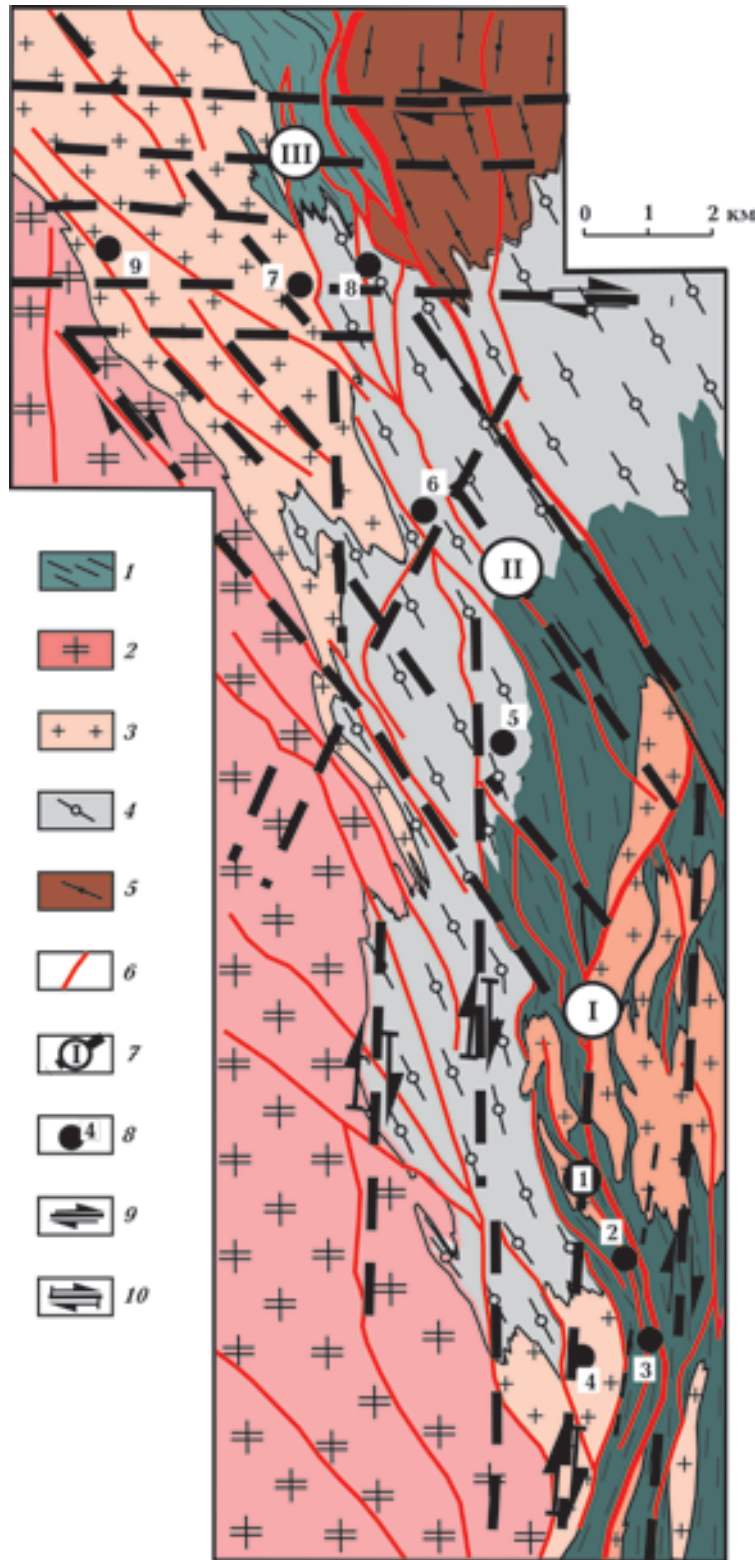


Рис. 2. Геологическая карта центральной части Кировоградской зоны разломов, составленная по материалам КП «Кировгеология» и тектонофизическим данным: 1 — палеопротерозойские гнейсы; кировоградский гранитоидный комплекс; 2 — трахитоидные граниты новоукраинского комплекса, 3 — среднезернистые и порфировидные граниты кировоградского комплекса; 4 — мигматиты; 5 — гранитизированные гнейсы и кристаллические сланцы; 6 — разломы по данным КП «Кировгеология»; 7 — зоны разломов, по [Гинтов, Мычак, 2011] (I — Кировоградская, II — Лелековская, III — Субботско-Мошоринская); 8 — урановые месторождения (1 — Мичуринское, 2 — Северо-Коноплянское, 3 — Южно-Коноплянское, 4 — Западно-Коноплянское, 5 — Центральное, 6 — Лелековское, 7 — Северинское, 8 — Подгайцевское, 9 — Щорсовское); кинематические знаки для зон разломов: 9 — правый сдвиг; 10 — взбросо-сдвиг.

ются в ураново-рудные поля, которые в зависимости от геологической позиции подразделяются на два типа [Старостенко и др., 2010]. К первому относятся Севериновское, Мичуринское, Лелековское, Юрьевское рудные поля, приуроченные к Кировоградской зоне разломов, и Ватутинское рудное поле, относящееся к Звенигородско-Братской. Их отличает линейно-групповое распределение месторождений в соответствии с ориентировкой зон скальвания и достаточно большой набор структурно-формационных элементов, характеризующих формирование уранового оруденения. Ураново-рудные поля второго типа — Новокопчанское и Партизанское — находятся в Новоукраинском массиве. Для них характерна приуроченность месторождений к узлам сочленения различно ориентированных разломов и более простое геологическое строение. Оба типа ураново-рудных полей образовались на кировоградском и лелековском этапах деформации земной коры КРР [Гинтов, 2005].

В геодинамическом развитии Ингульского мегаблока выделяется 14 этапов деформации, в том числе кировоградский и лелековский правосдвиговые. Поскольку в свое время тектонофизическое изучение центральной части Ингульского мегаблока началось с Кировоградской зоны разломов, все фазы деформации, установленные в ней (кроме самых древних), были отнесены к кировоградскому этапу [Аронский и др., 1997; Гинтов, 2005]. Однако на основании проведенных в последующие годы исследований Корсунь-Новомиргородского плутона, Субботско-Мошоринской зоны разломов и Новоукраинского массива шкала деформаций этой части щита была уточнена [Гинтов, Мычак, 2011]. В частности, многие фазы деформации моложе 1,6 млрд лет были отнесены к субплатформенному этапу, между ними и кировоградским выделены самостоятельные лелековский, субботско-мошоринский и корсунь-новомиргородский этапы, а в кировоградский этап включены следующие за кировоградской бобринецко-живановская и новокопчанская фазы.

Кировоградская зона разломов (основное простирание северо-северо-восток 4°) — одна из наиболее широких (до 20 км) зон Ингульского мегаблока. Она деформирует новоукраинские и кировоградские граниты, возраст которых 2,05—2,0 млрд лет. Возраст образованных в ней кварц-полевошпатовых метасоматитов, золотого (2,0 — 1,95 млрд лет) и уранового (~1,8 млрд лет) оруденения [Белевцев, 2002],

явно связанных с процессами разломообразования, свидетельствует о том, что время заложения зоны около 1,95 млрд лет [Гинтов, Мычак, 2011]. Особый интерес представляет наиболее молодая бобринецко-живановская фаза разломообразования кировоградского этапа (1,9—1,8 млрд лет), в которую образовались сдвиго-надвиговые структуры, четко фиксируемые на некоторых урановых месторождениях.

На лелековском этапе в КРР сформировались многие зоны разломов диагональной системы — Лелековская, Марьевская, Нерубаевско-Лозоватская, Новоукраинская и другие, при чем зоны северо-западного простирания были заложены как правые сдвиги, а северо-восточного — как левые. Они моложе Кировоградской зоны (пересекают ее), но древнее Субботско-Мошоринской и пород Корсунь-Новомиргородского плутона, следовательно, возраст лелековского этапа 1,8—1,9 млрд лет.

Практически все ураново-рудные поля вытянуты в субмеридиональном либо близком ему направлении, в соответствии с простиранием Кировоградской зоны разломов второго порядка — R-сколов, трещин отрыва и структур подворота. Последние могут быть ориентированы по отношению к генеральному простиранию зоны под углом до 45° . Зоны разломов диагональной системы лелековского этапа также пересекают Кировоградскую зону разломов под углом до 45° (см. рис. 2), поэтому структура рудных полей достаточно сложна и наряду с субмеридиональным простиранием породных и рудовмещающих комплексов не менее часто встречается и северо-западное.

Геологическое строение МУМ достаточно подробно описано в работе [Старостенко и др., 2010]. К этому добавим, что месторождение расположено в зоне правого сдвиго-надвига, кинематика которого была установлена при изучении Бобринецко-Живановской и Центральнокировоградской зон скальвания Кировоградской зоны разломов [Аронский и др., 1997]. Правда, в то время линия сдвиго-надвига проводилась несколько западнее МУМ. Однако ознакомление с материалами геологоразведочных работ показало, что ширина зоны сдвиго-надвига составляет 5—7 км и Мичуринское рудное поле принадлежит к одному из самых восточных швов этой зоны. Собственно шов (сместитель) представлен blastomylonitami и милонитами, падающими на восток под углом $50\text{--}60^\circ$. В его лежащем крыле развиты



Рис. 3. Пример зеркала скольжения с горизонтальными штрихами (правый сдвиг). Левый берег р. Ингул в с. Завадовка.

среднезернистые, трахитоидные и порфири-видные граниты кировоградского комплекса, в меньшей степени встречаются биотитовые, амфибол-биотитовые, гранат-биотитовые и пироксен-биотитовые гнейсы, полосы которых падают на восток под углом 40—50°. Все кристаллические породы лежачего крыла, где сосредоточены и ураноносные натровые метасоматиты, в той или иной степени мигматизированы и катаклазированы. В всячем крыле развиты те же граниты, мигматиты и гнейсы, а также многочисленные жилы пегматитов и аплитов, падающие на восток под углом 65—70°. Рудонасыщенная часть примыкает к сместителю со стороны лежачего бока и представлена десилицированными породами (сиенитами) и альбититами. Альбититовые тела, к которым приурочены урановые руды, имеют падение от 50 до 55° и выклиниваются на глубине 500 м. Такое же падение имеют и десилицированные породы, т. е. рудонасыщенная часть месторождения расположена в более полого падающих структурах, чем сместители. Это соответствует кинематике взбросов или надвигов, когда структуры растяжения отклоняются в сторону лежачего крыла.

Результаты тектонофизических исследований 2010 г. определяют характер напряженно-деформированного состояния горного массива, содержащего Мичуринское месторождение, на этапах, последовавших уже после его формирования. До этого, как уже отмечалось, состоялись кировоградский, лелековский, субботско-мошоринский и корсунь-новомиргородский этапы, во время которых произошло формирование всей группы ураново-рудных полей КРР.

В таблице приведены данные об этих и более поздних этапах [Гинтов, Мычак, 2011]. Деформации земной коры, описываемые ниже, вряд ли могли повлиять на размещение месторождений, но могли способствовать перераспределению рудного вещества в них и вносить в структуру рудных тел детали (трещиноватость, сдвиги и др.), которые необходимо учитывать при разведке.

Всего выполнено 159 измерений азимутов и углов падений тектонитов, хрупких трещин, в том числе 24 зеркала и борозд скольжения, что позволило определить напряженно-деформированное состояние земной коры участка после начала формирования МУМ.

Результаты изучения зеркал скольжения приведены на рис. 3, а, структурно-парагенетического анализа трещиноватости — на рис. 4 и 5.

Идентификация типов сколов позволила определить положения осей нормальных напряжений (см. рис. 5), объединяющиеся в пять групп, которые отображают пять фаз деформаций в пределах МУМ. Координаты главных осей и деформационные режимы (по отношению к ориентации МУМ) следующие:

- 1) $\sigma_{1(15)}$ — 62/05°, $\sigma_{3(15)}$ — 332/01° — сдвиговый;
 - 2) $\sigma_{1(16)}$ — 185/08°, $\sigma_{3(16)}$ — 274/05° — сдвиговый;
 - 3) $\sigma_{1(17)}$ — 298/03°, $\sigma_{3(17)}$ — 208/04° — сдвиговый;
 - 4) $\sigma_{1(11)}$ — 120/32°, $\sigma_{3(11)}$ — 28/05° — сдвиговый;
 - 5) $\sigma_{1(10)}$ — 178/78°, $\sigma_{3(10)}$ — 266/04° — сбросовый;
- (в числителе — азимут ориентации оси, в знаменателе — угол наклона на верхней полусфере стереограммы).

Первые три поля напряжений и деформационные режимы, определенные по массовым

замерам трещиноватости, более надежные. Последние два поля определены по единичным парагенезисам, но также представляют интерес.

Поскольку ось растяжения во всех случаях горизонтальна, изученная трещиноватость не отражает бобринецко-живановскую сдвигонадвиговую фазу деформации, последнюю в кировоградском этапе (см. таблицу), при которой формировалась структура МУМ. Следовательно, все вышеприведенные фазы деформации моложе кировоградского этапа. Однако на стереограмме (см. рис. 4) выделяются два максимума сгущения полюсов трещин северо-западного простирания и северо-восточного падения. Они не имеют парагенетических связей, поэтому не использованы при определении поля напряжений. Вместе с тем эти трещины могут быть разновозрастными с фазой формирования месторождения и соответствовать кировоградскому или лелековскому этапам разломообразования.

Поле напряжений 1 по направлению главных осей близко к полю напряжений бобринецко-живановской фазы, но является собственно сдвиговым, т. е. можно предположить, что сразу после процессов сдвигонадвига плоскости σ_1 и σ_3 приняли обычное горизонтальное положение при сохранении ориентировки главных осей, но уже после ки-

ровоградского этапа.

Поле напряжений 2 (широтное растяжение, меридиональное сжатие) очень близко к полю лелековского этапа разломообразования, поэтому, скорее всего, отражает деформации именно этого этапа (хотя оно близко и к полям напряжений корсунь-новомиргородского этапа).

Поле напряжений 3 с диагонально ориентированными горизонтальными осями, как, возможно, и поле 4, близко к полю напряжений субботско-мошоринского этапа, а поле напряжений 5 отражает сбросовый деформационный режим, который ближе всего к фазе покровская-II (см. таблицу) позднепротерозойских деформаций.

Поля напряжений по данным измерений зеркал скольжения.

Штриховка на зеркалах отражает сдвиговые перемещения (рис. 4, 6), относящиеся к молодым фазам деформации, поскольку штрихи и борозды, образованные в более ранние фазы, сохраняются редко.

Интерпретация кинематическим методом позволила определить две группы положений главных осей нормальных напряжений. Первая группа определена по девяти зеркалам (рис. 6, а): взбросо-сдвиговый режим, близкий

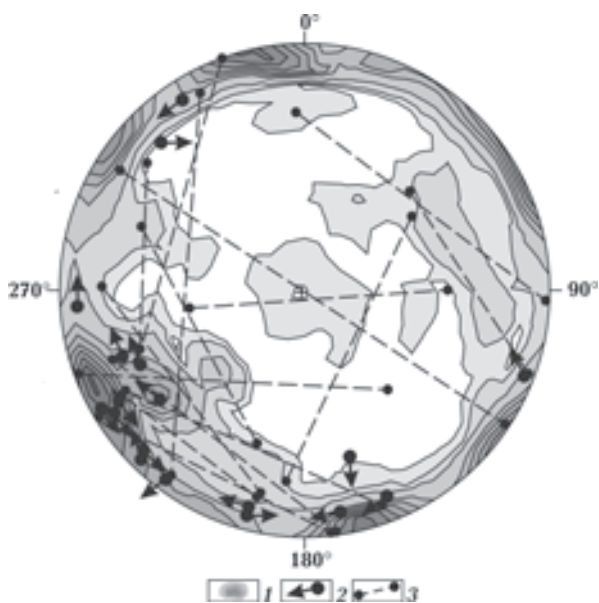


Рис. 4. Сводная стереограмма тектонофизических данных по району Мичуринского месторождения (верхняя полушфера): 1 — изолинии концентрации полюсов трещин с сечением через 0,25 %; 2 — полюсы зеркал скольжения и векторы смещения; 3 — полюсы парагенетически связанных трещин.

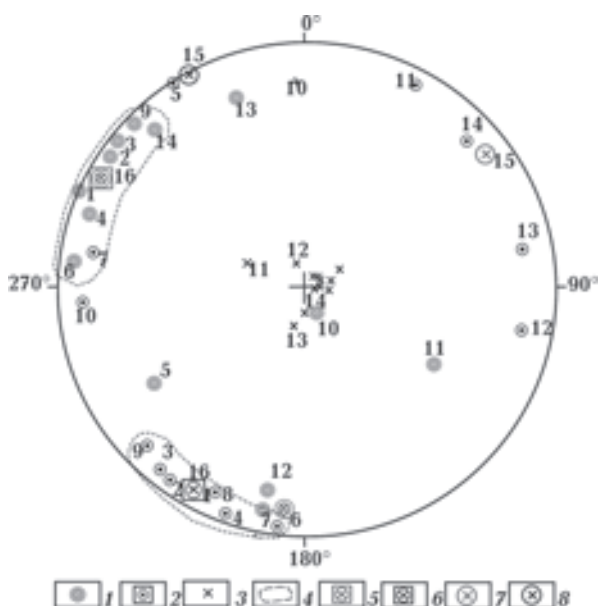


Рис. 5. Результаты интерпретации тектонофизических наблюдений трещиноватости: 1—3 — оси главных нормальных напряжений (1 — σ_1 , 2 — σ_3 , 3 — σ_2); 4 — контуры групп главных осей сжатия и растяжения; 5, 6 — средневзвешенные значения главных осей (5 — сжатия, 6 — растяжения); 7, 8 — оси главных нормальных напряжений, полученные по максимумам концентрации полюсов трещин (7 — σ_1 , 8 — σ_3).

Этапы разломообразования Кировоградского рудного района УЩ, по [Гинтов, Мычак, 2011]

| Период | Обобщенные поля напряжений | Деформационный режим | Зоны скальвания | Зоны разломов | Циклы |
|--------------------|--------------------------------------|----------------------|-----------------|--|--|
| | σ_1 | σ_2 | | | |
| PR _{1-II} | <i>Кировоградский этап</i> | | | | |
| | 49/0 | 319/0 | t/p | Центрально-Кировоградская Клинцовско-Верхнеингульская Алексеевская Инженерно-Степановская | Кировоградский — — — |
| | 62/05 | 162/55 | | Бобринецко-Живановская Новоконстантиновская | — — |
| | <i>Лелековский этап</i> | | | | |
| | 3/00 | 273/05 | t/p | Лелековская Новоукраинская Нерубаевско-Лозоватская Глодосская Марьевская | Лелековский Новоукраинский Нерубаевско-Лозоватский Глодосский Марьевский |
| | 90/00 | 360/00 | | Компаниевская | Кировоградский |
| | <i>Субботско-Мошоринский этап</i> | | | | |
| | 315/00 | 45/00 | t/s | Субботско-Мошоринская Смелянская Бобринецкая Конкская | Субботско-Мошоринский Смелянский Бобринецкий Конкский |
| | <i>Корсунь-Новомиргородский этап</i> | | | | |
| | 6/00 171/00 | 96/00 81/00 | t/s | — | Трансрегиональный шов Херсон — Смоленск |
| PR ₃ | <i>Сублатформенный этап</i> | | | | |
| | 145/00 | 235/90 | t/p | Калиновская | — |
| | 360/00 | 90/76 | t/s | Клинцовская-II | — |
| | 150/90 | 60/00 | t/p | Завадовская | — |
| | 280/70 | 05/ 00 | t/p | Калиновско-Сасовская | — |
| | 270/17 | 48/ 70 | t/p | Покровская-I | — |
| | 53/70 | 260/19 | t/s | Покровская-II | — |
| | 357/50 | 177/40 | t/s | Клинцовская-III | — |
| 300/10 | 120/80 | t/p | Алексеевская-1 | — | |

к сдвиговому, σ_1 — 267/20°, σ_3 — 167/40° при субширотном сжатии. Режим субширотного сжатия после кировоградского этапа, определенный по зеркалам, был установлен только в компаниевской фазе деформации лелековского этапа (см. таблица), поэтому можно со-

поставить с возрастом компаниевской фазы деформации.

Вторая группа осей по восьми зеркалам (рис. 6, б) интерпретируется неоднозначно, можно определить четыре основных варианта: 1) σ_1 — 170/00°, σ_3 — 260/00° (80/00°), чистый

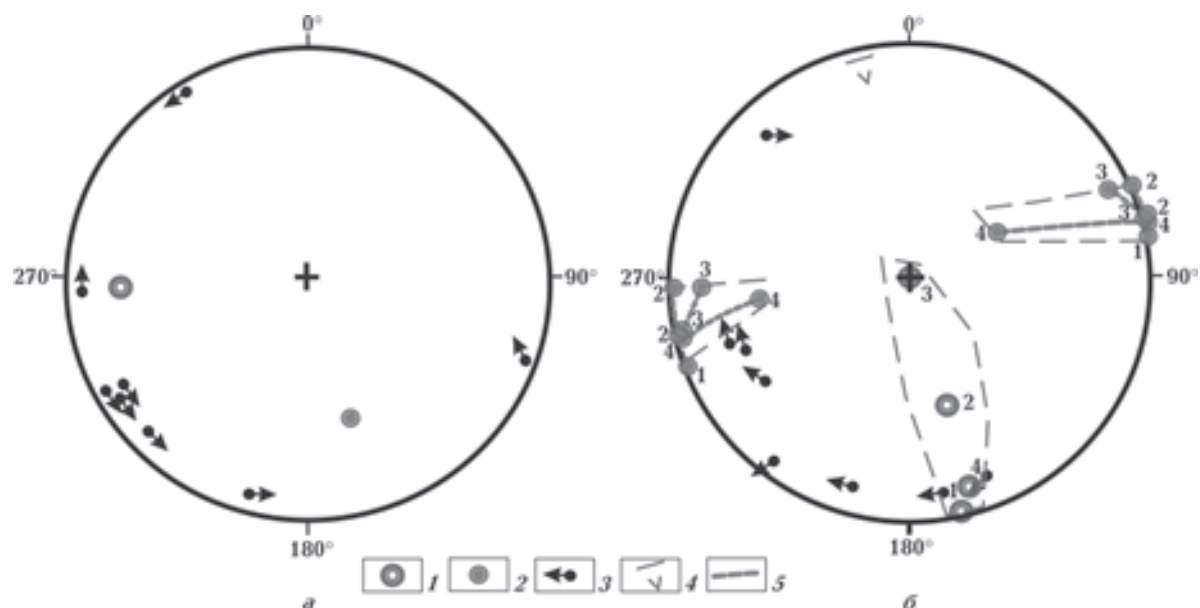


Рис. 6. Стереогаммы векторов подвижек и осей напряжений по результатам замеров зеркал скольжения: с подвижками левого типа (а), правого типа (б): 1 — оси сжатия, 2 — оси растяжения, 3 — вектор подвижки, 4 — контуры возможного положения главных осей σ_1 и σ_3 , 5 — траектории перемещения осей σ_3 в зависимости от положения осей σ_1 .

сдвиг по отношению к простиранию горных пород МУМ при субширотном растяжении; 2) σ_1 — $170/45^\circ$, σ_3 — от $260/00$ до $268/00^\circ$ или от $70/08^\circ$ до $80/00^\circ$, сброс или сбросо-сдвиг при субширотном растяжении; 3) σ_1 — 90° , σ_3 — от $252/00$ до $265/00^\circ$ или от $70/00$ до $82/00^\circ$, сброс при субширотном растяжении; 4) σ_1 — $166/10^\circ$, σ_3 — от $266/00$ до $266/30^\circ$ или от $75/00$ до $59/40^\circ$. Следовательно, возможны как вариант сдвигового деформационного режима, так и сбросового (или сбросо-сдвигового).

Обратим внимание на практическое совпадение координат осей сжатия—растяжения, определенных в первой группе зеркал и во втором варианте второй группы, причем оси сжатия и растяжения меняются местами. Если принять второй вариант как наиболее вероятный, то в данном случае наблюдается отражение реверсного режима движений, уже неоднократно отмечавшееся в этом регионе.

Однако более важный результат кинематического анализа зеркал второй группы — это четкая фиксация субширотного растяжения земной коры в пределах месторождения. Последнее субширотное растяжение земной коры при сдвиговом деформационном режиме было отмечено во время формирования Корсунь-Новомиргородского плутона — корсунская и городищенская фазы (см. таблицу). Поэтому можем уверенно заключить, что зеркала скольжения второй группы отражают именно эти фазы, а субширотное растяжение,

приведшее к интрузии габбро-анортозитов и рапакививидных гранитов, могло вызвать и перераспределение рудного вещества в месторождениях КРР.

Выводы. 1. Образование в Кировоградской, Лелековской, Звенигородско-Братской и других зонах разломов КРР структурно-формационных комплексов динамометаморфической и метасоматической природы, содержащих урановое оруденение, произошло, как было установлено ранее, на кировоградском и лелековском этапах разломообразования в метаморфическом и гранитоидном матриксе, сформированном в раннем протерозое.

2. Главной рудообразующей фазой деформации в пределах МУМ была бобринецко-живановская сдвиго-надвиговая, во время которой формировались трещины отрыва или растяжения, падающие на восток-северо-восток под углом 50 — 55° , и рудовмещающая толща концентрировалась непосредственно в поднадвиговой зоне.

3. И кировоградский, и лелековский этапы разломообразования были транспрессивными, поэтому возникновение зон проницаемости для рудообразующих растворов необходимо связывать с образованием трещин растяжения и общим разрыхлением пород за счет процессов дилатансии.

4. После транспрессионных этапов разломообразования наступили транстензионные субботско-мошоринский и корсунь-

новомиргородский этапы, а также покровская-II фаза растяжения, во время которых существовали условия для активных гидротермально-метасоматических процессов. На этих этапах, скорее всего, шло перераспределение рудного

вещества и окончательное оформление месторождений в современном виде.

5. Все сказанное подтверждается материалами изучения напряженно-деформированного состояния земной коры в районе МУМ.

Список литературы

- Аронский А. А., Гинтов О. Б., Гордиенко В. В., Муровская А. В., Никиташ Л. П. Напряженно-деформированное состояние и этапы геодинамического развития Клинцовско-Верхнеингульской тектонометасоматической зоны УЩ, перспективной на золото // Геофиз. журн. — 1997. — **19**, № 5. — С. 50—62.
- Бакаржиев А. Х., Макивчук О. Ф., Низовский В. Н., Попов Н. И. Кировоградский урановорудный район Украины // Отечественная геология. — 1995. — № 6. — С. 45—54.
- Белевцев А. Р. Изотопный возраст и условия локализации золотого оруденения в Кировоградском блоке Украинского щита: Автореф. дис. ... канд. геол. наук. — Киев, 2002. — 20 с.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. — Киев: Феникс, 2005. — 572 с.
- Гинтов О. Б., Мычак С. В. Геодинамическое развитие Ингульского мегаблока Украинского щита по геолого-геофизическим и тектонофизическим данным. I // Геофиз. журн. — 2011. — **33**, № 3. — С. 102—118.
- Старостенко В. И., Казанский В. И., Попов Н. И., Дрогицкая Г. М., Заяц В. Б., Макивчук О. Ф., Трипольский А. А., Чигеров М. В. От поверхностных структур к интегральной глубинной модели Кировоградского рудного района (Украинский щит). 1 // Геофиз. журн. — 2010. — **32**, № 1. — С. 3—33.