

## Взбросы и надвиги в земной коре Кировоградского рудного района и связь с ними уранового оруденения

© О. Б. Гинтов, С. В. Мычак, 2012

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 29 июня 2011 г.

Представлено членом регколлегии М. И. Орлюком

За даними тектонофізичного вивчення уранових родовищ центральної частини Українського щита показано, що родовища сформувалися на етапі стиснення земної кори між двома етапами розтягнення. Стиснення заважало наскрізному проходженню рудних розчинів до земної поверхні, вище ерозійного зрізу. При цьому утворювались структури типу підкидів, висячі крила яких слугували екраном для рудних розчинів. Зруденіння концентрувалося переважно у розривах, що залягають похило (насувах) і кінематично спряжені з підкидами.

In accordance with the data of tectonophysical studies of a set of uranium deposits of the central part of the Ukrainian shield it was shown that those deposits were formed on the stage of compression of the Earth's crust between two stages of stretching. The stretching prevented through passage of ore solutions to the day surface above the surface of erosion. In this case the structures of uplifts type with hanging flanks that served as a screen for ore solutions were formed. Ore mineralization was mainly concentrated in ruptures with oblique bedding (thrust faults) and were kinamatically conjugated with thrusts.

Между двумя этапами мощного растяжения литосферы центральной части Ингульского мегаблока Украинского щита — херсонско-смоленским и корсунь-новомиргородским, когда сформировались Новоукраинский массив трахитоидных гранитов и Корсунь-Новомиргородский плутон габбро-анортозитов и рапакиви, установлены транспрессионные кировоградский и лелековский этапы, с которыми связано формирование месторождений полезных ископаемых (уран, золото, редкие металлы) [Гинтов, Мычак, 2011 а, б]. Названия этим этапам даны по названиям детально изученных тектонофизическими методами Кировоградской и Лелековской сдвиговых зон разломов.

Еще в 1997 г. [Аронский и др., 1997] в пределах Кировоградской зоны разломов была выделена Бобринецко-Жевановская зона скалывания *сдвиго-надвигового* типа, изученная в обнажениях рек Лозоватка, Сугоклея и ее притока — Компанеевского ручья. Простирание зоны субмеридиональное, ширина около 0,5 км, поле тектонических напряжений, с

которым связан правый сдвиго-надвиг,  $\sigma_1^*$  —  $62/05^\circ$ ,  $\sigma_3$  —  $162/55^\circ$ . Соответственно в кировоградском этапе разломообразования сдвигового деформационного режима была установлена особая сдвиго-надвиговая бобринецко-жевановская фаза деформации, отличающаяся от других фаз развития Кировоградской зоны разломов.

В то время авторам еще не были известны разрезы урановых месторождений Кировоградского рудного района (КРР), опубликованные позже [Старостенко и др., 2007; 2010; 2011]. Поэтому прямой связи между бобринецко-жевановской фазой деформации и формированием урановых месторождений не отмечалось. После ознакомления с разрезами авторы настоящей статьи выполнили более детальные тектонофизические наблюдения в районах урановых месторождений КРР — Мичуринского в 2010 г. [Мычак, 2012], Ватутинского и Ново-константиновского в 2011 г. (в пределах последнего кристаллический фундамент не об-

\* Сжатие принято положительным при  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ .

нажается, поэтому исследована южная часть Новокопстантиновской зоны разломов по р. Черный Ташлык к северу от с. Ровное).

Мичуринское месторождение расположено в пределах Кировоградской зоны разломов (на границе Центрально-Кировоградской и Бобринецко-Жевановской зон скальвания [Гинтов, 2005]), Новокопстантиновское — в пределах одноименных разлома и зоны скальвания [Гинтов, Мычак, 2011 а, табл. 1], Ватутинское — в восточном борту Звенигородско-Братской зоны разломов (рис. 1).

Новокопстантиновская зона скальвания — аналог Бобринецко-Жевановской, однако, поскольку она находится вне пределов Кировоградской зоны разломов, фаза деформации, с которой связана эта зона скальвания, названа ее собственным именем [Гинтов, Мычак, 2011 б].

Кировоградская и Звенигородско-Братская зоны разломов закладывались как правые сдвиги в условиях сжатия. При этом последняя достаточно древняя (возраст заложения — граница архея и раннего протерозоя), следовательно, образование Ватутинского месторождения относится к фазе активизации, последовавшей после заложения зоны разломов через ~800 млн лет.

Как правило, фазы активизации сопровождаются появлением новых зон скальвания. Такой зоной скальвания в пределах Звенигородско-Братской зоны разломов является, по видимому, закартированный геологами Кировского ПГО Новопавловский разлом [Старостенко и др., 2011] — южная часть Новопавловско-Ярошевской зоны [Бакаржиев и др., 1995], к которому и относится Ватутинское месторождение. Простирается его субмеридиональное, как Бобринецко-Жевановской и Новокопстантиновской зон скальвания, однако падение не на восток, как у первых двух, а на запад. Этому есть свое объяснение, о чем будет сказано ниже.

*Бобринецко-Жевановская зона скальвания (Б-ЖЗ).* В работе [Мычак, 2012] было показано морфоструктурное сходство участка Мичуринского уранового месторождения и Б-ЖЗ, поэтому детальное тектонофизическое изучение последней выполнялось в районе ее наилучшей обнаженности — в карьере и балке южнее с. Жевановка (см. рис. 1). Участок детальных исследований находится в 25 км южнее месторождения, но Б-ЖЗ на протяжении 45 км между городами Кировоград и Бобринец сохраняет все свои морфоструктурные осо-

бенности. Горные породы представлены серыми кировоградскими порфирированными гранитами с незначительными признаками трахитоидности, что указывает на их переходный тип и близость Новоукраинского массива трахитоидных гранитов.

Основные системы разрывных нарушений Б-ЖЗ (рис. 2, а и 3) имеют азимуты и углы падения (координаты центров максимумов сгущения полюсов) 305/85° (максимум 1), 35/85° (4), 56/85° (2) и 105/30° (5). Максимумы 1 и 4 представляют собой сопряженные L- и L'-сколы, по которым восстанавливается поле напряжений  $\sigma_1$  — 350/05°,  $\sigma_3$  — 80/00°. Такое поле напряжений практически полностью соответствует полю городищенской фазы деформации [Гинтов, Мычак, 2011 а], т. е. сеть трещин 1 и 4 связана с формированием Корсунь-Новомиргородского плутона и наложена на более ранние деформации.

Главный максимум динамометаморфической полосчатости и линейности в кировоградских гранитах (рис. 2, б) хорошо совпадает с максимумом 5 полюсов трещин. Следовательно, эта сеть разрывных нарушений генетически связана с основным процессом деформации земной коры Б-ЖЗ. По данным структурно-парагенетического анализа максимум 5 находится в парагенезисе с максимумом 2 (сколы Риделя). Восстановленное поле напряжений:  $\sigma_1$  — 218/32°,  $\sigma_3$  — 82/50°, правый сдвиг-надвиг по R-сколам несколько отличается от общего поля напряжений Б-ЖЗ, определенно ранее (является его частным случаем, так как отражает тот же деформационный режим).

Попытаемся грубо восстановить поле напряжений, в котором формировалось Мичуринское месторождение, воспользовавшись его разрезом, приведенным в работе [Старостенко и др., 2010]. Принимаем следующие параметры: простирается 340°, угол падения основного сместителя (L-скола) 60° на востоко-северо-восток, угол падения зоны оруденения (R-скола) 48° на востоко-северо-восток; деформационный режим — правый сдвиг-взброс. В этом случае поле напряжений будет следующим:  $\sigma_1$  ~ 210—220°/15—20°,  $\sigma_3$  ~ 30—40°/70—75°.

Как видим, поля напряжений, определенные на детальном участке Б-ЖЗ и в районе Мичуринского месторождения, достаточно близки, а различие в деформационных режимах сдвиг-взброса и сдвиг-надвига не принципиальны. Скорее всего, более крутое падение структур на месторождении связано с пере-

ходом к Центрально-Кировоградской зоне скальвания субвертикального падения.

Следовательно, ширину сдвига-надвиговой и сдвига-взбросовой Б-ЖЗ можно расширить до 7 км — расстояние по долготе между западным флангом Б-ЖЗ и Мичуринским месторождением.

*Новоконстантиновская зона скальвания* прослеживается на протяжении не менее 40 км, пересекая Новоукраинский массив трахитоидных гранитов в меридиональном направлении от его северной части в районе сел Мануйловка, Новоконстантиновка, Алексеево-Лутковка (на р. Малая Высь) до пос. Ровное в южной части. Обнажается по р. Черный Ташлык на участке между селами Мозолевка — Захаровка и пос. Ровное.

Новоконстантиновская зона скальвания пересекает зоны разломов северо-западного и северо-восточного направлений (см. рис. 1), относящихся к лелековскому этапу разломообразования, — Адабашскую, Нерубаевско-Лозоватскую, Шестаковско-Ворошиловскую и несколько более мелких [Бакаржиев и др., 1995; Гинтов, Мычак, 2011 б]. Поэтому достаточно обширное по площади Новоконстантиновское рудное поле [Старостенко и др., 2010] имеет сложные контуры с участками меридиональной, северо-восточной и северо-западной ориентировок.

Собственно Новоконстантиновское месторождение расположено на пересечении меридиональной и северо-восточной зон, но вытянуто вдоль рассматриваемой нами меридиональной. Участок сложен новукраинскими трахитоидными гранитами, превращенными в швах-смещителях в blastsмилониты и милониты. Рудные тела располагаются среди альбититов и десилицированных пород. Согласно разрезу месторождения [Старостенко и др., 2010], основной сместитель (L-скол) падает на восток под углом  $60^\circ$ , как и серия пологопадающих рудовмещающих разрывов (R-сколов), но под углом  $40^\circ$ . Однако плоскость разреза не перпендикулярна к простиранию рудного участка в плане, а пересекает его под углом  $\sim 60^\circ$ . Соответственно откорректированные углы падения составляют: L-сколов —  $63^\circ$ , R-сколов —  $45^\circ$ . Эти параметры весьма близки к параметрам Мичуринского месторождения, восстановленное по ним поле напряжений, учитывая правосдвиговую составляющую, следующее:  $\sigma_1 \sim 220\text{—}230^\circ/18\text{—}25^\circ$ ,  $\sigma_3 \sim 40\text{—}50^\circ/65\text{—}75^\circ$ .

В южной части зоны, которая, как можно предполагать, кинематически мало отличается

от северной закрытой части, развиты следующие системы трещинных и линейных структур (рис. 4). Субвертикальные парагенетически связанные системы трещин (рис. 4, а) представлены максимумами 3 ( $08/08^\circ$ ) и 1 ( $287/00^\circ$ ), т. е. R'- и L-сколами, интерпретация которых дает поле напряжений  $\sigma_1 — 53/04^\circ$ ,  $\sigma_3 — 323/02^\circ$ , больше всего соответствующее фазе активизации Субботско-Мошоринской зоны разломов [Гинтов, Мычак, 2011 а, табл. 2].

Среди систем пологопадающих разрывов наибольший интерес представляют системы 6 и 9, связанные парагенетически и согласующиеся по элементам залегания линейности и трахитоидности в новоукраинских гранитах (рис. 4, б). Их интерпретация дает поле напряжений  $\sigma_1 — 235/22^\circ$ ,  $\sigma_3 — 85/65^\circ$ , правый сдвиг-надвиг, учитывая, что угол падения деформационных структур в этой части Новоконстантиновской зоны скальвания более пологий. Это поле достаточно близко предполагаемому полю напряжений, рассчитанному по разрезу, и очень близко полю Б-ЖЗ в районе с. Жевановка. Однако, если основная группа разрывов 5 в районе южнее с. Жевановка выступала в виде R-сколов, то здесь группа трещин 6 — трещины отрыва Т, а парагенетически с ними связанная группа 9 — L'-сколы. В интенсивно развивающемся деформационном процессе сколы Риделя часто смещаются в сторону трещин отрыва, поэтому близость элементов залегания групп 5 (с. Жевановка) и 6 (к северу от пос. Ровное) не вызывает сомнения.

Учитывая полученные данные, можно утверждать, что в тектонофизическом смысле Новоконстантиновская зона скальвания относится к бобринецко-жевановской фазе деформации, а Новоконстантиновское месторождение — аналог Мичуринского. Определенное различие состоит в том, что на Новоконстантиновском месторождении рудовмещающие структуры размещены как в лежачем, так и в висячем крыле основного взброса. Это произошло потому, что R-сколы на данном участке близки к трещинам отрыва и глубоко проникли в висячее крыло.

*Новопавловская зона скальвания.* Структурно-геологическая карта и разрез района Ватутинского месторождения приведены в работе [Старостенко и др., 2011]. Описываемой зоне скальвания на карте соответствует Новопавловский разлом (см. рис. 1), а на разрезе — входящие в него Главный Западный и Восточный разломы. Здесь, на фоне среднезер-





Рис. 3. Соотношение разрывов, принадлежащих к группам 1 (вертикальные) и 5 (пологопадающие под углом 30—35°). На последних — милонитовая пленка. Жевановский карьер, юго-западная стенка.

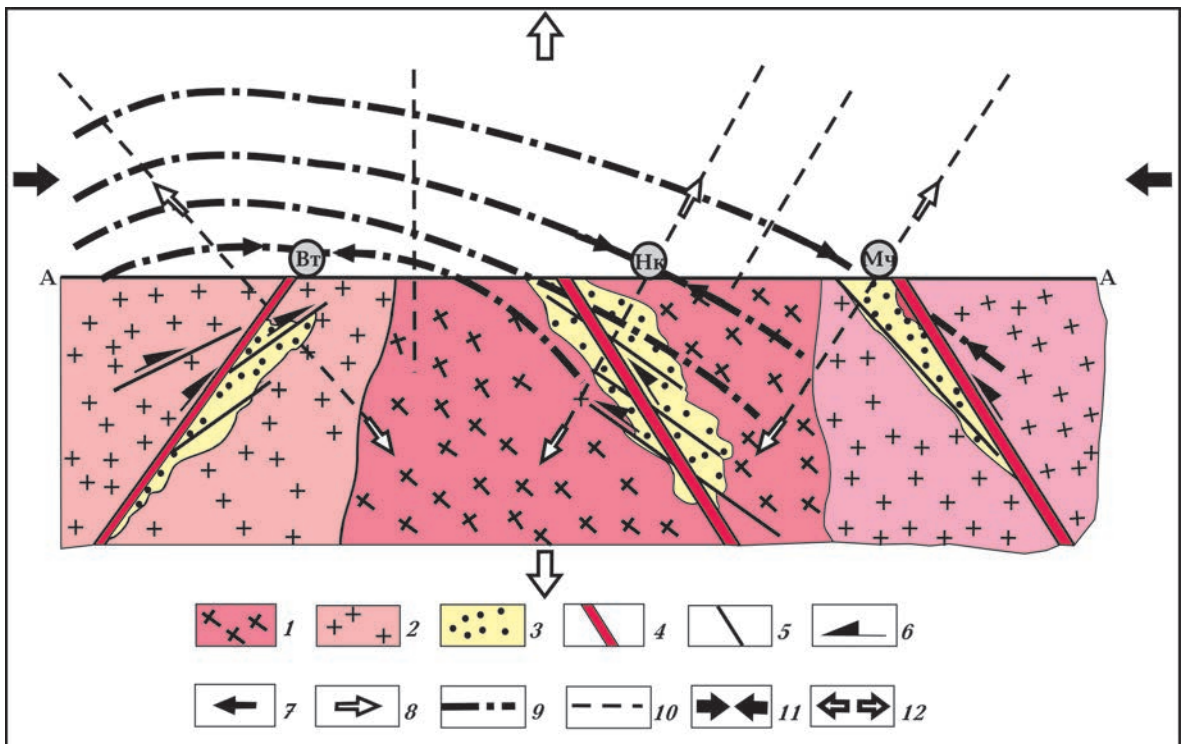


Рис. 6. Схематический разрез КРР по линии, соединяющей Ватутинское (Вт), Новокопстантиновское (Нк) и Мичуринское (Мч) месторождения, а также схема напряженного состояния КРР во время формирования урановорудных полей: 1 — новоукраинские трахитоидные граниты, 2 — кировоградские порфиоровидные граниты, 3 — рудные и рудовмещающие комплексы (ураноносные натровые метасоматиты), 4 — основные сместители (L-сколы), 5 — R-сколы и трещины отрыва, 6 — направление взбросов и надвигов; 7, 8 — главные оси нормальных напряжений (7 — сжатия ( $\sigma_1$ ), 8 — растяжения ( $\sigma_3$ )); 9, 10 — траектории (9 —  $\sigma_1$ , 10 —  $\sigma_3$ ); 11, 12 — генеральные направления (11 — сжатия КРР, 12 — растяжения КРР).

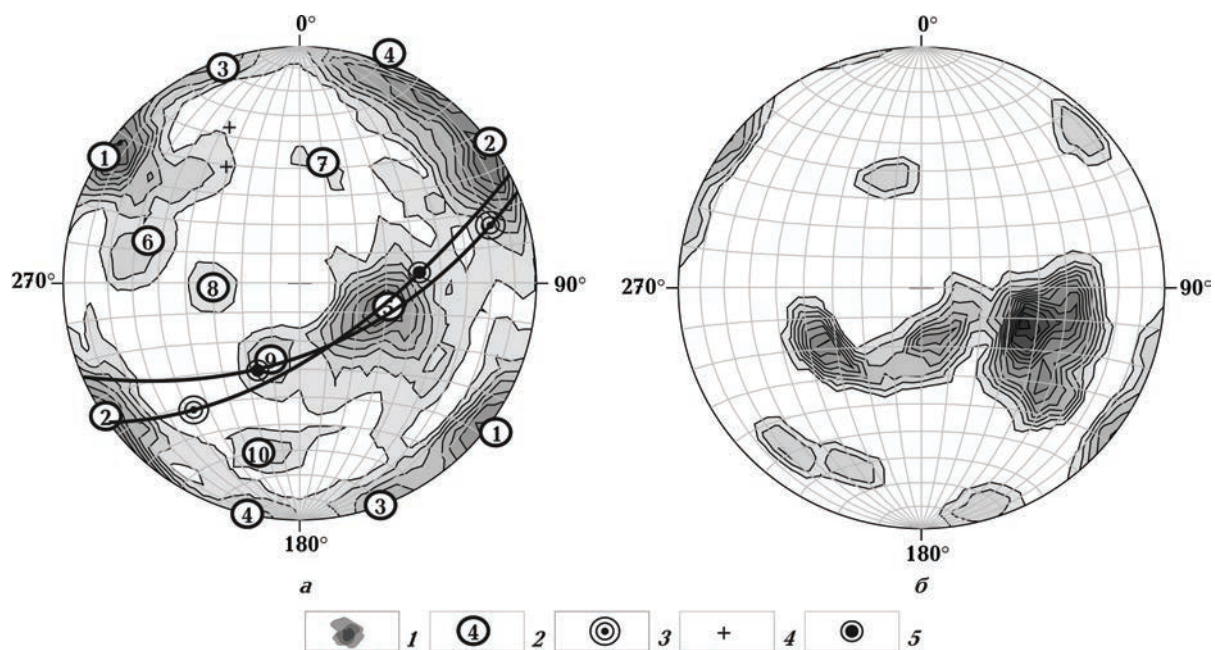


Рис. 2. Результаты тектонофизических исследований в пределах Бобринецко-Жевановской зоны скальвания на участке южнее с. Жевановка: *a* — стереограмма основных систем разрывов и полей напряжений (1 — изолинии концентрации полюсов разрывов; 2 — номера максимумов концентрации; 3—5 — оси главных нормальных напряжений (3 —  $\sigma_1$ , 4 —  $\sigma_2$ , 5 —  $\sigma_3$ ); *б* — стереограмма изолиний концентрации полюсов полосчатости и линейности в кировоградских гранитах.

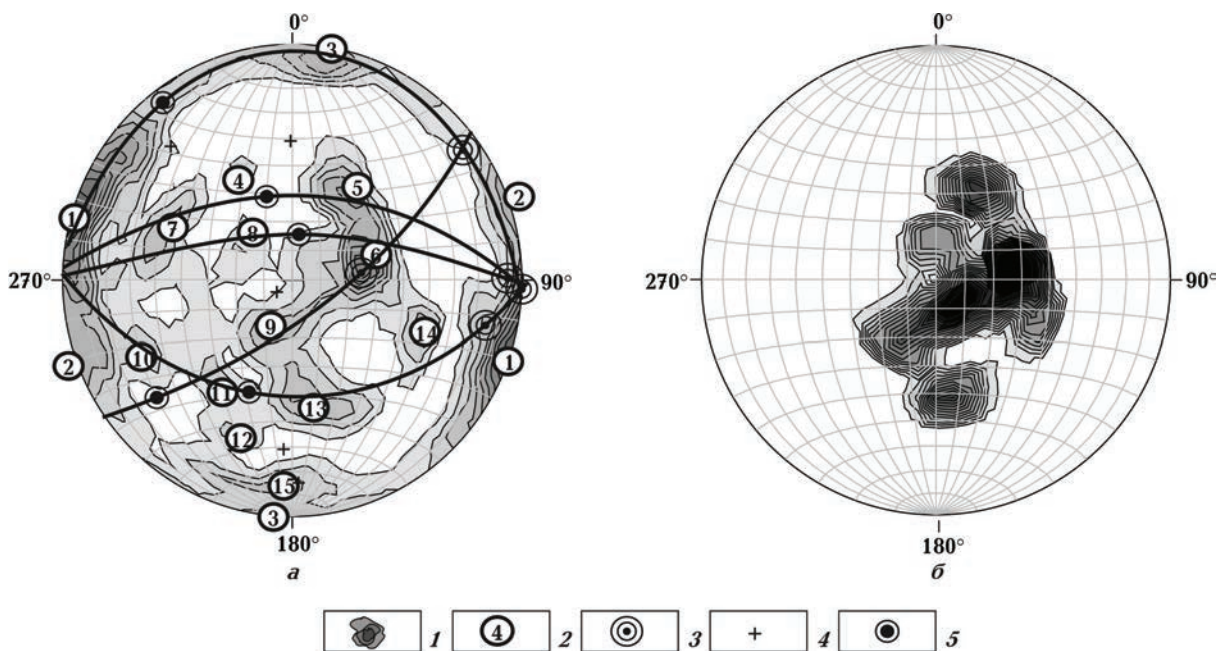


Рис. 4. Результаты тектонофизических исследований в пределах Новокопстантиновской зоны скальвания на участке севернее пос. Ровное: *a* — стереограмма основных систем разрывов и полей напряжений; *б* — стереограмма изолиний концентрации полюсов полосчатости и линейности в новоукраинских гранитах. Условные обозначения см. на рис. 2.

нистых гранитов и мигматитов кировоградского комплекса, редких полос гнейсов, наблюдаются blastsилонитовые швы-сместители, а также дисилицированные породы, альбититы и рудные тела, расположенные в лежачем боку.

По аналогии с Мичуринским и Новокопстантиновским месторождениями можно приближенно восстановить поле тектонических напряжений, в котором формировалось Ватутинское месторождение. Параметры: простирание  $\sim 0^\circ$ , угол падения сместителей (L-сколов)  $62^\circ$  на запад, угол падения рудных тел (R-сколов)  $47^\circ$  на запад, деформационный режим — правый сдвиг-взброс. Исходя из этого, ориентировочное поле напряжений будет:  $\sigma_1 \sim 35\text{--}40^\circ / 15\text{--}20^\circ$ ,  $\sigma_3 \sim 310\text{--}320^\circ / 50\text{--}55^\circ$ .

Обратимся теперь к данным тектонофизических измерений трещиноватости и линейности в районе месторождения, выполненных по правому и левому берегам р. Кильтень в пос. Смолино, селах Березовка, Успеновка, Акимовка и др. (рис. 5). Основные системы разрывов представлены максимумами 1—6, 8. Максимум 5 отражает элементы залегания, трещиноватости и линейности в тектонитах, в связи с чем данные структуры соответствуют основному процессу деформации при формировании месторождения. Максимум 5 ( $265/58^\circ$ ), по данным полевого изучения структурных па-

рагенезисов находится в парагенетической связи с максимумом 8 ( $354/50^\circ$ ), с которым они составляют пару L- и R'-сколов. Восстановленное поле напряжений:  $\sigma_1 — 40/06^\circ$ ,  $\sigma_3 — 308/46^\circ$ , правый сдвиг-взброс. Это поле неплохо согласуется с приведенным выше ориентировочным полем напряжений, восстановленным по данным разреза Ватутинского месторождения, тем самым позволяя сделать более уверенные выводы о геодинамической обстановке во время формирования месторождения.

Интерпретация парагенетически связанных систем трещиноватости 1 ( $285/05^\circ$ ) и 3 ( $05/07^\circ$ ) дает поле напряжений ( $\sigma_1 — 48/02^\circ$ ,  $\sigma_3 — 320/04^\circ$ , правый сдвиг), при котором группа трещин 3 выступает в виде L'-сколов, группа 1 — в виде R-сколов, а группа трещин 4 ( $335/12^\circ$ ) — переходная между трещинами отрыва и R'-сколами. Данное поле напряжений соответствует кировоградскому этапу разломо-образования [Гинтов, Мычак, 2011 а, табл. 1], который положил начало формированию рудогенных структур.

Следовательно, деформационные процессы, приведшие к формированию Ватутинского месторождения, начались с правосдвиговых движений (кировоградская фаза активизации Звенигородско-Братской зоны разломов), а закончились правым сдвиго-взбросом, который можно именовать *новопавловской* фазой деформации. Между этими фазами была еще промежуточная фаза, фиксируемая по парагенезисам групп трещин 5 и 4. Восстановленное поле напряжений ( $\sigma_1 — 198/10^\circ$ ,  $\sigma_3 — 294/31^\circ$ , правый взбросо-сдвиг), как и предыдущие, отражает северо-восточное — юго-западное сжатие, северо-западное — юго-восточное растяжение, переходное между начальным и конечным.

Как видим, деформационные режимы формирования всех трех месторождений — это сдвиги-взбросы или сдвиги-надвиги при северо-восточном — юго-западном сжатии. Вместе с тем азимуты падения сместителей и рудных зон Ватутинского, с одной стороны, Мичуринского и Новокопстантиновского, с другой, противоположные. Для объяснения этого явления необходимо обратиться к морфокинематической характеристике основополагающих зон разломов, в пределах которых образовались рассмотренные зоны скальвания, — Кировоградской и Звенигородско-Братской (кинематического аналога Первомайской). Детально она рассмотрена в работе [Гинтов, 2005, табл. 3.11 и 3.3].

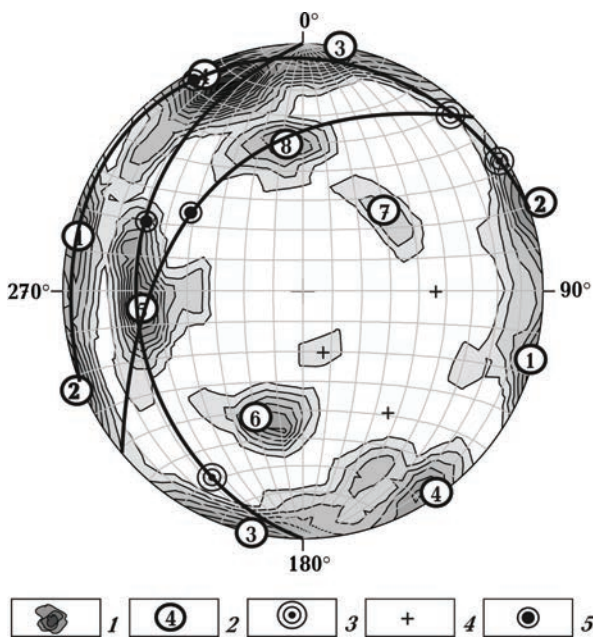


Рис. 5. Стереограмма основных систем разрывов, линейности и полей напряжений в районе Ватутинского месторождения. Условные обозначения см. на рис. 2.

В Кировоградской зоне разломов в главную фазу ее формирования все структуры второго порядка — L-, R-сколы, трещины отрыва Т имели субвертикальное падение. Поэтому при усилившемся субгоризонтальном сжатии (бобринецко-жевановская фаза) вероятность образования взбросо-надвиговых структур восточного или западного падения была одинаковой. Возникли сместители, падающие в восточных румбах.

В Звенигородско-Братской зоне разломов (первомайский этап) только L-сколы падают на северо-восток под углом 80°. В то же время сколы Риделя и, главное, трещины отрыва Т падают в западных румбах под углами 50, 66 и 80°, поэтому образование в новопавловскую фазу активизации сместителей западного падения вполне объяснимо.

На всех трех месторождениях падение тел рудовмещающих метасоматитов и рудных залежей более пологое, чем главных сместителей (L-сколы): на Мичуринском — 48°, Ново-константиновском — 45°, Ватутинском — 47° (рис. 6, см. с. 88). При взбросах и надвигах такое явление характерно для R-сколов и трещин отрыва, т. е. месторождения формировались в обстановке слабого сжатия или относительного растяжения. Таким образом, основная закономерность, которую удалось уста-

новить, заключается в том, что урановое оруденение КРР образовалось на этапе сжатия земной коры, произошедшем между двумя этапами растяжения, на которых сформировались Новоукраинский массив и Корсунь-Новомиргородский плутон. При этом рудовмещающие метасоматиты и рудные залежи тяготеют к локальным структурам слабого сжатия (R-сколам) или относительного растяжения (Т-структурам). Можно предположить, что сжатие земной коры способствовало задержке метасоматических и рудных растворов на некоторой глубине, в настоящее время вскрытой эрозионным срезом. В случае растяжения гидротермы и флюиды могли бы подняться к раннепротерозойской земной поверхности и сформированные ими рудные залежи были бы размыты последующими эрозионными процессами.

Рассмотренные три месторождения расположены в западной, центральной и восточной частях КРР, поэтому восстановленные поле напряжений и деформационный режим отражают общее напряженно-деформированное состояние КРР во время образования уранового оруденения (см. рис. 6). Это позволяет более конкретно формулировать геодинамические поисковые критерии на урановые месторождения подобного типа.

### 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 // Отеч. геология. — 1995. — № 6. — С. 45—54.

Гинтов О.Б. Полевая тектонофизика и ее применения 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 а. — 33, № 3. — С. 102—118.

Гинтов О.Б., Мычак С.В. Напряженные состояния и деформации земной коры центральной части Ингульского мегаблока по материалам тектонофизического изучения Новоукраинского массива // Геофиз. журн. — 2011 б. — 33, № 2. — С. 28—45.

Мычак С.В. Напряженно-деформированное состояние и кинематические характеристики верхней части земной коры в районе Мичуринского месторождения (Кировоградский рудный район) Украинского щита // Геофиз. журн. — 2012. — 34, № 2. — С. 125—133.

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. 3—16.