

О связи редкоземельно-редкометалльной и золоторудной минерализации с разломно-блоковой тектоникой Украинского щита. 2

С. В. Нечаев, О. Б. Гинтов, С. В. Мычак, 2019

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина
Поступила 30 ноября 2018 г.

У другій статті циклу «Про зв'язок рідкісноземельно-рідкіснометалевої і золоторудної мінералізації з розломно-блоковою тектоникою Українського щита» розглянуто внутрішню структуру, кінематику, вік і металогенію розломів Гайворон-Заваллівської ділянки Побузького гірничорудного району Українського щита. Показано, що Гайворонська зона розломів завширшки до 10 км складається з п'яти зон сколювання широтного простягання, що є межею поділу Бузького та Росинського мегаблоків щита. Кінематично зони сколювання закладені як ліві зсуви в полі напружень σ_1 45°, σ_3 315°, σ_2 \perp (західноінгулецький етап). Наймолодший етап їх активізації — суботсько-мошоринський (σ_1 312°, σ_3 42°, σ_2 \perp — правий зсув). Для власне Гайворонської зони сколювання характерний широкий розвиток лампрофірів з рідкісноземельною мінералізацією лантану, церію, ітрію, а також підвищений вміст титану, мангану, барію, хрому. В межах Хащуватської зони сколювання серед тектонітів відомі Соломіївське родовище водних фосфатів з ітрієвим складом руд і залізо-манганове родовище з пріоритетною тріадою ітрій, ітербій, германій, а також золото. Гранітоїди Устя-Ставської зони сколювання вирізняються аномально високим вмістом монациту. Вперше детально вивчено внутрішню структуру і кінематику Заваллівської зони розломів, ширина якої становить не менше 4 км. Показано, що зона складається з двох зон сколювання — широтної власне Заваллівської, що, як і Гайворонська зона розломів, закладалася на західноінгулецькому етапі, і північно-східної Піщансько-Жакчицької, закладеної на пізнішому маньківському етапі (вперше виділеному). Обидві зони сколювання спостерігаються у Заваллівському графітовому кар'єрі. Остання фаза активізації сталася на суботсько-мошоринському етапі. Висловлено думку, що Заваллівська структура є не синклінальною складкою, як передбачалося, а внутрішньорозломною лінзою гідротермалітів-метасоматитів. До них належать графіт-біотитові гнейси і сланці, рудні та безрудні кварцити, кальцифіри і скарноїди. Крім світових запасів графіту в зоні розломів (у зонах окварцування і сульфідизації графіт-біотитових гнейсів) виявлено підвищені концентрації золота, срібла, платини, іридію.

Ключові слова: Український щит, Середнє Побужжя, зони розломів, металогенія, динамометаморфізм, метасоматити.

Введение. В первой статье [Нечаев и др., 2019] были рассмотрены общие закономерности пространственной связи восьми групп проявлений редкоземельно-редкометалльной и золоторудной минерализации с конкретными зонами разломов (з.р.) Украинского щита (УЩ) и показано, что около 94 % таких проявлений расположены в зонах разломов, площадь которых

составляет 22 % территории УЩ. Это позволяет в 4—5 раз сократить первоочередные площади при планировании будущих картировочно-поисковых работ на рассматриваемые группы месторождений.

В настоящей статье вопросы связи редкоземельно-редкометалльного и золоторудного оруденения с зонами разломов освещаются более детально — на уровне

внутренней структуры и кинематики разломных зон, генетических особенностей и последовательности формирования рудной минерализации.

Авторы решили рассмотреть эти вопросы на примере лучше всего изученной центральной части УЩ, к которой кроме Ингульского мегаблока и входящей в него Голованевской шовной зоны (ГШЗ) [Нечаев та ін., 2005; Гинтов, Мычак, 2011] следует отнести также восточную часть Бугского мегаблока с Гайворонской и Завальевской з.р. Эта часть Бугского мегаблока (так называемый Гайворон-Завальевский район), наиболее близкая к ГШЗ, согласно Прогнозно-металлогенической карте редкометалльного оруденения (ПМКРО) УЩ масштаба 1:500 000 [Нечаев та ін., 2005], относится к Кировоградской металлогени-

ческой области Центрально-Украинской металлогенической субпровинции.

ГШЗ и Гайворон-Завальевская часть Бугского мегаблока составляют Побужский горнорудный район (рис. 1), богатый на различные виды полезных ископаемых. Их объединяет наличие крупнейших на УЩ максимумов силы тяжести — Голованевского и Бандуровского (см. [Гинтов и др., 2018]) — и базальтоидный тип земной коры [Створення..., 2006], с которым связана и основная металлогеническая специализация.

Таким образом, центральная часть УЩ включает в себя три важных горнорудных района — Кировоградский, Кировоградский и Побужский. Первые два района освещены в отечественной и мировой литературе достаточно полно. С Кировождья, по сути,

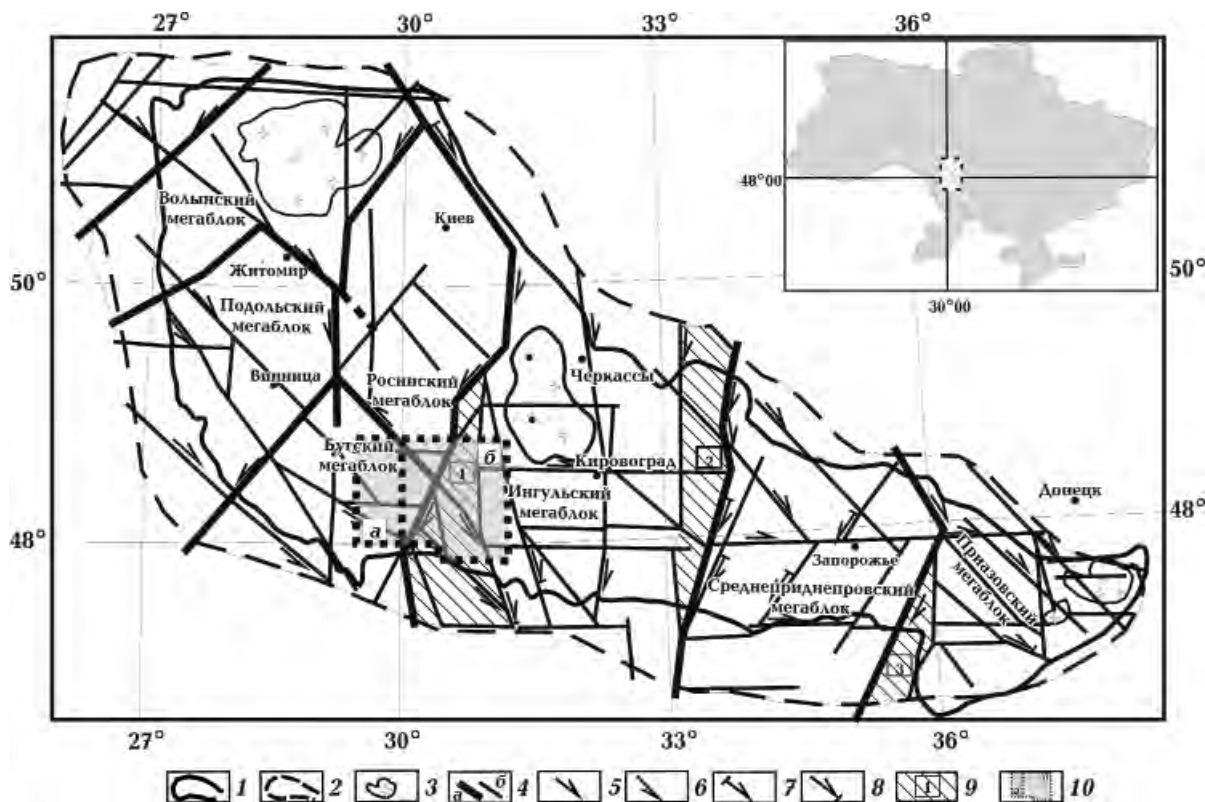


Рис. 1. Положение Побужского горнорудного района (жирный пунктир) в пределах центральной и западной частей Украинского щита: 1 — контур открытой части щита; 2 — склоны щита до глубины 300 м; 3 — плутоны и крупные массивы гранитоидов; 4 — зоны разломов (а — межмегаблоковые, б — внутримегаблоковые); 5—8 — кинематические знаки (5 — правый сдвиг, 6 — левый сдвиг, 7 — взбросо-сдвиг, 8 — сбросо-сдвиг); 9 — шовные зоны и их номера (1 — Голованевская, 2 — Ингулецько-Кировоградська, 3 — Орехово-Павлоградська); 10 — площадь Побужского горнорудного района (а — Гайворон-Завальевський район, б — Первомайськ-Голованевський район). На врезке — положение Побужского горнорудного района в пределах Украины.

начиналась вся крупная горная промышленность Украины и наиболее фундаментальные научные исследования, а Кировоградскому рудному району посвящена недавняя коллективная монография [Кировоградский..., 2013], в которой вопросы связи месторождений и рудопроявлений с разломной тектоникой занимают центральное место.

Поэтому авторы решили сосредоточить свое внимание на Побужском горнорудном районе (ПГРР). Металлогения ПГРР освещалась в отчетах, статьях, диссертациях, отдельных главах монографий, но вопросы рудогенеза и разломной структуры района рассматривались разными авторами отдельно, вне связи друг с другом. В данной статье это делается, практически, впервые.

Общие сведения о районе работ. ПГРР ограничен с востока Первомайской з.р., с запада — Звиздаль-Залесской, с севера и юга его границы условны и проводятся по параллелям $48^{\circ}40'$ и $47^{\circ}50'$. Основные зоны разломов ПГРР, с которыми связаны месторождения и рудопроявления редкоземельно-редкометалльной и золоторудной минерализации, — Гайворонская, Завальевская, Тальновская, Молдовская, Долгопристаньская, Емиловская и Первомайская.

В настоящей статье рассматривается Гайворон-Завальевский район с Гайворонской и Завальевской з.р. (рис. 2), прекрасно обнаженный по р. Южный Буг и покрытый в 1961—1989 гг. геологической съемкой масштаба 1:50 000 (в том числе глубинным геологическим картированием такого же масштаба). Однако хорошая геологическая изученность этого района, с одной стороны, послужила развитию многих геологических идей, и район стал как бы эталонным для построения схемы стратиграфии раннего докембрия УЩ [Лазько и др., 1975; Кореляційна..., 2004], с другой стороны, она же открыла простор для острых геологических дискуссий (начиная с работы О. И. Слензака [Слензак, 1965]), которые продолжаются до настоящего времени.

В центре внимания оказалась стратиграфия раннего докембрия западной части УЩ, противопоставление полевых и лабораторных методов определения возраста докембрийских горных пород, соотношение процессов регионального и динамометаморфизма, а также формирование структурно-текстурных элементов в породных комплексах либо за счет первичного напластования, либо в результате стрессовых нагрузок [Кирилюк, 1982, 2005, 2010; Ярощук, 1983; Ярощук, Ярощук, 1989; Степанюк, 1997, 2000, 2018; Гинтов, 2005; Кирилюк, Паранько, 2014; Степанюк та ін., 2017; Пономаренко и др., 2018; Гинтов и др., 2018; Гинтов та ін., 2018 и др.].

Рассмотрение всех этих вопросов чрезвычайно тесно связано с результатами изучения разломно-блоковой структуры УЩ [Гинтов, Исай, 1988; Єнтін та ін., 2002; Гинтов, 2005; Гинтов, Мычак, 2011 и др.], ибо последние стали в некотором смысле «барьером» на пути стандартных представлений о расчленении пород раннего докембрия УЩ *стратиграфическим методом последовательного напластования*.

Подобные вопросы возникают и при рассмотрении строения Гайворонской и Завальевской з.р., а также их металлогении. Поэтому ограничимся только самым общим описанием геологического строения района, не вызывающим разночтений.

В соответствии с картой [Кислюк та ін., 2011], Гайворон-Завальевская площадь охватывает Байбузовский и Ольгопольский блоки Днестровско-Бугского (Бугского, согласно геофизической карте тектонического районирования [Гинтов та ін., 2018]) мегаблока. Она сложена породами днестровско-бугского структурно-формационного комплекса (СФК) (снизу вверх) — архейских гнейсо-кристаллосланцевой (с образованными по ней эндербитами и чарнокитами), карбонатно-гнейсовой, базит-гипербазитовой формаций и частично раннепротерозойскими гранитоидами.

Как будет показано ниже, в эту площадь необходимо включить и входящую в Побужский горнорудный район самую юж-

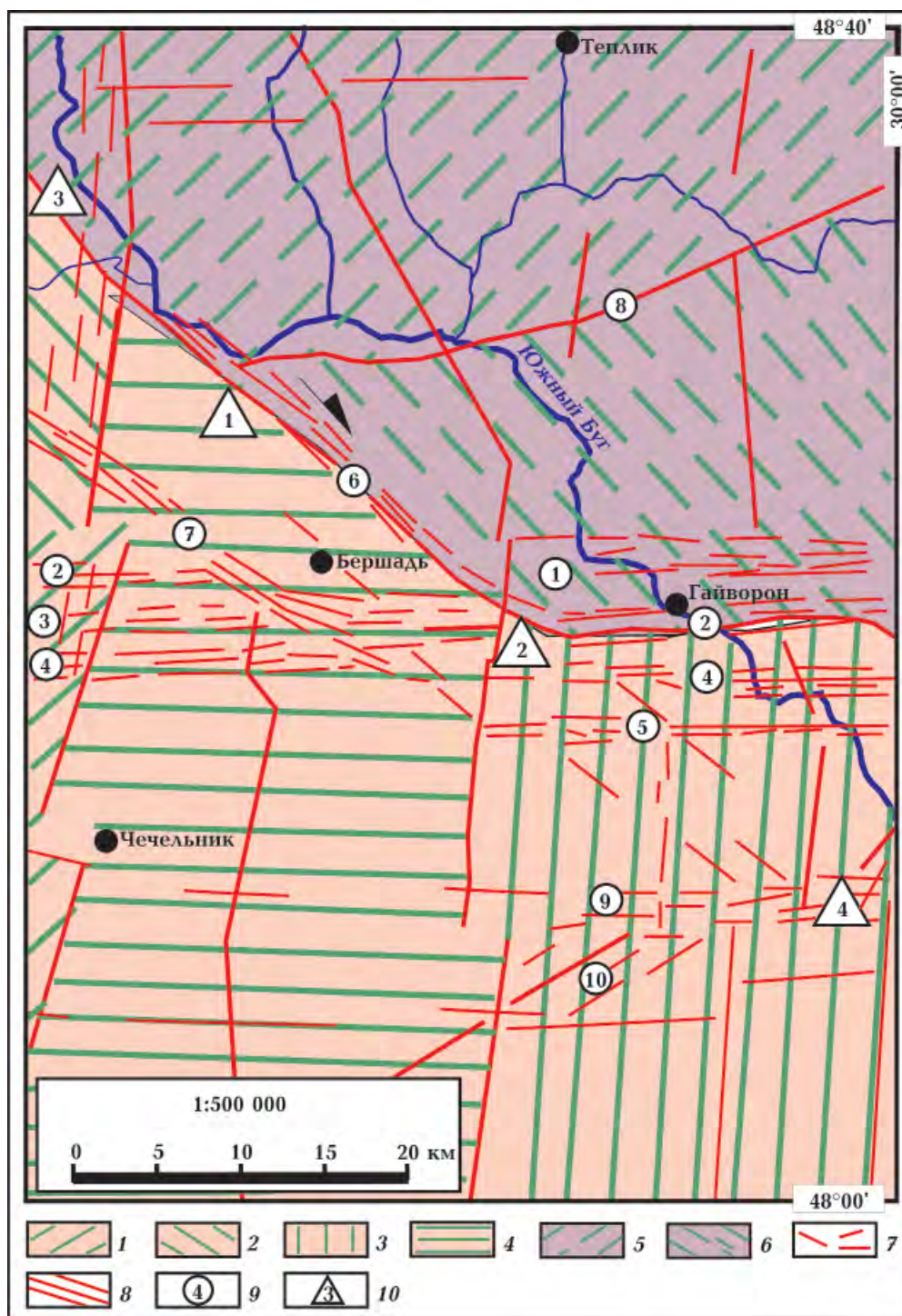


Рис. 2. Упрощенная разломно-блоковая схема района исследований. Использована Тектоническая схема кристаллического фундамента листа М-35-XXXVI (Гайворон), по [Кислюк та ін., 2011]: 1–6 — структурно-тектоническое районирование (Гайворонский блок I порядка (1–4) с блоками II порядка: 1 — Демковский, 2 — Павловский, 3 — Ольгопольский, 4 — Байбузовский; Уманский блок I порядка (5, 6) с блоками II порядка: 5 — Теплицкий, 6 — Джулинский); 7 — эшелонированные сколы; 8 — зоны скальвания; 9 — номера зон скальвания; 10 — номера зон разломов. Зоны разломов: 1 — Хмельницькая, 2 — Гайворонська, 3 — Звездаль-Залесська, 4 — Завальєвська. Зони скальвання (цифри в кружках): 1 — Устьє-Ставська, 2 — Гайворонська, 3 — Солгутовська, 4 — Хащеватська, 5 — Казавчинська, 6 — Сумовська, 7 — Ободовська, 8 — Маньківська, 9 — Завальєвська, 10 — Песчансько-Жакчикська.

ную часть Росинско-Тикичского мегаблока (Джулинский и Теплицкий блоки), сложенного породами росинско-тикичского СФК (снизу вверх) — архейских карбонатно-гнейсовой, гнейсо-кристаллосланцевой базальтовой, диорит-плаггиогранитовой формаций, а также раннепротерозойскими апоэндербит-гранитами и гранит-мигматитами.

В структурном отношении, согласно работе [Кислюк та ін., 2011], рассматриваемая площадь нарушена достаточно

густой сетью разрывных нарушений, среди которых выделены «глубинные тектонические зоны» — Хмельникская, Гайворон-Дохновская, Летичевская и Каташинская (см. рис. 2). Последняя является южным окончанием Звиздаль-Залесской межмегаблоковой зоны разломов, выделенной ранее на геофизической основе Тектонической карты Украины масштаба 1:1000 000 [Снтіп та ін., 2002]. Вторыми в порядке соподчиненности выделены межблоковые разломы (терминология, соглас-

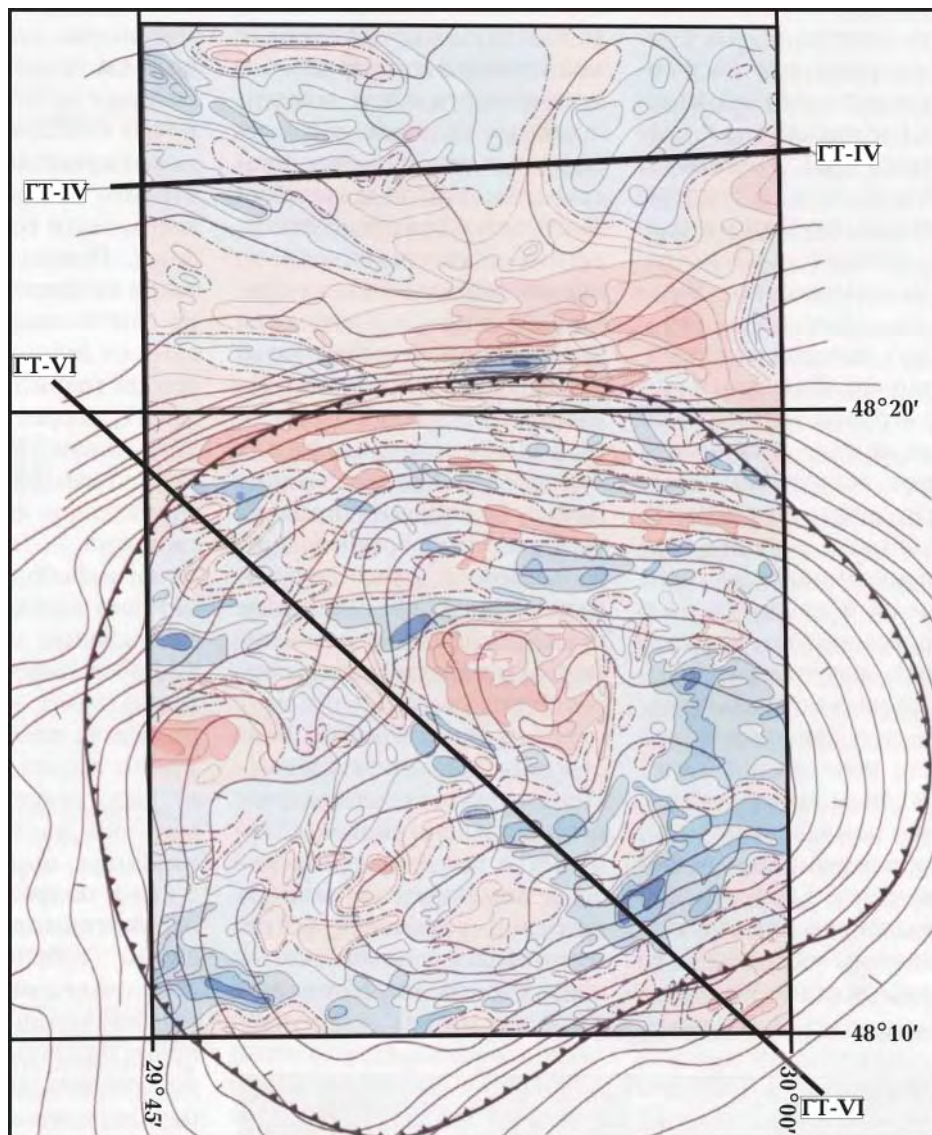


Рис. 3. Схема аномальных гравитационного и магнитного полей южной части района исследований (внутренний прямоугольник). Гравитационное поле: редукция Буге, $\sigma=2,3 \text{ г/см}^3$. Сечение изоаномал — 2 мГал. Магнитное поле: карта изодинам ΔT_a . Сечение — 100 нТл. Синее — положительное, красное — отрицательное поле. Линия с зубцами — контур предполагаемой глубинной интрузии базитов, по [Довгань и др., 2006]. Прямые жирные линии — профили ГТ-IV и ГТ-VI.

но [Кислюк та ін., 2011]) — Гайворонский, Хащеватский, Дохновский, Ободовский, Маньковский и другие; третьими — «второстепенные», к которым, как ни странно, отнесена и Завальевская з.р.

Как видим, отношение к разломной тектонике и ее классификация не совсем соответствуют тектонофизическим представлениям, изложенным в предыдущей статье этого цикла [Нечаев и др., 2019], а также в статье [Гинтов и др., 2017]. Дело не в названиях, а в расшифровке понятия «зона разломов», которое авторы работы [Кислюк та ін., 2011] заменили понятием «тектоническая зона», но на геологической карте листа М-35-XXXVI (Гайворон) и тектонической врезке (см. рис. 2) эти тектонические зоны и межблоковые разломы никак не повлияли на состав и структурные особенности пород, претерпевших в этих зонах значительные динамометаморфические, метасоматические и другие преобразования, в том числе отразившиеся на их металлогении.

В дальнейшем мы постараемся частично восполнить этот пробел, хотя понимаем, что для более качественного решения проблемы в районе еще не хватает детальных тектонофизических и микроструктурно-минералогических исследований (на уровне «ловли блох»).

Преимущественные ориентировки разрывных нарушений в регионе — субширотная, субмеридиональная, северо-западная, а также частично северо-восточная. Если первые три системы в исследуемом районе были известны и ранее [Єнтін та ін., 2002; Гинтов, 2005], хотя иногда и под другими наименованиями¹, то Маньковская зона получила свое название именно в работе [Кислюк та ін., 2011]. Ее простирание 69°, падение субвертикальное, левый сдвиг. Таких достаточно крупных зон с простиранием 60—70° в районе исследований не-

¹ В отечественной геологии, к сожалению, не соблюдается правило приоритетности, поэтому авторы даже издаваемых геологических карт не считают своим долгом обращаться к картам предшественников или хотя бы к специализированным картам и схемам, созданным в целях упорядочения номенклатуры разрывных структур.

сколько (они даже показаны на Тектонической карте Украины 2007 г. [Тектонічна..., 2007]). Кроме Маньковской четко прослеживаются зона скалывания Песчаная—Жакчик Завальевской з.р. и зона разломов по линии сел Лесничье—Партизанское—Берестяговка—Каменная Криница, проходящая через г. Гайворон (ей можно дать название Берестяговская). Подобные зоны в западной части УЩ ранее не выделялись, потому к известным этапам разломообразования [Гинтов, Мычак, 2011; Гинтов, 2014] следует добавить новый этап — Маньковский, возраст которого пока точно не известен, но он близок к возрасту гранитоидов уманского и гайсинского комплексов (об этом будет написано в одной из следующих статей).

Высокая металлогеническая насыщенность описываемой территории не вызывает сомнений. Помимо результатов геологосъемочных работ, которые будут рассмотрены ниже, здесь геохимической съемкой масштаба 1:200 000 [Єнтін, Лукаш, 1998] установлено более 80 высококонтрастных геохимических аномалий благороднометалльной, сидерофильной, литофильной и халькофильной групп металлов. Среди них 10 аномалий Au, более 20 — Cr, Ni, Co, 22 — Mn, 13 — La, Nb, Ce, 6 — Cu и 5 — Ba. В комплексных аномалиях установлены также Ag, Zn, Mo, Sn, Zr, Y, Yb.

Несмотря на то, что зоны разломов и зоны скалывания на геологической и геохимической картах показаны одной линией, большинство геохимических аномалий металлов литофильной и халькофильной групп, а также Au и Mn, располагаются на таких линиях или вблизи их.

Гайворонская и Завальевская зоны разломов. Гайворонская з.р. (см. рис. 2) тектонофизически изучена недавно [Мычак та ін., 2018; Muchak et al., 2018]. Это достаточно широкая (около 10 км) структура широтного простирания, хорошо проявленная геологически и гидрографически. В местах пересечения с р. Южный Буг ее зонам скалывания соответствуют коленообразные изгибы реки с четкими широтными участками. Таких участков

пять (с севера на юг): вдоль правого притока Южного Буга р. Дохна (зона скальвания с. Устье — с. Ставки); вдоль правого и левого притоков Южного Буга по линии с. Осиевка — г. Гайворон — с. Мощное (собственно Гайворонская зона скальвания); на широте сел Солгутово—Прогресс (Солгутовская зона скальвания) и Соломия—Хащеватое (Хащеватская зона скальвания); между южной окраиной с. Буговое и северной окраиной с. Казавчин (Казавчинская зона скальвания). В этот же район подходят своими юго-восточными концами Сумовская зона скальвания Хмельникской з.р. и Ободовская з.р., образуя с Гайворонской з.р. сложный тектонический узел (см. рис. 2).

Всем зонам скальвания Гайворонской з.р. на фоне полосы высоких градиентов гравитационного поля (рис. 3), ограничи-

вающей Бандуровский максимум силы тяжести с севера, соответствуют широтные участки пониженного гравитационного и магнитного полей. Исходя из геофизических данных, ширина названных зон скальвания 1—2 км, протяженность около 20 км. Но если учесть, что к западу от них наблюдаются (с правым сдвигом на 7—10 км по зонам северо-западного и меридионального простирания) подобные зоны скальвания (см. рис. 2), то можно говорить об общей протяженности Гайворонской з.р. более 80 км [Кислюк та ін., 2011].

Объединение пяти зон скальвания в единую Гайворонскую з.р. обосновано тем, что кристаллический фундамент между ними также сильно тектонизирован: зоны развития милонитов и бластомилонитов, кристаллизационной сланцеватости и мигматитовой полосчатости субширотного

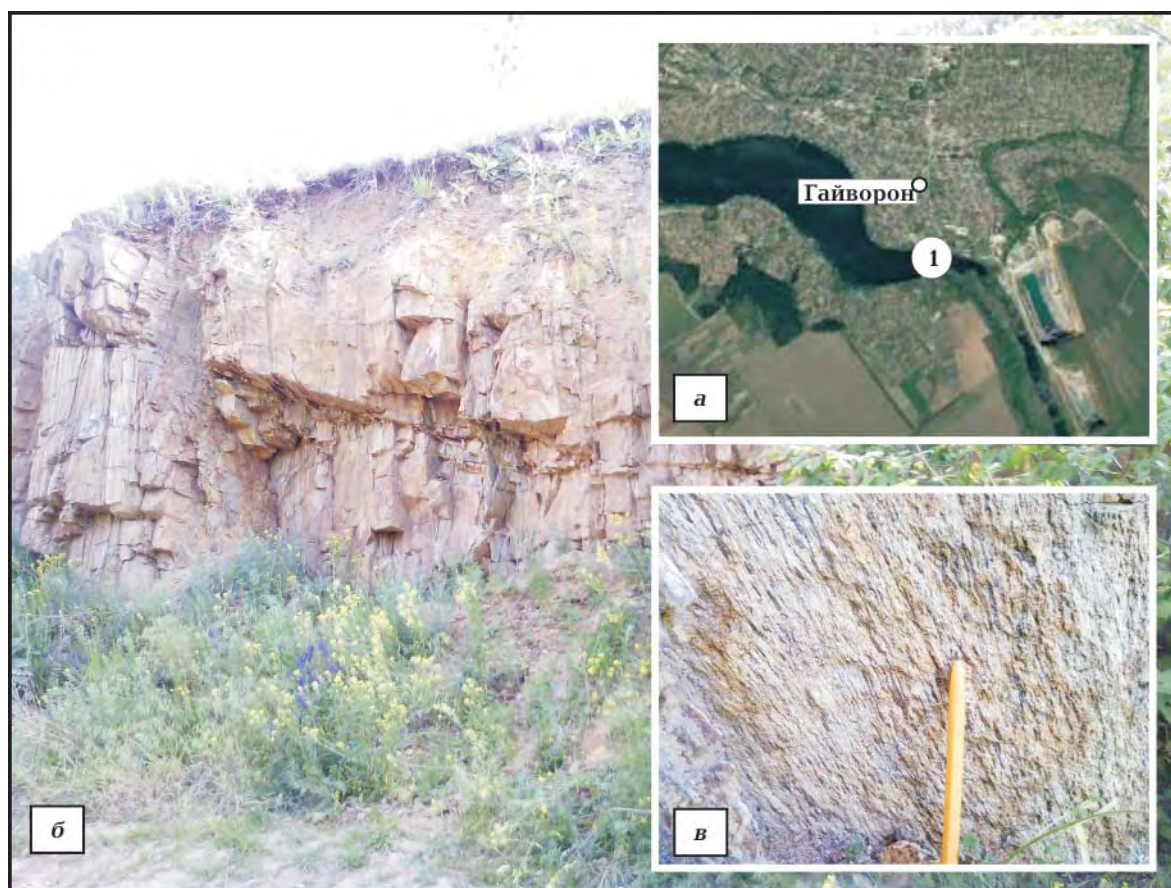


Рис. 4. Солгутовская зона скальвания. Обнажение эндербито-гнейсов на правом берегу р. Южный Буг: *a* — положение обнажения; *б* — общий вид обнажения; *в* — сланцеватость в эндербито-гнейсах. Фото А. В. Муровской.

простираются наблюдаются повсеместно — в Гайворонских и Хашчеватском карьерах, по р. Южный Буг ниже по течению в селах Солгутово и Буговое и выше по течению между г. Гайворон и с. Луговая (рис. 4).

На геологических картах такие зоны обычно изображаются отдельными разломами, но при полевом изучении четкой границы между ними не видно. К сожалению, не все геологи рассматривают полосчатость и сланцеватость докембрийских горных пород как признак зоны сдвига.

Хотя необходимо отметить, что на фоне региональной Гайворонской з.р. закартированные пять зон скалывания выделяются не только по геофизическим данным, но и по геоморфологическим признакам. Им соответствуют широтные реки, ручьи и балки, впадающие в р. Южный Буг слева и справа в местах его резких изгибов, тем самым продолжая и удлинняя узкие широтные долины над зонами скалывания. Процесс формирования таких долин связан с мезозойско-кайнозойской активизацией щита и не в последнюю очередь с наиболее молодой докембрийской широтной системой разломов. Активизация обусловила возобновление процессов дробления и гидротермальной деятельности в разломах, образование в них глубоких карманов коры выветривания.

По геологическим данным [Кислюк та ін., 2011], Гайворонский разлом (по тектонофизическим — упомянутые Гайворонская и Солгутовская зоны скалывания) разделяет карбонатно-гнейсовую формацию Росинско-Тикичского мегаблока и эндербит-чарнокитовую формацию Днепровско-Бугского мегаблока. По тектонофизическим данным, Гайворонская з.р. частично охватывает и Росинско-Тикичский мегаблок (зона скалывания с. Устье — с. Ставки в южной части Джулинского блока на рис. 2), поскольку она заложена в раннем протерозое. Да и сама мегаблоковая структура УЩ окончательно сформирована в протерозое [Гинтов та ін., 2018].

По материалам многочисленных изотопно-геохимических определений уран

-свинцовым методом возраста монацитов из плагиогнейсов, гнейсов и включенных в них гранитов Гайворонской зоны скалывания основная ее докембрийская активизация произошла от $2026,5 \pm 2,6$ млн лет до $2031,5 \pm 6,7$ млн лет тому назад. Такие же определения по метасоматитам Хашчеватской и Казавчинской зон скалывания дают значение возраста активизации $1993,3 \pm 1,3$ млн лет [Степанюк, 2000]. Время заложения зоны будет оценено по характеру полей напряжений и их сопоставлению с известными этапами деформации [Гинтов, 2014].

Все пять зон скалывания Гайворонской з.р. имеют одинаковую внутреннюю структуру и кинематику, поэтому будет достаточным остановиться на морфокинематической характеристике только одной из них, в частности Солгутовской.

При тектонофизическом изучении Гайворонской зоны разломов [Мичак та ін., 2018; Muchak et al., 2018] основное внимание было уделено структурно-текстурным элементам (СТЭ) горных пород — мигматитовой полосчатости, линейности, сланцеватости, а также кливажу и мезотрециноватости, отражающим разновозрастные деформации верхних горизонтов земной коры (рис. 5). Изучался также тензор анизотропии магнитной восприимчивости горных пород с целью определения характера деформации магнитных минералов, зафиксированной при остывании породы ниже точки Кюри.

Было установлено, что элементы залегания СТЭ и политектонитов зоны составляют преимущественно $175/85$ и $352/80^\circ$ (числитель — азимут, знаменатель — угол падения), т. е. структуры имеют субширотное простирание и субвертикальное падение. При строго широтном простирании Гайворонской зоны разломов (по геофизическим данным) приведенные параметры соответствуют левосдвиговому R-сколам (простирание L-сколов $90-270^\circ$). Они сформировались в поле напряжений $\sigma_1 45^\circ$, $\sigma_3 315^\circ$, $\sigma_2 \perp$ (левый сдвиг).

Данное поле соответствует западно-ингулецкому этапу разломообразования

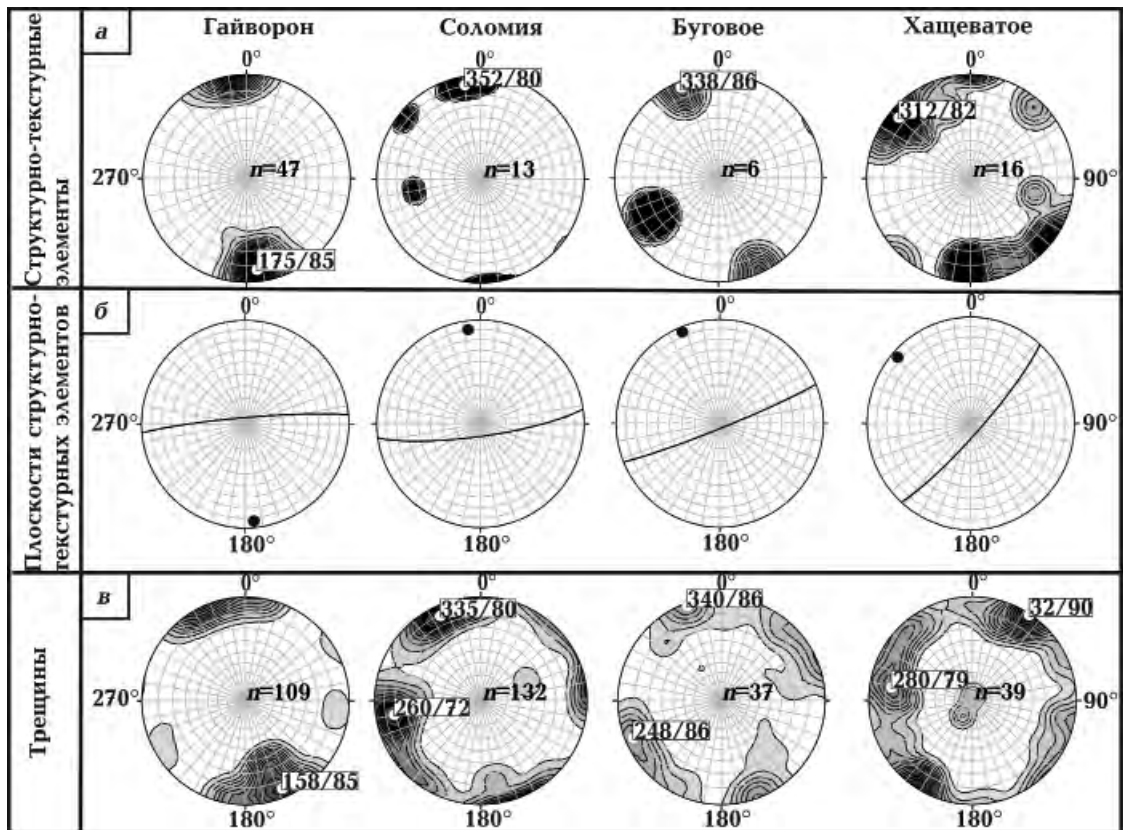


Рис. 5. Стереодиаграмма азимутов падения СТЭ и трещин в горных породах Гайворонской зоны разломов: а — структурно-текстурные элементы, б — их плоскости, в — трещины.

(2,45 млрд лет назад, по [Гинтов, 2014]), поэтому можно предполагать, что время заложения Гайворонской з.р. близко к времени заложения Западно-Ингулецкой и Первомайской з.р. То, что некоторые тектониты (СТЭ) широтного простиранья, связанные с Гайворонской з.р., прерываются и смещаются тектонитами северо-западного простиранья Хмельникской з.р. (~2,0 млрд лет назад) и меридиональными зонами скалывания субботско-мошоринского этапа разломообразования (1,8—1,85 млрд лет назад), также свидетельствует о более древнем возрасте ее заложения.

Приведенные выше этапы активизации 2,03 и 1,99 млрд лет назад не являются единственными для Гайворон-Завальевской площади, о чем будет сказано в дальнейшем.

Системы наложенных на СТЭ трещин в целом субпараллельны и субперпендикулярны полосчатости. Они сформировались

в полях напряжений σ_1 30°, σ_3 300°, σ_2 \perp (левый сдвиг) и σ_1 312°, σ_3 42°, σ_2 \perp (правый сдвиг). Последнее поле соответствует наиболее молодому из изученных этапов деформации земной коры — субботско-мошоринскому (1,8—1,85 млрд лет назад), в котором сформировалось большинство широтных зон разломов УЩ [Алехин, Гинтов, 2004; Гинтов и др., 2008; Гинтов, 2014].

Определение анизотропии тензора магнитной восприимчивости горных пород (АМВ) дало неожиданный результат. Длинная ось тензора АМВ в большинстве случаев оказалась субвертикальной, тогда как две другие главные оси — субгоризонтальными и близкими по размерам (при некотором удлинении в субширотном направлении). Можно сделать вывод, что магнитные минералы формировались в условиях всесторонне-горизонтального сжатия и субвертикального растяжения. Такой процесс мог происходить либо на

небольшой глубине (что маловероятно в условиях гранулитовой фации), либо при субвертикальном движении корового материала (нисходящем или восходящем). Этот вопрос требует дополнительного изучения. Во всяком случае, максимальная вытянутость породообразующих минералов (кварца, полевых шпатов) по падению наблюдается часто, но при этом они вытянуты и по простиранию, что происходит в условиях стресса. Можно также предполагать, что, поскольку зоны скалывания района характеризуются пониженным или отрицательным полем $Z_a(\Delta T_a)$, в процессе формирования зон скалывания происходило перемагничивание рудных минералов.

В рамках общего металлогенического изучения Гайворон-Завальевского района рудопроявлениям и участкам повышенной минерализации Гайворонской з.р. посвящено достаточно много работ, в основном производственных отчетов. Основное внимание уделялось алмазности [Ярошук, Довгань, 1990; Яценко и др., 2002; Довгань и др., 2006] и графитности, хотя обращалось внимание и на повышенное в целом содержание редкоземельных элементов (La, Ce, Y) в лампрофирах Гайворонской зоны [Ярошук, Довгань, 1990].

Лампрофиры, лампрофиро- и лампроитоподобные породы обнаружены в Гайворонской, Солгутовской, Хащеватской и Казавчинской зонах скалывания [Довгань и др., 2006]. Это тела оливин-шпинель-биотит-клинопироксен-гранатовых и оливин-ортоклаз-биотит-клинопироксеновых пород мощностью 0,3—1 м, залегающих среди кальцифиров. Породы подверглись интенсивному катаклазу и милонитизации. Зерна граната размером от 1—2 мм до 0,5 см линейно деформированы. В кальцифирах гранат отсутствует. Контакты с кальцифирами четкие, резкие. На контакте отмечается вкрапленность графита. В лампрофирах присутствует достаточно редкий боросиликатный минерал — серендит, характерный для больших глубин и высоких давлений. Кроме редких земель цериевой группы, спектральным

анализом в них фиксируется повышенный состав Ti, Mn, Ba, Sr.

В «карманах» железомарганцевой коры выветривания этих четырех зон скалывания установлены рудопроявления редких металлов и редких земель, наиболее крупным из которых (практически месторождением) является Соломиевское в Хащеватской зоне скалывания [Василенко та ін., 2000]. Оруденение протяженностью 2,5 км и шириной 0,5 км представлено водными фосфатами — черчитом ($YPO_4 \cdot H_2O$), рабдофанитом ($GePO_4 \cdot H_2O$) при существенно иттриевом составе руд. Рядом с Соломиевским (несколько восточнее) еще в начале XX в. было открыто Хащеватское железомарганцевое месторождение. Вместе они составляют широтное Хащеватское аномальное редкоземельное геохимическое поле [Михайлов, 2010] протяженностью 10 и шириной до 2 км, специализация которого определяется приоритетной триадой Y, Yb, Ge. Аномалия TR наблюдается в породах Хащеватской зоны скалывания, представленных тектонитами по эндербитам, розовым гранитам, скарнированными кальцифирами и доломитами с мелкими телами метаультрабазитов, базитов, пропластками кварцитов, графитовых гнейсов и развивающимися по ним метасоматитами. Собственно Соломиевское оруденение развито в каолининовой и гидрослюдисто-каолининовой зоне над скарнами или залежами бурых железняков. В связи с этим представляется вполне вероятной гидротермально-аргиллизитовая природа первичной редкоземельной минерализации.

В пределах Солгутовской зоны скалывания установлено рудопроявление, аналогичное Хащеватскому железомарганцевому месторождению (скв. ГК № 114), при этом с ним связано также *повышенное содержание Au*.

Самая северная Устье-Луговая-Ставская зона скалывания проходит в широтном направлении среди диафторированных пород бутской серии, катаклазированных и милонитизированных гранитоидов уманского комплекса с широким развитием линейных кор выветривания.

Здесь И. Б. Щербаковым описаны массивы крупнозернистых светло-серых и розовато-серых гранитов ставковского типа (наиболее крупные от 2 до 10 км — Ставский и Устьевский) субширотного простирания, характеризующихся *аномально высоким содержанием монацита* и почти полным отсутствием апатита [Щербаков, 2005]. Линейная форма и простирание, параллельное окружающим зонам развития тектонитов, свидетельствуют о более молодом возрасте этих внутриразломных гранитов по сравнению с уманскими, от которых они также отличаются отсутствием порфириовидности. «Ксенолиты представлены биотитовыми гнейсами с четко решетчатым микроклином. Каким-либо высокотемпературным минералом ни в гнейсах, ни в гранитах не установлены» [Щербаков, 2005, с. 170].

Характерно, что циркон-монацитовая и ортитовая минерализация широко развита в породах Хмельникской з.р. (см. [Нечаев и др., 2019], рудопроявления 22—25, 43, 44) к северо-западу от описываемого района. Оруденения связаны с биотитизированными и альбитизированными аплит-пегматоидными гранитами, возникшими за счет неоднократной переработки архейского чарнокит-эндербитового фундамента [Нечаев и др., 2005, с. 662]. Их возраст ($^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ — 1,89 млрд лет) как минимум на 100 млн лет моложе уманских гранитов, хотя возраст самой Хмельникской з.р. близок к возрасту около 2 млрд лет [Гинтов, 2014]. Следовательно, несмотря на некоторую противоречивость в сопоставимости петрографической характеристики гранитов уманского и ставковского типа, можно предполагать, что последние моложе первых и связаны с относительно молодым процессом активизации Устье-Луговая-Ставская зоны скалывания Гайворонской з.р., секущей массив уманских гранитов.

Выше уже отмечалось, что в процессе мезозойско-кайнозойской активизации над зонами скалывания Гайворонской з.р. формировались линейные коры выветривания с глубокими карманами. Однако докембрийский возраст зон скалы-

вания свидетельствует о том, что линейные коры должны были образовываться в них и в докембрии, и в палеозое. Другими словами, сложный профиль таких кор формировался за счет механической и химической переработки и сортировки кор выветривания нескольких «поколений». К тому же в докембрии в описанные зоны скалывания внедрялись лампрофиры и лампрофироподобные породы основного и ультраосновного состава [Ярошук, Довгань, 1990; Довгань и др., 2006]. В результате линейные коры этих зон аномально обогащены редкими металлами и редкими землями, железом, марганцем, золотом, хромом, никелем, кобальтом, графитом. Они представляют первоочередной поисковый интерес.

Завальевская зона разломов. Удивительно, но факт, о Завальевской з.р. можно говорить только на основании геофизических данных и материалов детальной разведки и разработки Завальевского графитового месторождения, продолжающихся многие десятки лет.

Зона максимальных горизонтальных градиентов гравитационного поля, ограничивающая Бандуровский максимум на юго-юго-востоке, пересекает р. Южный Буг в районе с. Завалье по азимуту 60—70° (см. рис. 3). Такую же ориентировку имеет и совпадающая с ней линейная зона сложного, но в основном отрицательного поля Z_a (рис. 6, юго-восточная часть).

Следовательно, юго-восточная часть Завальевской з.р. — это зона скалывания шириной около 2 км и протяженностью (между селами Песчаная, Савранское и Жакчик) до 25 км (по геофизическим данным), имеющая северо-восточное простирание 60—70° и субвертикальное падение. На юго-западе, на правом берегу р. Южный Буг, она сразу же уходит под мезозойско-кайнозойский чехол, а на северо-востоке пересекается с Могиланской зоной разлома северо-западного простирания, ограничивающей Бандуровский максимум с восточной стороны.

О кинематике рассматриваемой зоны скалывания можно судить по небольшой

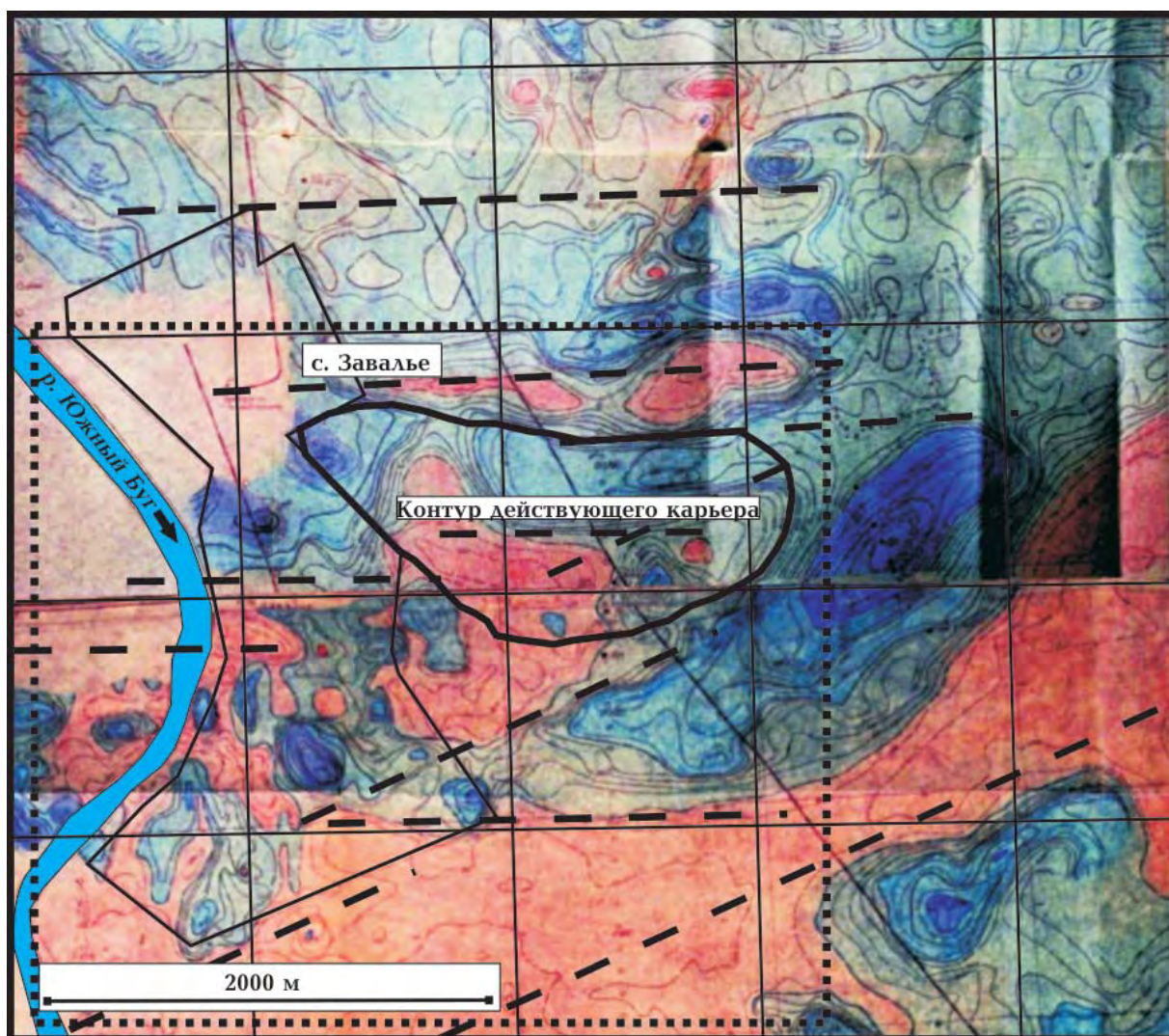


Рис. 6. Карта изодинам Z_a района Завальевского графитового месторождения. Масштаб 1:10 000. Зеленым и синим цветом показаны положительные аномалии, розовым — отрицательные. Штриховые линии — зоны скалывания и эшелонированные сколы; пунктир — контур геологической карты, показанной на рис. 9.

складке волочения (рис. 7), образованной кальцифирами и двупироксеновыми кристаллосланцами, местами графитизированными, в результате правого сдвига вдоль скола, ориентированного по азимуту СВ 60° .

Однако и в пределах Завальевского графитового карьера, и к северу и югу от него наблюдаются *широтные* отрицательные и положительные магнитные аномалии (см. рис. 6). Сопоставляя это с геологическими и тектонофизическими данными по карьерам Завалье, Козачий Яр и Одес-

ский, можно заключить, что широтное простирание эшелонированных сколов не менее характерно для Завальевской з.р., чем северо-восточное (рис. 8). На картах Z_a , ΔT_a и локальных гравитационных аномалий [Кислюк та ін., 2011] в этом районе в региональном плане прослеживаются одинаковые зоны минимумов как северо-восточного, так и широтного простирания.

Учитывая, что карьеры Одесский и Козачий яр находятся в 2,5 км к северу от Завальевского, ширина Завальевской з.р. составляет не менее 4 км.



Рис. 7. Складка волочения (правый сдвиг). Крайняя восточная часть Завальевского карьера: *а* — общий вид складки, *б* — характер сланцеватости (увеличено в 7 раз).

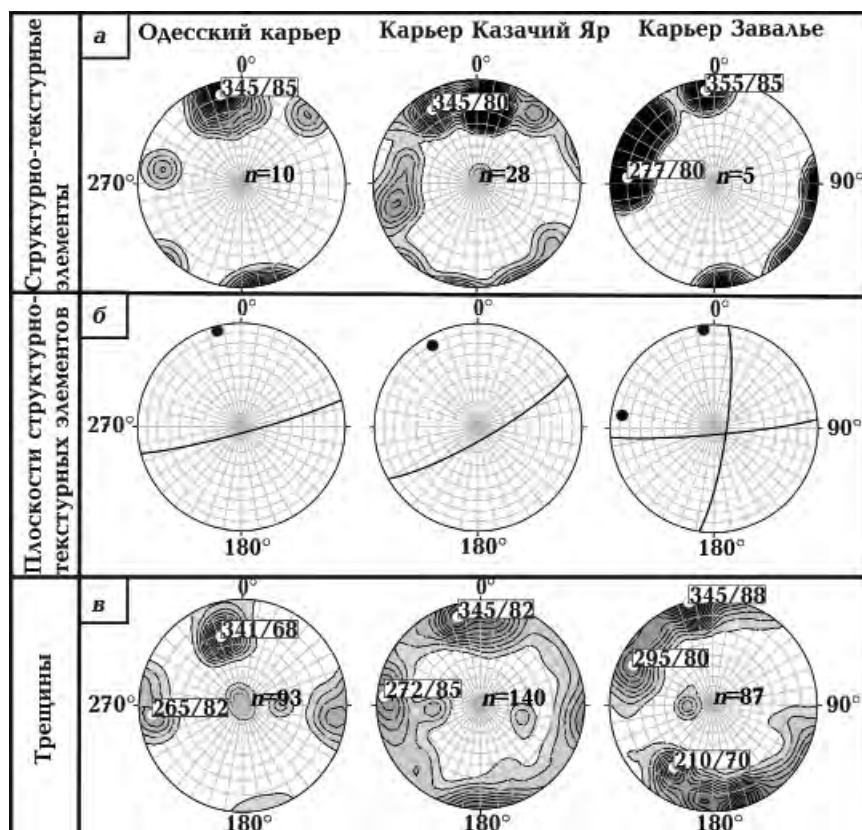


Рис. 8. Стереодиаграммы азимутов падения СТЭ и трещин в горных породах Завальевской зоны разломов: *а* — структурно-текстурные элементы, *б* — их плоскости, *в* — трещины.

На рис. 8 видно, что максимальное количество СТЭ и трещин имеют простирание $\sim 60\text{--}75^\circ$ при субвертикальном падении. В карьерах Козачий Яр и Завальевском приблизительно столько же СТЭ и трещин широтного простирания (азимуты падения от 355 до 10°). Поскольку широтное простирание СТЭ характерно и для Гайворонской з.р., приходим к выводу, что формирование широтных структур связано с самостоятельным этапом деформации земной коры. Так, стереограммы азимутов падения СТЭ Завальевской з.р. (рис. 8, а) практически идентичны таковым Гайворонской з.р. (см. рис. 5, а). Из этого следует, что широтные СТЭ Завальевской з.р. сформировались в поле $\sigma_1 45^\circ$, $\sigma_3 315^\circ$, $\sigma_2 \perp$ (левый сдвиг) западно-ингулецкого этапа разломообразования, т.е. почти одновременно с СТЭ Гайворонской з.р. Зона скальвания Песчаная—Жакчик, вероятнее всего, относится к Маньковскому этапу разломообразования, т.е. является левосдвиговой. Поэтому правый сдвиг, установленный по складке волочения в Завальевском карьере, соответствует не этапу заложения данной зоны, а этапу ее активизации. Тем более что процесс графитизации пород Завальевской з.р. моложе этапа ее заложения (см. далее).

Показательна в этом отношении геологическая карта района Завальевского графитового месторождения, составленная геологами Завальевского графитового комбината и любезно предоставленная авторам главным геологом ЗГК В. П. Николаевским. Ее фрагмент показан на рис. 9. Наиболее мощная (до 400 м) пачка графитовых, биотит-графитовых, гранат-биотитовых гнейсов и скарноидов (разрабатываемая в настоящее время) имеет форму дуги (простирание с ЗВ (270°) на СЗ (310°)), как бы подворачивающейся под Завальевский (местное название на карте) разлом. Далее на запад (за пределами рисунка) простирание пачки становится широтным и даже северо-восточным, образуя Z-образную фигуру, типичную для правого сдвига. Если сравнить рис. 2 и 9, то видно, что этот так называемый Зава-

льевский разлом по простиранию совпадает с правосдвиговой Хмельникской з.р. Следовательно, можно предполагать, что толща гнейсов и скарнов ранее заполняла зону скальвания широтного простирания и была деформирована правым сдвигом по разлому северо-западного простирания.

Что касается систем хрупких трещин, то, согласно работе [Мичак та ін., 2018], они сформировались на двух этапах в полях тектонических напряжений: 1) $\sigma_1 38/0^\circ$, $\sigma_3 308/0^\circ$, $\sigma_2 \perp$ (левый сдвиг); 2) $\sigma_1 323/0^\circ$, $\sigma_3 53/0^\circ$, $\sigma_2 \perp$ (правый сдвиг). Оба поля отличаются (повернуты) от полей Гайворонской з.р. на $8\text{--}11^\circ$. Можно предположить, что Завальевская з.р. образовалась несколько позднее (в пределах одного этапа разломообразования) Гайворонской. Трещиноватость, сформированная на Гайворон-Завальевском участке после образования СТЭ, вначале была подобна (по ориентации) таковой Гайворонской з.р., но затем была повернута при правом сдвиге вдоль Завальевской з.р. Тогда поле 2, как и в Гайворонской з.р., соответствует наиболее молодому Субботско-Мошоринскому этапу деформации земной коры УЩ (1,8—1,85 млрд лет назад).

Таким образом, Завальевская з.р. сформировалась на двух разновозрастных этапах разломообразования — более древнем западно-ингулецком ($\sim 2,45$ млрд лет назад, но несколько позднее Гайворонской з.р.) и более молодом Маньковском (не более 2,0 млрд лет назад). Ее активизация произошла на субботско-мошоринском и более молодых этапах.

Как и зоны скальвания Гайворонской з.р., Завальевская зона, кроме, естественно, мировых запасов графита, содержит проявления и других важных элементов. В работе [Павлюк та ін., 2008] отмечается, что в Завальевском графитовом карьере в зонах окварцевания и сульфидизации графит-биотитовых гнейсов мощностью от первых сантиметров до 2 м установлены повышенные концентрации золота ($0,1\text{--}2$ г/т), серебра (до 7 г/т), платины ($0,07\text{--}0,15$ г/т), иридия ($0,05\text{--}0,1$ г/т). Зоны окварцевания расположены в линейных

широтных тектонических зонах, а рудные концентрации золота и платиноидов фиксируются раздельно, т.е. образовались они на разных этапах рудогенеза.

Давно замечено, что большинство тектонических структур Завальевского участка, несущих оруденение, как и сам Завальевский карьер (разрабатываемый на месте древней широтной балки), имеют широтное простирание. Структурный план многих из них изменен Z-образно под влиянием правосдвиговых перемещений вдоль зон скалывания северо-западного простирания и S-образно под влиянием левосдвиговых северо-восточных зон. Однако общий широтный характер большинства разрывных структур Гайворон-Завальевского района ПГРР проявлен достаточно ярко. Это показывает, что заключительные фазы формирования структуры и металлогенических особенностей района обусловлены субботско-мошоринским этапом разломообразования в пределах УЩ (1,85—1,80 млрд лет назад), выделенным и детально описанным в работах [Алехин, Гинтов, 2004; Гинтов, 2005; Гинтов и др., 2008], хотя большое металлогеническое значение широтных линеаментов в пределах Украины было известно и ранее [Галецкий и др., 1988].

Дискуссия. Большинство современных определений возраста горных пород по цирконам, монацитам и бадделиту в Гайворон-Завальевском районе [Степанюк, 1997, 2000; Геохронология..., 2005, 2008; Степанюк та ін., 2017; Лобач-Жученко и др., 2013] показывают достаточно резкий переход от катархейского времени образования эндербито-гнейсов этого района ко времени их палеопротерозойской переработки (диафторез, динамометаморфизм, дайко- и жилообразование) в интервале 1,95—2,035 млрд лет назад. Например, в работе [Лобач-Жученко и др., 2013] авторы, рассматривая основные геологические события по результатам изучения побужских гранулитов в Одесском карьере, выделяют этапы 3,65—3,6 (формирование гнейсо-эндербитов); 3,4 и 3,2 млрд лет — осадконакопление; 2,9—

2,8 млрд лет — метаморфизм и ультраметаморфизм гнейсо-эндербитов; ~2 млрд лет («деформации, приведшие к формированию shear zone, гранулитовый метаморфизм»). Другими словами, если рассматривать, с нашей точки зрения, метаморфизм, ультраметаморфизм, деформации по типу shear zone как единый деформационный процесс, длившийся ~850 млн лет, то снова не понятно, когда же в этом промежутке времени произошло образование главных для района зон разломов.

В пределах Завальевского графитового карьера также отмечается подобный разрыв — здесь в северном борту карьера получен изотопный возраст биотит-двупироксенового гнейса 2576 ± 152 млн лет, а в южном борту возраст высокожелезистого гранат-пироксенового кварцита (эвлизита) 1910 ± 10 млн лет; мрамора (кальцит-доломитовой породы с форстеритом, диопсидом, флогопитом, цирконом, бадделитом, шпинелью, графитом, рудными) по бадделиту 2000 млн лет; графитизированных тел пегматитов по циркону 1975—1980 млн лет; гранитоидов несколько южнее карьера — 1906—1923 млн лет [Степанюк, 2000; Геохронология..., 2008].

Представляется странным, что установленный на многих континентах важнейший рубеж в истории раннего докембрия Земли — граница архея и протерозоя 2,5 млрд лет назад — не находит отражения в приведенных выше результатах изотопно-геохронологических и геологических исследований в районе.

В этом отношении интересна работа [Шумлянський, 2012], в которой приведены результаты исследования изотопного возраста цирконов и изотопного состава в них гафния из кварцитов обнажения Белая Скала (показано звездочкой на рис. 9, фото на рис. 10). Исследования выполнены в лабораториях Украины (Институт геохимии, минерологии и рудообразования им. Н. П. Семененко), России, Великобритании и Швеции. Из 19 определений возраста цирконов по отношению $207\text{Pb}/206\text{Pb}$ семь (38 %) находятся в пределах 2318 ± 50 — 2540 ± 49 млн лет. Другой аномальный от-

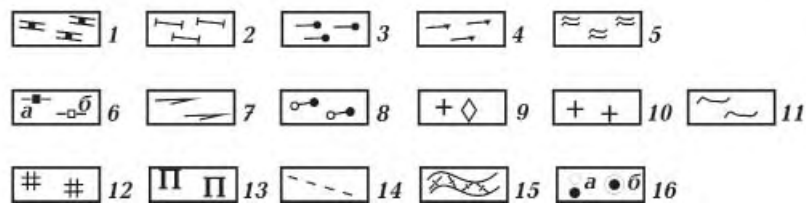
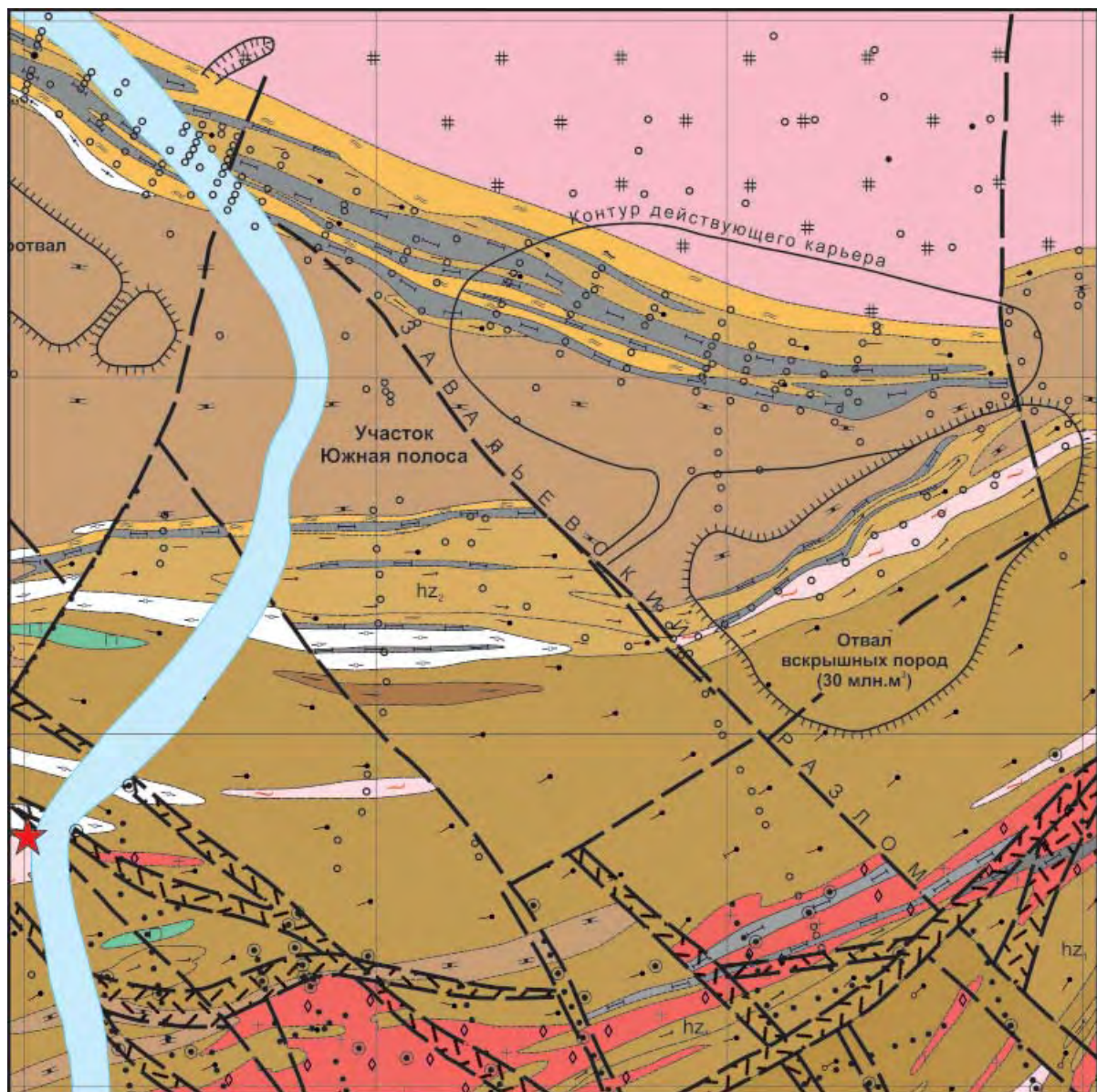


Рис. 9. Фрагмент геологической карты района Завальевского графитового месторождения (с сокращениями): Бугская серия. Хащевато-завальевская свита: 1 — кальцифилы, мраморы, карбонатные сланцы, 2 — гнейсы графитовые, гранат-биотит-графитовые, 3 — гнейсы биотитовые, гранат-биотитовые, 4 — гнейсы амфиболовые, 5 — скарноиды, 6 — кварциты (а — железистые, б — безрудные), 7 — амфиболиты; кошаро-александровская свита: 8 — гнейсы биотитовые, гранат-биотитовые, гранат-силлиманит-биотитовые, иногда с графитом; побужский комплекс: 9 — граниты аплит-пегматоидные, 10 — граниты биотитовые, 11 — мигматиты, 12 — чарнокиты, 13 — пироксениты; 14 — разломы, 15 — зоны дробления, 16 — буровые скважины (а — картировочные, б — глубокие наклонные). Звездочкой отмечено обнажение «Белая Скала» (см. рис. 10).



Рис. 10. Обнажение кварцитов «Белая Скала». Правый берег р. Южный Буг на южной окраине с. Завалье. Фото С. В. Мычака.

резок шкалы возраста (пять определений) составляет 2999 ± 15 — 3153 ± 185 млн лет. Автор пришел к выводу, что возраст образования этих кварцитов (как осадочных пород) находится в пределах ~ 2500 млн лет. Цирконы более древнего возраста (более 2540 млн лет) кластогенные и имеют мантийное происхождение.

В рассматриваемой работе важен также вывод, основанный на изучении изотопного состава гафния, неодима и стронция, что кварциты из обнажения «Белая Скала» не могли образоваться из окружающих эндербитов и в них нет включений пород днестровско-бугской серии. Следовательно, эти кварциты произошли из другого источника, чем известные кварциты кошаро-александровской свиты (район с. Кошаро-Александровка), и такой источник имеет нео-мезоархейский возраст и преимущественно кислый состав. Нам это

представляется странным, если исходить из убеждения об осадочном происхождении кварцитов обнажения «Белая скала»: реликты пород днестровско-бугской серии (ксенолиты, скиалиты, шлиры) в исследуемом районе присутствуют во всех ранне-докембрийских породах, и они *не могли не попасть* в продукты их разрушен.

Здесь мы возвратимся к Завальевской з.р. и Завальевскому графитовому месторождению. В работах, посвященных процессам скарнообразования в пределах УЩ [Нечаев, Семка, 1989; Нечаев и др., 1990; Нечаев, 1990], впервые, наверное, обращено внимание, что так называемые «кальцифиры» Завальевского карьера (кавычки авторов второй цитируемой работы) являются инфильтрационными магнезиальными скарнами по доломитам, заполняющими трещины *широтного* простирания. Они образуют линзы-будины с четкой мине-

ральной зональностью: центральная зона — диопсид, по бокам — оливин, с внешних сторон — оливин-кальцитовая зона. На границе оливиновой и диопсидовой зон или непосредственно в последней концентрируются агрегаты кристаллов графита. «Такие околотрещинные линзы-«будины» почти мономинерального состава окаймляются полиминеральными флогопит-серпентин-оливин-кальцитовыми образованиями... Последние секутся крупнозернистыми — «пегматоидными» — флогопит-кальцитовыми жилами... часто с магнетитом, реже — пирротинном. Кроме того, «кальцифиры» секутся пегматитами с турмалином» (с. 141—142). Авторы также отмечают, что в разломе, отделяющем рассматриваемые образования от гнейсовой рамы на севере, в тесной ассоциации находятся салит-гранатовые скарны и *метасоматические* кварциты с ортоклазом и крупнопластинчатым графитом. Между «графитовыми гнейсами» и «кальцифирами» (кавычки авторов) наблюдаются тектонические контакты.

Авторы рассматриваемой статьи использовали калий-аргоновый метод определения возраста содержащих калий минералов — флогопита, ортоклаза и биотита. Конечно, калий-аргоновый возраст пород и процессов Завальевского месторождения оказался омоложенным по сравнению с $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ методом по цирконам. Но полученная калий-аргоновым методом разница во времени образования магнетиальных скарнов и зоны графитизации составляет как минимум 350 млн лет. Для находящихся рядом горизонтов, составляющих предполагаемый осадочно-метаморфический комплекс, это слишком большая разница во времени.

Почти через двадцать лет после работ [Нечаев, Семка, 1989; Нечаев и др., 1990] появилась статья [Шакіна, Скакун, 2010], в которой данные предыдущих исследователей подтверждены и детализированы. Ее авторы пришли к независимому выводу, что формирование графита Завальевского месторождения является синдеформационно-гидротермальным.

Признаком этого служит наличие будин диопсидовых скарнов, гранат-биотитовых кристаллосланцев, кварц-калишпатовых пегматитов в графитовых сланцах; формирование графита в тенях давления будин и в S-образных трещинах скола в гранате и пироксене; развитие агрегатов графита под углом к сланцеватости биотит-гранатовых кристаллосланцев; влияние графитизации на перекристаллизацию кварцевых агрегатов с укрупнением размеров зерен; нахождение графита в парагенезисе с пирротинном и магнетитом. Взаимодействие гидротермальных растворов с породой обусловило образование в ассоциации с графитом агрегатов магнетиального смешаннослоистого силиката и алюмосиликата, а также альбита и кальцита. Деформационный процесс в образующих графитовых сланцах завершается формированием трещин отрыва, которые выполняются кварцевыми жилами.

Как видим, представление об осадочно-метаморфической природе пород Завальевского месторождения и одноименной зоны разломов все больше и больше подвергается сомнению. На геологической карте района Завальевского графитового месторождения (см. рис. 9) видно, что практически все полосы графитовых гнейсов в южной части карты располагаются внутри широкой полосы лейкократовых аплит-пегматоидных гранитов. Рядом их нет среди биотитовых гнейсов ни кошаро-александровской, ни хащевато-завальевской свит. Как это объяснить? Или аплит-пегматоидные граниты также имеют осадочное происхождение?

Сопоставляя карты и схемы на рис. 2, 6 и 9, а также результаты детальных полевых наблюдений, можно видеть, что и графитизация, и формирование «кальцифиров» и кварцитов тесно связаны с зоной разломов вообще и отдельными зонами скалывания, а также сколами в частности. На рис. 6 и 9 видно, что практически все полосы кварцитов либо совпадают с широтными эшелонированными сколами, либо пересекаются элементарными разломами и зонами интенсивного дробления пород северо-

западного простирания. Геологи, как правило, показывают элементарные разломы одной узкой линией, хотя на самом деле такие разломы имеют ширину от сотен метров до нескольких километров. Поэтому все полосы кварцитов могут вмещаться в такие разломы, т.е. зоны скальвания.

В этом случае, а также учитывая данные работ [Нечаев и др., 1990; Шакіна, Скакун, 2010] о метасоматических и гидротермальных кварцитах Завальевского месторождения, результаты изучения кварцитов обнажения «Белая Скала» Л. В. Шумлянским могут получить несколько иную интерпретацию: а не являются ли эти кварциты не метаосадками, а, например, метаморфизованными в условиях гранулитовой фации вторичными кварцитами?

В геологической литературе, посвященной Гайворон-Завальевскому району, давно укрепились названия Завальевская синклиналь, Хащеватская синклиналь, хотя их синклиналильный характер постулировался не по структурному признаку, а по развитию гнейсов, кристаллических сланцев, кварцитов и кальцифиров. Позже, когда проявился интерес к разломам, эти структуры стали называть приразломными синклиналями или грабен-синклиналями. Но почему синклиналями? Нет никаких структурных признаков, подтверждающих центриклинальное падение пород, наличие пологих шарниров, симметрично расположенных однотипных пород на крыльях и т.д. Все породы имеют субвертикальное падение как в центре, так и на периферии таких «синклиналей», а там, где должны были бы проходить их осевые линии или осевые плоскости, не наблюдаются замки или перегибы слоев. Вместе с тем везде видны признаки метасоматоза и динамометаморфизма — скарнообразование, совместная кристаллизация графита и кварца, тектонические контакты между слоями, сдвиговые перемещения, рассланцевание, дробление, милонитизация.

Таким образом, по нашему представлению, Завальевское графитовое месторождение расположено внутри Завальевской з.р., вмещающей *крупную линзу по-*

род гидротермально-метасоматического происхождения, превращенных в результате регионального метаморфизма, динамометаморфизма и гранитизации в гнейсы, кристаллосланцы, мигматиты, кварциты и магнезиальные скарны. Линза образовалась при формировании зоны разломов, а окончательный процесс ее преобразования завершился ~1,91 млрд лет назад, хотя процессы оруденения, судя по результатам использования калий-аргонового метода, могли продолжаться и позже.

Выводы. 1. Рассмотренные геофизические, геохимические и геоморфологические особенности перспективных рудовмещающих структур Гайворон-Завальевского района ПГРР, а именно: 1) приуроченность к зонам скальвания широтного простирания, 2) связь с линейными корами выветривания, в том числе с их «карманами», 3) возможность обнаружения контрастных геохимических аномалий черных, редких и благородных металлов, редких земель позволяют объединить эти особенности в *серьезный поисковый критерий на черные, редкие и благородные металлы, редкие земли, а также графит.*

2. Использование сформулированного критерия требует применения комплекса недорогих геофизических и геохимических методов для эффективной оценки перспектив района на поиски перечисленных полезных ископаемых. Несмотря на то, что в районе выполнены грави- и магниторазведочные работы вплоть до масштаба 1:50 000, их точность была недостаточно высока, а ориентировка профилей не рассчитана на картирование структур именно широтного простирания и поиски связанных с ними линейных кор выветривания. Комплекс высокоточных гравимагнитных и геохимических работ должен быть дополнен профильной электроразведкой, достаточно эффективной для решения таких задач.

3. Может показаться, что рассмотренный поисковый критерий имеет местное значение, важное только для западной части ПГРР. Однако широтные зоны раз-

ломов и зоны скалывания широко распространены в пределах всего УЩ от Вольно-Подолы до Приазовья и, как отмечалось выше, с ними связаны большие перспективы на поиски полезных ископаемых. Поэтому детально отработанный в Гайворон-Завальевском районе поисковый критерий может быть успешно использован и в других районах щита.

4. Проведенные исследования позволили выделить в западной части УЩ новый этап разломообразования (не более 2 млрд лет назад), названный Маньковским, склоны и зоны скалывания которого имеют простирание 60—70° и субвертикальное падение. Этап требует более детального тектонофизического изучения.

5. В научном плане результаты изучения геологического строения и геодинамики западной части ПГРР еще раз вызывают необходимость более внимательной и тесной увязки данных петрологии, геохроно-

логии, геофизики и, возможно, пересмотра некоторых традиционно устоявшихся представлений об истории развития УЩ в раннем докембрии.

6. С геодинамической точки зрения достаточно важным является подтверждение в данном исследовании существования двух одинаковых, но разновозрастных этапов разломообразования — западно-ингулецкого (~ 2,45 млрд лет назад) и субботско-мошоринского (~1,8—1,85 млрд лет назад), на которых формировалась сеть широтных и меридиональных (в современной системе координат) разломов. Если субботско-мошоринский этап находит подтверждение и в палеомагнитных данных, то для периода 2,45 млрд лет назад надежные палеомагнитные данные отсутствуют из-за неоднократного перемагничивания горных пород. Возможно, материалы тектонофизических исследований помогут разобраться в этом вопросе.

Список литературы

- Алехин В. И., Гинтов О. Б. Кинематические особенности, фазы развития и металлогенез системы широтных зон разломов УЩ. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 6. С. 83—101.
- Василенко А. П., Лепігов Г. Д., Войновський А. С. Прогноз нових геолого-промислових типів рудних родовищ, корисних копалин в корах вивітрювання Українського щита. *Збірник міжнародної наукової конференції до 55-річчя геол. ф-ту Львівського ун-ту.* Львів, 2000. С. 71—72.
- Галецкий Л. С., Соловьев Г. С., Николаенко Б. А. Широтные линеаменты Украины и их металлогеническое значение. В сб.: *Геофизические методы изучения систем разломов земной коры и принципы их использования для прогнозирования рудных месторождений. Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. ДГИ.* Днепропетровск, 1988. С. 78—80.
- Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. Отв ред. Н. П.Щербак. Киев: Наук. думка, 2005. 244 с.
- Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Отв ред. Н. П.Щербак. Киев: Наук. думка, 2008. 240 с.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применения при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.
- Гинтов О. Б. Схема периодизации этапов разломообразования в земной коре Украинского щита — новые данные и следствия. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 1. С. 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116145>.
- Гинтов О. Б., Ентин В. А., Мычак С. В. К построению схемы разломно-мегаблоковой тектоники Украинского щита масштаба 1:500 000. *Геофиз. журн.* 2017. Т. 39. № 5. С. 63—82. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i5.2017.112340>.
- Гинтов О. Б., Исая В. М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. Киев: Наук. думка, 1988. 228 с.
- Гинтов О. Б., Мычак С. В. Геодинамическое развитие Ингульского мегаблока Украинского щита по геолого-геофизическим

- и тектонофизическим данным. 1. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 3. С. 102—118. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i3.2011.116932>.
- Гинтов О. Б., Ентин В. А., Мычак С. В., Павлюк В. Н., Гуськов С. И. Уникальные базит-метабазитовые структуры Побужского горнорудного района, их геологическое значение и перспективы рудоносности (по геофизическим и геологическим данным). *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 3. С. 3—26. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137170>.
- Гинтов О. Б., Орлюк М. И., Ентин В. А., Пашкевич И. К., Мычак С. В., Бакаржиева М. И., Шимків Л. М., Марченко А. В. Структура західної і центральної частин Українського щита. Співні питання. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 6. С. 3—29. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i6.2018.151000>.
- Гинтов О. Б., Орлюк М. И., Мычак С. В., Бакаржиева М. И., Фарфуляк Л. В. Субботско-мошоринский этап деформирования земной коры Украинского щита *Геофиз. журн.* 2008. Т. 30. № 6. С. 23—38.
- Довгань Р. Н., Ентин В. А., Павлюк В. Н. Бандуровская палеовулканическая структура и связанные с ней перспективы алмазности. *Минеральные ресурсы Украины.* 2006. № 4. С. 22—28.
- Ентин В. А., Лукаш В. В. Отчет о результатах по подготовке геофизической и геохимической основы для ГДП-200 платформенного чехла и ГК-200 кристаллического основания листа М-35-XXXXVI (Гайворон). Киев: Геолфонды, 1998.
- Ентин В. А., Шимків Л. М., Нечаева Т. С., Дзюба Б. М., Гинтов О. Б., Пашкевич И. К., Красовський С. С. Підготовка геофізичної основи тектонічної карти України масштабу 1:1000 000. Київ: Геоінформ України, 2002. 55 с.
- Кирилюк В. П. Головні підсумки морфопарагенетичних геолого-формаційних досліджень нижнього докембрію. *Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол.* 2005. Вип. 19. С. 52—74.
- Кирилюк В. П. Побужский гранулитовый комплекс. Гранулитовые структурно-формационные комплексы Украинского щита — европейский эталон. *Путеводитель геологических экскурсий Международной научно-практической конференции 31 мая—4 июня 2010 г.* Под ред. А. Б. Боброва, В. П. Кирилюка. Киев, 2010. С. 8—63.
- Кирилюк В. П. Стратиграфия докембрия западной части Украинского щита (на формационной основе). Статья I. Стратиграфические комплексы докембрия и формации раннего архея. *Геол. журн.* 1982. № 3. С. 88—103.
- Кирилюк В. П., Паранько І. С. Стратиграфічні комплекси — основа стратиграфічної схеми докембрію Українського щита. Стаття 1. Методологічні аспекти створення загальної стратиграфічної схеми докембрію Українського щита. *Зб. наук. праць УкрДГРІ.* 2014. № 3-4. С. 70—87.
- Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизические особенности. Месторождения рудных полезных ископаемых. Под ред. В. И. Старостенко, О. Б. Гинтова. Киев: Галактика, 2013. 500 с.
- Кислюк В. В., Зюльде В. В., Нікіташ Л. П. Геологічна будова та корисні копалини вододілу річок Південний Буг і Дністер. Звіт про ГДП-200 території аркуша М-35-XXXXVI (Гайворон). Київ: Геолфонди, 2011.
- Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита. Затвержена Бюро НСК 13 червня 2003 р. Київ: Вид. УкрНДГРІ, 2004.
- Лазько Е. М., Кирилюк В. П., Сиворонов А. А., Яценко Г. М. Нижний докембрий западной части Украинского щита. (Возрастные комплексы и формации). Львов: Вища школа, 1975. 239 с.
- Лобач-Жученко С. Б., Балаганский В. В., Балтыбаев Ш. К., Степанюк Л. М. Пономаренко А. Н., Лохов К. И., Корешкова М. Ю., Юрченко А. В., Егорова Ю. С., Сукач В. В., Бережная Н. Г., Богомолов Е. С. Этапы формирования Побужского гранулитового комплекса: новые структурно-петрологические и изотопно-геохронологические данные (Среднее Побужье, Украинский щит). *Мінерал. журн.* 2013. Т. 35. № 4. С. 87—99.
- Михайлов В. А. Редкоземельные руды мира. Геология, ресурсы, экономика. Киев: ИПЦ «Киевский университет», 2010. 223 с.

- Мичак С. В., Муровська Г. В., Поляченко Є. Б., Бельський В. Н. Напружено-деформований стан земної кори Побузького гірничорудного району на ділянці Гайворон—Завалля. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 2. С. 95—107. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.128933>.
- Нечаев С. В. Эволюция процессов рудогенеза в структурах Украинского щита. *Геол. журн.* 1990. № 2. С. 68—80.
- Нечаев С. В., Войновський А. С., Ісаков Л. В., Аніщенко Т. М., Шукшина Л. В., Чурубов С. С., Парфенова А. Я. Звіт про науково-дослідну роботу «Складання прогнозно-металогенічної карти рідкіснометалевого зруденіння Українського щита масштабу 1:500 000». Київ: Вид. УкрДГРІ, 2005. 316 с.
- Нечаев С. В., Гинтов О. Б., Мичак С. В. Связь редкоземельно-редкометалльной и золоторудной минерализации с разломно-блоковой тектоникой Украинского щита. 1. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 1. С. 3—32. [doi: 10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158861](https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158861).
- Нечаев С. В., Есипчук К. Е., Шумлянський В. А., Гурский Д. С., Калинин В. И. Очерк металлогении и эволюция рудообразования в земной коре Украины. В кн.: *Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Т. 1. Металлические полезные ископаемые*. Под ред. Щербака Н. П., Боброва А. Б. Киев-Львов: Центр Европы, 2005. С. 639—704.
- Нечаев С. В., Семка В. А. Скарны Украины. Киев: Наук. думка, 1989. 212 с.
- Нечаев С. В., Семка В. А., Бойко А. К. О времени образования скарнов Украинского щита. *Геол. журн.* 1990. № 3. С. 41—144.
- Павлюк В. М., Бобров О. Б., Висоцький Б. Л., Довгань Р. М., Жовинський Е. Я., Костенко М. М., Ликов Л. І., Цимбал С. М. Звіт за темою «Геологія, петрологія, геохімія, вік та рудоносність мафіт-ультрамафітових асоціацій західної частини УЩ». Кн. 1—6. Київ: Фонд ГП «Украинская геологическая компания», 2008. 683 с.
- Пономаренко А. Н., Гинтов О. Б., Степанюк Л. М. О так называемой «лейкогранулитовой» формации и зеленолевадовской свите раннего докембрия Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 5. С. 45—68. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147474>.
- Слензак О. І. Про структуру українського докембрію (на прикладі південно-західної частини Українського кристалічного щита). Київ: Наук. думка, 1965. 139 с.
- Створення комплексної тривимірної геофізичної моделі літосфери в зв'язку з магматизмом, тектонікою та утворенням корисних копалин Українського щита. Звіт ІГФ НАН України. Київ: Укргеолфонд, 2006. 514 с.
- Степанюк Л. М. Метасоматична природа біотитових та біотит-гранатових гнейсів Середнього Побужжя. *Доп. НАН України.* 1997. № 1. С. 133—136.
- Степанюк Л. М. Проблеми стратиграфії та геохронології Українського щита. *Мінерал. журн.* 2018. Т. 40. № 1. С. 16—31.
- Степанюк Л. М. Геохронологія докембрію західної частини Українського щита (архей—палеопротерозой): Дис. д-ра. геол. наук. Київ, 2000. 290 с.
- Степанюк Л. М., Довбуш Т. І., Курило С. І., Зюльце О. В., Яськевич Т. Б. Уран-свинцевий вік монацитів біотитових гнейсів Середнього Побужжя Українського щита. *Мінерал. журн.* 2017. Т. 39. № 2. С. 46—56.
- Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000 000. Ч. І. Пояснювальна записка. Київ: УкрДГРІ, 2007. 97 с.
- Шакіна К. А., Скакун Л. З. Мінеральний склад і процеси формування графітовмісних порід Завалівського родовища графіту: *Тезиси докладов Международной научно-практической конференции «Стратиграфия, геохронология и корреляция нижнедокембрийских породных комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы»*. Киев: Изд. УкрНИГРИ, 2010. 252 с.
- Шумлянський Л. В. Вік та ізотопний склад гафнію цирконів з кварцитів Середнього Побужжя Українського щита. *Геохімія та рудоутворення.* 2012. Вип. 31-32. С. 136—142.
- Щербаков І. Б. Петрологія Украинского щита. Львов: ЗУКЦ, 2005. 296 с.

- Ярошук М. А. Железорудные формации Белоцерковско-Одесской металлогенической зоны. Киев: Наук. думка, 1983. 224 с.
- Ярошук М. А., Довгань Р. Н. Серендибит из пород Побужского района Украинского щита. *Минерал. журн.* 1990. Т. 12. № 6. С. 75—78.
- Ярошук М. А., Ярошук Э. А. Диафориты юго-западной окраины Украинского щита и их рудоносность. *Геология рудных месторождений.* 1989. Т. XXXI. № 3. С. 74—81.
- Яценко Г. М., Гурский Д. С., Сливко Е. М., Гейко Ю. В., Приходько В. Л. Алмазонасные формации и структуры юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы. Опыт минерации алмаза. Киев: Изд. УкрГГРИ, 2002. 331 с.
- Mychak, S. V., Cherkes, S. I., Farfuliak, L. V., Poliachenko, I. B., & Murovskaya, A. V. (2018). The ratio of deformation structures and magnetic textures of rocks Pobuzhsky ore mining district. *17th International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects, 14—17 May 2018, Kiev, Ukraine.* Conference Paper. doi: 10.3997/2214-4609.201801851.

On a link of rare earth-rare metal and gold-ore mineralization with fault-block tectonics of the Ukrainian shield. 2

S. V. Nechaev, O. B. Gintov, S. V. Mychak, 2019

In the second article of the cycle «On a link of rare earth-rare metal and gold-ore mineralization with fault-block tectonics of the Ukrainian shield» [Nechaev et al., 2018] the internal structure, kinematics, age and metallogeny of the faults of the Gaivoron-Zavaliev section of the Pobuzhie mining region (PMR) of the Ukrainian shield (USh) have been considered. It is shown that the Gaivoron zone of faults with a width of up to 10 km consists of five shear zones of the latitudinal stretch, which make up the boundary between the Bug and Ros in megablocks of the USh. The kinematic shear zones are laid out as left shifts in the field of stresses $\sigma_1 45^\circ$, $\sigma_3 315^\circ$, $\sigma_2 \perp$ (West-Ingulets stage). The youngest stage of their activation is the Subbotsk-Moshorin ($\sigma_1 312^\circ$, $\sigma_3 42^\circ$, $\sigma_2 \perp$ — right shift). The actual Gaivoron shear zone is characterized by widespread lamprophyres with rare earth mineralization of La, Ce, Y, as well as increased content of Ti, Mn, Ba, Cr. Within the Khaschevat shear zone the Solomievsk deposit of aqueous phosphates with yttrium composition of ores and an iron-manganese deposit with a priority triad of Y, Yb, Ge, as well as Au are known among tectonites. The granitoids of the Ustye-Stavsk shear zone are characterized by an abnormally high monazite content.

For the first time the internal structure and kinematics of the Zavaliev fault zone, the width of which is at least 4 km, is studied in detail. It is shown that it consists of two shear zones — the latitudinal actually Zavaliev and northeastern Peschanaya-Zhakchik. Both shear zones are observed in the Zavaliev graphite pit. They formed, as the Gaivoron zone of faults, at the West-Ingulets stage, and the last phase of activation took place in the Subbotsk-Moshorin stage. The opinion that the Zavaliev structure is not a synclinal fold, as was supposed to be, but an intrafault lens of hydrothermalites-metasomatites. These include graphite-biotite gneisses and shales, ore and ore-free quartzites, calciphyres and skarnoids. In addition to the world's reserves of graphite, elevated concentrations of gold, silver, platinum, and iridium are widely represented in the zone of faults (in zones of silicification and sulfidization of graphite-biotite gneisses).

Key words: Ukrainian shield, Middle Bug area, zones of faults, metallogeny, dynamo-metamorphism, metasomatites.

References

- Alekhin, V. I., & Gintov, O. B. (2004). Kinematic features, phases of development and metallogeny of the system of latitudinal zones of faults of USh. *Geofizicheskiy zhurnal*, 26(6), 83—101 (in Russian).
- Vasilenko, A. P., Lepigov, G. D., & Voynovskiy, A. S. (2000). Forecast of new geological-industrial types of ore deposits, minerals in the crust of residual soil of the Ukrainian Shield. In *Collection of the international scientific conference to the 55th anniversary of the geological department of the Lviv University* (pp. 71—72). Lviv (in Ukrainian).
- Galetskiy, L. S., Soloviev, G. S., & Nikolaenko, B. A. (1988). Latitudinal lineaments of Ukraine and their metallogenic meaning. In *Geophysical methods for studying the crustal fault systems and the principles of their use for predicting ore deposits* (pp. 78—80). Dnepropetrovsk (in Russian).
- Scherbak, N. P. (Ed.). (2005). *Geochronology of the early Precambrian Ukrainian shield*. Archaea. Kiev: Naukova Dumka, 244 p. (in Russian).
- Scherbak, N. P. (Ed.). (2008). *Geochronology of the early Precambrian Ukrainian shield. Proterozoic*. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
- Gintov, O. B. (2005). *Field tectonophysics and its application in the study of deformations of the earth's crust of Ukraine*. Kiev: Feniks (in Russian).
- Gintov, O. B. (2014). Scheme of periodization of faulting stages in the Earth's crust of the Ukrainian Shield — new data and consequences. *Geofizicheskiy zhurnal*, 36(1), 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116145> (in Russian).
- Gintov, O. B., Entin, V. A., & Mychak, S. V. (2017). On plotting the scheme of fracture-megablock tectonics of the Ukrainian Shield in a scale 1:500 000. *Geofizicheskiy zhurnal*, 39(5), 63—82. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i5.2017.112340> (in Russian).
- Gintov, O. B., & Isay, V. M. (1988). *Tectonophysical studies of faults in the consolidated crust*. Kiev: Naukova Dumka, 228 p. (in Russian).
- Gintov, O. B., & Mychak, S. V. (2011). Geodynamic development of the Ingul megablock of the Ukrainian Shield for geological-geophysical and tectonophysical data. I. *Geofizicheskiy zhurnal*, 33(3), 102—118. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i3.2011.116932> (in Russian).
- Gintov, O. B., Entin, V. A., Mychak, S. V., Pavlyuk, V. N., Guskov, S. I. (2018). Unique basite-metabasite structures of the Pobuzhsky ore mining region, their geological significance and ore-bearing prospects (by geophysical and geological data). *Geofizicheskiy zhurnal*, 40(3), 3—26. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137170> (in Russian).
- Gintov, O. B., Orlyuk, M. I., Entin, V. A., Pashkevich, I. K., Mychak, S. V., Bakarzhieva, M. I., Shimkiv, L. M., & Marchenko, A. V. (2018). The structure of the Western and Central parts of the Ukrainian Shield. Controversial issues. *Geofizicheskiy zhurnal*, 40(6), 3—29. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i6.2018.151000> (in Ukrainian).
- Gintov, O. B., Orlyuk, M. I., Mychak, S. V., Bakarzhieva, M. I., & Farfulyak, L. V. (2008). Subbotko-Moshorinsky stage of the Earth's crust deformation of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy zhurnal*, 30(6), 23—38 (in Russian).
- Dovgan, R. N., Entin, V. A., & Pavlyuk, V. N. 2006. Bandurovska paleovolcanic structure and diamond bearing potential associated with it. *Mineral'nyye resursy Ukrainy*, (4), 22—28 (in Russian).
- Entin, V. A., & Lukash, V. V. (1998). *Report on the results of the preparation of the geophysical and geochemical basis for the GDP-200 platform cover and GGK-200 crystal base of sheet M-35-XXXVI (Gaivoron)*. Kiev: Geolfondy (in Russian).
- Entin, V. A., Shimkiv, L. M., Nechayeva, T. S., Dzyuba, B. M., Gintov, O. B., Pashkevich, I. K., & Krasovskiy S. S. (2002). *Preparation of the geophysical basis of the tectonic map of Ukraine, scale 1:1000 000*. Kyev: Geoinform Ukrainy, 55 p. (in Ukrainian).
- Kirilyuk, V. P. (2005). The main summing up of morphoparagenetic geological formational investigations of Lower Precambrian. *Visnik*

- Lvivskogo universitetu. Ser. Geologichna*, (19), 52—74 (in Ukrainian).
- Kirilyuk, V. P. (2010). The Bug granulitic complex area. Granulitic structural-formational complexes of the Ukrainian Shield — European standard. In A. B. Bobrov, & V. P. Kirilyuk (Eds), *Guide to geological excursions of the International Scientific and Practical Conference May 31 — June 4* (pp. 8—63). Kiev (in Russian).
- Kirilyuk, V. P. (1982). Precambrian stratigraphy of the western part of the Ukrainian Shield (on a formational basis). Article I. Precambrian stratigraphic complexes and early Archean formations. *Geologicheskij zhurnal*, (3), 88—103 (in Russian).
- Kirilyuk, V. P., & Paranko, I. S. (2014). The stratigraphic complexes are the basis of the stratigraphic scheme of the Precambrian Ukrainian Shield. Article 1. Methodological aspects of the construction of the general stratigraphic scheme of the Precambrian Ukrainian Shield. *Zbirnik naukovykh prats UkrDGRI*, (3-4), 70—87 (in Ukrainian).
- Starostenko, V. I., & Gintov, O. B. (Eds). (2013). *Kirovograd ore area. Deep structure. Tectono-physical features. Ore mineral deposits*. Kiev: Galaktika, 500 p. (in Russian).
- Kislyuk, V. V., Zyuultse, V. V., & Nikitash, L. P. (2011). *Geological structure and minerals of watershed of the Southern Bug and the Dnister. Report of GDP-200 of the territory of sheet M-35-XXXVI (Gaivoron)*. Kyiv: Geolfondy (in Ukrainian).
- Correlation chronostratigraphic scheme of the early Precambrian Ukrainian Shield. (2004). Approved by the Bureau of the NSC of June 13, 2003. Kyiv: Ukr NDGRI (in Ukrainian).
- Lazko, E. M., Kirilyuk, V. P., Sivoronov, A. A., & Yatsenko, G. M. (1975). *Lower Precambrian of the western part of the Ukrainian Shield. (Age complexes and formations)*. Lvov: Vyshcha shkola, 239 p. (in Russian).
- Lobach-Zhuchenko, S. B., Balagansky, V. V., Baltybaev, Sh. K., Stepanyuk, L. M., Ponomarenko, A. N., Lokhov, K. I., Koreshkova, M. Yu., Yurchenko, A. V., Yegorova, Yu. S., Sukach, V. V., Berezhnaya, N. G., & Bogomolov, E. S. (2013). Stages of formation of the Bug area granulite complex by the data of isotopic-geochronological investigations (the Middle Bug area, the Ukrainian Shield). *Mineralohichnyy zhurnal*, 35(4), 87—99 (in Russian).
- Mikhailov, V. A. (2010). *Rare earth ores of the world. Geology, resources, economics*. Kiev: IPC «Kiev University», 223 p. (in Russian).
- Mychak, S. V., Murovska, G. V., Polyachenko, E. B., & Belsky, V. N. (2018). Stress-deformed state of the Earth crust of the Bug mining area in the section Gaivoron—Zavallya. *Geofizicheskij zhurnal*, 40(2), 95—107. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.128933> (in Ukrainian).
- Nechaev, S. V. (1990). The evolution of the processes of ore genesis in the structures of the Ukrainian Shield. *Geologicheskij zhurnal*, (2), 68—80 (in Russian).
- Nechaev, S. V., Voynovsky, A. S., Isakov, L. V., Anishenko, T. M., Shukshina, L. V., Churubov, S. S., & Parfenova, A. Ya. (2005). *Report on scientific research work «Forecast-metallogenic mapping of raremetallic mineralization of the Ukrainian shield of scale 1:500 000»*. Kyiv: UkrDGRI (in Ukrainian).
- Nechaev, S. V., Gintov, O. B., & Mychak, S. V. (2019). Connection of rare-metal-rare-earth and gold mineralization with the fault-block tectonics of the Ukrainian Shield. 1. *Geofizicheskij zhurnal*, 41(1), 3—32. doi: 10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158861 (in Russian).
- Nechaev, S. V., Esipchuk, K. E., Shumlyanskiy, V. A., Gurskiy, D. S., & Kalinin, V. I. (2005). An outline of metallogeny and the evolution of ore formation in the earth's crust of Ukraine. In N. P. Scherbak, & A. B. Bobrov (Eds), *Metallic and nonmetallic minerals of Ukraine* (Vol. 1, pp. 639—704). Kiev-Lvov: Tsentrv Evropy (in Russian).
- Nechaev, S. V., & Semka, V. A. (1989). *Skarns of Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, 212 p. (in Russian).
- Nechaev, S. V., Semka, V. A., & Boyko, A. K. (1990). The time of the formation of skarns of the Ukrainian Shield. *Geologicheskij zhurnal*, (3), 141—144 (in Russian).
- Pavlyuk, V. M., Bobrov, O. B., Vysotskiy, B. L., Dovgan, R. M., Zhovynskyy, E. Ya., Kostenko, M. M., Lykov, L. I., & Tsymbal, S. M. (2008).

- Report on the theme «Geology, petrology, geochemistry, age and ore bearing of the mafite-ultramafite associations of the western part of the Ush».* Books 1—6. Kiev: Fund of State Enterprise «Ukrainian Geological Company», 683 p. (in Ukrainian).
- Ponomarenko, A. N., Gintov, O. B., & Stepanyuk, L. M. (2018). On the so-called «leucogranulite» formation and the greenlevada suite of Early Precambrian of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy zhurnal*, 40(5), 45—68. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147474> (in Russian).
- Slenzak, O. I. (1965). *About the structure of the Ukrainian Precambrian (on the example of the South-Western part of the Ukrainian Crystalline shield)*. Kiev: Naukova Dumka, 139 p. (in Ukrainian).
- The creation of a complex 3-dimensional geophysical model of the lithosphere in connection with magmatism, tectonics and the establishment of minerals of the Ukrainian Shield. (2006). Report of IGF of NAS of Ukraine. Kyiv: Ukrgeolfond, 514 p. (in Ukrainian).
- Stepanyuk, L. M. (1997). Metasomatic nature of biotitic and biotitic — garnet gneisses of the Middle Bug area. *Dopovidi NAN Ukrainy*, (1), 133—136 (in Ukrainian).
- Stepanyuk, L. M. (2018). Problems of stratigraphy and geochronology of the Ukrainian shield. *Mineralogichnyy zhurnal*, 40 (1), 16—31 (in Ukrainian).
- Stepanyuk, L. M. (2000). *Geochronology of the Precambrian Western part of the Ukrainian Shield (Archean-Paleoproterozoic)*: PhD dissertation. Kyiv, 290 p. (in Ukrainian).
- Stepanyuk, L. M., Dovbush, T. I., Kurilo, S. I., Zhylytska, O. V., & Yaskevich, T. B. (2017). Uranium-lead age of monazite biotitic gneisses of the Middle Bug area of the Ukrainian Shield. *Mineralogichnyy zhurnal*, 39(2), 46—56 (in Ukrainian).
- Tectonic map of Ukraine. (2007). Scale 1:1000 000. Part I. Explanatory note. Kyev: UkrGGRI, 97 p. (in Ukrainian).
- Shakina, K. A., & Skakun, L. Z. (2010). Mineral composition and processes of graphite enclosing rocks formations of the Zavalivsk graphite deposits. *Abstracts of the reports at the International Scientific and Practical Conference «Stratigraphy, geochronology and correlation of the Lower Precambrian rock complexes of the foundation of the East-European platform»*. Kiev: UkrNIGRI, 252 p. (in Russian).
- Shumlyansky, L. V. (2012). Age and isotopic composition of hafnium of zircons from quartzites of the Middle Bug area of the Ukrainian shield. *Heokhimiya ta rudoutvorennya*, (31-32), 136—142 (in Ukrainian).
- Shcherbakov, I. B. (2005). *Petrology of the Ukrainian Shield*. Lviv: ZUKC, 296 p. (in Russian).
- Yaroshchuk, M. A. (1983). *Iron-ore formations of the Belotserkovsk-Odessa metallogenic zone*. Kiev: Naukova Dumka, 224 p. (in Russian).
- Yaroshchuk, M. A., & Dovgan, R. N. (1990). Serendibite from rocks of the Bug area of the Ukrainian Shield. *Mineralogicheskyy zhurnal*, 12(6), 75—78 (in Russian).
- Yaroshchuk, M. A., & Yaroshchuk, E. A. (1989). Diaforites of the southwestern margin of the Ukrainian Shield and their ore-bearing. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, XXXI(3), 74—81 (in Russian).
- Yatsenko, G. M., Gurskiy, D. S., Slivko, E. M., Geyko, Yu. V., & Prikhodko, V. L. (2002). *Diamondiferous formations and structures of the southwestern margin of the East European Platform*, 331 p. (in Russian).
- Mychak, S. V., Cherkes, S. I., Farfuliak, L. V., Poliachenko, I. B., & Murovskaya, A. V. (2018). The ratio of deformation structures and magnetic textures of rocks Pobuzhsky ore mining district. *17th International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects, 14—17 May 2018, Kiev, Ukraine*. Conference Paper. doi: 10.3997/2214-4609.201801851.