

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2019.09.049>
УДК 551.25

О.В. Усенко

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев
E-mail: usenko_ol@ukr.net

Использование вещественного состава пород для корреляции стратиграфических единиц Украинского щита

Представлено академиком НАН Украины В.И. Старостенко

В докембрии вещественный состав породных комплексов изменялся закономерно. Этот факт установлен на всех кратонах мира. Уровень, сегодня выходящий на поверхность в гранулитовых блоках УЩ, в архее—палеопротерозое находился на глубине размещения средней и нижней коры. Поэтому определяющую роль в их строении имели процессы, протекающие в околосолидусных условиях (внедрение расплавов, флюидов, метасоматические замещения и др.). Геологические проявления, характерные для верхней коры, в том числе накопление осадков и складчатость, происходили на уровне, эродированном в более поздних геодинамических процессах. Для корреляции стратиграфических единиц гранулитовых блоков щита можно использовать вещественный состав метаморфических и магматических комплексов.

Ключевые слова: Украинский щит, изотопный возраст, докембрий, кальцифиры, графит, железистые формации.

При обсуждении возраста стратиграфических единиц Украинского щита (УЩ) за пределами внимания остается учет направленного развития Земли, отраженный в закономерном изменении состава магматических и хемогенно-осадочных формаций в докембрии [1–4]. При определении условий образования (и преобразования) пород, выходящих на современную поверхность, не учитывается вертикальная (плюмовая) составляющая [1] геодинамических процессов. Она проявлена поступлением в кору мантийных расплавов (ультраосновных и основных) и флюидов (карбонатных, силикатных, водных и др.) [1, 3, 4]. В этом случае обязательно изменяется и распределение физических параметров (в первую очередь температур), что приводит к фазовым переходам [3]. Также мало учитывается, что современное строение УЩ — результат последовательности проявления множественных плюмовых событий [4].

В данной работе обсуждается общая постановка задачи. Приведена очень общая оценка временных интервалов, глубин и других параметров. Это вызвано целым рядом причин. Отсутствие детализации обусловлено сложным строением изучаемого объекта (неоднородностью коры), недостаточным количеством определений изотопного возраста и не-

однозначностью их толкований. В научной литературе (например, [4] и [5, 6]) приводятся разные названия стратиграфических единиц и магматических комплексов. Для построения моделей необходимы дополнительные геологические, тектонофизические и геохимические исследования, а также обобщение имеющейся петрологической информации.

Общая направленность изменения состава породных комплексов и общего строения кратонов, отраженная на УЩ. При восстановлении первичного состава пород, метаморфизованных в зеленосланцевой и амфиболитовой фациях метаморфизма, успешно используется прием снятия метаморфизма. Изотопные даты в большинстве случаев соответствуют последовательности, установленной по условиям залегания [5].

Все гранит-зеленокаменные области (ГЗО) характеризуются сходным строением и близким временем появления комплексов пород близкого состава. В Среднеприднепровском мегаблоке (СПМБ), Орехово-Павлоградской шовной зоне и Западном Приазовье, несмотря на разную степень метаморфизма (уровень эрозионного среза), прослеживается структурный рисунок ГЗО, в которых гранито-гнейсовые купола, сложенные породами тоналит-трондьемит-гранодиоритовой формации, опоясаны зеленокаменными структурами (ЗКС), обязательно включающими коматииты. Во всех ЗКС мира присутствуют железистые породы типа Алгома (для УЩ используется название железисто-кремнисто-вулканогенная формация). Зеленокаменные пояса можно представить, как наиболее крупные включения в гнейсах, а не как дискретные первичные впадины, наложенные на гнейсовый комплекс [1]. Подобные формации и региональные структурные рисунки после никогда не образуются.

Гранито-гнейсовые купола СПМБ сложены породами днепропетровского комплекса, который сформирован в течение четырех этапов гранитообразования 3,17, 3,1, 3,0 и 2,95 млрд лет назад. После 2,8 и до 2,6 млрд лет на СПМБ образуются разломные зоны, на пересечении которых находятся массивы интрузивных гранитов, относящихся к демуринскому, токовскому, мокромосковскому комплексам [5].

Орехово-Павлоградская шовная зона и Западное Приазовье в архее также представляли собой ГЗО, только более эродированную на последующих этапах развития. Здесь отчетливо прослеживаются остатки ЗКС и гранито-гнейсовых куполов, реоморфизованных в палеопротерозое. Присутствуют и более древние ультрабазит-базитовые породы (новопавловского комплекса от 3,65 млрд лет), проявлено шесть этапов гранитизации: 3,5 и 3,3 млрд лет назад, а также все зафиксированные в СПМБ. Остатки архейских ЗКС “погружены” в граниты шевченковского гранито-гнейсового комплекса, представляющего собой очаг частичного плавления коры, возраст которого 2,8 млрд лет [5].

Криворожская серия не датирована. Начало ее формирования определяется по косвенным признакам: после появления микроклиновых гранитов анновского комплекса 2,66 млрд лет назад. Аналогично определен возраст курской серии. Она образована после лебединских (2,59) и остаповских (2,53 млрд лет назад) гранитов [7]. Обе серии включают породы железисто-кремнисто-сланцевой (ЖКС) формации [8]. Возраст гданцевской свиты в Криворожско-Кременчугской зоне, а также оскольской свиты Курской магнитной аномалии, относящихся к железисто-кремнисто-карбонатной (ЖКК) формации, датируется около 2,05 млрд лет, так как возраст цирконов анатектических гранитов кировоградского комплекса 2,0–1,89 млрд лет [6].

В таблице показано изменение вещественного состава железистых пластов в докембрии, которое детально изучено на УЩ, но проявлено на всех кратонах мира. Криворожская серия включает две железистые формации: ЖКС (саксаганская и скелеватская свиты) и ЖКК (гданцевская и гелееватская свиты), возраст которых, хоть и по косвенным признакам, установлен. Тогда присутствие пород ЖКС формации в гуляйпольской и белозерской сериях является указанием на их возраст, соответствующий саксаганской и скелеватской свитам криворожской серии [8]. В протерозое образуются разломные зоны, троговые структуры, в которых накапливаются породы, в частности, ЖКС формации. Криворожско-Кременчугская зона наложена на архейский фундамент.

Существует ряд вопросов относительно возраста стратиграфических единиц восточной части УЩ. Возраст белозерской серии СПМБ, гуляйпольской свиты на сегодня однозначно не определен [8]. Однако самые активные дискуссии ведутся по поводу возраста пород, слагающих гранулитовые блоки щита. Здесь неприменим прием “снятия метаморфизма”, так как “в глубоко метаморфизованных и дислоцированных толщах докембрия

Железистые формации УЩ [9]

Признак	Формация		
	Железисто-кремнисто-вулканогенная	Железисто-кремнисто-сланцевая	Железисто-кремнисто-карбонатная
Возраст, млрд лет	3,2–2,8	2,6–2,5–?	2,05–1,9
Распространение	Среднеприднепровский мегаблок, Западное Приазовье. Зеленокаменные структуры	Среднеприднепровский мегаблок (?), Криворожско-Кременчугская зона, Орехово-Павлоградская шовная зона, Западное Приазовье, Среднее Побужье (?). Шовные зоны	Бугский мегаблок, Голованевская шовная зона, Росинский мегаблок, Западное Приазовье. Шовные зоны и примыкающие части блоков
Фация метаморфизма	Зеленосланцевая, амфиболитовая	Амфиболитовая	Гранулитовая, амфиболитовая
Интенсивность синхронного проявления вулканизма и гранитизации	Сильная. Амфиболиты, ультрабазиты (в том числе коматииты), роль гранитов увеличивается после 3,0 млрд лет	Слабая. Пикриты, амфиболиты, гранитов нет	Сильная. Амфиболиты, ультрабазиты. Гранитизация
Вмещающие породы	Амфиболиты, коматииты, сланцы	Сланцы, метапесчаники	Гнейсы, амфиболиты
Продуктивность железистых свит, %	35–50	80–90	10–35
Содержание железистых кварцитов, %	28–32	32–38	25–30
Содержание богатых руд	50–60	60–70	50–55
Основные минеральные формы железа	Сидерит, магнетит, кварц, пирит-пирротин		Гематит, магнетит, кварц, пирротин, пирит

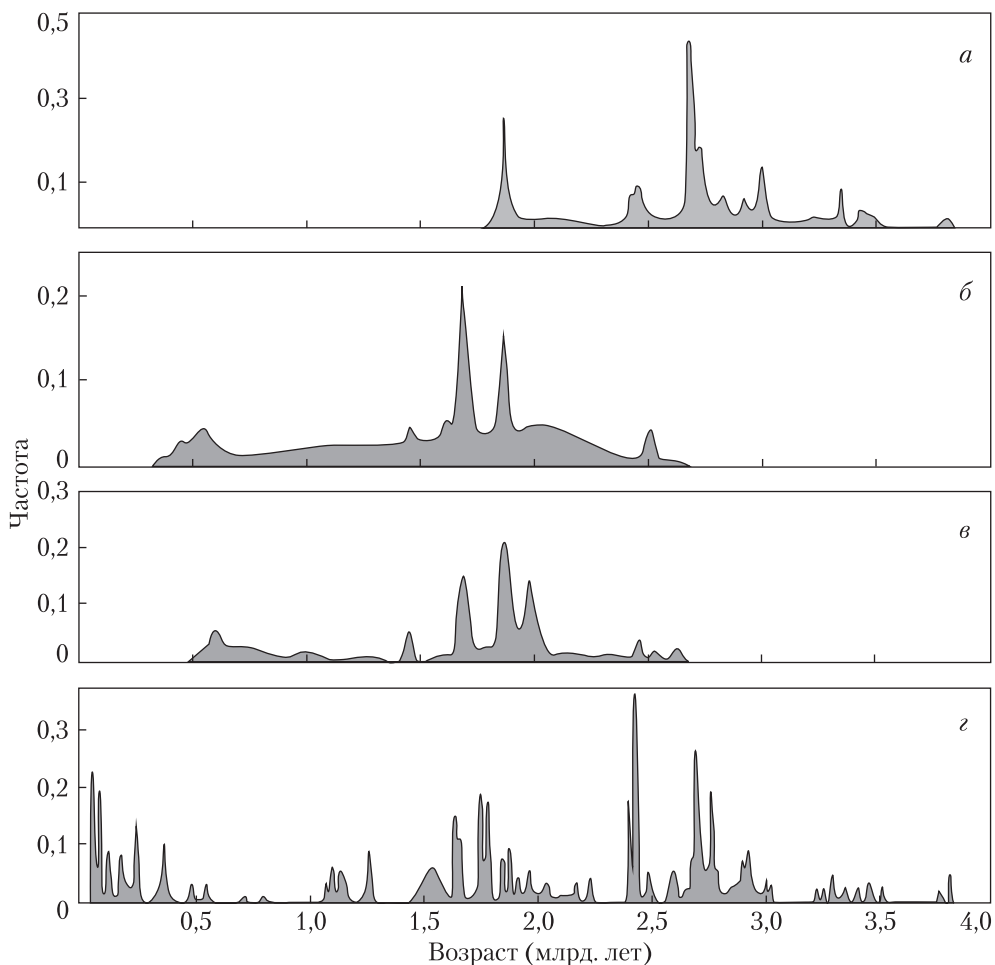


Рис. 1. Сопоставление периодичности возникновения железистых формаций (а), площади осадочных отложений (б), черных сланцев (графитоносных формаций) (в) с проявлениями плюмовых эпизодов (г). Приведено по [1]

полностью утеряны признаки их первичного генезиса, при “снятии” метаморфизма одного этапа обнаруживается другой метаморфически-метасоматический парагенезис, которому предшествует третий и т. д., а перекристаллизация часто полностью уничтожает следы предшествующих деформаций” [4, с. 35].

Проанализируем, какие признаки можно использовать при установлении возраста пород докембрийских щитов.

Изменение состава расплавов и флюидов в докембрии является общим для всей Земли [1–3]. Каждому периоду развития соответствует определенный набор пород. Эта зависимость установлена на всех кратонах мира, поэтому вещественный состав может быть дополнительным признаком, указывающим на возраст стратиграфических подразделений.

Кластогенные осадочные породы на всех щитах мира появляются в неорархее (рис. 1). Тогда михайловская свита белозерской серии СПМБ могла быть образована после 2,8 и до 2,5 млрд лет [8]. Формации, содержащие графит, появляются в протерозое. До 2,8 млрд

лет углерод присутствует исключительно в виде карбонатной фазы [3]. Вулканогенные и сланцевые пласты ЗКС сложены преимущественно серпентином, тальком, хлоритом. Из карбонатов распространены брейнерит, сидероплезит, реже доломит. Это магнезиальные минералы, которые образуются при высоком окислительном потенциале.

Все архейские породы обогащены магнием, хромом и железом, мало калия, нет титана. Натрий входит в состав альбита и олигоклаза, кальций — в состав амфиболов, тогда как карбонаты магнезиальные и железистые. Наблюдается корреляция поведения железа и магния и обратная к ним — кальция. Магний и железо активны в недифференцированной силикатной и карбонатной фазах. Из первой кристаллизуются коматииты (серпениниты), из второй — брейнериты. Причем магний и железо распределяются между ними равномерно. Кальций активен почти исключительно в силикатном расплаве, дифференцированном на глубине 50–100 км в присутствии воды. Входит в состав амфибола или плагиоклаза и не входит в состав карбонатов. Кальцита нет, а доломит мало распространен. Железо входит в состав эксплозий (силикатных, карбонатных) и расплавов [3].

В формациях, образующихся на рубеже неoarхея и палеопротерозоя, фиксируется резкое увеличение доли хемогенно(эксгальционнo)-осадочных пород относительно вулканогенных, изменение состава магматических комплексов. Исчезают высокомагнезиальные коматииты и брейнериты, развитие получают пикриты, а в железистых пластах распространен сидерит. Наблюдается увеличение доли глинозема и появление графита, ритмичное строение метаморфических толщ. Количество графита незначительно, однако его присутствие отражает общее снижение окислительного потенциала по сравнению с археем [3]. Тогда породы, включающие графит, образованы в протерозое (см. рис. 1). По всей видимости, породы, относимые к зеленовадовской толще днестровско-бугской серии, также образованы в протерозое (не ранее 2,3–2,0 млрд лет назад).

Резкая смена состава хемогенно-осадочных формаций и тектонического режима происходит накануне гранитизации 2,05 млрд лет и максимально проявлена около 2,0 млрд лет назад [2]. В это время (и никогда ранее) образуются доломитовые и кальцитовые расплавы и эксплозии (представленные, например, в Черниговском комплексе карбонатитов), а в составе метаморфических толщ появляются мраморы и кальцифиры. Высокоглиноземистые породы и графитовые сланцы также образованы приблизительно в это время. Формируются толщи, в которых многократно повторяется ритм кальцифиры — глиноземистые породы — спилиты (туфы, состав которых соответствует измененному базальту) — углеводороды (нефти и асфальты, преобразующиеся в уголь, графит). Последовательное отделение флюидов и расплавов такого состава, повторяющееся многократно, связано с физико-химическими взаимодействиями, происходящими в слое плавления [3].

Присутствие пород ЖКК формации в Бугском мегаблоке, Голованевской шовной зоне и Росинском мегаблоке — однозначный признак их активности в период 2,05–1,9 млрд лет. В бугской серии представлены эксплозивные карбонатные породы, а в гданцевской свите криворожской серии — эксгальционнo-осадочные. Только после 2,05 млрд лет образуются карбонат-магнетитовые руды, в которых карбонаты — доломит и кальцит, а железо присутствует в окисленной форме. Кальций входит в состав карбонатов, а окислы железа образуют магнетит и гематит. Сидерит отсутствует. Подобное сочетание возможно в щелочных и ультращелочных условиях, когда значительная часть железа находится в виде Fe^{3+} [8].

Магматические породы, образованные 2,05–1,75 млрд лет назад, представлены массивами габбро-монзонитов — микроклиновых гранитов. Они обогащены железом и титаном, содержание последнего возрастает в плутонах, сложенных габбро, анортозитами и гранитами рапакиви [2]. То есть в это время железо концентрируется в силикатном расплаве, тогда как кальций входит в состав карбонатного флюида. Подобное происходит в результате инверсии состава мантийных флюидов. Нейтральные и кислые водно-силикатные флюиды с хлором, активные в архее и до 2,05 млрд лет назад, сменяются сухими карбонатными с фтором, что приводит к разделению на несмешиваемые фазы и появлению карбонатитов и массивов щелочных пород. В западной части щита в очагах плавления коры происходит смешение этих флюидов с водными, что обуславливает появление целого спектра полезных ископаемых: альбититов с ураном, редкометалльных пегматитов и др. [3]. Поэтому присутствие пачек кальцифиров, высокое содержание графита — однозначное свидетельство палеопротерозойского (2,0–1,9 млрд лет) возраста пород.

Учет особенностей протекания физических процессов и фазового состояния вещества в условиях гранулитовой фации метаморфизма. В гранулитовых блоках щита на поверхность выведен уровень, который до 2,0 млрд лет назад являлся нижней частью коры. Здесь представлены породы, испытавшие многочисленные этапы внедрения, частичного плавления, кристаллизации и метасоматического замещения во множественных тектономагматических циклах (плюмовых событиях). В описании В.М. Венидиктова: “Комплекс формаций следующего цикла напоминает многофазный плутон, внедрившийся в дислоцированную и метаморфизованную раму, только вместо генераций расплава образуются разновозрастные зоны деформации—перекристаллизации, в которых формируются основные и гранитизированные породы..., а проявления следующего цикла выражены наложением деформаций, бластомилонитизации и перекристаллизации на все формации предыдущего цикла” [4, с. 54]. В некоторых случаях первичные полиметаморфические и полициклические формации полностью исчезают, а облик образующейся формации обусловлен главным образом составом флюида [4].

В блоках щита, породы которых метаморфизованы в высокой амфиболитовой и гранулитовой фациях, самый надежный признак — изотопный возраст цирконов — ставится под сомнение. И возражения против использования возраста циркона в качестве единственного критерия становятся понятны, исходя из данных рис. 2.

Причина присутствия цирконов, характеризующих все этапы развития коры Бугского мегаблока объяснима. В Хашчевато-Завальевском блоке на поверхность выходят породы, во время образования находившиеся на глубине 20–30 км. Самые древние цирконы отражают формирование древнейших пород в интервале 3,7–3,3 млрд лет, включавшее неоднократное внедрение основных расплавов и несколько этапов гранулитового метаморфизма [10]. Все последующие датировки соответствуют периодам дальнейшего преобразования нижней коры вследствие поступления мантийных расплавов (например, возраст лерцолита, см. рис. 2), а также всем этапам многократного частичного плавления и метасоматического замещения ее участков. Эти датировки совпадают с главными периодами формирования ГЗО СПМБ, хотя в западной части УЩ не установлены породы, которые можно было бы идентифицировать как остатки ЗКС. В незначительном количестве датировок отражен процесс (часть процесса), проходившего на границе архея и палеопротерозоя (2,5 млрд лет

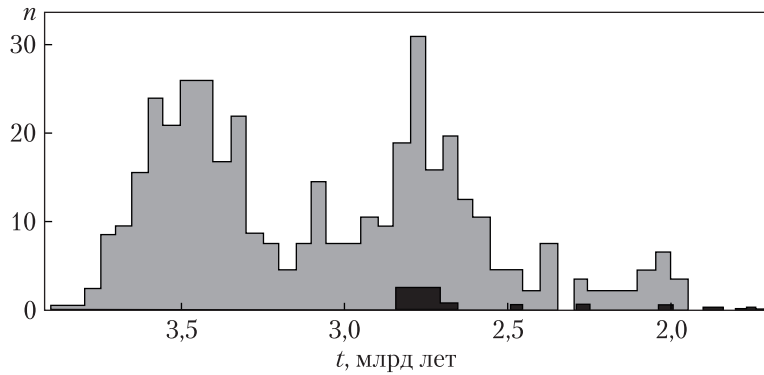


Рис. 2. Гистограмма U–Pb-SIMS $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -возрастов эндербитов побужского комплекса с дискордантностью 10 %. Заливкой выделены возрастные данные по циркону из лерцолита (включения в эндербитах) [10]

назад). Факт его протекания — предмет дискуссии (подробно в [8]). Однако цирконы этого возраста установлены и в эндербитах побужского комплекса [10], и в кварцитах Хашчевато-Завальевского блока [11].

Если обобщить все известные датировки Побужья (Подольского мегаблока, Бугского мегаблока, Голованевской шовной зоны) [5, 6], становится очевидным, что максимальным количеством определений охарактеризован геодинамический процесс, который начинается не ранее 2,3 млрд лет назад появлением ультрамафитов. В Голованевской шовной зоне и Хашчевато-Завальевском блоке установлены единичные датировки пироксеновых и биотитовых гнейсов (2,26, 2,23 млрд лет) и эндербитов (2,26 млрд лет). Многочисленные датировки цирконов магматических и метаморфических пород относятся ко времени 2,08–1,9 млрд лет назад (пик встречаемости 2,06–2,03 и меньший — 1,95–1,91 млрд лет). Это время формирования гранитов, относимых в бердичевскому комплексу. Преобладание этих дат объяснимо, если учесть, что возраст установлен в породах, находившихся на глубине 20 км и более. Здесь в этот период трижды образовывался (подновлялся) слой частичного плавления.

В описании В.М. Венидиктова гранитизация — не просто плавление и последующая кристаллизация, а длинная цепочка замещений, включающая повторяющиеся процессы дробления, поступления порций флюидов-расплавов, перекристаллизации, образования гранитных расплавов, и далее — новых стадий дробления и перекристаллизации. Например, для чудново-бердичевских гранитов (название по работе [4], являются разновидностью бердичевских гранитов по [6, 12]) установлены две фазы синорогенного гранитообразования [4, с. 174].

1. Стадия дробления и базификации—бластомилонитизации и растрескивания с заполнением полостей синкинематическим биотитом и графитом. Зерна граната из винницитов (синорогенных гранитов предыдущего цикла) разламываются и замещаются биотитом по плоскостям скольжения. Избыток железа осаждается в виде магнетита. Струи биотита прямо по простираению замещаются посткинематическими зернами кордиерита с включениями биотита. Кордиерит тоже подвергается дроблению, но цементируется уже новой модификацией биотита с последующим замещением андалузитом, магнетитом, мусковитом, спессартином (гранатом) и кальцитом, микроклином, кварцем.

2. На стадии гранитизации, сопряженной с бластомилонитизацией и растрескиванием, образованием синкинематического кварца, мирмекита и посткинематических антипер-

тита и микроклина, формируются более перекристаллизованные и лейкократовые породы. Появляется новая модификация граната с включениями зонального циркона, а в новой модификации биотита присутствует циркон с пятнистой окраской. На позднеорогенной стадии циркон часто замещается магнетитом.

Это описание свидетельствует о том, что формирование и существование слоя частичного плавления в коре — длительный процесс, начинающийся с внедрения мантийных флюидов и расплавов по разломам, объединяющим кору и мантию. В коре наблюдается дробление на ячейки меньшего размера, часть из которых измельчается вплоть до образования мелкоячеистой матрицы, состоящей из раздробленных минеральных зерен. Происходит образование фрактальной структуры, которая существует до кристаллизации очага плавления. До окончательной кристаллизации отдельные минералы претерпевали ряд метасоматических замещений, что отразилось на составе формации в целом. Подобное плавление—замещение происходит от архея и до 1,9 млрд лет назад, что и отражено в датировках цирконов побужских эндербитов (см. рис. 2).

Около 2,1—2,0 млрд лет назад образуются трансрегиональные разломные структуры (тектонический шов Херсон—Смоленск), фундамент УЩ (за исключением СПМБ, где этот геодинамический процесс не проявлен) дробится на относительно мелкие блоки. Общая амплитуда горизонтальных и вертикальных движений по разломам не менее 20 км [12], что отражает резкую смену тектонического режима.

Все этапы развития коры УЩ отражены не только в датировках палингенных гранитов. В кварцитах обнажения “Белая скала” в Хащевато-Завальевском блоке УЩ обнаружены цирконы, которые образованы 3,25—3,15, 3,1—3,0, 2,8, 2,6—2,5, 2,4—2,3 и 2,03 млрд лет назад [11]. Фиксируются те же этапы, что и в эндербитах. Образование кварцитов привычно связывать с поверхностной эрозией. Трудно представить их наличие на уровне размещения пород амфиболитовой или гранулитовой фации. Однако кварциты и кварцито-гнейсы, сопоставимые с породами кондалитовой формации докембрийских щитов, обнаружены в составе ксенолитов нижней коры Южно-Гиссарской зоны Тянь-Шаня наряду с гранат-плагноклазовыми, ортопироксен-плагноклазовыми, пироксеновыми сланцами с биотитом, корундом, силлиманитом, шпинелью, кварцем и калиевым полевым шпатом (образованными при P 0,8—1,0 ГПа и T 900—950 °С), а также эндербитами и чарнокитами [13]. Тогда можно предположить, что часть расплава и флюида кристаллизуется непосредственно в проницаемых зонах в нижней—средней части коры. Образование кварцитов происходит при выпадении кремнезема из состава силикатно-водного флюида. Обоснование этого предположения рассмотрено в работах [3, 14]. Цирконы разного возраста захвачены из окружающих (вмещающих) пород.

Время проявления плюмовых событий, отраженное в возрасте синпетрогенных и кластогенных цирконов, в разных частях УЩ и на всех кратонах мира практически совпадает (см. рис. 1). Основные этапы формирования нижней коры центральной части Якутской алмазоносной провинции, установленные по изотопному возрасту ксенолитов, вынесенных кимберлитами, составляют 3,8—3,5, 3,35—3,18, 2,95—2,38 и 2,0—1,78 млрд лет [15]. Даты достаточно близкие, только скомпонованы иначе. То есть возраст пород побужского комплекса отражает этапы формирования коры, а сами эндербиты — продукт многократного замещения и частичного плавления нижней—средней коры на глубине более 20 км.

Из сказанного выше следует еще один вывод. Самые “поверхностные” геологические процессы, отраженные в составе гранулитовых блоков щита, протекают на глубине, превышающей 20 км. Комплексы пород, выходящих на современную поверхность, являются либо скиалитами первичной коры, либо продуктами кристаллизации расплавов и флюидов в проницаемых зонах, либо результатом метасоматических замещений ранее существовавших пород нижней коры. Между этими разновидностями наблюдаются постепенные переходы [4]. Первично вулканогенно-осадочная толща полностью эродирована. Но тогда размещение пород в разрезе гранулитовых областей не является результатом последовательного напластования. В непосредственной близости могут залегать породы, образованные на разных этапах развития, что и наблюдается, например, в Хашевато-Завальевском блоке УЩ [10].

Единственными критериями, позволяющими установить относительный возраст (порядок появления) пород в гранулитовых блоках УЩ, могут быть их структурные взаимоотношения и вещественный состав. Эти критерии применены для Побужья в работе [4]. Очевидно, они должны быть дополнены определениями абсолютного возраста. Но даже самое общее сопоставление с закономерностями изменения состава расплавов и флюидов в докембрии, позволяет утверждать, что породы, относимые к бугской серии, не могли быть образованы ранее 2,0 млрд лет назад. Они обязательно включают кальцифиры, графит и железистые пласты ЖКК формации. Также они не могут быть первично осадочными, так как во время кристаллизации находились на глубине не менее 20 км. Породы зеленовядовской толщи днестровско-бугской серии не могли быть образованы в архее, так как в их состав входит графит.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Закономерности изменения вещественного состава магматических и эксгаляционно-осадочных пород являются общими для всех кратонов мира и связаны с эволюцией химического и фазового состава глубинных оболочек Земли в докембрии.

Современная поверхность гранулитовых блоков УЩ в архее—палеопротерозое находилась на глубине размещения средней и нижней коры, что обусловило определяющую роль процессов, протекающих в околосолидусных условиях (внедрение расплавов, флюидов, метасоматические замещения и др.). Здесь стерта грань между метаморфизмом и плавлением, поскольку во многих случаях *PT*-условия метаморфических преобразований выше температур солидуса габбро или пород амфиболитовой фации.

Геологические проявления, характерные для верхней части коры, в том числе накопление осадков, происходили на уровне, эродированном в палеопротерозое—фанерозое. Возраст стратиграфических подразделений нельзя установить, используя последовательность залегания пород в разрезе. Необходим поиск новых критериев определения возраста. В качестве подобного критерия может быть предложен состав метаморфических и магматических пород, который в докембрии меняется закономерно.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Condie K.C. Earth as an evolving planetary system. Oxford: Academic Press, 2011. 574 p.
2. Богатиков О.А., Коваленко В.И., Шарков Е.В. Магматизм, тектоника и геодинамика Земли: Связь во времени и в пространстве. Москва: Наука, 2010. 606 с.

3. Усенко О.В. Периодизация и характерные особенности глубинных процессов в докембрии на примере Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2017. **39**, № 6, С. 41–83. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i6.2017.116366>
4. Венидиктов В.М. Полициклическое развитие гранулитовой фации. Киев: Наук. думка, 1986. 268 с.
5. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. Киев: Наук. думка, 2005. 244 с.
6. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянський Л.В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Киев: Наук. думка, 2008. 240 с.
7. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС: Морозов А.Ф. (ред.). Т. 2. Москва: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2010. 400 с.
8. Усенко О.В. Развитие Украинского щита 2,7–2,3 млрд лет назад. Факты и предварительные выводы. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2018. № 12. С. 61–70. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.12.061>
9. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Генезис железных руд: Кравченко В.М., Кулик Д.А. (ред.). Киев: Наук. думка, 1991. 216 с.
10. Лобач-Жученко С.Б., Балтыбаев Ш.К., Глебовицкий В.А., Сергеев С.А., Лохов К.И., Егорова Ю.С., Балаганский В.В., Скублов С.Г., Галанкина О.Л., Степанюк Л.М. U–Pb–SHRIMP-II-возраст и происхождение циркона из лерцолита Побужского палеоархейского комплекса (Украинский щит). *Докл. АН.* 2017. **477**, № 5. С. 567–571.
11. Шумлянський Л.В. Вік та ізотопний склад гафнію цирконів з кварцитів Середнього Побужжя Українського щита. *Геохім. та рудоутв.* 2012. Вип. 31–32. С. 136–143.
12. Щербаков И.Б. Петрология Украинского щита. Львов: ЗукЦ, 2005. 366 с.
13. Лутков В.С., Могаровский В.В., Луткова В.Я. Геохимическая модель нижней коры складчатых областей Памира и Тянь-Шаня (Таджикистан) по данным изучения ксенолитов в щелочных базитах. *Геохимия.* 2002. № 4. С. 386–398.
14. Усенко О.В. Геодинамический процесс и его геологические проявления на континентах. *Геофиз. журн.* 2018. **40**, № 5. С. 137–171. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147477>
15. Belousova E.A., Kostitsyn Y.A., Griffin W.L., Begg G.C., O'Reilly S.Y., Pearson N.J. The growth of the continental crust: constraints from zircon Hf-isotope data. *Lithos.* 2010. **119**. P. 457–466. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.07.024>

Поступило в редакцию 04.06.2019

REFERENCES

1. Condie, K. C. (2011). Earth as an evolving planetary system. Oxford: Academic Press.
2. Bogatkov, O. A., Kovalenko, V. I. & Sharkov, E. V. (2010). Magmatism, tectonics and geodynamics of the Earth: Communication in time and space. Moscow: Nauka (in Russian).
3. Usenko, O. V. (2017). Periodization and characteristics of deep-seated processes in Precambrian using the example of the Ukrainian shield. *Geophys. J.*, 39, No. 6, pp. 41-83 (in Russian). <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i6.2017.116366>
4. Venidikov, V. M. (1986). Polycyclic development of granulite facies. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
5. Scherbak, N. P., Artemenko, G. V., Lesnaya, I. M. & Ponomarenko, A. N. (2005). Geochronology of the early Precambrian of the Ukrainian shield. *Archaea*. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
6. Scherbak, N. P., Artemenko, G. V., Lesnaya, I. M., Ponomarenko, A. N. & Shumlyansky, L. V. (2008). Geochronology of the early Precambrian of the Ukrainian shield. *Proterozoic*. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
7. Morozov, A. F. (Ed.). (2010). The deep structure, evolution and minerals of the Early Precambrian foundation of the East European Platform: Interpretation of materials on supporting profile 1-EB, profiles 4B and TATSEYS. (Vol. 2). Moscow: GEOKART, GEOS (in Russian).
8. Usenko, O. V. (2018). The development of the Ukrainian shield 2.7-2.3 billion years ago. Facts and preliminary conclusions. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 12, pp. 61-70. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.12.061>
9. Kravchenko, V. M. & Kulik, D. A. (Eds.). (1991). Ferro-siliceous formations of Precambrian in the European part of the USSR. The genesis of iron ores. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).

10. Lobach-Zhuchenko, S. B., Baltybaev, Sh. K., Glebovitsky, V.A., Sergeev, S. A., Lokhov, K. I., Egorova, Yu. S., Balagansky, V. V., Skublov, S. G., Galankina, O. L. & Stepanyuk, L. M. (2017). U–Pb–SHRIMP-II age and origin of zircon from leirite of Pobujie paleoarchaean complex (Ukrainian shield). Doklady Akademii Nauk, 477, pp. 567-571 (in Russian).
11. Shumlyansky, L. V. (2012). Age and Hf isotope composition in zircons from quartzite of Middle Bug Region (Serednie Pobuzzhya) of the Ukrainian Shield. Geochemistry and ore formation, Iss. 31–32, pp. 136-143 (in Ukrainian).
12. Shcherbakov, I. B. (2005). Petrology of the Ukrainian Shield. Lviv: ZuKTs (in Russian).
13. Lutkov, V. S., Mogarovsky, V. V. & Lutkova, V. Ya. (2002). Geochemical model of the lower crust of the folded regions of the Pamir and Tien Shan (Tajikistan) according to a study of xenoliths in alkaline bases. Geohimiya, No. 4, pp. 386-398 (in Russian).
14. Usenko, O. V. (2018). Geodynamic process and its geological manifestations on the continents. Geophys. J., 40, No. 5, pp. 137-171 (in Russian). <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147477>
15. Belousova, E. A., Kostitsyn, Y. A., Griffin, W. L., Begg, G. C., O'Reilly, S. Y. & Pearson, N. J. (2010). The growth of the continental crust: constraints from zircon Hf-isotope data. Lithos, 119, pp. 457-466. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.07.024>

Received 04.06.2019

O.V. Usenko

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ
E-mail: usenko_ol@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ РЕЧОВИННОГО СКЛАДУ ПОРІД ДЛЯ КОРЕЛЯЦІЇ СТРАТИГРАФІЧНИХ ОДИНИЦЬ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

У докембрії склад породних комплексів змінювався закономірно. Цей факт встановлений на всіх кратонах світу. На поверхню гранулітових блоків Українського щита сьогодні виведено рівень, який в архей–палеопротерозой знаходився на глибині розміщення середньої та нижньої кори. Тому визначальну роль в їх будові відігравали процеси, перебіг яких відбувався в околосолідусних умовах (вторгнення розплавів, флюїдів, метасоматичні заміщення та ін.). Геологічні процеси, що є притаманними для верхньої кори, у тому числі накопичення осадов і складчастість, відбувалися на рівні, еродованому в подальших геодинамічних процесах. Для кореляції стратиграфічних одиниць гранулітових блоків щита може бути використаний речовинний склад метаморфічних і магматичних комплексів.

Ключові слова: Український щит, ізотопний вік, докембрії, кальцифіри, графіт, залізна формація.

O.V. Usenko

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv
E-mail: usenko_ol@ukr.net

THE USE OF THE MATERIAL COMPOSITION OF ROCKS FOR THE CORRELATION OF THE STRATIGRAPHIC UNITS OF THE UKRAINIAN SHIELD

In the Precambrian, the material composition of the rock complexes changed regularly. This fact is established for all cratons of the world.

The level emerging today in the granulite blocks of the Ukrainian Shield was located in the Archean-Paleoproterozoic at the depth of the middle and lower crust. Therefore, the processes running under the near-solidus conditions (the introduction of melts, fluids, metasomatic substitutions, etc.) played the determining role in their structure. Geological manifestations characteristic of the upper crust, including sediment accumulation and folding, occurred at a level eroded in subsequent geodynamic processes. To correlate the stratigraphic units of granulite blocks of the Shield, we can use the material composition of metamorphic and igneous complexes.

Keywords: Ukrainian Shield, isotope age, Precambrian, calciphyres, graphite, banded iron formation.