

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ЛЕГЕНДЫ
К КАРТЕ МЕТАМОРФИЗМА ДОКЕМБРИЯ
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

К. А. Савко, И. П. Лебедев, Ю. Н. Стрик, В. М. Холин, Н. В. Холина

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 22 октября 2008 г.

Аннотация: изложены принципиальные основы Легенды, разработанной в процессе выполнения НИР по проекту Федерального агентства по недропользованию России «Составить карту метаморфизма докембрия Восточно-Европейской платформы масштаба 1:1000000 как научно-геологическую основу прогноза метаморфогенных полезных ископаемых». Предложенная Легенда позволяет наглядно отразить на плоскости карты три важнейших для рудообразования фактора метаморфизма.

Ключевые слова: докембрий, метаморфизм, фации метаморфизма, породные ассоциации.

Abstract: fundamental principles of metamorphic map legend were worked out in the course of the project «To create the map of the Precambrian metamorphism for East European platform (scale 1:1000000) as scientific groundwork for the metamorphic deposits prognostication» of the Russian Agency of subsurface using. Three main metamorphic deposits factors are have been clearly reflected on the map plane by the proposed legend.

Key words: precambrian, metamorphism, metamorphic facies, rock association.

Создание карты метаморфизма докембрия Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в масштабе 1:1000000 как научно-геологической основы прогноза метаморфогенных полезных ископаемых требует разработки такой легенды, в которой оказалось бы возможным отразить на плоскости карты одновременно три важнейших фактора метаморфизма: 1) термодинамические параметры, 2) ведущий вещественный состав пород, подвергшихся метаморфизму в данной докембрийской геологической структуре, 3) время проявления пика метаморфизма. Таким образом, карта метаморфизма докембрия ВЕП призвана быть наглядным обобщением петрологических, геологических и геохронологических данных и стать основой составления карты закономерностей размещения и прогноза метаморфогенных полезных ископаемых Восточно-Европейской платформы масштаба 1:1000000.

Термодинамические параметры

Важнейшей составляющей Легенды к карте метаморфизма является так называемая «петрогенетическая сетка». Главное назначение петрогенетической сетки – выделить на карте метамор-

физма площади геологических тел, отвечающие конкретным термодинамическим (Р-Т) условиям метаморфизма и разграниченные достаточно однозначно определенными «изотермодинамическими» границами.

Громадный материал исследований метаморфогенного минералообразования все более убеждает в непротиворечивости отправных положений принципа фаций П. Эскола о том, что минеральный состав метаморфических пород является отражением внешних условий метаморфизма так, что «в любой фации метаморфизма, породы которой находятся в химическом равновесии и достигли одинаковых условий температуры и давления, минеральный состав каждой из этих пород определяется только их общим химическим составом» [16]. Именно минеральные ассоциации, точнее, минеральные парагенезисы крайне важны, так как только они дают объективную информацию об условиях образования, существовавших во время метаморфизма.

К настоящему времени разработано большое число предложений – схем деления метаморфических пород на фации в Р-Т координатах – петрогенетических сеток, как в России, так и за рубежом, однако ни одна из них не может быть принята, что называется «в готовом виде», так как пока еще

© Савко К. А., Лебедев И. П., Стрик Ю. Н., Холин В. М., Холина Н. В., 2008

невозможно создать универсальную и достаточно простую в практическом использовании систематику фаций и субфаций, отвечающую всем требованиям картирования, в частности требованиям создания карты метаморфизма для целей минерогенического анализа.

На рисунках 1–4, 6–8 показаны наиболее известные схемы – «петрогенетические сетки», в результате анализа которых представляется необходимым отметить следующее.

На рис. 1 показано наиболее употребительное, по мнению авторов методического пособия по геологической съемке метаморфических и метасоматических комплексов [5], деление на фации метаморфизма. Это максимально упрощенная петрогенетическая сетка. Названия фаций: зеленосланцевая, эпидот-амфиболитовая, амфиболитовая – предложены Эскола по минеральным ассоциациям в породах основного состава. Цеолитовая фация отделена от пренит-пумпеллиитовой реакцией образования альбита за счет анальцим-кварцевой ассоциации. Зеленосланцевая фация не имеет четких границ ни с пренит-пумпеллиитовой (в области относительно низких температур), ни с эпидот-амфиболитовой фацией, а переход к амфиболитовой фации обозначен по появлению гранитного расплава в метаморфических породах. Гранулитовая фация традиционно выделяется по появлению гиперстена за счет реакции разложения биотита.

В настоящее время можно считать общепризнанным, что горные породы петрохимического класса метапелитов (система KMFASH – $K_2O + MgO + FeO + Al_2O_3 + SiO_2 + H_2O$) наиболее чувствительны к изменениям P-T параметров метаморфизма. Граница начала метаморфизма большинством исследователей признана по линии моновариантной реакции разложения каолинита (типичного гипергенного минерала) с образованием пирофиллита (рис. 2). Всем другим важнейшим реакциям минералообразования различными исследователями придается разное значение в качестве границ либо фаций, либо субфаций (рис. 2, 3, 7), либо вообще предлагается пользоваться термином «ступень метаморфизма» (рис. 4), «зона метаморфизма» (рис. 8). При этом в качестве границ наиболее признаны линии реакций (рис. 4): появления лавсонита и устойчивости пумпеллиит-хлорит-кварцевой ассоциации (очень низкая ступень), распада лавсонита и устойчивости хлорит-мусковитового парагенезиса (низкая ступень), распада ставролита и устойчивости силлиманит-мусковит-кварцевого парагенезиса (средняя ступень), распада мусковит-кварцевой ассоциации с образованием калиевого полевого шпата, силиката алюминия – $Al_2Si_2O_5$ и анатексиса в гнейсах (высокая ступень).

Большой вклад в разработку современной петрогенетической схемы фаций внесен В. С. Соболевым с соавторами [6, 10, 12]. Принципиальной

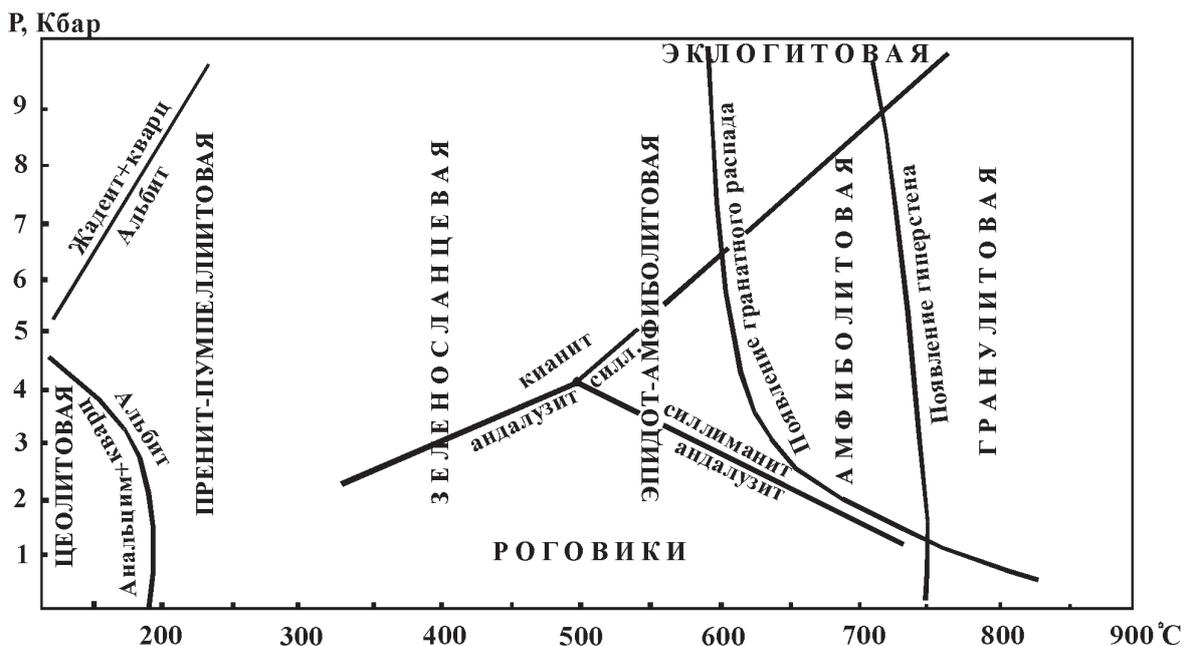


Рис. 1. – Схема фаций регионального метаморфизма по А. Миясиро [11], К.Ландису и Д. Кумбсу и др. [цит. по: 5]

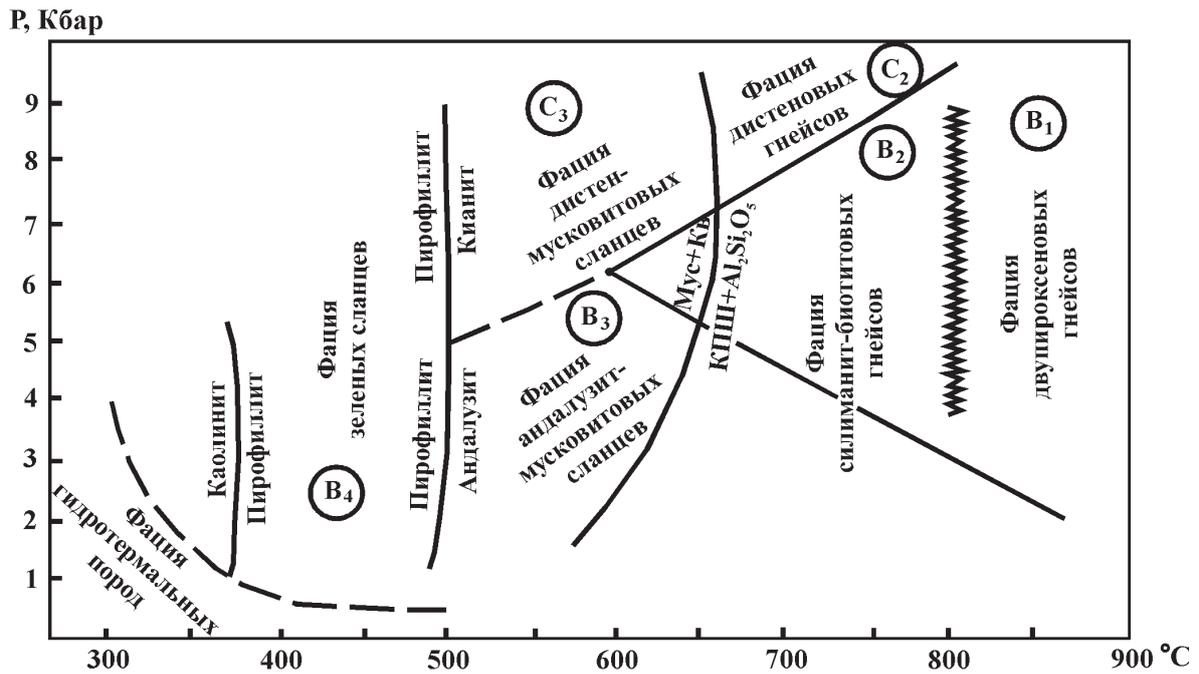


Рис. 2. Петрогенетическая сетка – поля фаций метаморфизма по В. С. Соболеву и др. [12] (с упрощениями)

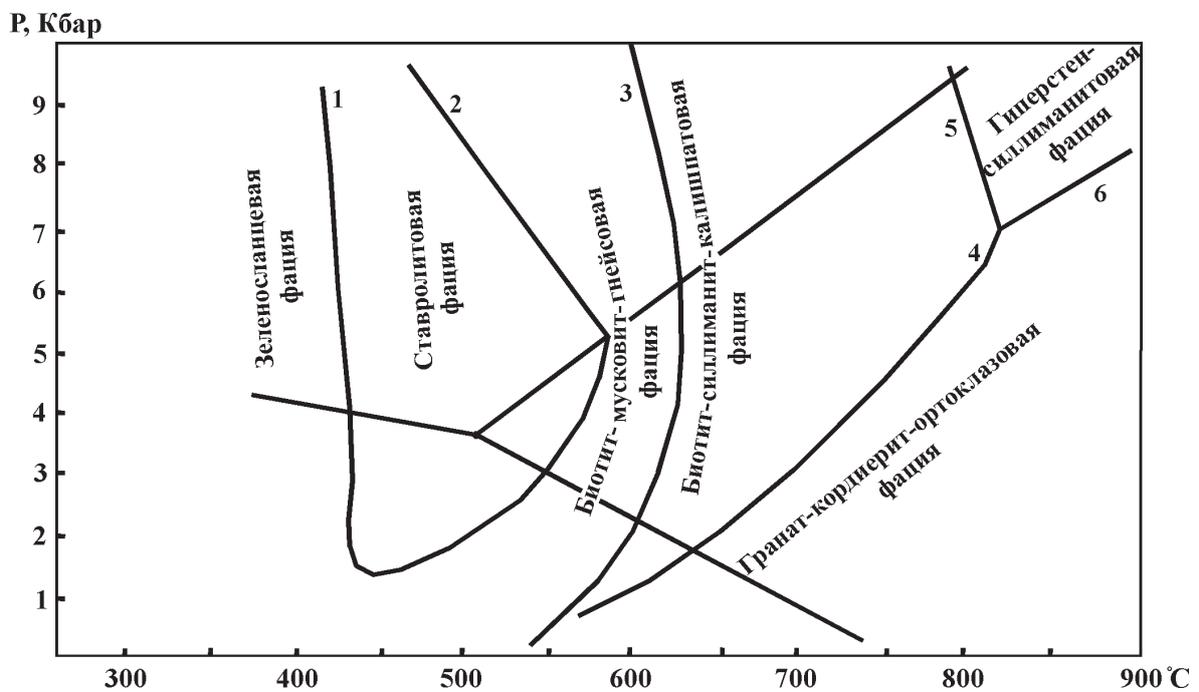


Рис. 3. Поля фаций регионального метаморфизма по С. П. Кориковскому [9] (с упрощениями): 1 – реакция первого появления ставролита; 2 – реакция разложения ставролита; 3 – реакция разложения мусковита с образованием калиевого полевого шпата; 4 – реакция разложения биотита при умеренном давлении; 5 – реакция разложения биотита при высоком давлении; 6 – реакция образования гиперстен-силлиманитового парагенезиса

особенностью предложенной схемы (рис. 2) является выделение фаций высокого давления (фациальная серия С), а так же более четкое определение границ и объема фаций на основе широко развитых важнейших моновариантных равновесий в метapelитах ряда. Названия большинства фаций даны «в метapelитовом ключе».

В «метapelитовом ключе» наиболее полно разработана петрогенетическая сетка С. П. Кориковского (рис. 3) [9]. Названия фаций, за исключением зеленосланцевой, также выдержаны в «метapelитовом ключе». В отличие от схемы Соболева с соавторами поля фаций не ограничены по режиму давлений, вместе с тем границы фаций надежно диагностируются петрографическими методами выявления минеральных парагенезисов в метapelитах, благодаря их «обычности» – широкому распространению в земной коре.

Г. Винклер [4] провел сравнительный анализ классификации по принципу метаморфических фаций с принципом выделения ступеней метаморфизма и пришел, в частности, к следующему: 1) «термин метаморфическая фация не должен применяться для больших интервалов метаморфических условий, 2) каждая «субфация» – это в действительности, по крайней мере, одна «фация» [4, с. 70]. В связи с этим предлагается не использовать эти термины. Предложенная классификация по ступеням метаморфизма основана на характерных

реакциях в обычных породах (образования лавсонита – распада лавсонита, устойчивость – распад хлорит-мусковитового парагенезиса, устойчивость – распад кварц-мусковитового парагенезиса, появление анатектических продуктов в гнейсах). Они позволяют выделить четыре ступени метаморфизма: очень низкая, низкая, средняя и высокая (рис. 4).

Анализируя экспериментальные данные для случая «давление воды равно общему давлению с участием гидратированных минералов» У. Файф с соавторами [13] показали, что «все границы минеральных фаций будут постепенными и непрерывными благодаря участию кристаллических твердых растворов или флюидов смешанного состава» [13, с. 184]. Об этом же свидетельствуют и экспериментальные данные о полях устойчивости типичных для определенных условий метаморфизма минералов: ставролита, андалузита, кианита и силлиманита (рис. 5).

При изучении смены минеральных парагенезисов при метаморфизме необходимо учитывать состав метаморфических пород и соответствующие Р-Т параметры появления или разложения критических минералов или парагенезисов. В связи с этим У. Файф с соавторами пришли к выводу, что в общем случае на Р-Т диаграмме представляется возможным отразить лишь приблизительные области минеральных фаций (рис. 6), названия которых уже прочно укоренились в геологии.

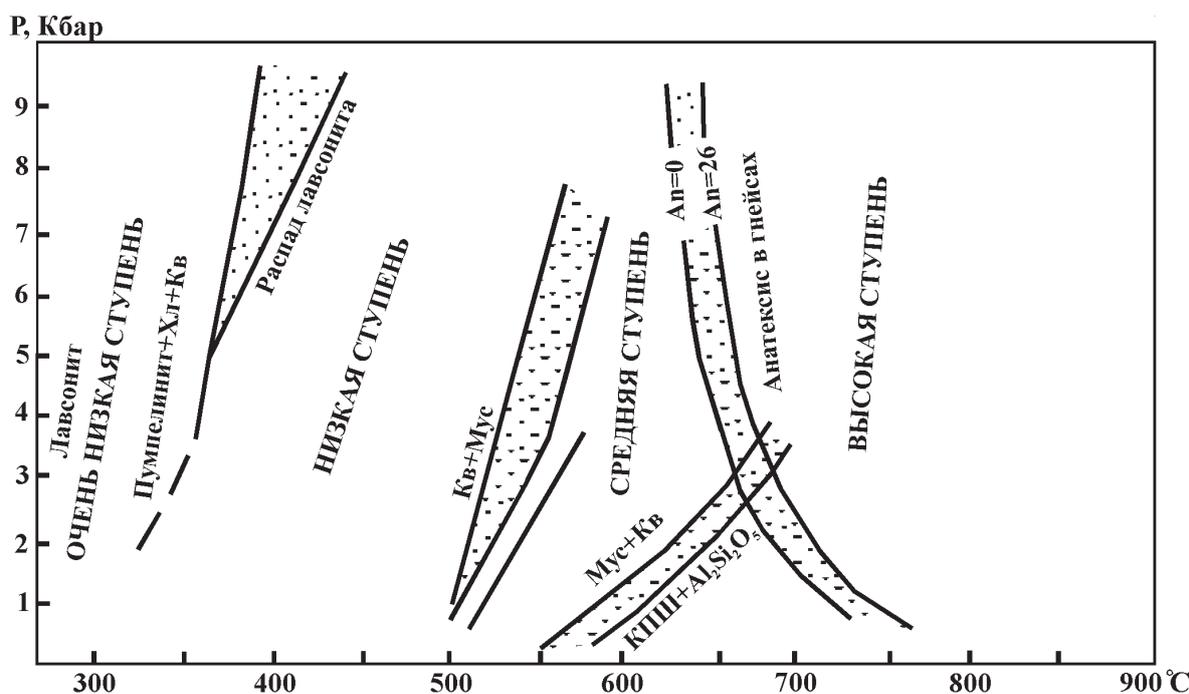


Рис. 4. Распределение четырех ступеней метаморфизма при $P_s = P_{H_2O}$ [3, 4]

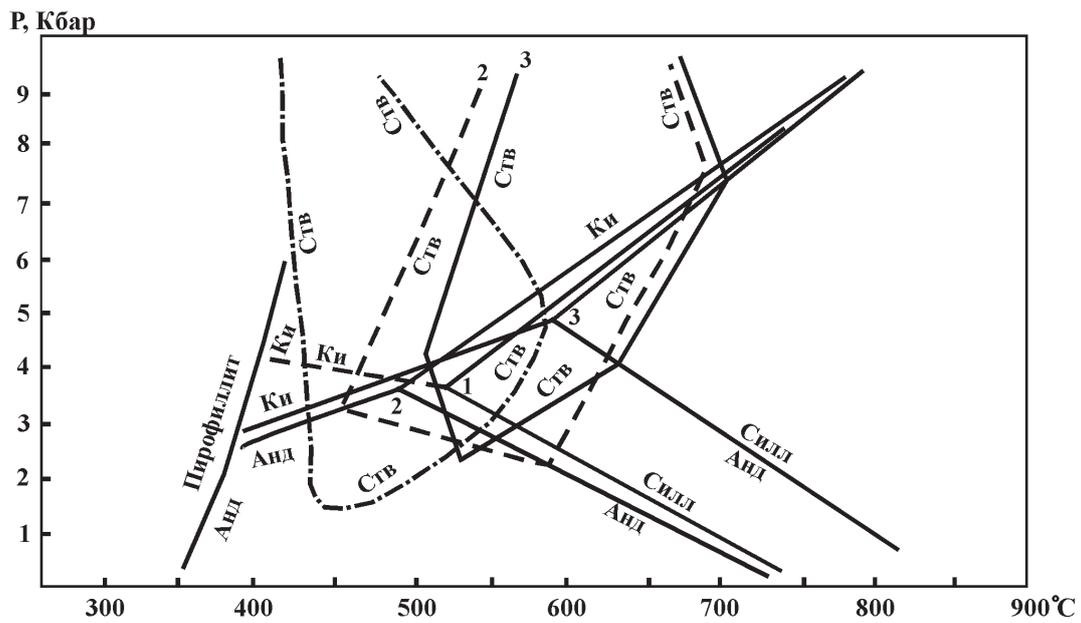


Рис. 5. Поля устойчивости андалузита, силлиманита, кианита и ставролита по данным публикаций разных авторов: 1 – по С. П. Кориковскому [9]; 2 – по F. S. Spear, J. T. Cheney [20]; 3 – по R. Powell, T. Holland [19]

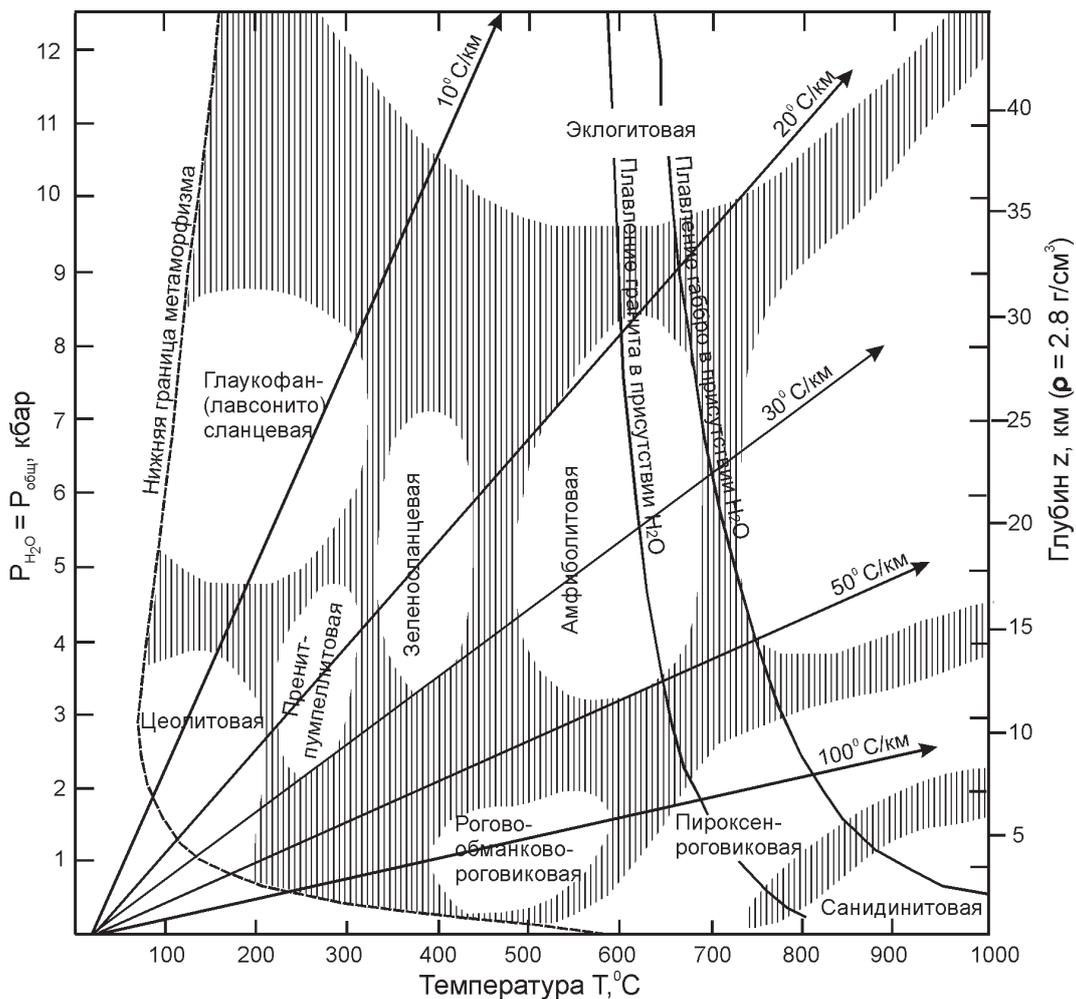


Рис. 6. Приблизительные области минеральных фаций в P-T координатах по У. Файфу, Н. Прайсу, А. Томпсону, 1981 [13]

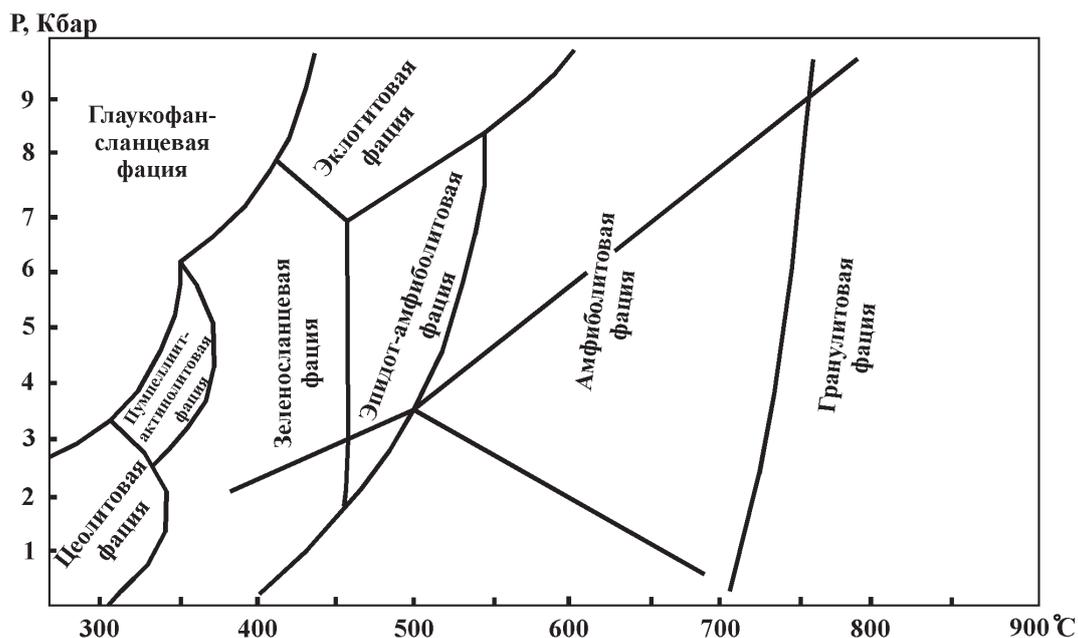


Рис. 7. Схема фаций регионального метаморфизма по С. А. Бушмину и В. А. Глебовицкому [2] (с упрощениями)

Ключевые моновариантные реакции минералообразования в метапелитах, предложенные С. П. Кориковским, использованы и в новой, недавно опубликованной петрогенетической сетке С. А. Бушмина и В. А. Глебовицкого [2], в которой, однако, названия фаций даны в «метабазитовом ключе» (рис. 7), как это наиболее употребительно за рубежом. Названия субфаций в большинстве своем отражают ключевые минеральные парагене-

зисы в метапелитах. Особо подчеркивая, что «фациальные границы на диаграмме не совпадают точно с положением линий экспериментальных реакций в упрощенных геохимических системах», авторы обосновали предложенное положение пограничных межфациальных линий прежде всего тем, что «учитывались данные по устойчивости минеральных парагенезисов в реальных метаморфических комплексах» [2].

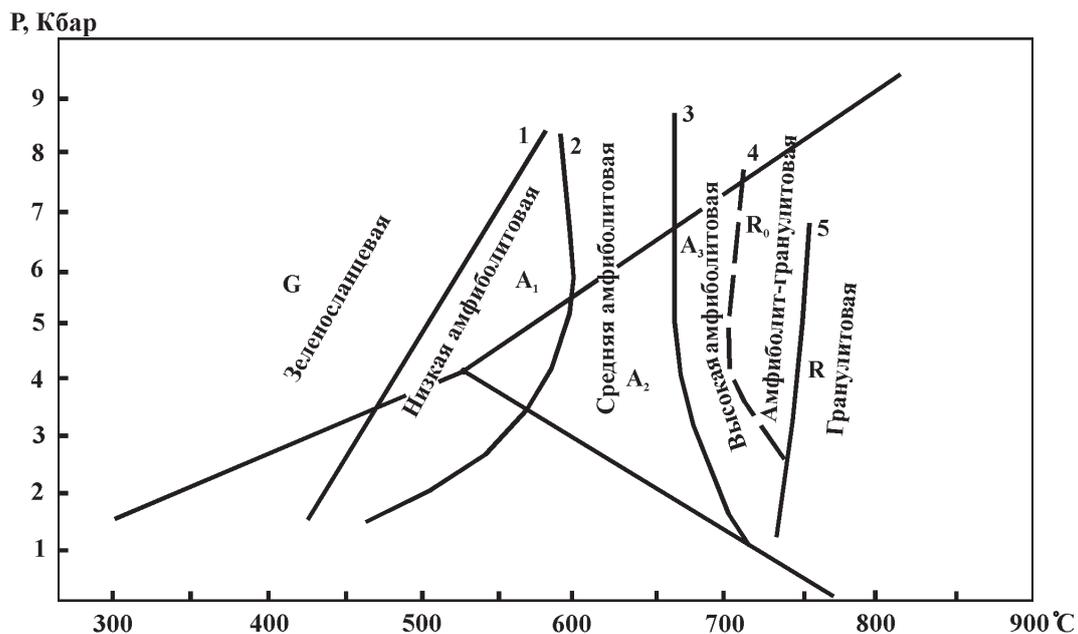


Рис. 8. Петрогенетическая сетка для тектонометаморфической карты Канадского щита [14] (пояснения в тексте)

Авторы новейшей тектонометаморфической карты Канадского щита [14] используют «ключевые минеральные реакции» (key mineral reactions) для разграничения метаморфических зон (рис. 8): 1 – $\text{Grt} + \text{Ms} + \text{Chl} = \text{St} + \text{Bt}$ (реакция разложения хлорита с образованием ставролита); 2 – $\text{St} + \text{Ms} = \text{Grt} + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ (And, Sil, Ky) + Bt (реакция разложения ставролита); 3 – $\text{Ms} + \text{Qtz} = \text{Kfs} + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ (Sil), $\text{Bt} + \text{Ms} = \text{Kfs} + \text{Crd} + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ (реакции разложения мусковита с образованием калишпата); 4 – $\text{Bt} + \text{Qtz} = \text{Hyr} + \text{Kfs}$ (реакция разложения биотита с образованием гиперстена). Таким образом, согласно этой петрогенетической схеме, на Канадском щите закартированы зеленосланцевая (G), низкая амфиболитовая (A₁), средняя амфиболитовая (A₂), высокая амфиболитовая (A₃), амфиболит-гранулитовая (R₀) и гранулитовая (R) зоны регионального метаморфизма. Как видим, авторы, используя «метабазитовую» терминологию фаций Эскола в названиях зон, для их разграничения прибегают к помощи моновариантных реакций минералообразования в метапелитах. Режимы давлений нашли отражение в горизонтальной и вертикальной штриховке андалузит-силлиманитового и кианитового полей устойчивости соответственно. Найден, таким образом, «общий знаменатель» – предложенный вариант оказался удобным при составлении карты метаморфизма.

Главная причина существующего разнообразия петрогенетических сеток, на наш взгляд, заключается не в принципиальных различиях взглядов на петрологические аспекты, а в проблеме выбора универсальных, надежно картируемых и отражен-

ных метаморфических зон. Как видим, авторы, используя «метабазитовую» терминологию фаций Эскола в названиях зон, для их разграничения прибегают к помощи моновариантных реакций минералообразования в метапелитах. Режимы давлений нашли отражение в горизонтальной и вертикальной штриховке андалузит-силлиманитового и кианитового полей устойчивости соответственно. Найден, таким образом, «общий знаменатель» – предложенный вариант оказался удобным при составлении карты метаморфизма.

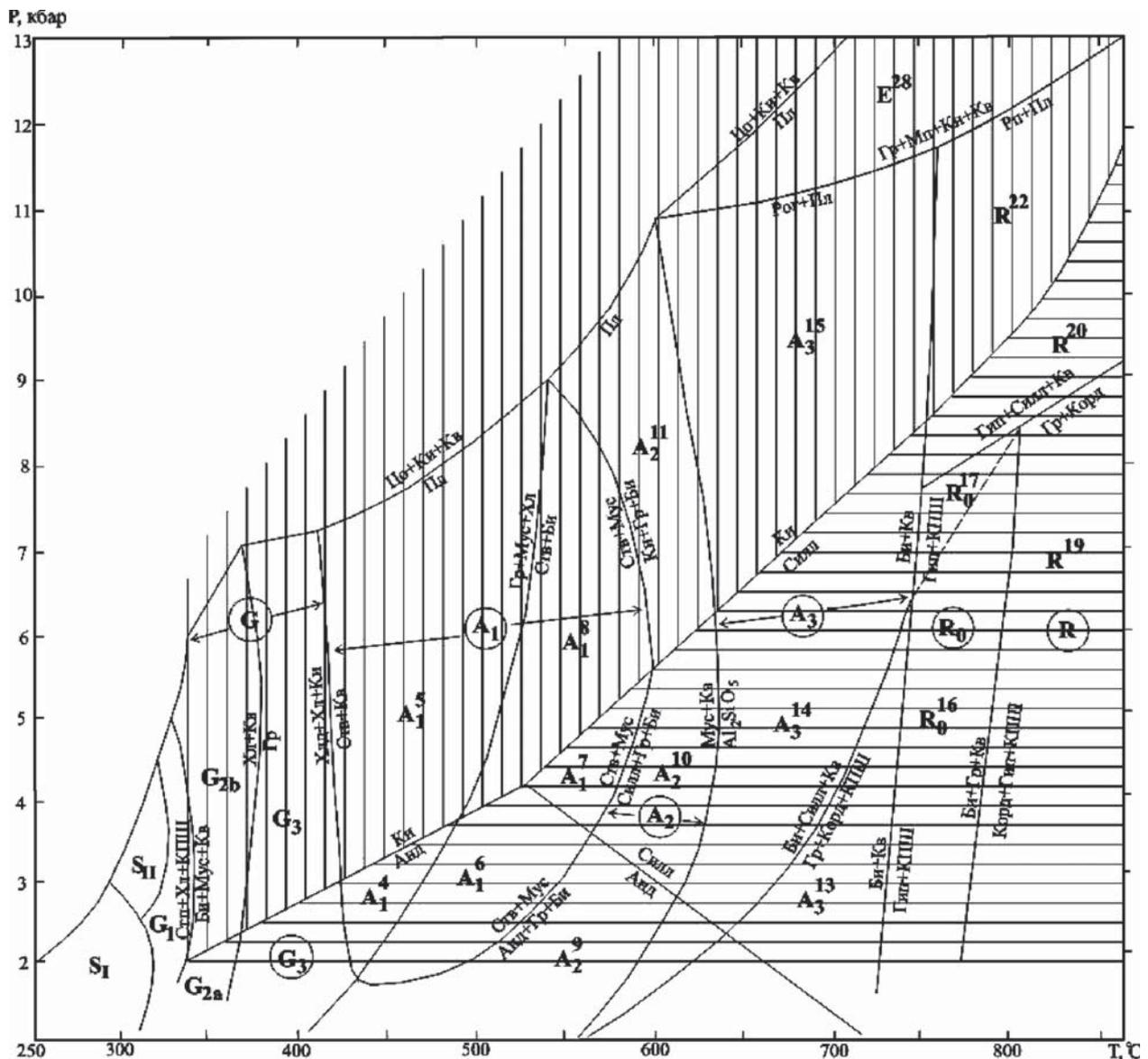


Рис. 9. Петрогенетическая сетка, принятая в Легенде к карте метаморфизма докембрия ВЕП масштаба 1:1000 000. За основу принята схема минеральных фаций и субфаций метаморфических пород [2] (пояснения в тексте)

ных на Р-Т диаграмме границ зон или фаций. При этом зачастую понятия «зона» и «фация» понимаются как синонимы, хотя, строго говоря, зоне соответствует определенный температурный интервал метаморфизма при неопределенном интервале значений давления, а фация, согласно классическому определению, должна иметь отражение в границах температуры и давления. Наиболее распространенным в природе и надежным критерием различия режима давлений является граница перехода андалузит-кианит и силлиманит-кианит, широко используемая при картировании метаморфических комплексов.

С учетом изложенного, для составления карты метаморфизма докембрия ВЕП нами предложена петрогенетическая сетка (рис. 9), за основу которой принята схема минеральных фаций метаморфических пород по С. А. Бушмину и В. А. Глебовицкому [2] и в целях унификации легенд учтены разработки авторов последней тектонометаморфической карты Канадского щита [14].

Единственное существенное отличие от схемы Бушмина и Глебовицкого состоит в том, что зона А₁ (низкая амфиболитовая) принята в рамках не части, а всего поля устойчивости ставролита (ставролитовая фация по С. П. Корииковскому [9]). Арабские цифры в числителе буквенных индексов зон А₁, А₂, А₃ и R соответствуют номерам субфаций Бушмина и Глебовицкого [2]. Важным аспектом для целей минерагенического анализа представляется четкое разделение на два контрастных режима регионального метаморфизма: андалузит-силлиманитовый и кианитовый – принятое для карты в горизонтальной и вертикальной штриховке, соответственно.

Практика составления мелкомасштабной карты метаморфизма для закрытых мощным осадочным чехлом и слабо освещенных разрезами буровых скважин территорий, какими являются большинство площадей ВЕП, показала, что во многих случаях картирование минеральных субфаций невозможно, приходится ограничиваться выделением температурных зон андалузит-силлиманитовой или кианитовой серии. Даже на обнаженных территориях, примером которых является хорошо изученный Карело-Кольский регион, картированию часто поддаются только группы нерасчлененных субфаций.

Таким образом, разработанная петрогенетическая сетка (рис. 9) представляется достаточно обоснованной для мелкомасштабного картирования условий метаморфизма в целях минерагенического анализа и прогнозирования метаморфогенных полезных ископаемых.

Ведущий вещественный состав пород

Вещественный состав метаморфических пород имеет важнейшее значение при металлогеническом анализе. Достаточно сказать, что большинство важнейших метаморфогенных рудных формаций (железистых кварцитов, гондитовая, золото-ураноносных конгломератов, золотоносная черносланцевая, полиметаллическая карбонатно-углеродистая и др.) обусловлены особенностями состава вмещающих рудные тела метаморфических пород. При этом важно отразить на мелкомасштабных картах реально наблюдаемые, наиболее развитые на данной территории и минерагенически значимые породы. Рационально представлять их в виде объективно диагностируемого петрографическим методом закономерного набора метаморфических пород – породных ассоциаций.

Парагенезисы метаморфических горных пород, сформированные в единой фациальной серии, объединенные сходством геодинамических обстановок, следовало бы выделять в качестве метаморфических формаций. Однако во избежание существующих неоднозначных представлений о методах и критериях выделения последних целесообразно использовать понятие «породная ассоциация». Под породной ассоциацией понимается естественная ассоциация метаморфических горных пород, сформированная в конкретной геодинамической обстановке. Породные ассоциации образуют закономерные пространственно-временные сочетания. Традиционно метаморфические породы на картах выделяются, главным образом, в ранге региональных «стратиграфических» единиц – комплексов, серий, свит, реже толщ. При использовании последних (что представляется удобным в целях корреляции с геологическими картами) для выделения породных ассоциаций уже в их названиях важно отразить ведущие типы наблюдаемых пород, а также наиболее значимые в минерагеническом плане породы. Следует сказать о недопустимости (во избежание субъективизма) использования в названиях метаморфических породных ассоциаций генетических терминов, отражающих предполагаемые протолиты, без предварительного названия реально наблюдаемых метаморфических пород.

Время проявления пика метаморфизма

В решении проблем металлогении, а также эволюции геотермического состояния литосферы и специальных задач палеотектонических и палеогеодинамических реконструкций требуется определение не только физико-химических условий метаморфизма определенных супракрустальных толщ, но и времени и последовательности его проявления.

При анализе метаморфизма на значительных площадях нельзя учесть всю совокупность метаморфических событий и эпизодов, сменяющих друг друга во времени. Поэтому необходимо принимать во внимание проявления тех фаций и субфаций, которые отражают условия метаморфизма наиболее существенных этапов геологического развития, соизмеримыми по длительности с метаморфическими циклами или такими их стадиями, которые отражают наиболее существенные их черты. Обычно это кульминационная стадия процесса (пик метаморфизма), отвечающая максимальной температуре на данном уровне современного эрозионного среза.

В истории развития коровых сегментов ВЕП установлен ряд метаморфических событий, характеризующих корообразующие процессы, присущие отдельным мегаблокам и террейнам, их комбинациям или разделяющим их сутурным зонам.

Сарматия

1) $\approx 3,2$ млрд лет: мезоархейский метаморфизм – УНТ с параметрами $900\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$ и $9\text{--}11$ кбар [16] установлен в Оскольско-Азовском террейне Сарматии (Приазовский и Курско-Бесединский блоки);

2) $2,7\text{--}2,8$ млрд лет: метаморфизм гранулитовой фации Подольский [18] и Среднеприднепровского террейнов УЩ [7], метаморфизм неоархейской железистой формации Воронежского кристаллического массива ($600\text{--}650\text{ }^\circ\text{C}$, $4\text{--}5$ кбар);

3) $\approx 2,1$ млрд лет: зональный метаморфизм от зеленосланцевой до амфиболитовой фации палеопротерозойских железисто-кремнистых формаций КМА и Кривого рога ($350\text{--}650\text{ }^\circ\text{C}$ $2\text{--}5$ кбар), и Брагинского террейна (амфиболитовая и гранулитовая фации) [7];

4) $2,06\text{--}2,02$ млрд лет: метаморфизм амфиболитовой фации, связанный с постколлизийным гранитоидным магматизмом в пределах Волынского террейна [7].

Балтия

1) $2,8\text{--}2,85$ млрд лет: метаморфизм верхов амфиболитовой фации повышенных давлений с широко проявленной мигматизацией Центрально-Кольского террейна, и от зеленосланцевой до средней амфиболитовой фации Карельской зеленокаменной области;

2) $2,72\text{--}2,65$ млрд лет: НР метаморфизм ($740\text{--}865\text{ }^\circ\text{C}$ $14,0\text{--}17,5$ кбар) Беломорского мобильного пояса [1, 8];

3) $1,91\text{--}1,95$ млрд лет: коллизийный метаморфизм Лапландского гранулитового пояса (Лапландский и Колвица-Умба террейны): $860\text{--}960\text{ }^\circ\text{C}$ и

$10,3\text{--}14,0$ кбар [1, 8]. Подобно Лапландскому поясу, в пределах всех беломорид устанавливается инвертированная метаморфическая зональность, характерная для коллизийных орогенов;

4) $1,79\text{--}1,85$ млрд лет: метаморфическая зональность андалузит-силлиманитового типа от зеленосланцевой до гранулитовой фации в северном Приладожье. Гранулитовый метаморфизм Западно-Литовского террейна ($850\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$, $8\text{--}10$ кбар), Беларусь-Полесского пояса и Витебского террейна ($750\text{ }^\circ\text{C}$, 8 кбар) [17, 18].

Волгоуралия

1) $2,71\text{--}2,72$ млрд лет: метаморфизм гранулитовой и амфиболитовой фаций [17];

2) $1,80\text{--}1,90$ млрд лет: коллизийный метаморфизм в связи со столкновением Балтии.

Как видно из приведенных данных, метаморфические события не совпадают по времени и длительности в наиболее изученных сегментах ВЕП Балтии и Сарматии. В связи с этим представляется невозможным, да и нецелесообразным, отражение всех временных различий в метаморфизме. Вместе с тем можно считать доказанным, что для минерагенического анализа метаморфического фундамента ВЕП важно и достаточно различать на карте два периода регионального метаморфизма – архейский и палеопротерозойский. Эти различия могут быть отражены цветом соответствующего возраста метаморфизма или интенсивностью цветов, соответствующих данному возрасту, фаций метаморфизма.

Таким образом, составленная по предложенной Легенде карта метаморфизма отражает наглядно, в обобщенном виде важнейшие петрологические, геологические и геохронологические данные, необходимые при выявлении закономерностей размещения и прогнозе мест размещения метаморфогенных полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бибикина Е. В. Лапландские гранулиты : петрология, геохимия и изотопный возраст / Е. В. Бибикина, В. Ф. Мельников, К. Х. Авакян // Петрология. – 1993. – Т. 1, № 2. – С. 215–227.
2. Бушмин С. А. Схема минеральных фаций метаморфических пород / С. А. Бушмин, В. А. Глебовицкий // Записки Российского минералогического общества. – 2008. – № 2.
3. Вернон Р. Х. Метаморфические процессы. Реакции и развитие микроструктуры / Р. Х. Вернон ; пер. с англ. – М. : Недра, 1980. – 227 с.

4. Винклер Г. Генезис метаморфических пород / Г. Винклер ; пер. с англ. – М. : Недра, 1979. – 327 с.
5. Геологическая съемка метаморфических и метасоматических комплексов : методическое пособие. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1996. – 416 с.
6. Добрецов Н. Л. Фации регионального метаморфизма СССР : объяснительная записка к «Карте метаморфических фаций СССР». Масштаб 1:7500 000 / Н. Л. Добрецов, В. В. Ревердатто, В. С. Соболев [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1966. – 56 с.
7. Каляев Г. И. Палеотектоника и строение земной коры докембрийской железорудной провинции Украины / Г. И. Каляев, Е. Б. Глевасский, Г. Х. Димитров. – Киев : Наукова Думка, 1984. – 239 с.
8. Каулина Т. В. Финальные стадии метаморфической эволюции пояса Танаелв (Кольский регион Балтийского щита): данные по U-Pb датированию циркона, сфена и рутила / Т. В. Каулина, Р. В. Кислицын, Е. А. Апанасевич // Геохимия. – 2004. – С. 597–605.
9. Кориковский С. П. Фации метаморфизма метapelитов / С. П. Кориковский. – М. : Недра, 1979. – 260 с.
10. Метаморфические формации : (принципы выделения и классификации) / под ред. Н. Л. Добрецова. – Новосибирск, 1981.
11. Миясиро А. Метаморфизм и метаморфические пояса / А. Миясиро ; пер. с англ. – М. : Мир, 1976. – 535 с.
12. Фации метаморфизма / под ред. В. С. Соболева. – М. : Недра, 1970. – 432 с.
13. Файф У. Флюиды в земной коре / У. Файф, Н. Прайс, А. Томпсон. – М. : Мир, 1981. – С. 185.
14. Berman R. G. A New tektonometamorphic map of the Canadian shield : introduction / R. G. Berman, R. M. Easton, L. Nadeau // Canad. Mineral. – 2000. – V. 38. – P. 277–285.
15. Eskola P. The mineral facies of rocks / P. Eskola // Norsk. Geol. Tidsskr. – 6. – 1920.
16. Fonarev V. I. Exsolution textures of orthopyroxene and clinopyroxene in high-grade BIF of the Voronezh Crystalline Massif : evidence of ultrahigh-temperature metamorphism / V. I. Fonarev, S. M. Pilugin, K. A. Savko, M. A. Novikova // J. Metam. Geol. – 2006. – 24. – P. 135–151.
17. Glaesson S. Isotopic evidence for Palaeoproterozoic accretion in the basement of the East European Craton / S. Glaesson, E. Bibikova, S. Bogdanova, R. Gorbachev // Tectonophysics. – 2001. – V. 339. – P. 1–18.
18. Glaesson S. Archaean terranes, Palaeoproterozoic reworking and accretion in the Ukrainian Shield, East European Craton / S. Glaesson, E. Bibikova, S. Bogdanova, V. Skobelev // Geol. Soc. London Mem., «European Lithosphere Dynamics». – 2006. – V. 32. – P. 645–654.
19. Powell R. Calculated mineral equilibria in the pelite system, KFMASH (K_2O – FeO – MgO – Al_2O_3 – SiO_2 – H_2O) / R. Powell, T. Holland // Amer. Min. – 1990. – V. 75. – P. 367–380.
20. Spear F. S. A petrogenetic grid for pelitic schists in the system SiO_2 – Al_2O_3 – FeO – MgO – K_2O – H_2O / F. S. Spear, J. T. Cheney // Contrib. Miner. Petrol. – 1989. – V. 101. – P. 149–164.

Савко Константин Аркадьевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой полезных ископаемых и недропользования, Воронежский государственный университет. Тел.: (4732) 208-626

Лебедев Иван Петрович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры полезных ископаемых и недропользования, Воронежский государственный университет. Тел.: (4732) 208-626

Стрик Юрий Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры полезных ископаемых и недропользования, Воронежский государственный университет. Тел.: (4732) 208-626

Холин Владимир Михайлович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры полезных ископаемых и недропользования, Воронежский государственный университет. Тел.: (4732) 208-626

Холина Наталья Викторовна – инженер кафедры полезных ископаемых и недропользования, Воронежский государственный университет. Тел.: (4732) 208-626

Savko Konstantin Arkadyevich – Doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the Chair, Voronezh State University. Tel.: (4732) 208-626

Lebedev Ivan Petrovich – Candidate of the Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Voronezh State University. Tel.: (4732) 208-626

Strik Yuri Nikolaevich – Candidate of the Geological and Mineralogical Sciences, Associate professor, Voronezh State University. Tel.: (4732) 208-626

Holin Vladimir Mikhailovich – Candidate of the Geological and Mineralogical Sciences, Associate professor, Voronezh State University. Tel.: (4732) 208-626

Holina Natalya Victorovna – Engineer of the Chair, Voronezh State University. Tel.: (4732) 208-626