

### НОВАЯ КАРТА МЕТАМОРФИЗМА ДОКЕМБРИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ МАСШТАБА 1 : 5 000 000

К. А. Савко

*Воронежский государственный университет*

*Поступила в редакцию 5 сентября 2013 г.*

**Аннотация.** Создана новая карта метаморфизма докембрия территории России масштаба 1 : 5 000 000, состоящая из самой карты метаморфизма, легенды к карте, которая включает схему породных ассоциаций и схему фаций метаморфизма для палео-мезоархейского и неоархейского и палеопротерозойского тектоно-метаморфических циклов, петрологическую базу данных.

**Ключевые слова:** карта, метаморфизм, докембрий.

**Abstract.** The new metamorphic map of the Precambrian for Russia territory on scale 1 : 5 000 000 has been created. It includes the map, the map legends with the rock associations scheme, the metamorphic facies scheme for the Paleo-Mesoarchean, Neoarchean and Paleoproterozoic tectono-metamorphic cycles and petrology database.

**Key words:** map, metamorphism, Precambrian

В 60-80-е годы прошлого столетия были составлены первые мелкомасштабные карты метаморфизма: карта метаморфических фаций СССР масштаба 1 : 7 500 000 (1966) [1], карта метаморфизма Азии, масштаба 1 : 5 000 000 (1978), карта метаморфических поясов СССР масштаба 1 : 5 000 000 (1974) [2], карта метаморфизма Европы масштаба 1 : 2 500 000 (1973) [3], карта метаморфизма Канадского щита масштаба 1 : 3 500 000 (1978) [4], карта метаморфизма Китая масштаба 1 : 4 000 000 (1984) [5], карта метаморфизма южной и восточной Азии масштаба 1 : 10 000 000 (1984) и другие (табл. 1). За последние тридцать лет произошел качественный скачок в разработке петрологических методов для определения параметров метаморфизма и датирования метаморфических событий, которые стали рассматриваться как завершающие этапы процессов корообразования на континентах. С начала XXI века стали создаваться цифровые современные мелкомасштабные карты метаморфизма нового поколения, вобравшие в себя все последние достижения геологической науки: тектоно-метаморфическая карта Канадского щита масштаба 1 : 3 000 000 (2000) [6] с врезками отдельных провинций масштаба 1 : 1 000 000, карта метаморфизма Альп масштаба 1 : 1 000 000 (1999) [7], карта метаморфической структуры Альп (2004) [8], карта метаморфизма Арабского щита масшта-

ба 1 : 1 000 000 (2004) (<http://www.sgs.org.sa/GIS/introduc.htm>), карта метаморфизма области Карпаты-Балканы-Динариды масштаба 1 : 1 000 000 (web проект Met-Map) (2007) [9] и другие (табл. 1).

Карты метаморфизма в России составляются достаточно редко. Они никогда не входили в перечень обязательных карт при геологосъемочных работах, для них не существует каких-либо инструктивных материалов, регламентирующих их составление. По этой причине все изданные карты метаморфизма имеют определенные различия в технологии их составления, зависящие от авторских подходов к решению поставленных задач. Тем не менее, в течение последних тридцати лет были выработаны и, в общем, согласованы подходы к составлению карт метаморфизма и легенд к ним.

#### Анализ легенд ранее опубликованных карт метаморфизма

До 1966 года в Советском Союзе составлялись лишь крупномасштабные карты фаций метаморфизма сравнительно небольших территорий.

Первая карта метаморфических фаций СССР в масштабе 1:7500000 была составлена в 1966 году в лаборатории метаморфизма Института геологии и геофизики СО АН СССР коллективом авторов (Н.Л. Добрецов, В.В. Хлестов, В.В. Ревердатто, Е.Н. Ушакова, Н.В. Соболев). Общая научная редакция осуществлена академиком В.С. Соболевым, Н.Л. Добрецовым и В.В. Хлестовым [10]. Главным

## Изданные карты метаморфизма

Название карт	Год издания	Авторы
КАРТЫ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ		
Карта метаморфических фаций СССР масштаба 1 : 7 500 000	1966	Н. Л. Добрецов и др.
Генерализованная карта метаморфизма штата Нью-Йорк масштаба 1 : 5 000 000	1971	GEO 050-4 GEOMN 82-70480 N.15
Карта метаморфических поясов СССР масштаба 1 : 5 000 000	1975	В. А. Глебовицкий и др.
Карта метаморфизма Европы масштаба 1 : 2 500 000	1973	Subcommission of cartography of the metamorphic belts of the World, H.J. Zwart
Карта метаморфизма горных пород Северного, Среднего и Северо-восточной части Южного Урала масштаба 1 : 500 000	1973	В.А. Прокин, А.А. Алексеев, А.А. Захарова
Карта метаморфизма западного крыла Магнитогорского синклинория масштаба 1 : 500 000	1975	В.М. Нечеухин, В.А. Маркс, В.А. Прокин
Карта метаморфитов Карпатско-Балканского региона масштаба : 1 000 000	1976	E. Szadeczki-Kardoss et al. Hungarian Academy of Sciences
Карта метаморфизма Азии масштаба 1 : 5 000 000	1978	Н. Л. Добрецов и др.
Карта метаморфизма Канадского щита масштаба 1 : 3 500 000	1978	Geol. Surv. Can. Map., J.A. Fraser, W. W. Heywood, M.A. Mazurski
Карта метаморфизма Африки масштаба 1 : 10 000 000	1978	Commission for the Geological Maps of the World and UNESCO
КАРТЫ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ		
Карта метаморфизма Китая 1 : 4 000 000	1984	D. Shenbao et al. Geol. Pub. House Xisi. Beijing, China
Карта метаморфизма Южной и Восточной Азии 1 : 10 000 000	1984	CGMW Subcommission for Metamorphic Maps. Dr. Sang Man Lee (Korea)
Карта метаморфических фаций зоны Байкало-Амурской магистрали масштаба 1 : 3 000 000	1986	В.И. Березкин, С.А. Бушмин, В.А. Глебовицкий и др.
Карта метаморфизма Украины масштаба 1 : 1 000 000	1990	Под ред. Р.Я. Белевцева
Карта минеральных фаций метаморфических пород восточной части Балтийского щита 1 : 1 500 000	1991	О.А. Беляев и др.
Карта метаморфизма республики Южная Африка, Ботсваны, Свазиленда и Королевства Лесото масштаба 1 : 1 000 000	1992	GEOSA, E.P. Saggerson; M.L. Turner (comp.)
КАРТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ГИС ФОРМАТЕ		
Карта метаморфизма Арабского щита масштаба 1 : 1 000 000	2004	<a href="http://www.sgs.org.sa/GIS/introduc.htm">http : //www.sgs.org.sa/GIS/introduc.htm</a>
Карта метаморфизма Калифорнии масштаба 1 : 2 500 000	2003	H.W. Day, M.C. Blake, W.G. Ernst et al.
Тектоно-метаморфическая карта Канадского щита масштаба 1 : 3 000 000 с врезками отдельных провинций м-ба 1 : 1 000 000	2000	R.G. Berman, R.M. Easton, L. Nadeau et. al.
Карта метаморфизма Альп масштаба 1 : 1 000 000	1999	M. Frey, J. Desmons, F. Neubauer
Карта метаморфической структуры Альп масштаба 1 : 1 000 000	2004	R. Oberhansli, B. Goffe et al.
Карта метаморфизма провинции Новая Шотландия (Канада) масштаба 1 : 1 000 000	1997	Department of Natural Resources Map. by J.D. Keppie, 1979. Digital version compiled by B.E. Fisher, 1997
Карта метаморфизма и база данных региона Карпаты – Балканы – Динариды масштаба 1 : 1 000 000 (Web project “Met-Map”)	2007	Ed. : I. Dunkl, Editorial Board : I. Balintoni, W. Frisch, L. Hoxha, M. Janák, B. Koroknai, D. Milovanovic et al.

принципом легенды к названной карте является предложенный П. Эскола принцип выделения фаций [11]. Схема метаморфических фаций, использованная при составлении карты, опубликованная в 1964 году В.С. Соболевым, отличается от ранее опубликованных четким выделением группы фаций высокого давления (группа С). Признаки наличия «специфических» (невозможных во всех других фациях) минералов и минеральных парагенезисов, а также «запрещенных» (невозможных в данной фации) используются для определения фациальной принадлежности какой-либо толщи метаморфизованных пород.

На обзорной карте масштаба 1 : 7 500 000 основными подразделениями являются семь фаций: I – гранулитовая, II – амфиболитовая, III – эпидот-амфиболитовая, IV – зеленосланцевая, V – глаукофан-лавсонитовая, VI – фация дистеновых сланцев и гнейсов, VII – эклогитовая фация. Для увязки особенностей метаморфизма с общей геологической ситуацией на карте показаны тела гранитоидов, тесно связанные с метаморфизмом, гипербазитов, трассирующих зоны глубинных разломов, и щелочные породы. Возраст метаморфизма и интрузивных образований охарактеризован по эрам. Тектоническая нагрузка карты представлена в виде отображения крупнейших дизъюнктивных нарушений, которые являются и границами метаморфизма определенных фаций.

Следующим шагом явилась легенда, разработанная к изданной в 1974 году «Карте метаморфических поясов СССР» масштаба 1 : 5 000 000. В создании карты принимали участие около 90 геологов более чем из 30 учреждений Академии наук СССР и Академий Наук Союзных республик. При подготовке легенды авторы использовали принцип фациальных серий А. Миаширо [12]. В фациальную серию объединяются фации и субфации, сходные по величине отношения температуры к давлению. На карте нашли отражение андалузит-силлиманитовая (А), кианит-силлиманитовая (Б), жадеит-глаукофановая (В) фациальные серии, а также фации неопределенного давления. Петрогенетическая сетка, составленная В.А. Глебовицким, градуирована в интервале температур 300–900 °С и давлений 0.5–10 кбар. На ней нашли отражение девять фаций и 27 субфаций. Однако столь дробное расчленение не могло найти отражения на карте метаморфических поясов СССР в масштабе 1 : 5 000 000. Наряду с показом единичных субфаций в большинстве случаев показаны площади, на которых одним знаком (цветом) объединены от

двух до восьми и даже 12 субфаций регионального метаморфизма.

Важным для анализа эволюции термодинамических режимов метаморфизма явилось отражение индексами возраста (от архея до кайнозоя) времени проявления прогрессивного метаморфизма. Время и последовательность метаморфических событий устанавливалась авторами по комплексу признаков: стратиграфических (по соотношению метаморфических процессов со стратиграфическими сериями супракрустальных пород и магматическими комплексами), структурно-геологических (по соотношению с фазами складчатости) и изотопно-геохронологических. В качестве дополнительной геологической информации на карте вынесены различные магматические образования, причем гранитоидные формации классифицированы по их соотношению и взаимосвязи с метаморфизмом. Тектоническая нагрузка карты дана в виде разрывных нарушений без их градации и вынесения на карту названий основных тектонических структур.

В следующий период составлялись карты метаморфизма отдельных регионов России и сопредельных регионов. Рассмотрим легенды карты фаций регионального метаморфизма Украинского щита масштаба 1 : 500 000 (1982) и карты минеральных фаций метаморфических пород восточной части Балтийского щита (1991) [13]. Основу легенд обеих карт составляют количественно отградуированные с различной степенью детальности схемы минеральных фаций и субфаций метаморфических пород. По отражению на них другой геологической информации карты существенно отличаются.

Авторы карты фаций регионального метаморфизма Украинского щита, по сути, выполнили и отразили на карте результаты метаморфического картирования как самостоятельного вида геологическо- съемочных работ. Первый вариант карты был составлен вообще без учета геологической основы только на основе информации в опорных точках, представляющих собой своеобразные метаморфические реперы. В окончательном варианте карты была отражена другая геологическая информация: некоторые магматические комплексы и линии крупнейших разломов. Карта оказалась явно не нагружена.

Карта минеральных фаций метаморфических пород восточной части Балтийского щита кроме традиционного отображения минеральных фаций метаморфических пород содержит большое количество данных о вещественном составе литостратиграфических и интрузивных комплексов пород,

что значительно повысило информативность карты. Специальными знаками отражены явления полиметаморфизма. Вынесены основные разрывные нарушения.

Карта метаморфических фаций зоны Байкало-Амурской магистрали (масштаб 1 : 3 000 000) (1986) [14] составлена уже в современном ключе в отношении термодинамических параметров метаморфизма.

Очень редко мелкомасштабные карты метаморфизма включались в комплект карт государственной геологической съемки масштаба 1 : 1 000 000 как дополнительные к обязательным геологическим картам. Например, в комплект карт листа Q–(35)–37–Кировск входит схематическая карта метаморфизма и метасоматоза масштаба 1 : 2 500 000, составленная по упрощенной фациальной методике с вынесением минимального объема дополнительной геологической информации.

Опубликованные тектоно-метаморфические карты Канады [6] отличаются детальной возрастной дифференциацией метаморфических событий (выделено девять интервалов), отражением генетических и морфологических типов разрывных нарушений. Другая геологическая информация практически не отражается (выделены только три типа интрузивных комплексов и неметаморфизованные осадочные комплексы).

#### **Легенда к карте метаморфизма докембрия России масштаба 1 : 5 000 000**

Анализ карт метаморфизма, составленных в разное время для разных регионов и различными авторскими коллективами, показал, что отработанный и, в целом, согласованный на международном уровне подход к составлению карт метаморфизма может быть сформулирован следующим образом.

Карты составляются с использованием количественно отградуированных схем минеральных фаций и субфаций метаморфических пород. Использование этой методики позволяет на основании однозначно интерпретируемых критериев отражать условия проявления метаморфизма с любой детальностью. Использование современных методов минералогической термо- и барометрии дает возможность отражать конкретные Р-Т параметры метаморфизма. Отражение другой геологической информации на картах разных авторов имеет некоторые отличия, но, в целом, она не играет какой-либо существенной роли. Такой подход оправдывает себя, если карты метаморфизма составляются в дополнение к уже существующим обзорным

геологическим и специализированным картам, для выявления новых геологических закономерностей.

При отсутствии единой геологической и тектонической основы для раннего докембрия территории России, оказалось необходимым разработать иной подход к составлению карты метаморфизма. Кроме основной информации о физико-химических условиях метаморфизма, должна быть достаточно полно отражена и другая геологическая нагрузка (возраст, тектоника, состав пород). В этом случае карта метаморфизма приобретает необходимую самостоятельность.

#### **Схема минеральных фаций и субфаций**

Фациальный принцип картирования метаморфических образований – главная основа карт метаморфизма. Главное назначение петрогенетической сетки – оценка термодинамических условий метаморфических событий, выделение с ее помощью на карте площади геологических тел, отвечающих определенным термодинамическим условиям метаморфизма, разделенных линиями моновариантных реакций – границами смены минеральных парагенезисов, отражающих другие Р-Т параметры метаморфизма.

К настоящему времени разработано большое число 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 невозможно создать универсальную систематику фаций и субфаций (петрогенетическую сетку), отвечающую требованиям создания карты метаморфизма петрохимически разнородных пород.

Горные породы петрохимического класса метапелитов (система  $KMFASH - K_2O + MgO + FeO + Al_2O_3 + SiO_2 + H_2O$ ) наиболее чувствительны к изменениям Р-Т параметров метаморфизма. Граница начала метаморфизма проводится по линии моновариантной реакции разложения каолинита (типичного гипергенного минерала) с образованием пирофиллита (рис. 1). Многим метаморфическим реакциям придается разное значение в качестве границ либо фаций, либо субфаций, либо предлагается пользоваться термином «ступень метаморфизма» [15]. При этом в качестве границ предлагается использовать линии появления хлорит-мусковитового парагенезиса (низкая ступень), распада ставролита и устойчивости силлиманит-мусковит-кварцевого парагенезиса (средняя ступень), распада мусковит-кварцевой ассоциации с



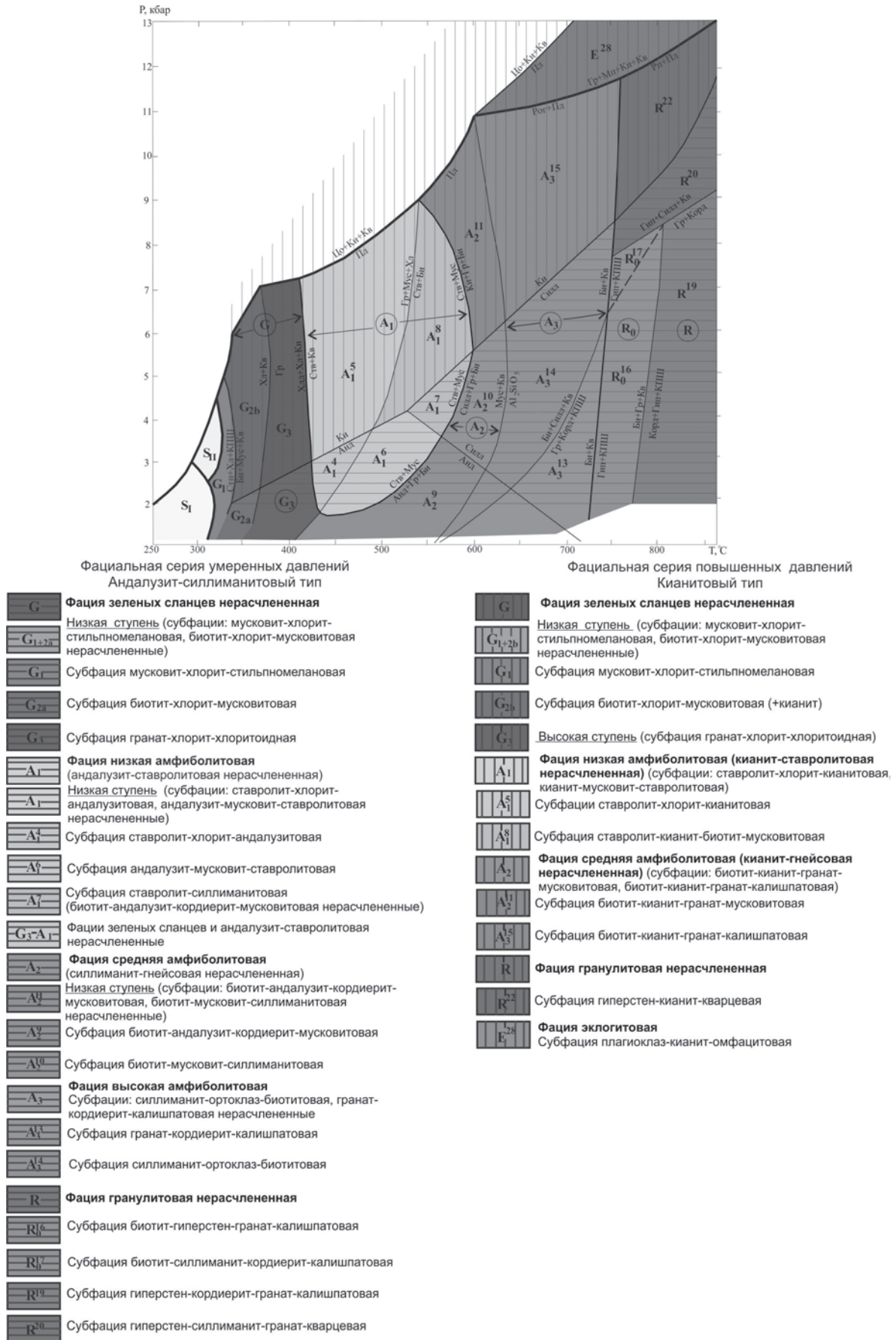


Рис. 1. Легенда к карте метаморфизма докембрия территории России масштаба 1 : 5 000 000

образованием калиевого полевого шпата, силиката глинозема –  $Al_2Si_2O_5$  и анатексиса в гнейсах (высокая ступень).

Согласно Петрографическому кодексу [16] «метаморфические породы каждого подотряда (отряда или надотряда, если подотряд не выделяется) разделены на семейства по наличию устойчивого минерального парагенезиса определенной метаморфической фации». Для пород регионального (динамо-термального) метаморфизма чаще всего используется простая и апробированная схема фаций П. Эскола. В соответствии с этой схемой выделяются четыре фации (семейства): зеленосланцевая, эпидот-амфиболитовая, амфиболитовая и гранулитовая.

Как отмечено в Петрографическом кодексе, «авторские схемы метаморфических фаций заметно различаются между собой как по конфигурации полей отдельных фаций и их названиям, так и по количеству фаций и субфаций». В связи с этим Комиссией по метаморфизму и метаморфогеоному рудообразованию МПК было принято «компромиссное решение – выделять только три температурных класса метаморфических пород: высоко-, средне- и низкотемпературный». В этой трактовке таксон температурного класса является более высоким по отношению к минеральной фации (семейству). Критерием для выделения температурного класса является присутствие в минеральном парагенезисе минералов с кристаллизационной водой (низкотемпературный класс), минералов с гидроксидом (среднетемпературный класс) и отсутствие подобных минералов (высокотемпературный класс). Очевидно, это наиболее простой способ геологического картирования в условиях производственных организаций.

Главная причина существующего разнообразия петрогенетических сеток заключается в проблеме выбора универсальных, надежно картируемых и отраженных 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 вышеизложенного, при составлении карты метаморфизма России в масштабе 1 : 5 000 000 нами предлагается петрогенетическая сетка (рис. 1), разработанная и опробованная при составлении карты метаморфизма докембрия Восточно-Европейской платформы в масштабе 1 : 1 000 000. За основу были приняты схема минеральных фаций метаморфических пород по С.А. Бушмину и В.А. Глебовицкому [15] и петрогенетическая сетка С.П. Кориковского [17] (рис. 1). В целях унификации легенд (главным образом, в буквенной индексации фаций и зон метаморфизма), учтены разработки авторов тектонометаморфической карты Канадского щита [6] и карт метаморфизма Альп и области Карпаты-Балканы-Динариды [9].

Важным аспектом предложенной петрогенетической сетки представляется четкое разделение на два контрастных режима регионального метаморфизма – силлиманитовый и кианитовый.

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 во многих случаях поддаются только группы нерасчлененных субфаций.

### Геологическая основа карты метаморфизма

Опыт работ по картированию регионального метаморфизма Украинского щита наглядно показал, что составленная без учета геологической основы только карта метаморфизма крайне схематична и не информативна. Карты метаморфизма всегда составляются на основе существующих геологических карт, поскольку самостоятельное метаморфическое картирование не проводится. Границы фаций на картах метаморфизма в большинстве случаев привязываются к границам геологических тел с геологических карт. Такой методический прием вполне оправдан, а сам факт подобия геологических и метаморфических границ подкреплен практикой геологических исследований. Следует также учесть, что при составлении мелкомасштабной карты метаморфизма приходится использовать петрографический материал, который жестко привязан к геологическим границам.

Поэтому карта метаморфизма во всех случаях технологически составляется путем нанесения метаморфической информации на контурную часть геологической карты. Последнее не означает, что границы метаморфические и геологические полностью тождественны.

Ввиду отсутствия единой геологической карты докембрия России были выполнены работы по созданию геологической основы карты метаморфизма докембрия России, включающие следующие основные этапы:

1. Обобщение данных и создание общей схемы геодинамических процессов в геологической истории раннего докембрия различных регионов России и мира. Создание историко-эволюционной схемы корреляции структурно-геодинамических таксонов раннего докембрия территории России.

2. Разработка геодинамических моделей развития раннедокембрийской коры и схем тектонического районирования отдельных регионов, построенных по иерархическому принципу с выделением структур четырех порядков от глобального до регионального уровней.

3. Корреляция и генерализация существующих региональных стратиграфических схем и карт докембрия отдельных регионов России (рис. 2). Создание геологической основы карты метаморфизма докембрия территории России.

#### **Схемы тектонического районирования раннедокембрийского фундамента территории России**

Докембрий России наиболее широко представлен в пределах древних платформ (Восточно-Европейской и Сибирской) и срединных массивов среди фанерозойских складчатых поясов на северо-востоке Азии и в Приморье (Омолонский, Охотский, Ханкайский), на Восточном склоне Урала, на Камчатском и востоке Чукотского полуострова (рис. 3). Докембрийский кристаллический фундамент сложен более чем на 80 % метаморфическими формациями, с которыми во всем мире связаны пространственно и генетически уникальные и важнейшие для современной экономики месторождения метаморфогенной группы полезных ископаемых – железа, марганца, золота, платиноидов, урана, цветных и редких металлов, редкоземельного сырья, графита и др.

Тектоническое районирование раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской и Сибирской платформ выполнялось на основе обобщения геохронологических, геологических, петро-

генетических данных. Результаты этих обобщений, имеющиеся геологические карты и тектонические схемы кристаллического фундамента древних платформ на отдельные их части и карта «Аномального магнитного поля России» масштаба 1 : 10 000 000 послужили основой для составления схем тектонического районирования.

Наиболее дробным элементом схем районирования является террейн (или покров, пояс, структура) – участок коры, который был сформирован в близкое время в рамках одного тектонического события. Группа террейнов разного возраста и разной тектонической принадлежности, пространственно объединенных в один сегмент коры в ходе какого-либо тектоно-магматического события, выделяется как составной террейн. Для всех выделенных раннедокембрийских террейнов и составных террейнов был определен тектонический тип, состав и характер метаморфической переработки, возраст и состав источников магматических и осадочных пород и возможная тектоническая обстановка формирования.

Обрисовка контуров террейнов на открытых территориях щитов проводилась на основе опубликованных геологических карт, на которых уже были показаны раннедокембрийские блоки и зоны с различной геологической историей развития и состава пород (рис. 4). Сравнение положения раннедокембрийских террейнов в пределах щитов с тем, как они выражены в магнитном поле, использовалось для экстраполяции магнитных данных на закрытые осадочным чехлом территории древних платформ. При составлении схем районирования в ряде случаев мы изменили возрастную и тектоническую нагрузку отдельных структурно-вещественных ассоциаций пород в соответствии с новыми возрастными и петротектоническими данными по керну глубоких скважин.

#### **Возраст регионального метаморфизма**

В решении проблем метаморфизма, а также эволюции геотермического состояния литосферы и палеотектонических и палеогеодинамических реконструкций требуется определение не только Р-Т параметров метаморфизма супракrustальных 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

Геодинамические комплексы		Стратифицированные		Интрузивные	
Возраст					
1900	<p>Комплекс шовных зон (нерасчлененный)</p> <p>7340</p> <p>Комплекс коллизионный (нерасчлененный) 7270</p> <p>Комплекс субдукционный (нерасчлененный) 7230</p> <p>Комплекс внутриконтинентальных рифтов (нерасчлененный) 7180</p> <p>Комплекс внутриконтинентальных бассейнов (нерасчлененный) 7170</p>	<p>Существенно вулканогенный тип разреза 7240</p> <p>Существенно вулканогенный тип разреза 7190</p> <p>Существенно осадочный тип разреза 7200</p>	<p>Вулканогенно-осадочный тип разреза 7280</p> <p>Существенно осадочный тип разреза 7290</p> <p>Существенно осадочный тип разреза 7250</p> <p>Существенно осадочный тип разреза 7210</p>	<p>Щелочные породы 7380</p> <p>Граниты-рапакивы 7350</p> <p>Граниты 7360</p> <p>Долериты 7370</p>	<p>Граниты 7310</p> <p>Диориты, гнейзы 7320</p> <p>Эндербиты, чарнокиты 7330</p>
2500					
Неархей	<p>Комплекс гранит-зеленокаменных областей (нерасчлененный)</p> <p>7050</p> <p>Комплекс ВЗП (нерасчлененный) 7080</p> <p>ТТГ 2 (нерасчлененный) 7060</p>	<p>Существенно вулканогенный тип разреза 7090</p> <p>Существенно осадочный тип разреза 7100</p>	<p>Существенно осадочный тип разреза 7110</p>	<p>Анорозиты, габбро 7160</p> <p>Щелочные граниты 7150</p> <p>Нормальные граниты 7140</p> <p>Плагиограниты 7130</p> <p>Гипербазиты, габбро 7120</p> <p>Эндербиты, чарнокиты 7070</p>	
2800	<p>Комплекс основания (нерасчлененный)</p> <p>7000</p> <p>Комплекс НЗП (нерасчлененный) 7020</p> <p>ТТГ 1 (нерасчлененный) 7010</p>	<p>Существенно вулканогенный тип разреза 7030</p> <p>Существенно осадочный тип разреза 7040</p>			
3600					

Рис. 2. Схема корреляции геодинамических комплексов раннего докембрия территории России



наиболее существенных этапов геологического развития, соизмеримых по длительности с метаморфическими циклами. Обычно это кульминационная стадия процесса (пик метаморфизма), отвечающая максимальной температуре на уровне современного эрозионного среза.

При существующей степени изученности для анализа метаморфического фундамента щитов возможно показать на карте три периода регионального метаморфизма – палео-мезоархейский, неоархейский и палеопротерозойский. В пределах одного цикла формирования метаморфических комплексов могут иметь место не один, а два и более этапа проявления «пика метаморфизма», как убедительно показано на примере метаморфизма Свекофенского пояса, поэтому выделенные периоды отвечают наиболее существенным метаморфическим событиям, связанным с основными тектоническими этапами в эволюции древних платформ.

Время и последовательность метаморфических событий устанавливалась по совокупности комплексов признаков: на основании стратиграфических (по соотношению метаморфических процессов со стратиграфическими сериями супракрустальных пород и магматическими комплексами), структурно-геологических (по соотношению с фазами складчатости) и изотопно-геохронологических критериев, либо по косвенным данным.

Прямая возрастная корреляция возраста протолитов и метаморфизма докембрийских сегментов Восточно-Европейской платформы не корректна. Поэтому авторы допускали такую возможность только для возрастных интервалов, отвечающих отдельным геодинамическим этапам.

### **Составление геологической основы карты метаморфизма**

Основой для создания карты метаморфизма докембрия территории России послужили все опубликованные Госгеолкарты-200 и Госгеолкарты-1000, легенды серии-200 и серии-1000, а также имеющиеся мелкомасштабные геологические карты и схемы различного содержания для отдельных регионов. При составлении геологической основы была осуществлена необходимая генерализация стратиграфических и плутонических подразделений в соответствии с разработанной легендой.

На территории России в качестве глобальных тектонических единиц выделяются Восточно-Европейская и Сибирская древние платформы и складчатые пояса неогей: Арктический, Урало-

Монгольский, Тихоокеанский, Средиземноморский (рис. 3).

Раннедокембрийские образования распространены в разной степени во всех структурах. Наибольшим распространением пород раннего докембрия характеризуются две древние платформы. Фундамент платформ обнажается на сравнительно небольших территориях, порядка 10–12 % площади платформ, где он достаточно хорошо изучен. На Восточно-Европейской платформе наиболее обнажена северная часть – Балтийский щит (рис. 3), на юге докембрий обнажается в пределах Украинского щита, находящегося за пределами территории России. На Сибирской платформе обнаженные территории докембрия расположены в южной части – Алданский щит, и на небольшой площади в северной части – Анабарский щит.

Порядка 90 % территории платформ скрыты под осадочным чехлом, мощность которого иногда значительна. Степень изученности докембрийских образований на закрытых территориях существенно отличается в различных регионах. Общая картина строения кристаллического фундамента платформ складывается на основе геолого-геофизических данных, путем сопоставления результатов геофизического районирования фундамента с данными бурения и сравнением с хорошо изученными регионами щитов.

Наиболее изученной, хотя и очень неравномерно, является Восточно-Европейская платформа, в пределах которой имеются данные по нескольким тысячам скважин, вскрывшим кристаллический фундамент.

Некоторые фрагменты платформ с очень глубоким залеганием фундамента (например, участок Прикаспийской впадины), где данные бурения отсутствуют, а возможности геофизических методов очень ограничены, геологически не охарактеризованы. На карте метаморфизма они показаны как участки с глубоким залеганием фундамента, фактически являются «белым пятном». Недостаточной геофизической изученностью и полным отсутствием геологических данных характеризуется центральная часть Сибирской платформы. Схема геологического строения этого региона составлена на основе районирования предварительно трансформированных геофизических полей, с целью их освобождения от влияния осадочного чехла.

В структурах неогей роль ранний докембрий встречается фрагментарно в блоках, количество которых превышает несколько сотен, и скиалитах.

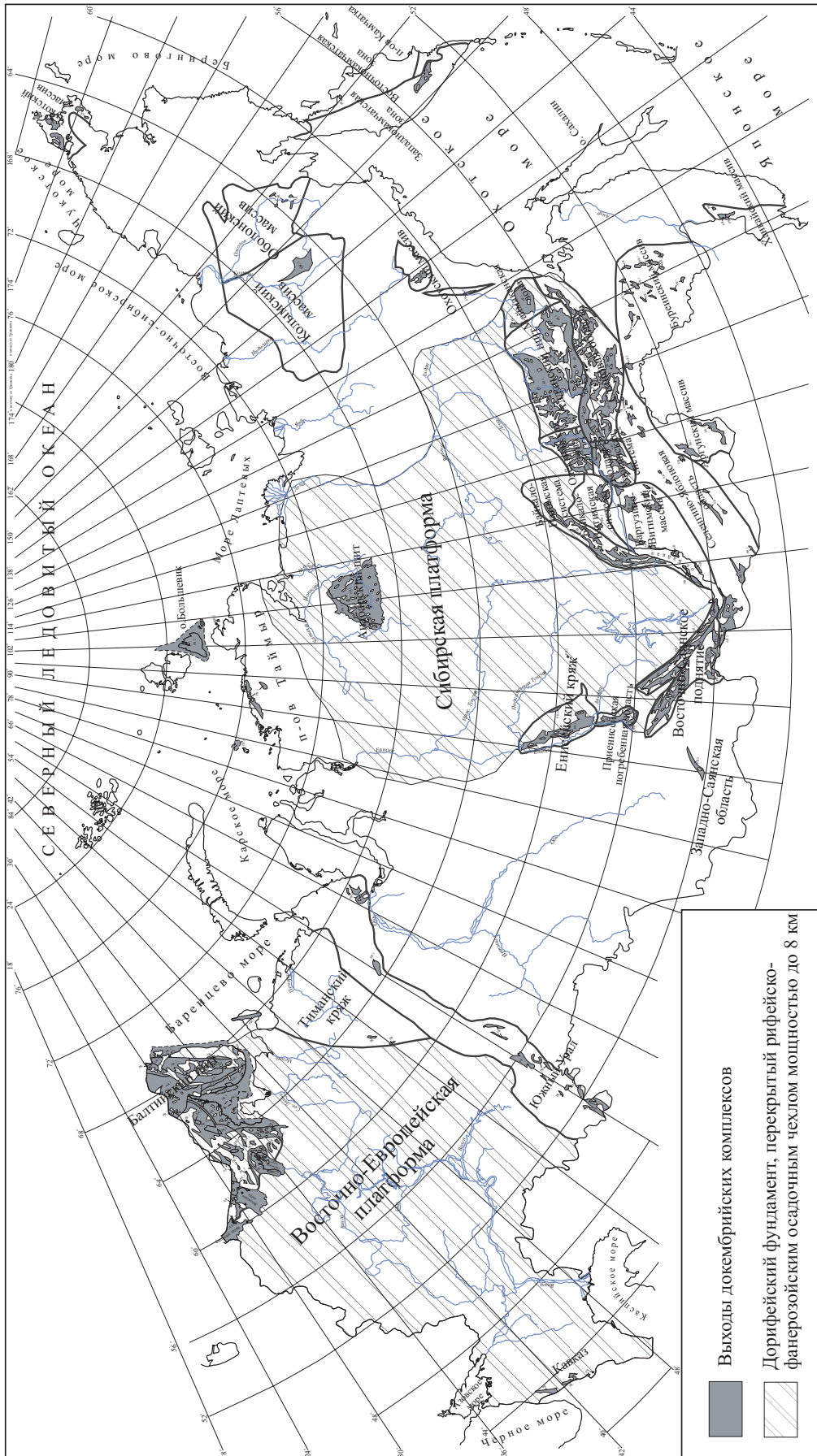


Рис. 3. Карта выходов раннедокембрийских комплексов на современную эрозионную поверхность

Некоторые блоки по размерам и геодинамической позиции относятся к рангу микроконтинентов (Охотский, Омолонский, Чукотский).

В ряде случаев существуют противоречивые мнения относительно возраста образования тех или иных структур. В этих случаях принадлежность рассмотренных структурно-вещественных комплексов к раннедокембрийскому возрасту основывается на данных, изложенных в изданных государственных геологических картах масштаба 1 : 1 000 000, которые явились геологической основой для карты метаморфизма России.

### **Структура карты метаморфизма докембрия территории России**

Составленная карта метаморфизма докембрия включает следующий комплект материалов: карту метаморфизма масштаба 1 : 5 000 000, легенду к карте, состоящую из схемы корреляции геодинамических комплексов раннего докембрия и схемы фаций метаморфизма для тектоно-метаморфических циклов, карты-врезки на территорию щитов древних платформ масштаба 1 : 2 500 000 (рис. 4).

Геолого-информационная система (ГИС) «Карта метаморфизма докембрия территории России масштаба 1 : 5 000 000» создана в формате ArcView 3.0 и состоит из следующих информационных слоев и связанных с ними БД: а) геологическая основа, включающая линейный, полигональный слои и слой крапа для интрузивных и стратифицированных образований; б) метаморфизм мезо-палеоархейского, неоархейского и палеопротерозойского тектоно-метаморфических этапов, возраст метаморфизма отражен цветом или интенсивностью цветов; в) разрывные нарушения; г) гидрография, государственная граница России (рис. 4).

Для выделяемых на карте метаморфических фаций подобрана цветовая гамма, подчёркивающая структурность карты и делающая её легко читаемой. Для отражения возраста и состава геодинамических комплексов протолита легенда содержит большую группу обозначений, наносимых крапом. В соответствии со схемами тектонического районирования осуществлена типизация разломов, подразделяющихся на четыре ранга. Карта дополнена схемами тектонического районирования, построенными по иерархическому принципу. Глобальный уровень представлен схемой распространения раннедокембрийских комплексов и структурно-тектонического районирования территории России. Трансрегиональный и региональный уров-

ни отражают последовательную детализацию тектонического строения древних платформ. Карты сопровождаются электронным каталогом данных о составе и петрологии основных метаморфических комплексов докембрия России.

В процессе работ при разработке легенды к карте метаморфизма было проведено комплексное петрографическое, микронзондовое, петрогеохимическое и изотопно-геохронологическое изучение опорных разрезов метаморфических комплексов. ГИС-атлас на территории щитов включает карты-врезки метаморфизма по отдельным возрастным срезам раннего докембрия и обобщенную карту метаморфизма щитов в масштабе 1 : 2 500 000. Принцип составления карт-врезок отличается от основной карты только степенью детальности.

### **Выводы**

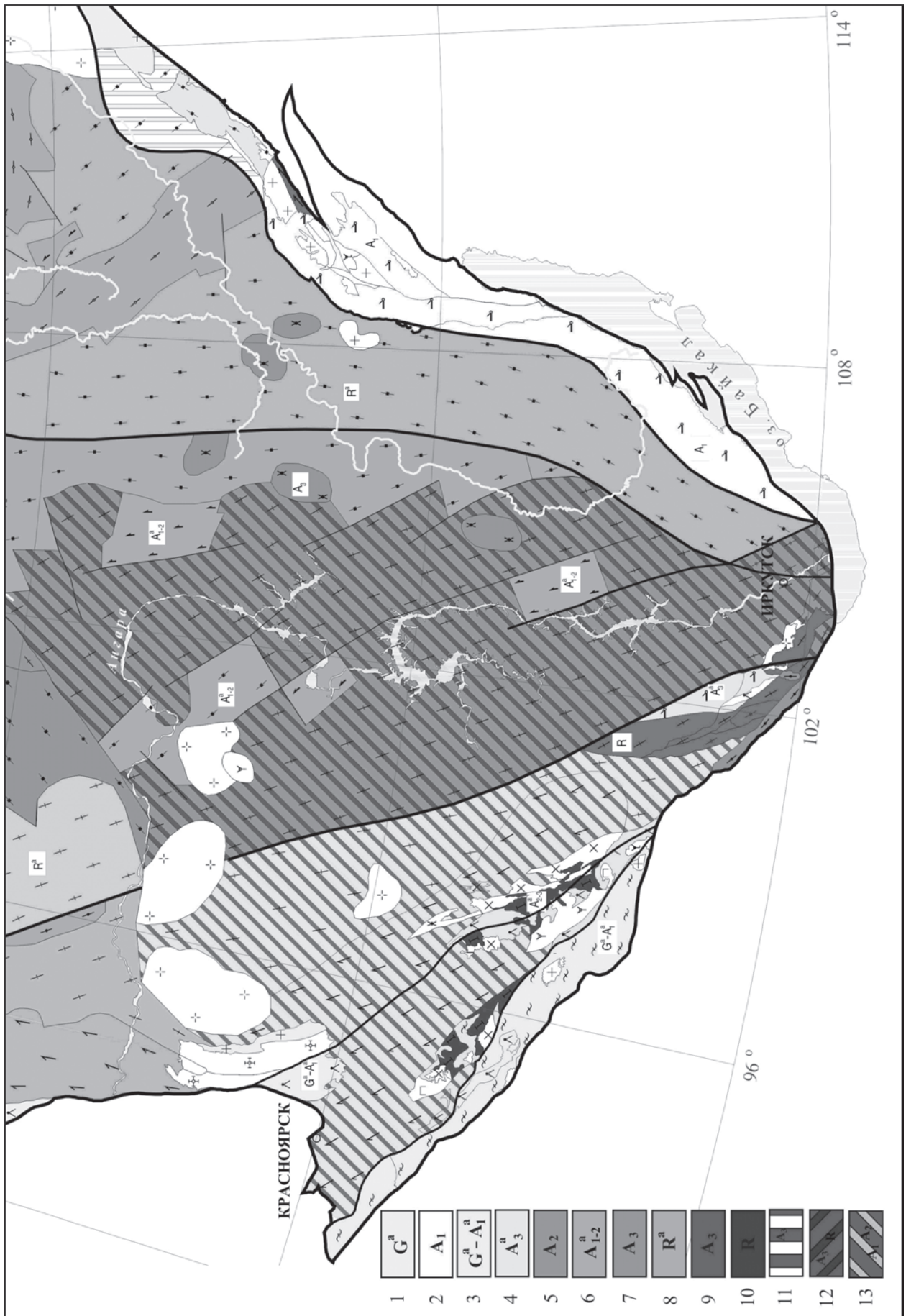
Комплект карты метаморфизма состоит из самой карты метаморфизма докембрия территории России масштаба 1 : 5 000 000, легенды к карте, которая включает схему породных ассоциаций и схему фаций метаморфизма для палео-мезоархейского и неоархейского и палеопротерозойского тектоно-метаморфических циклов.

Карты составлены на фациальной основе с использованием количественно отградуированных схем минеральных фаций метаморфических пород. Фациальный принцип картирования метаморфических образований был реализован в виде разработанной схемы и номенклатуры минеральных фаций метаморфических пород, на основе которой производилась оценка термодинамических условий метаморфических событий.

При отсутствии единой геологической и тектонической основы для раннего докембрия территории России, был разработан особый подход к составлению карты метаморфизма, где помимо основной информации о физико-химических условиях метаморфизма, достаточно полно отражена и другая геологическая нагрузка (возраст, тектоника, состав пород). Ввиду отсутствия единой геологической карты докембрия территории России были выполнены работы по корреляции и генерализации существующих региональных стратиграфических схем и карт докембрия отдельных регионов России. Созданная карта распространения породных ассоциаций докембрия послужила геологической основой карт метаморфизма.

На основе использования всего комплекса геолого-геофизических данных, анализа глубинного строения были созданы схемы тектонического







**Рис. 4.** Фрагмент карты метаморфизма докембрия территории России масштаба 1 : 5 000 000

*Региональный метаморфизм палеопротерозоя*

Фациальная серия умеренных давлений

Андалузит-силлиманитовый тип

1. Фация зеленых сланцев, субфация умеренных давлений (мусковит-хлорит-стильпномелановая, биотит-хлорит-мусковитовая, алмадин-андалузит-мусковит-биотитовая)

3. Фация зеленых сланцев и низкая амфиболитовая (андалузит-ставролитовая) нерасчлененные

4. Фация высокая амфиболитовая, субфация умеренных давлений (силлиманит-ортоклаз-биотитовая, гранат-кордиерит-калишпатовая-нерасчлененные)

Зоны метаморфизма неопределенных давлений

2. Низкая амфиболитовая

*Региональный метаморфизм неорархея*

Зоны метаморфизма неопределенных давлений

5. Средняя амфиболитовая

7. Высокая амфиболитовая

Фациальная серия умеренных давлений

Андалузит-силлиманитовый тип

6. Нерасчлененные субфации низкой амфиболитовой и средней амфиболитовой фации умеренных давлений

8. Фация гранулитовая, субфации умеренных давлений (биотит-гиперстен-гранат-калишпатовая, гиперстен-кордиерит-гранат-калишпатовая, гиперстен-кордиерит-гранат-калишпатовая, гиперстен-силлиманит-гранат-кварцевая)

*Региональный метаморфизм палеоархея и мезоархея*

Зоны метаморфизма неопределенных давлений

9. Высокая амфиболитовая

10. Гранулитовая

*Проявления полиметаморфизма*

11. Площадное развитие латеральной зональности регионального метаморфизма

12. Реликты раннего метаморфизма (узкая полоса) на фоне главного цикла регионального метаморфизма

13. Наложенный метаморфизм (узкая полоса) на фоне главного цикла регионального метаморфизма

районирования для основных раннедокембрийских регионов, построенные по иерархическому принципу с выделением структур от глобального до регионального уровней.

По результатам изотопного датирования и анализа возрастных соотношений породных комплексов в докембрии Алданского, Анабарского, Балтийского щитов и Воронежского кристаллического массива были выделены три тектоно-метаморфических цикла: архейский ранний (палеоархей), архейский поздний (мезо-неоархей) и палеопротерозойский.

Приоритет был отдан структурно-вещественному подходу, учитывающему историю геологического развития регионов, которая отражена в структурно-вещественных комплексах, отвечающих определенным геодинамическим обстановкам и характеризующихся специфическим набором породных ассоциаций.

Таким образом, в результате работ получена объективная карта, отражающая эволюцию тектоно-метаморфических событий в раннем докембрии на территории России.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Добрецов Н. Л. Карта метаморфических фаций СССР масштаба 1 : 7 500 000 / Н. Л. Добрецов [и др.]. – М., ГУГК, 1966.
2. Карта метаморфических поясов СССР. Масштаб 1 : 5 000 000 / ред. К. О. Кратц, В. А. Глебовицкий. – М. ; Л. : Изд-во ИГГД АН СССР и ГУГК, 1974.
3. Zwart H. J. Metamorphic map of Europe, scale 1 : 2 500 000. Subcommission of Cartography of the Metamorphic Belts of the World. Leiden / H.J. Zwart // UNESCO. – Paris, 1973.
4. Fraser J. A. Metamorphic map of the Canadian Shield / J.A. Fraser, W. W. Heywood, M.A. Mazurski // Geol. Surv. Can., Map. – 1978. – 1475A (scale 1 : 3 500 000).
5. Shenbao D. Map on distribution of types of metamorphism and metamorphogenic units, scale 1 : 4 000 000 / D. Shenbao [et al.] // Geol. Pub. House Xisi. – Beijing, China, 1984.
6. Berman R. G. A new tectonometamorphic map of the Canadian shield: Introduction / R. G. Berman, R. M. Easton, L. Nadeau // Canad. Mineral. – 2000. – V. 38. – P. 277–285.
7. Frey M. The new metamorphic map of the Alps / M. Frey, J. Desmons, F. Neubauer // Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. – 1999. – V. 79. – P. 1–4.

8. Oberhansli R. Explanatory notes to the map: Metamorphic structure of the Alps: introduction / R. Oberhansli, B. Goffe // Mitt. Osterr. Miner. Ges. – 2004. – V. 149. – P. 115–123.
9. Dunkl I. Web edition of the metamorphic map and database of Carpatho-Balkan-Dinaride area / I. Dunkl [et al.]. – (<http://www.uni-tuebingen.de/geo/met-map/index.html>).
10. Фации метаморфизма / под ред. В.С. Соболева. – М. : Недра, 1970.
11. Eskola P. The mineral facies of rocks / P. Eskola // Norsk. Geol. Tidsskr. – 1920. – № 6. – P. 143–194.
12. Miyashiro A. Evolution of metamorphic belts / A. Miyashiro // J. Petrology. – 1961. – V. 2. – P. 277–311.
13. Беляев О.А. Карта минеральных фаций метаморфических пород восточной части Балтийского щита (масштаб 1 : 1 500 000) / О. А. Беляев [и др.] ; ред. В. А. Глебовицкий. – Л. : Картфабрика ВСЕГЕИ, 1991.
14. Березкин В. И. Карта метаморфических фаций зоны Байкало-Амурской магистрали (масштаб 1 : 3 000 000) / В.И. Березкин [и др.] ; ред. В.А. Глебовицкий, А.Н. Неелов. – Л. : ВСЕГЕИ, 1986.
15. Бушмин С. А. Схема минеральных фаций метаморфических пород / С. А. Бушмин, В. А. Глебовицкий // Зап. Рос. Мин. об-ва. – 2008. – № 2. – С. 1–13.
16. Петрографический кодекс России. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.
17. Кориковский С. П. Фации метаморфизма метapelитов / С. П. Кориковский. – М. : Наука, 1979. – 213 с.

*Воронежский государственный университет*

*К. А. Савко, заведующий кафедрой полезных ископаемых и недропользования, доктор геолого-минералогических наук, профессор*  
*Тел. 8 (915) 544-21-64*  
*ksavko@geol.vsu.ru*

*Voronezh State University*

*K. A. Savko, the head of the chair of Mineral Resource, Doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Professor*  
*Tel. 8 (915) 544-21-64*  
*ksavko@geol.vsu.ru*