

УДК 553.44:553.061

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

А. Л. Галямов, А. В. Волков, К. В. Лобанов, К. Ю. Мурашов

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
(Москва, Российская Федерация)

В экономике арктических регионов России минерально-сырьевой сектор занимает одно из центральных мест, что обуславливает высокую значимость состояния минерально-сырьевой базы и динамики ее развития. На основе ГИС-анализа выявлены соотношения геологических и рудных формаций в различных геодинамических обстановках. Показано, что обширная по площади территория Арктической зоны России перспективна на открытие новых крупных месторождений стратегических металлов.

Ключевые слова: Арктическая зона, ГИС-анализ, металлогения, геодинамическая обстановка, месторождения, стратегические металлы, прогноз.

Статья поступила в редакцию 1 декабря 2016 г.

Введение

Россия занимает одно из ведущих мест среди арктических стран — производителей минерального сырья [1—3]. Кроме громадных запасов нефти и природного газа в арктических регионах России находится около 10% активных мировых запасов никеля, около 19% металлов платиновой группы (МПГ), 10% титана, более 3% цинка, кобальта, золота и серебра. При этом детальные металлогенические исследования выполнены лишь для отдельных регионов российской Арктики, значительная часть которой (более 4 млн км²) остается слабо изученной вследствие трудной доступности.

Минерально-сырьевая база Арктической зоны России насчитывает более 10 видов полезных ископаемых, в том числе благородные, цветные, черные, редкие и радиоактивные металлы. В открытом доступе имеются сведения по более чем 4000 рудных объектов эндогенной минерализации, в частности по более 400 разномасштабным месторождениям включая крупные (Норильское, Талнахское, Печенга, Томтор, Рай-Из, Ковдор, Купол, Майское и др.).

Настоящая публикация продолжает серию статей [1—7], посвященных минеральным ресурсам Арктики, подготовленных в ходе реализации проекта Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН «Разработка научных основ новой технологии прогнозирования

месторождений стратегических видов минерально-сырья (цветных, редких и благородных металлов) Арктической зоны Российской Федерации».

Цель данной статьи — рассмотреть металлогеническую продуктивность геодинамических обстановок в Арктической зоне России и на основе ГИС-анализа оценить перспективы выявления новых месторождений стратегических металлов.

Краткий очерк металлогении Арктической зоны России

Литосфера Арктической зоны России, сформированная в ходе нескольких суперконтинентальных циклов, включает древние щиты (Балтийский и Анабарский), перекрывающие их позднедокембрийский и палеозойский платформенные чехлы, складчатые орогенные пояса (Каледонский, Уральский, Таймырский, Тиманский, Верхояно-Чукотский), разделяющие древние платформы (Восточно-Европейскую, Сибирскую и Северо-Американскую), внутриплитные магматические провинции различных эпох от раннего докембрия до кайнозоя и мезозойские вулканогенные пояса (Олойский, Уяндино-Ясаченский и Охотско-Чукотский).

Минерально-сырьевой потенциал Арктической зоны России в основном определяется наличием крупных и уникальных месторождений цветных, благородных и редких металлов. Секторальный характер металлогении Арктической зоны тесно связан со сложным сочетанием

докембрийско-палеозойско-раннемезозойских геоструктур [12], история развития которых определяется глобальными процессами формирования палеоокеанов, развитием пассивных и активных континентальных окраин, рифтогенезом и последующими коллизионными движениями, обусловившими возникновение орогенных поясов (рис. 1). Тесное взаимодействие мантийных и коровых явлений, обусловивших геодинамические обстановки развития формационных комплексов геоструктур, определило их металлогеническую специализацию, что выразилось в массовом размещении месторождений соответствующих рудноформационных типов [3].

Докембрийские щиты и другие менее значительные выходы докембрийских толщ в пределах Арктической зоны России — важнейший источник многих видов минерального сырья для горнодобывающей промышленности. В их пределах расположены крупнейшие месторождения железа, золота, хрома, алмазов, платиноидов, никеля, меди, полиметаллов, ванадия и урана. Щиты могут рассматриваться в качестве наиболее перспективных арктических

регионов на открытие новых крупных месторождений. Периферийные части щитов, как правило, были подвержены последующей террейновой аккреции, приведшей к росту кратонов и в ряде случаев к унаследованному развитию минерализации. Таким образом, не только сами докембрийские щиты в пределах Арктической зоны России, но и их периферия весьма перспективны на обнаружение крупных месторождений, имеющих близкую металлогеническую специализацию. Крупнейшие месторождения алмазов, редкоземельных элементов (РЗЭ), Nb, Ta, Ti, Zr и фосфатного сырья связаны на севере Восточно-Сибирской и Восточно-Европейской платформ с двумя девонскими провинциями щелочно-ультраосновного магматизма [3].

В Восточно-Европейском секторе в границах Балтийского щита и его обрамления выявлены крупные месторождения стратегического сырья: титана, меди, никеля, платиноидов и РЗЭ (табл. 1). Рудоносные проявления щелочно-ультраосновного магматизма формировались на территории щита в эпоху 390—350 млн лет назад (Кольская

Таблица 1. Основные рудно-формационные типы минерализации в геологических формациях различных геодинамических обстановок на территории России

Рудная формация	В	В+P+C	P+C	В+J+C	O+J+C	Н	С
<i>Благородные</i>							
Золото-порфировая				0,3*			
Платинометалльно-золоторудная черносланцевая			0,3				
Серебро-полиметаллическая березитовая			3				
Колчеданно-полиметаллическая в терригенных породах		0,3	0,3		1		
Золото-сурьмяная березитовая		0,3	2		0,3		
Золото-сульфидная черносланцевая	0,3	1					
Медно-молибден-порфировая золотоносная	1						
Серебро-полиметаллическая	1						
Золото-сульфидно-кварцевая эпипетральная	1	1	1		0,3		
Золото-сульфидная эпипетральная	2						
Золото-скарновая	2				1		
Никель-кобальт-золото (серебро)-висмут-урановая	2						
Медно-никелевая в расслоенных интрузиях платиноносная	6				1	0,3	
Золото-серебряная	2	2	10	1	9		1
Золото-сульфидно-кварцевая (жил и минерализованных зон)	2	0,3	4		2		0,3
Золото-кварцевая жильная	7	5	9	2	10		1

Продолжение табл. 1

Рудная формация	В	В+P+C	P+C	В+J+C	O+J+C	Н	С
<i>Медные</i>							
Родингитовая		1	1		1	1	
Медно-цинково-колчеданная				1	4		
Медистых песчаников	1	1	1				
Медно-скарновая	1	1	1		1		2
Медно-никелевая в расслоенных интрузиях платиноносная	25						
Медно-колчеданная в вулканогенно-осадочных породах	2	6	2	2	15	2	4
Медно-молибден-порфировая	6	2	4	2	10		4
<i>Свинцово-цинковые</i>							
Серебро-полиметаллическая березитовая с золотом			4				
Свинцово-цинковая стратиформная в карбонатных породах			6				
Свинцово-цинковая вулканогенно-карбонатная стратиформная		2	2		1	1	
Скарново-полиметаллическая	2				1		1
Свинцово-цинковая жильная в разнообразных породах	3	1	2				
Колчеданно-полиметаллическая в вулканогенных породах	7		12				
Полиметаллическая жильная	1	2	15	2	5	1	3
Колчеданно-полиметаллическая в терригенных породах	2	4	6		15		
<i>Цветные</i>							
Ртутная вулканогенная			1	1			
Золото-сурьмяная березитовая			2				
Кварц-диккитовая эпитермальная			1				
Ртутная терригенная аргиллизитовая			3				
Сурьмяно-ртутная эпитермальная			3		3		
Кварц-антимонитовая		1	1		1		
Алюмосиликатная нефелиновая		3			4		
Сурьмяно-ртутная джаспероидная	1	1					
Кобальт-никелевая силикатных кор выветривания	1		1				
Вольфрам-молибденовая скарновая	3		1	1	1		
Касситерит-силикатная		2	26	2	3		4
Вольфрам-молибденовая грейзеновая		2	6	1	6		1
Касситерит-вольфрамитовая грейзеновая	1	3	3		7		

Рудная формация	В	В+Р+С	Р+С	В+J+С	О+J+С	Н	С
<i>Редкие</i>							
Бериллиеносных флюорит-слюдистых метасоматитов	1				1		1
Апатит-редкоземельно-редкометалльная переотложенных кор выветривания	2	1			1	2	
Редкоземельно-редкометалльная апогранитовая и щелочных метасоматитов	2	1					
Апатит-нефелиновая редкоземельно-редкометалльная в расслоенных щелочных интрузиях	2	1				2	
Редкометалльная апогранитовая	2	2					
Карбонатитовая редкометалльная	6					1	
Щелочно-редкоземельная	19						
Вольфрам-бериллиево-пегматитовая	2	2		1	4		1
Редкоземельно-тантал-ниобиевая щелочных гранитоидов	6	4	1		1		
Литиеносных редкометалльных пегматитов и щелочных метасоматитов	9	12	5	1			
<i>Черные</i>							
Железорудная магнезиоферритовая скарновая						2	
Титаномагнетитовая магматическая в основных породах				1	2		
Железорудная магнетитовая вулканогенная		1	0,5	0,5	3	1	
Марганценосная в вулканогенных породах		1			1		
Бурожелезняковая оолитовая		2		0,5			0,5
Марганценосных кор выветривания	0,5	2			1		
Ванадий-титан-железорудная ультрамафит-мафитовая	1			0,5			
Черносланцевая молибден-ванадиевая в щелочных метасоматитах?	3						
Офиолитовая хромитовая	4			1	1		
Базитовая титаномагнетит-ильменит-ванадиевая	4						
Железистых кварцитов	24	6			0,5		0,5
Железорудная скарново-магнетитовая	4	5	2	0,2	14	8	1
Всего по режимам, %	29	13	22	4	24	3	4

*В процентах от количества месторождений в группе.

Примечание. В — древний фундамент, Р — комплексы пассивной окраины, О — океанические рифты, J — островодужные комплексы, Н — области внутриплитного магматизма, С — области наложенных коллизионных процессов. Подчеркиванием выделены подгруппы с крупными месторождениями, курсивом — сквозные типы.

металлогеническая провинция) [10]: хибинские месторождения фосфатного сырья — апатитовые уртиты и ийолиты, сфен-apatитовые, апатит-нефелиновые разновидности руд (P, Sr, PЗЭ, F, Nb, Ti, Sr и др.); Ковдорское комплексное бадделейт-apatит-магнетитовое месторождение (Zr, P, Ti, PЗЭ и др.).

Тимано-Полярноуральский сектор во многом сохраняет черты общей металлогении с Уральской провинцией [3; 10]. Однако крупных колчеданно-полиметаллических, скарновых и золоторудных месторождений в этом секторе до сих пор не открыто. Известны средние по масштабам Саурейское (свинцово-цинковое), Петропавловское (золото-сульфидно-кварцевое) и Новогоднее Монто (золото-скарновое) месторождения. На архипелаге Новая Земля известны палеозойские свинцово-цинковые и медные рудопроявления различных типов. Наибольший интерес представляет значительное по запасам и ресурсам Павловское свинцово-цинковое месторождение (см. рис. 1 и табл. 1).

В создании геологической структуры и металлогении Восточно-Сибирского сектора главную роль сыграл пермско-триасовый этап [8; 9; 14]. В ранней перми произошло столкновение Карского блока с Таймыром, а в поздней перми — раннем триасе в соответствии с плюмовой концепцией сформированы огромные поля траппов и трапповых интрузий на Сибирской платформе [9]. С этим этапом связано формирование уникальных комплексных месторождений Cu, Ni, Co, Pt, Pd, Au, Ag, и Te Норильского района. Существенным золоторудным и россыпным потенциалом в этой части Арктической зоны обладают полуостров Таймыр и прилегающие к нему острова архипелага Северная Земля [11]. Анабарский щит считается наиболее перспективной рудной областью российской Арктики. Здесь выявлено месторождение PЗЭ мирового класса Томтор. В различных районах щита прогнозируются месторождения урана «типа несогласия» [3]. На территории щита и прилегающих площадях известны проявления россыпного золота, платиноидов, алмазов.

В течение мезозойского этапа образованы основные месторождения Верхояно-Чукотского арктического сектора. Тектонические структуры сектора формировались в течение поздней юры-неокома в результате замыкания Алазейско-Южноанюйского океана при столкновении Чукотско-Аляскинской палеозойской плиты с Сибирским кратоном [13; 15]. Складчатые пояса Чукотки перекрыты вулканами или прорваны интрузиями альб-позднемиоценового возраста, относящимися к Охотско-Чукотскому окраинно-континентальному вулканическому поясу. И с теми, и с другими связаны золоторудные, оловорудные и полиметаллические месторождения (см. табл. 1).

В рудном потенциале Верхояно-Чукотского сектора в отличие от других рассмотренных выше секторов заметную роль играют россыпные месторождения [3; 7]. В пределах сектора выявлены

многочисленные россыпи как континентального, так и прибрежно-морского генезиса (в том числе и шельфовые, находящиеся под уровнем современного моря). Россыпи приурочены к зонам сочленения равнинных и горных структур, береговым линиям морей, межгорным впадинам и уступам фундамента равнинных областей. По составу доминируют золотые, оловянные и олово-вольфрамовые россыпи.

Геодинамические обстановки формирования крупных месторождений Арктической зоны России

В промышленном плане в Арктической зоне России наиболее интересны: месторождения цветных металлов Cu-Ni-Co-МППГ (Норильского и Печенгского типов); крупные месторождения Pb-Zn-Ag типов SEDEX и MVT и колчеданно-полиметаллические месторождения (VMS), обогащенные золотом и серебром; месторождения благородных металлов: бананцевые эпиптермальные Au-Ag месторождения, Au-сульфидные вкрапленные месторождения, месторождения Au, связанные с интрузивами гранитоидов, Au-кварцевые месторождения в турбедитах, месторождения Au в зеленокаменных поясах, а также крупные россыпи золота и МППГ (аллювиальные и прибрежно-морские); богатые Cu-Mo, Cu-Au, Mo-W, Sn-In месторождения [1—3].

Согласно современным представлениям образование магматических Ni-Cu месторождений определялось воздействием мантийных плюмов на формирование и миграцию рудоносных флюидов. Колчеданные месторождения возникали в задуговой обстановке на утоненной коре в условиях субвулканического магматизма. На пассивных континентальных окраинах накапливались фосфоритоносные и железорудные формации. Размещение Cr-Ni-Cu-МППГ месторождений связано с областями плюмового воздействия в зонах рифтогенеза на коре переходного типа. В обстановке континентального рифта отлагались полиметаллические руды типа SEDEX, сопровождаемые проявлениями оловорудной и железо-оксидной Cu-Au-REE минерализации. К субконтинентальным бассейнам форланда приурочены стратиформные месторождения типа MVT [6]. Орогенные золоторудные месторождения формировались в сутурах между террейнами в сопровождении Au-As-W и Hg-Sb минерализации. Порфировые Cu-Mo-Au и эпиптермальные Au-Ag месторождения возникали в субконтинентальной островодужной и окраинно-континентальной обстановках, где рудоносные флюиды связаны с дегидратацией, переработкой и гибридизацией верхних частей коры [3].

Обсуждение результатов ГИС-анализа

В целом на территории России выделяются три базовые геодинамические обстановки, в формационных комплексах которых выявлено подавляющее количество (более 70%) месторождений (рис. 2, табл. 1):

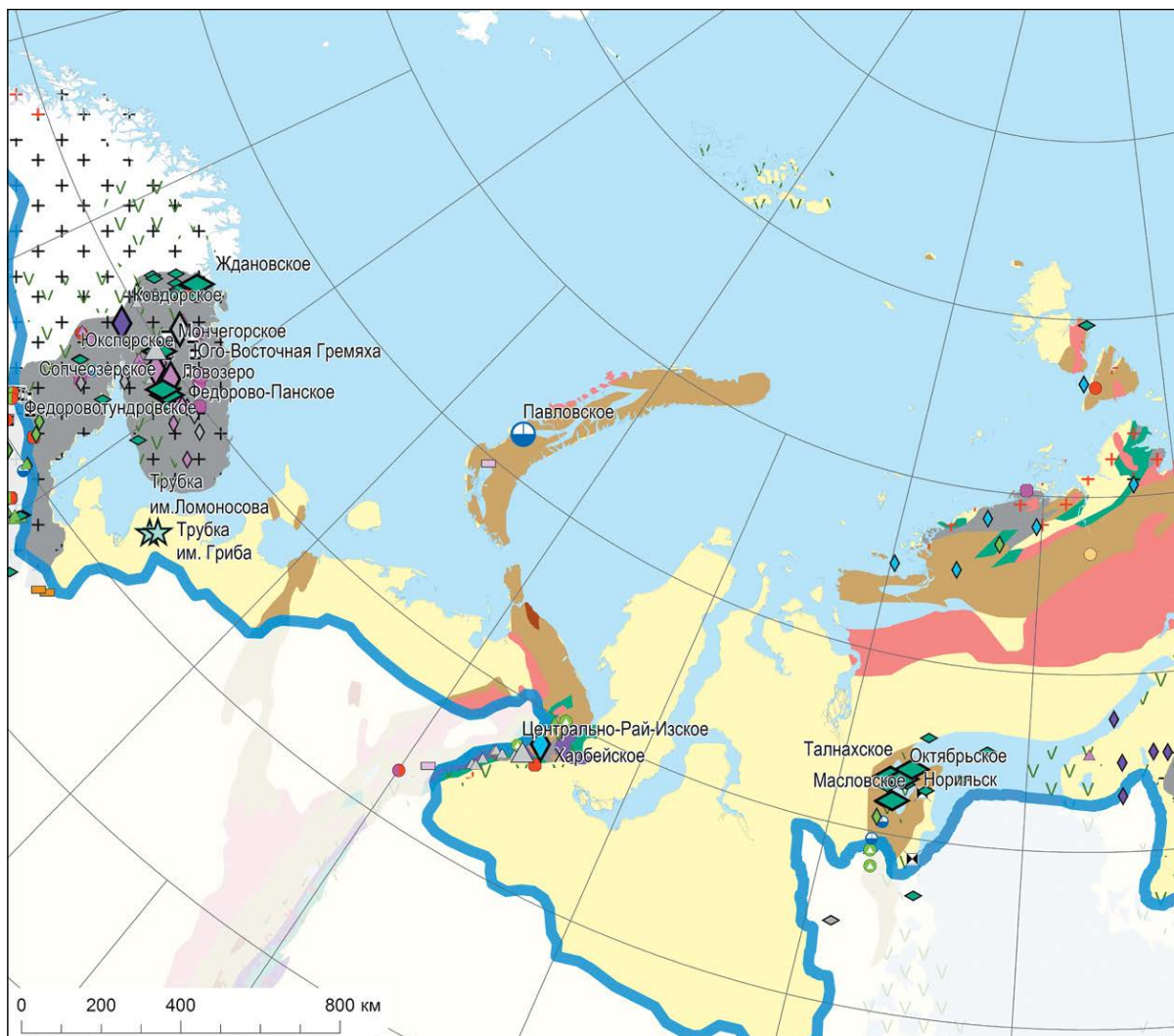


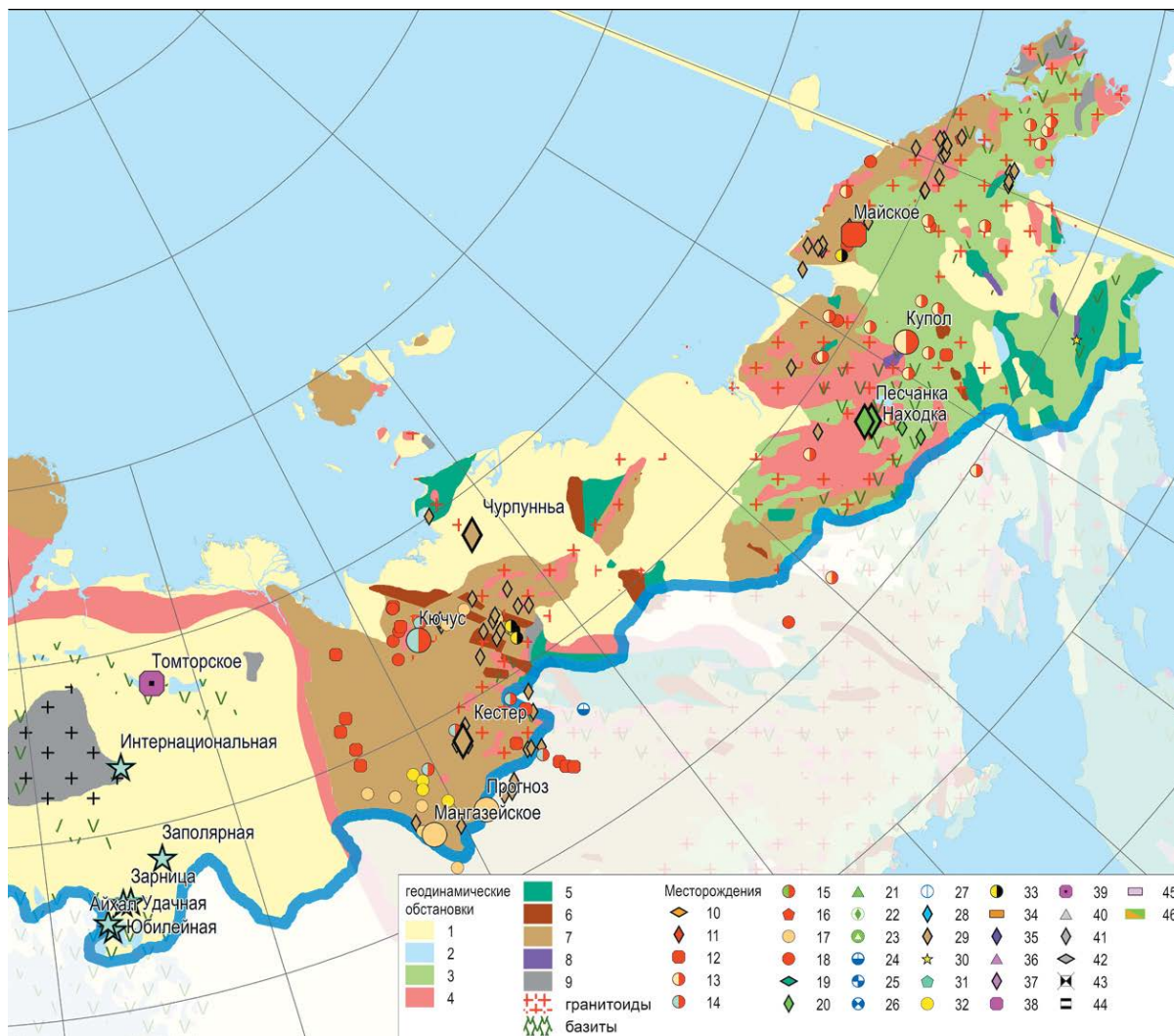
Рис. 1. Геодинамическая карта Арктической зоны России (по материалам Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского):

1 – платформенный чехол, 2 – области внутриплитного магматизма, 3 – активная окраина, 4 – области коллизии, 5 – островные дуги, 6 – континентальные рифты, 7 – пассивная окраина, 8 – океанические рифты, 9 – древний фундамент; рудные формации: 10 – платинометаллическая малосульфидная, 11 – порфириновая золотоносная, 12 – золото-сульфидно-кварцевая (жил и минерализованных зон), 13 – золото-серебряная, 14 – золото-сурьмяная березитовая, 15 – эпитермальная золото-сульфидная, ВIF, 16 – золото-сульфидная черносланцевая, 17 – серебро-полиметаллическая березитовая с золотом, 18 – золото-кварцевая жильная, 19 – медно-никелевая платиноносная, 20 – порфириновая медно-молибденовая, 21 – колчеданно-полиметаллическая в вулканогенных породах, 22 – самородной меди в базальтах, 23 – медистых песчаников, 24 – колчеданно-полиметаллическая в терригенных породах, 25 – стратиформная свинцово-цинковая в карбонатных породах, 26 – стратиформная свинцово-цинковая в терригенно-карбонатных породах, 27 – жильная свинцово-цинковая в разнообразных породах, 28 – грейзеновая молибден-вольфрамовая, 29 – касситерит-силикатная, 30 – ртутная лиственитовая, 31 – черносланцевая молибден-ванадиевая в щелочных метасоматитах, 32 – ртутная терригенная аргиллизитовая, 33 – кварц-диккитовая эпитермальная, 34 – бокситовая, 35 – апатит-нефелиновая редкоземельно-редкометаллическая в расслоенных щелочных интрузиях, 36 – карбонатитовая редкометаллическая, 37 – щелочно-редкоземельная, 38 – литиеносных редкометаллических пегматитов и щелочных метасоматитов, 39 – апатит-редкоземельно-редкометаллическая переотложенных кор выветривания, 40 – офиолитовая хромитовая, 41 – базитовая титаномагнетит-ильменит-ванадиевая, 42 – вулканогенно-осадочная титано-магнетитовая, 43 – железо-скарновая, 44 – железистых кварцитов, 45 – терригенно-карбонатная железо-марганцевая, 46 – формационного несогласия

- выступы древнего основания, включающие блоки архейских кратонов, рифтогенные структуры и области орогенной активизации;
- ареалы формаций пассивной континентальной окраины;
- островодужные комплексы активной окраины.

В выступлениях древнего основания, преимущественно в пределах Балтийского щита, размещается около 30% месторождений включая месторождения черных, цветных, благородных и редких металлов.

Важное место по числу месторождений (30%) в России занимают ареалы пассивной



континентальной окраины и зоны континентальных и субконтинентальных рифтогенных прогибов. Здесь преобладают месторождения цветных и благородных металлов, расположенные в складчатом обрамлении Сибирской платформы и на Среднем Урале.

В обстановках активной окраины, включая островные дуги (около 30%), наибольшим распространением в зоне влияния Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса и в островодужных комплексах Камчатки пользуются объекты благородных, цветных и черных металлов, причем в областях конвергенции пассивного режима восточной окраины Сибирского кратона число месторождений указанных типов несколько больше.

В областях коллизионной активизации на Урале и в Верхоянье в числе преобладающих объектов (9%) выделяются проявления благородных и цветных металлов. При этом в участках, где тектоно-магматическая активизация наложена на формации активной окраины, кроме благородно-металлической и меднопорфировой минерализации отмечается повышенное количество железорудных объектов, преимущественно скарнового типа.

Другим важным показателем рудного потенциала является совмещенная металлогения. Полихронность рудообразующих процессов может объясняться возникновением областей с комплексной металлогенией, где ранее отложенные руды преобразовывались под воздействием наложенных процессов вплоть до их регенерации с участием в развитии последующих рудных формаций. При этом возможны сложные сочетания вертикальной и латеральной зональностей. Наиболее трудно расшифровываемое проявление, например, имеет зональность в рудно-магматических системах, которые объединяют разные минералогическо-геохимические типы руд в разных частях геологического пространства, но обладающие генетической общностью и принадлежащие к одному этапу минералообразования.

В ряде работ показано, что островные дуги, вулканоплутонические пояса и другие элементы активной окраины северо-востока России участвуют в строении коллизионных поясов начиная с середины палеозоя [15]. Взгляды В. И. Смирнова на налатеральную миграцию тектоно-магматических процессов во времени выразились в сопряженности

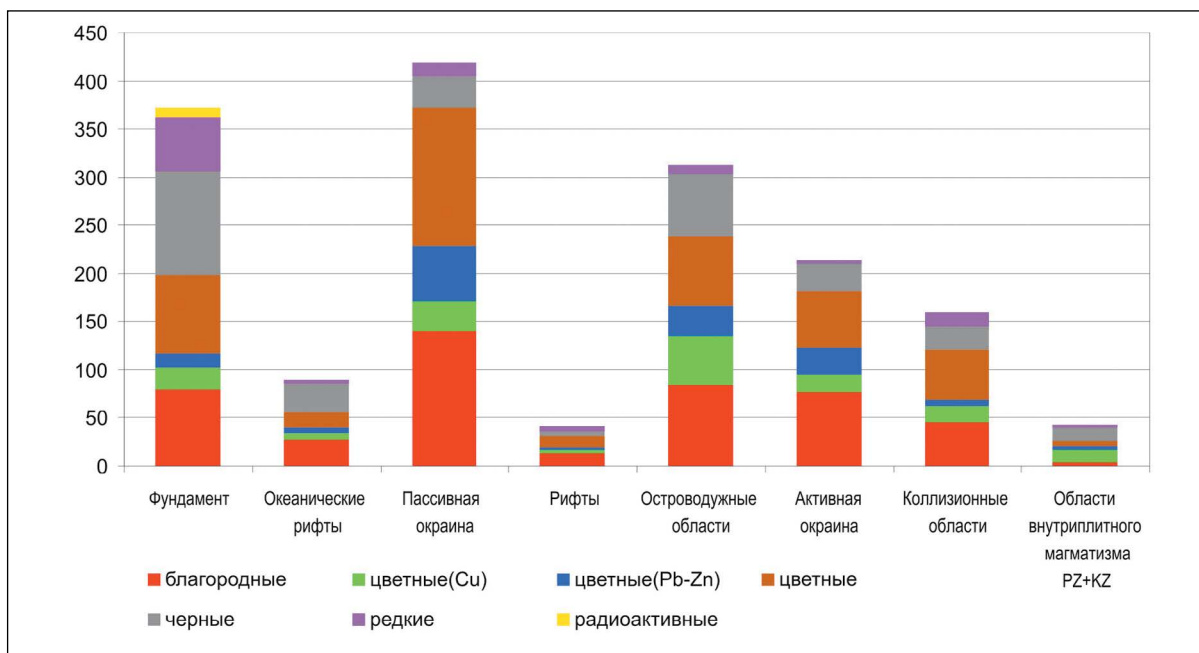


Рис. 2. Соотношение размещения месторождений благородных, цветных, редких, черных и радиоактивных металлов России в ареалах геодинамических обстановок

геоструктур в пространственно-временных латеральных рядах в рамках тектоно-магматических циклов. В полициклических подвижных поясах отмечается пространственное совмещение разновременных и разнотипных геоструктурных элементов. Именно здесь в разрезе складчато-надвиговых комплексов субдукционно-аккреционных и аккреционно-коллизионных террейнов совмещены блоки земной коры различных геодинамических режимов формирования: кратоны, микроконтиненты, островные дуги, задуговые бассейны и др. [15]. Конвергентность границ пассивных окраин также обуславливала образование в меняющихся во времени геодинамических обстановках вертикально-латеральных формационных рядов, каждому из которых свойственны свои металлогенические особенности.

Это присуще также областям выходов древнего основания, трансформация структурно-вещественных комплексов которых отличается высокой степенью завершенности. К ним относятся, например, месторождения железистых кварцитов и офиолитового хромитового, титаномагнетит-ильменит-ванадиевого типов, встречающиеся преимущественно в выступах фундамента (см. табл. 1). В апикальных частях древних гранитоидных и карбонатитовых массивов здесь также широко распространены редкометалльные месторождения.

В комплексах пассивной окраины и связанных с ней рифтогенных прогибов залегают месторождения золото-сульфидной и платинометалльно-золоторудной в черных сланцах формации, проявления березитовых серебро-полиметаллического и золото-сурьмяного типов, а также стратиформные

колчеданно-полиметаллические месторождения в карбонатных, терригенных и вулканогенно-осадочных породах, аргиллизитовые ртутные в терригенных породах и полиметаллические жильные. С ареалами наложенного гранитоидного магматизма здесь связаны минерализация березитовой золото-сурьмяной и эпитермальной кварц-диккитовой рудных формаций. В областях с неглубоко залегающим древним фундаментом нередко проявлено сочетание металлогении как фундамента, так и пассивной окраины.

С вулканическими процессами островодужного режима активной континентальной окраины соотносятся месторождения: медно-цинково-колчеданные, колчеданно-полиметаллические в вулканогенных породах, магматические титаномагнетитовые в основных породах, магнетитовые вулканогенные, марганцевые в вулканогенных породах, сурьмяно-ртутные эпитермальные, проявления кварц-антимонитового и алюмосиликатного нефелинового типов. При этом наложение коллизионных процессов незначительно изменяет количественную статистику размещения объектов. Золото-скарновые, скарново-магнетитовые и скарново-полиметаллические и вольфрам-бериллиевые пегматитовые месторождения здесь непосредственно связаны с гранитоидными интрузиями.

В составе комплекса рудных формаций на территории России выделяется группа месторождений так называемых сквозных типов, встречающихся в формационных комплексах всех известных геодинамических обстановок. Среди месторождений благородных металлов это золото-серебряные, золото-сульфидно-кварцевые (жил и минерализованных

зон) и золото-кварцевые жильные объекты. В группе цветных металлов присутствуют медно-колчеданная в вулканогенно-осадочных породах, медно-молибден-порфировая, полиметаллическая жильная, касситерит-силикатная, вольфрам-молибденовая грейзеновая и касситерит-вольфрамитовая грейзеновая формации. Черные металлы представлены железорудной скарново-магнетитовой, а редкие — вольфрам-бериллиевой пегматитовой формациями, а также типами: редкоземельно-тантал-ниобиевым щелочных гранитоидов и литиеносным редкометалльными пегматитов и щелочных метасоматитов.

Объекты этих рудно-формационных типов отмечены в древнем фундаменте, в комплексах пассивной с рифтогенными прогибами и активной континентальных окраин с островодужным режимом. Отчетливая связь проявлений руд этих типов с контрастным вулканизмом и магматогенными источниками гранитоидного состава, а также преимущественно гидротермальный облик определяются общей стадийностью тектоно-магматических циклов (циклов Уилсона) — возникновение океанических и окраино-континентальных осадочных формаций, развитие рифтогенных и островодужных комплексов и последующее образование коллизионных структурно-вещественных ансамблей.

Из табл. 1 следует, что на территории России наиболее часто встречаются следующие типы руд месторождений, в том числе крупных: золото-серебряный, золото-сульфидно-кварцевый, золото-кварцевый жильный, медно-колчеданный в вулканогенно-осадочных породах, медно-молибден-порфиновый, медно-скарновый, свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных, колчеданно-полиметаллический в вулканогенных породах, скарново-полиметаллический, колчеданно-полиметаллический в терригенных породах, свинцово-цинковый жильный, касситерит-силикатный, вольфрам-молибденовый и касситерит-вольфрамитовый грейзеновый, вольфрам-молибденовый скарновый, вольфрам-бериллиевый пегматитовый, щелочно-редкоземельный, редкоземельно-тантал-ниобиевый щелочных гранитоидов, литиеносных редкометалльных пегматитов и щелочных метасоматитов. Указанные типы руд и особенно те, которые в Арктической зоне менее представлены, являются предметом более детальных прогнозно-металлогенических исследований.

Районирование с учетом потенциальной перспективности рудовмещающих формационных комплексов различных геодинамических обстановок показывает, что рудоносные арктические регионы России в основном сосредоточены в пределах Балтийского щита, Полярного Урала и архипелага Новая Земля, полуострова Таймыр и северного фланга Сибирской платформы, Верхояно-Колымской зоны и в ареалах развития вулканогенных формаций Охотско-Чукотского пояса (рис. 3).

Потенциал выявления новых месторождений благородных и цветных металлов на Полярном Урале

(Петропавловское, Новогоднее Монто) сосредоточен в Оченырдыско-Манитанырдыской и Лемвинско-Тыкатловской металлогенических зонах (золото), в Хуутинской (медь), Саурейской и Вайгач-Южно-Пайхойской зонах (свинец-цинк). На Кольском полуострове перспективы отмечаются в Мончегорско-Панской и Куола-Выгозерской металлогенических зонах [10]. Архипелаг Новая Земля выделяют перспективные на свинец и цинк Центрально-Новоземельская (месторождение Павловское) и Южно-Новоземельская зоны. Харбейская зона в пределах Полярного Урала выделена в связи с перспективами на руды черных (Тальбей, Отдельное, Ярышоль) и цветных (Харбейское) металлов.

В Таймырской зоне потенциальными на золото считаются Шренк-Фаддеевская зона и северо-восточный фланг Мининско-Большевицкой зоны. Перспективы рудоносности цветных металлов (грейзеновые и скарновые проявления вольфрама, полиметаллов, хрома, титана и железа) также выявлены в Шренк-Фаддеевской зоне. Южнее, в Норильском рудном районе, меденосность и платиноносность расслоенных габбро-долеритовых массивов связывается с Хараелахской металлогенической зоной.

В Верхояно-Чукотском регионе в аспекте благороднометалльного потенциала выделяются Куларская металлогеническая зона (месторождение Кючус), сочленение Тирехтяхской, Адычанской и Иньяли-Дебинской зон. Цветные металлы представлены Эге-Хайской (Кестерское и др.), Полоусненской (Депутатское и др.), Селеннях-Улахантасской (Одинокое) и Туостакской (Такалкан, Дружба) зонами.

В Чукотском регионе перспективы на золото представлены Раучуанской (Эльвиней), Мало-Ануйской (Каральвеем), Ангаркинской, Олой-Еропол-Анадырской (Малый Пеледон), Мечкеревской (Купол), Пегтымельской (Майское), Кувет-Рывеевской (Совиное), Восточно-Чукотской (Коррида) металлогеническими зонами. Меднорудный потенциал сосредоточен в медно-порфириковых проявлениях Курьячан-Кричалской, Большеануйско-Алучинской (месторождения Песчанка и Находка) и Пеженкинской зон. Перспективы на олово связываются с Чаун-Чукотской зоной (Кукеней, Таризельское).

Относительно потенциальной перспективности золото-кварцевых месторождений в турбидитах (ЗКМТ) следует подчеркнуть, что турбидитные толщи в арктической зоне северо-востока России развиты достаточно широко в пределах Яно-Колымского и Чукотского складчатых поясов. Турбидитами сложена и значительная территория острова Врангеля. Кроме того, турбидиты широко развиты на севере полуострова Таймыр и архипелаге Северная Земля. В Куульском и Куларском рудных районах установлены прямые признаки ЗКМТ — крупные россыпи золота. Наличие россыпей золота установлено на севере Таймыра, островах архипелага Северная Земля и предполагается на острове Врангеля. В Куульском районе открыто несколько перспективных

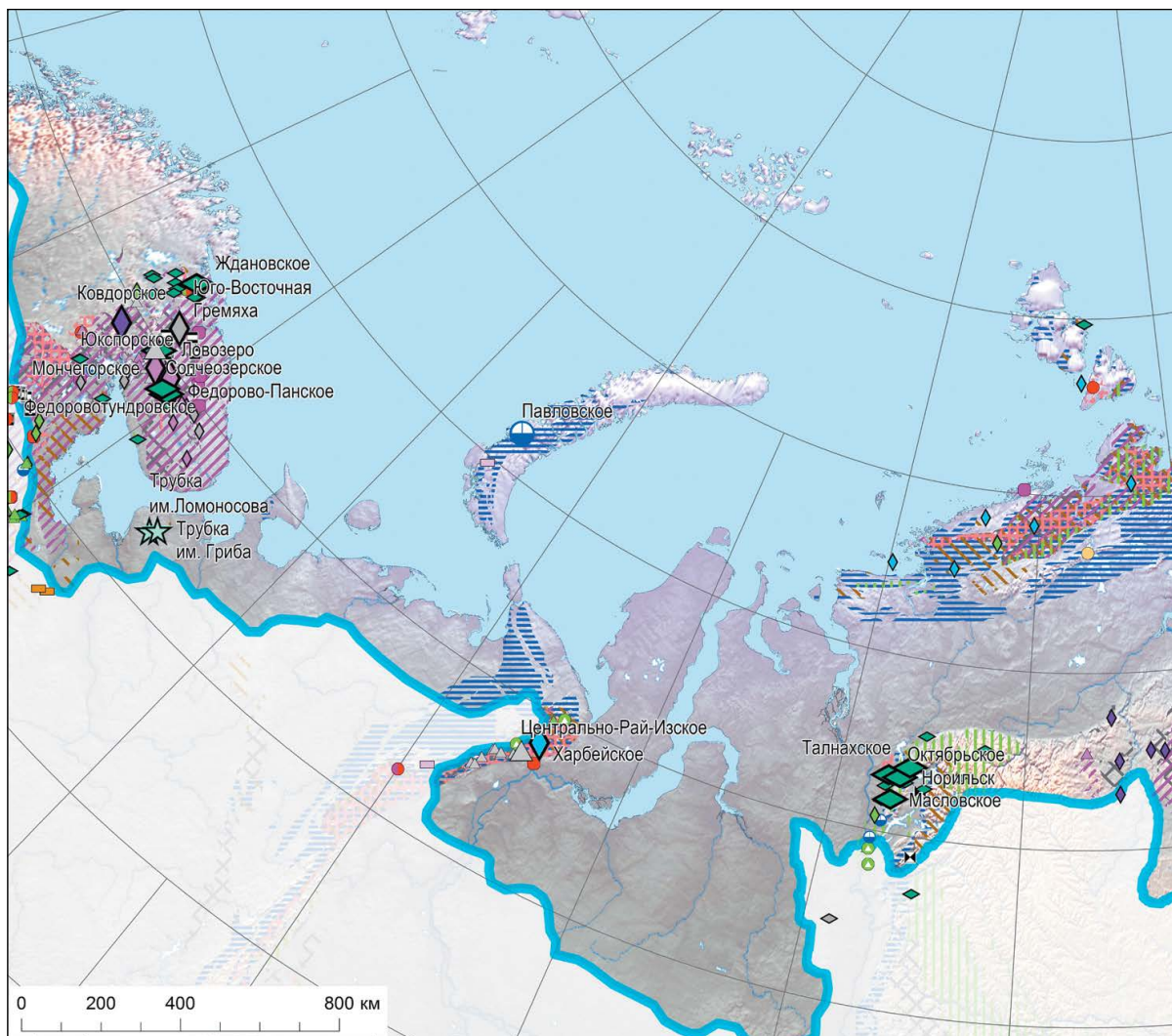


Рис. 3. Потенциально перспективные на открытие крупных месторождений стратегических металлов площади Арктической зоны России (легенду см. на рис. 1)

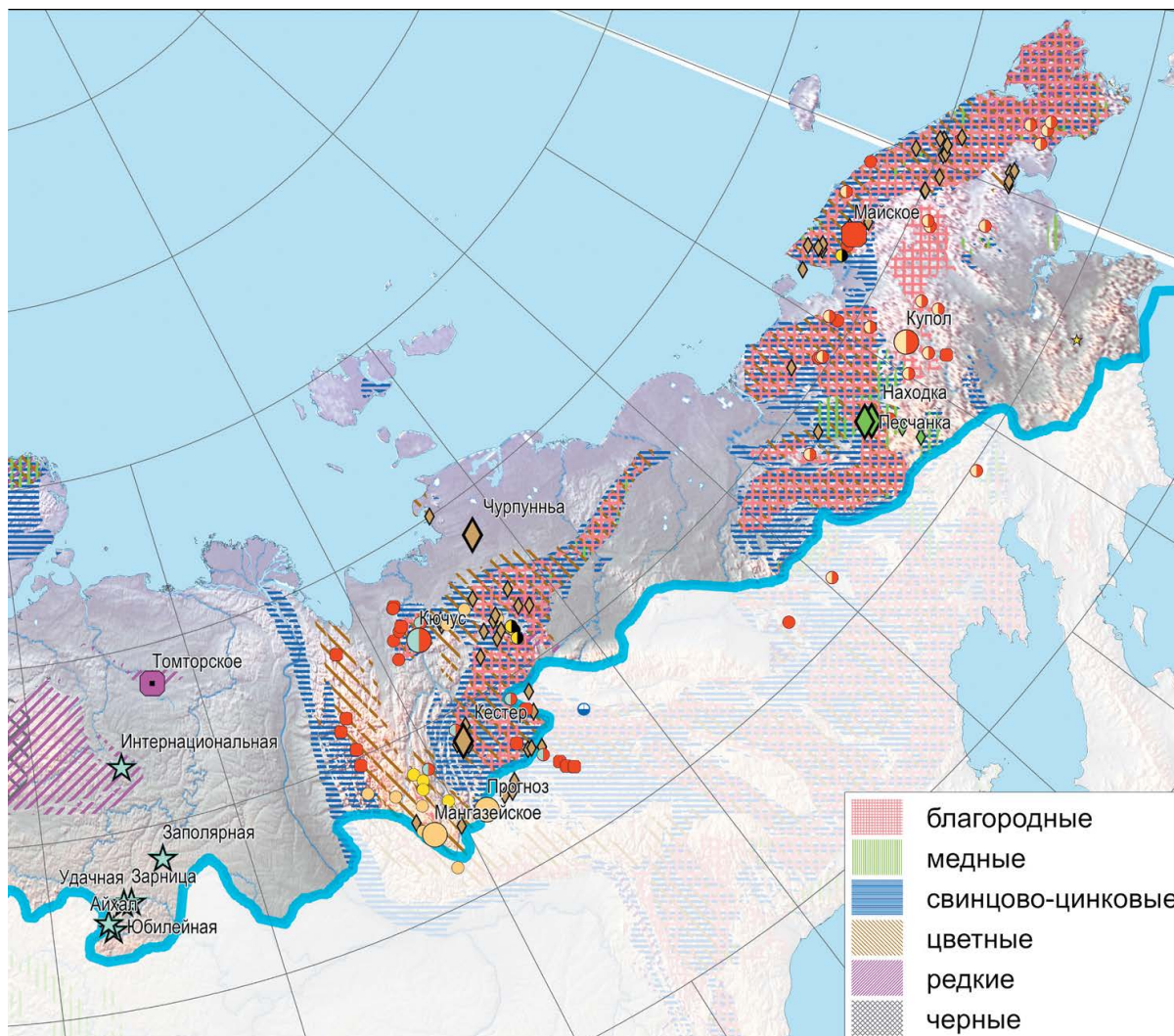
Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

месторождений и рудопроявлений (Совиное, Дор, Кусьвеемское, Уроганное, Сквозное и др.). Главным препятствием для проведения геолого-разведочных работ в перечисленных районах Арктической зоны служит крайне суровый климат, удаленность регионов и практически полное отсутствие инфраструктуры. Большая часть рудных районов слабо обнажена и поэтому практически не изучена в геологическом плане. Только открытие достаточно крупных (более 50 т) и уникально богатых (более 20 г/т) месторождений ЗКМТ послужит толчком к развитию этих районов. Убедительным примером возможности такого сценария служит развитие геолого-разведочных работ на золото в Гренландии, Северной Канаде и на Западной Чукотке [1; 4].

Перспективные на редкие металлы территории сосредоточены в выступах древних кратонов. Потенциал Кольского полуострова широко представлен крупными и средними месторождениями (Ковдор, Ловозеро и др.) и связан с проявлением редкометалльной минерализации в расслоенных щелочных интрузиях

и корах их выветривания. На Полярном Урале Лонгот-Юганская металлогеническая зона (группы рудопроявлений) приурочена к выходам ультраосновных интрузий ордовикского возраста. В Анабарской провинции редкометалльная минерализация в Уджинской металлогенической зоне (крупнейшее месторождение Томтор) и в западном обрамлении Анабарского выступа связана с щелочными интрузиями. Влияние металлогении Карского кратона проявлено в наличии редких рудопроявлений редкометалльной минерализации в пегматитах Мининско-Большевицской зоны. Редкометалльная минерализация в рудопроявлениях Чукотского выступа также пространственно связана с выходами пегматоидов, иногда сопровождаемых зонами скарнирования.

Перспективны на черные металлы территории Кольского полуострова (Солчезеро, Гремяха) в пределах выделенных Шонгуй-Волхшпахской и Западно-Карельской зон, а также их сочленения, на Полярном Урале — Салатимо-Кумбинская (Рай-Из, Кеч-Пель и др.) и Сертынская металлогенические зоны,



Шренк-Фаддеевская зона Таймыра (Геологическая гряда) в ультрабазитах и Южно-Чукотский выступ (Железная гора) в зонах гематитизации.

Заключение

Выделенные потенциально перспективные ареалы в регионах российской Арктики в целом соответствуют результатам прогнозно-металлогенического районирования Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского в 2007 г. Выделение перспективных территорий в нашем случае осуществлялось с учетом формационных особенностей их геологического строения, структуры мегааномалийных зон гравитационного и магнитного полей и их составляющих, возможность моделирования которых на глубину широко используется в региональных исследованиях. При этом в разрезе и по латерали выявляются области совмещения ареалов развития образовавшихся в меняющихся геодинамических условиях геологических формаций, комплексная металлогения которых отражает в разных соотношениях совокупность металлогенических особенностей всего формационного разреза. Эта

проблема совмещенной (комплексной) металлогении, обусловленной изменениями геодинамики, в полной мере отражена в [13]. Высокий минерально-сырьевой потенциал российской Арктики подчеркивается также тем, что многие месторождения по основному промышленному компоненту (Au, Zn, Sn, Cu, Ni, W, МПГ, Mo, Ti, Zr и Pb) являются комплексными, в их рудах содержится значительное количество сопутствующих потенциально извлекаемых металлов.

В 2016 г. впервые получены результаты пространственного ГИС-анализа, которые основаны на наиболее полной базе данных, составленной и скомпилированной по месторождениям различных рудно-формационных типов российской и зарубежной Арктики. Неотъемлемой частью базы данных являются тематические слои, описывающие геологическое, формационное и тектоническое строение циркумполярной области, составленные по открытым российским и зарубежным материалам. Установлено, что Арктическая зона России по количеству месторождений благородных, цветных, черных и редких металлов (более 400 объектов) почти вдвое уступает странам Северной Америки и Европы (более 900 объектов).

Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

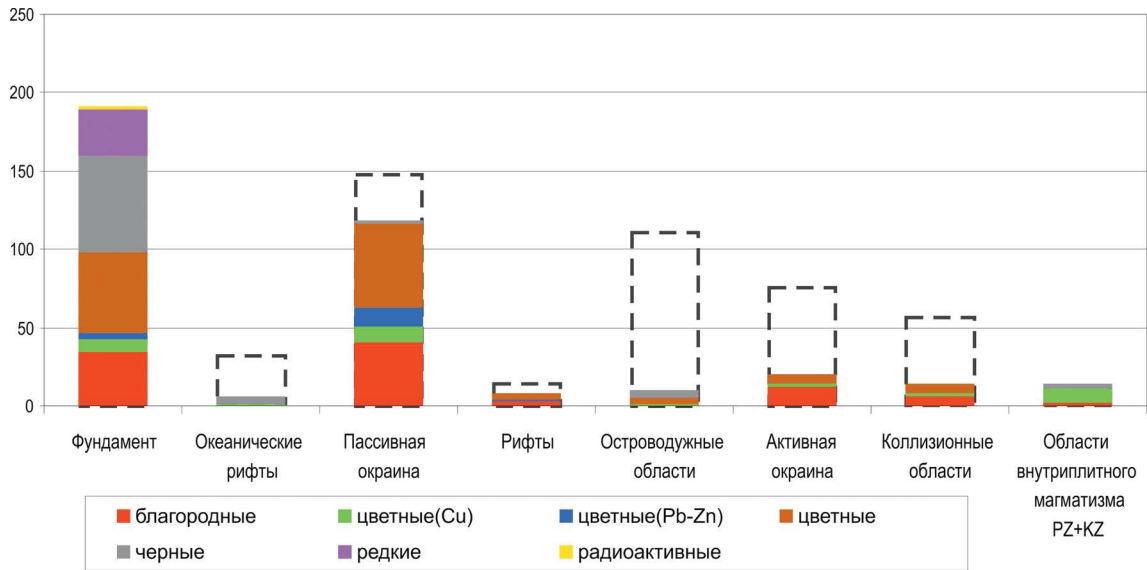


Рис. 4. Соотношение количества месторождений благородных, цветных, редких, черных и радиоактивных металлов российской Арктики в ареалах формаций различных геодинамических обстановок. Пунктиром показан общий предполагаемый объем дефицита опосредованных и оцененных рудных объектов

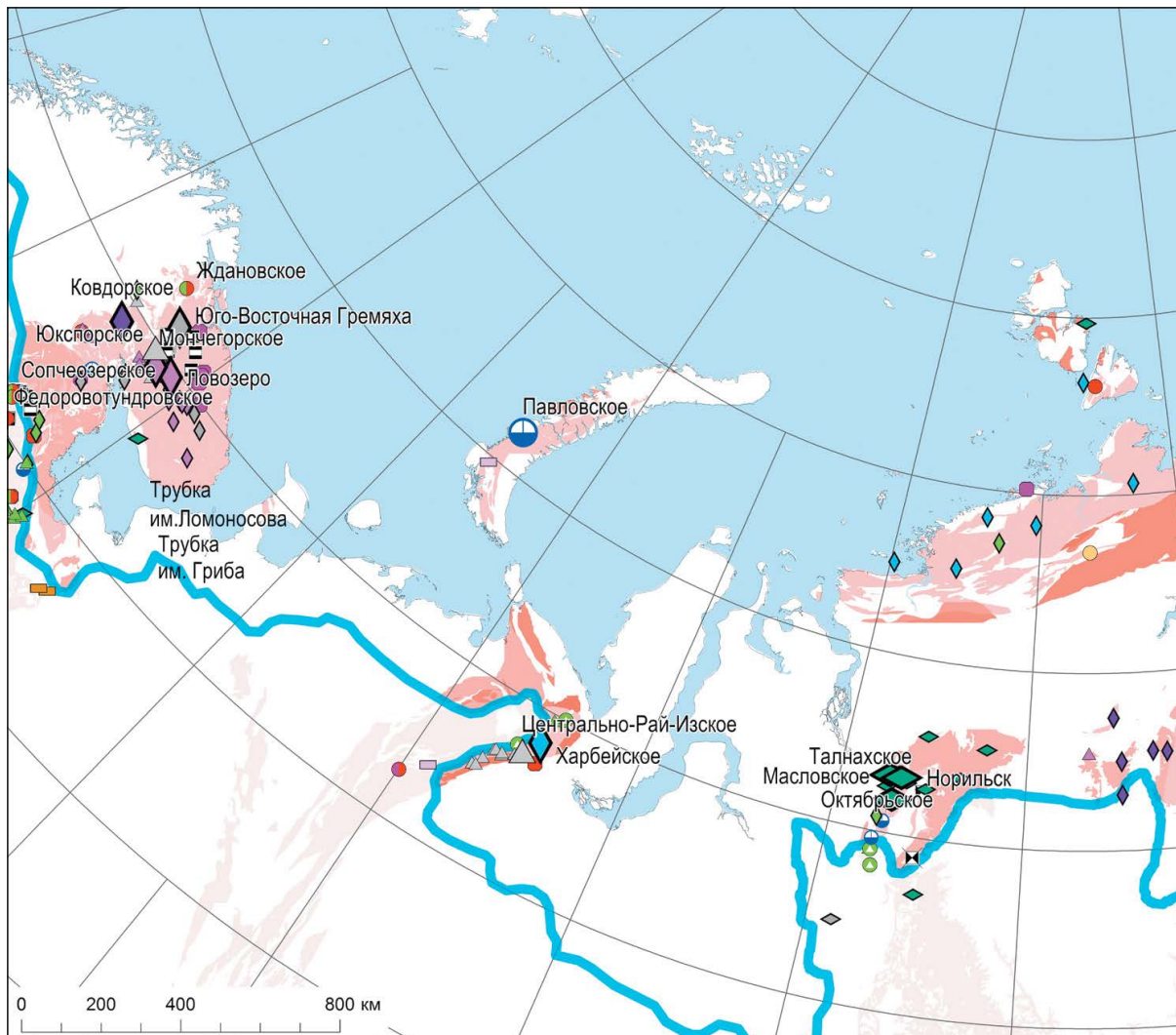


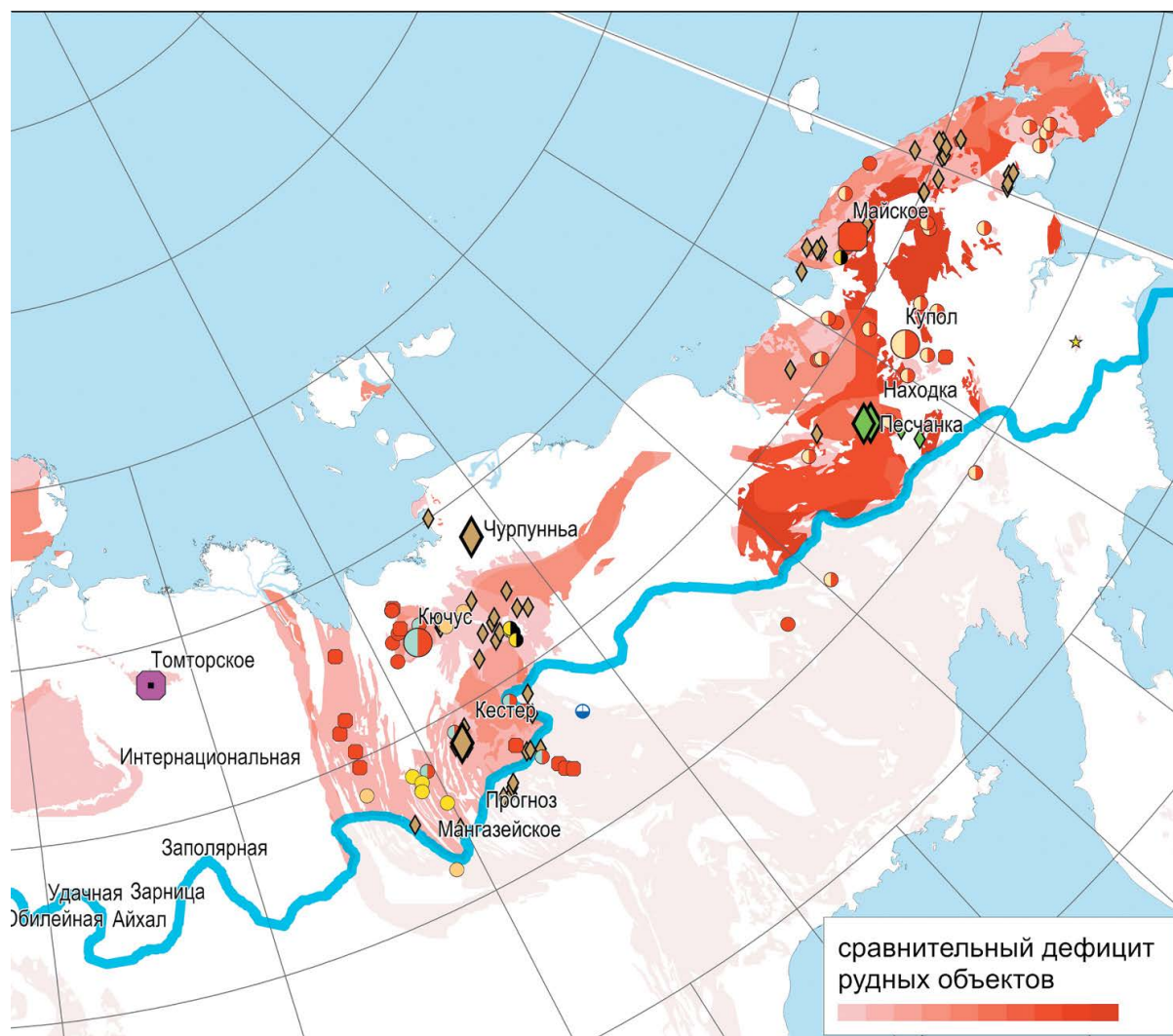
Рис. 5. Схема размещения областей российской Арктики с недооцененными рудными объектами (легенду см. на рис. 1)

На базе современных ГИС-технологий выявлена отчетливая пространственная связь позиции рудных месторождений выделенных ранее рудноформационных типов с ареалами соответствующих рудовмещающих геологических формаций, возникших в различных геодинамических обстановках (см. рис. 1). При этом выделяются рудноформационные типы, специфичные для определенных геодинамических обстановок, и «сквозные» — встречающиеся во всех известных обстановках (см. табл. 1).

Ареалы формаций различных геодинамических обстановок Арктической зоны составляют 5—50% от таковых на всей территории страны и соответственно меньшее число месторождений в ареалах вмещающих формаций и иное соотношение рудноформационных типов (рис. 4). Например, несмотря на схожие соотношения площадей ареалов рудовмещающих формационных комплексов, общее число месторождений заметно меньше в ареалах активной окраины включая островодужные и коллизионные области. При этом в выступах древнего основания

(Балтийский щит) и на территориях широкого развития внутриплитного магматизма (Кольский полуостров, Норильский район) имеется большое количество промышленных объектов, которые составляют в России основную часть минерально-сырьевой базы черных, редких, а также цветных (медь) металлов, что связано с многовековой историей освоения этих земель.

Согласно принципам структурно-формационного подхода к региональному прогнозированию, касающимся потенциальной рудоносности и подобию, когда сходные ассоциации формаций характеризуются близкими комплексами полезных ископаемых и масштабами их проявления, недостающее количество оцененных месторождений (на рис. 4 оно отражено пунктирным контуром) обусловлено в основном недоизученностью и недоисследованностью. Всем геологам хорошо известно о гигантском количестве зафиксированных точек минерализации и рудопроявлений, на которых в силу разных причин не были проведены поисково-оценочные работы по разведочной



сети. Наибольший дефицит открытых и оцененных месторождений отмечается в областях развития островодужных комплексов Северо-Востока России (рис. 4 и 5). Особенно это касается объектов свинца и цинка, черных и редких металлов. Значительно недостает месторождений золота. На территориях развития комплексов пассивной окраины (Таймырская и Верхояно-Чукотская провинции) наибольшая недопоискованность выявляется в отношении месторождений редких и черных металлов, а также свинца, цинка и золота.

Выявленные в результате ГИС-анализа пространственные закономерности позволили составить прогнозную карту требующих доизучения перспективных ареалов (см. рис. 5), где возможно открытие новых, экономически значимых в условиях Арктической зоны формационных типов месторождений. В пределах этих ареалов рекомендовано применение разработанных ранее поисковых моделей [4—7].

Геолого-экономический анализ с учетом зарубежного опыта показал, что в Арктической зоне России в первую очередь должны быть детально изучены: полоса шириной до 200 км вдоль берега Северного Ледовитого океана; архипелаги и отдельные острова; берега судоходных рек, впадающих в океан. При выборе направлений геолого-разведочных работ большое значение в этих условиях приобретает применение современных и эффективных методов металлогенического районирования и выделения конкретных площадей для заверки наземными работами. В первую очередь, кроме детального анализа геологической, формационной, геохимической и геофизической основы, существенную роль в анализе пространственных данных играют дистанционные методы. К ним относятся космогеологические материалы, сейсмические методы томографии и данные аэрогеофизической разведки, в состав которой помимо традиционных магнито-, грави- и радиометрии входят методы воздушной масс-спектрометрии, широко используемые за рубежом и показавшие эффективность в локальных поисках месторождений.

Полученные в 2016 г. результаты могут быть положены в основу новой технологии прогнозирования месторождений стратегических видов минерального сырья (цветных, редких и благородных металлов) Арктической зоны Российской Федерации.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации».

Литература

1. Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др. Арктические ресурсы золота в глобальной перспективе // Арктика: экология и экономика. — 2014. — № 4 (16). — С. 28—37.

2. Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др. Арктические ресурсы цветных и благородных металлов в глобальной перспективе // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 1 (17). — С. 38—46.

3. Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны // Геология руд. месторождений. — 2015. — Т. 57, № 6. — С. 479—500.

4. Волков А. В., Сидоров А. А., Аристов В. В. и др. Золото-кварцевые месторождения в турбидитах северо-восточной части Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 4 (20). — С. 48—60.

5. Волков А. В., Галямов А. Л. Перспективы горнодобывающей промышленности Гренландии // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 2 (22). — С. 24—34.

6. Галямов А. Л., Волков А. В., Лобанов К. В. Поисковая модель SEDEX-MVT месторождений арктической зоны // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 1 (21). — С. 47—55.

7. Лаломов А. В., Бочнева А. А., Чефранов Р. М. и др. Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 2 (18). — С. 66—77.

8. Верниковский В. А. Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 1996. — 202 с.

9. Криволицкая Н. А. Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в Норильском районе. — М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2013. — 306 с.

10. Митрофанов Ф. П. Эволюция земной коры, геодинамика и металлогения Кольского региона Балтийского щита // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными: Материалы XIV международной конференции. — Ч. 2. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. — С. 53—57.

11. Проскурнин В. Ф. Минерагенический анализ Таймыро-Североземельского региона и оценка его золотоносного потенциала: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / ВСЕГЕИ. — СПб., 2013.

12. Сафонов Ю. Г. Состояние и рациональные направления освоения рудных ресурсов российской Арктики // Геология и геофизика. — 2010. — Т. 51, № 1. — С. 142—152.

13. Сидоров А. А., Волков А. В. Металлогения окраинной литосферы (Северо-Восток России) // Литосфера. — 2015. — № 1. — С. 24—34.

14. Хаин В. Е., Филатова Н. И. Эволюция земной коры Арктического региона // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными: Материалы XIV международной конференции. — Ч. 2. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. — С. 311—314.

15. Ханчук А. И., Иванов В. В. Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. — 1999. — Т. 40, № 11. — С. 1635—1645.

Информация об авторах

Волков Александр Владимирович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: tma2105@mail.ru.

Галямов Андрей Львович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: alg@igem.ru.

Лобанов Константин Валентинович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: lobanov@igem.ru.

Мурашов Константин Юрьевич, младший научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: kostik.mur@mail.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Галямов А. Л., Волков А. В., Лобанов К. В., Мурашов К. Ю. Перспективы выявления месторождений стратегических металлов в Арктической зоне России // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 1 (25). — С. 59—74.

PROSPECTS FOR IDENTIFYING STRATEGIC METALS DEPOSITS IN THE RUSSIAN ARCTIC

Galyamov A. L., Volkov A. V., Lobanov K. V., Murashov K. Yu.

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS, (Moscow, Russian Federation)

Abstract

Mineral deposits are important in the economy of the Russian Arctic. In addition to the petroleum and gas, the resources of PGE minerals and gold, nickel and titanium are more than 10% of global significance. Meanwhile, the most arctic territory is out of availability of detailed geological and geophysical data due to severe climatic situation. The spatial relations of ore deposits and ore-bearing sequences of different geodynamic settings at Russia territory show that the geological sequences of three basic types of geodynamic environment contain an overwhelming number (over 70%) deposits: archaean-proterozoic basement, passive continental margin, volcanic arcs of active margins. There are two groups of ore types. The first are the types (i.e. BIF) are specific to definite sedimentary or igneous rocks, the second (i.e. gold veins etc.) are due to superimposed geotectonic processes. The complex metallogeny may be found in the subductional and accretional terrains, where the blocks of different geodynamic formation are combined. In these areas ores, previously deposited, might be transformed under the later processes until the regeneration and development of new type ores. The convergence of passive margins also might had caused the changes of geodynamic environments and led to form the vertical and lateral facies with metallogenic features combined. In Arctic regions, despite the similar ratio formation areas, the relative number of discovered and evaluated ore deposits is low in areas of active margin, including volcanic arcs and collision. This is especially true for deposits of lead and zinc, ferrous and rare metals. The significant lack of gold deposits is evident. In the areas of passive margin facies the most hidden deposits are of rare and ferrous metals, as well as lead, zinc and gold.

Key words: Arctic zone, GIS-analysis, metallogeny, geodynamic settings, strategic metals forecast.

The paper was prepared with financial support under Fundamental Research Program of RAS Presidium «Fundamental research for development of the Arctic zone of the Russian Federation» (2014—2016).

References

1. Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V. et al. Arkticheskiye resursy zolota v globalnoy perspective. [Arctic Gold Resources in Global Prospect]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2014, no 4 (16), pp 28—37. (In Russian).
2. Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V. et al. Arkticheskiye resursy tsvetnykh i blagorodnykh metallov v globalnoy perspective. [Arctic resources of nonferrous and noble metals in global prospects]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2015, no 1 (17), pp 38—46. (In Russian).
3. Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V. et al. Mestorozhdeniya strategicheskikh metallov Arkticheskoy

zony. [Strategic metal ore deposits of Arctic zone]. *Geologiya rud. Mestorozhdeniy*, 2015, 57, no 6, pp 479—500. (In Russian).

4. Volkov A. V., Sidorov A. A., Aristov V. V. et al. Zoloto-kvartsevyye mestorozhdeniya v turbiditakh severo-vostochnoy chasti Arkticheskoy zony Rossii. [The gold-quartz deposits in turbidites of the northeastern part of the Russian Arctic]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no 4 (20), pp 48—60. (In Russian).

5. Volkov A. V., Galyamov A. L. Perspektivy gornodobyvayushchey promyshlennosti Grenlandii. [Prospects for the mining industry in Greenland]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2016, no 2 (22), pp 24—34. (In Russian).

6. Galyamov A. L., Volkov A. V., Lobanov K. V. Poiskovaya model SEDEX-MVT mestorozhdeniy arkticheskoy zony. [Prospecting Model of SEDEX-MVT deposits in the Arctic zone]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2016, no 1 (21), pp 47—55. (In Russian).

7. Lalomov A. V., Bochneva A. A., Chefranov R. M. et al. Rossyppnyye mestorozhdeniya Arkticheskoy zony Rossii: sovremennoye sostoyaniye i puti razvitiya mineralno-syryevoy bazy. [Placer deposits of the Arctic zone of Russia: the current state and development of mineral resources]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no 2 (18), pp 66—77. (In Russian).

8. Vernikovskiy V. A. Geodinamicheskaya evolyutsiya Taymyrskoy skladchatoy oblasti. [Geodynamic evolution of Taymyr folding area]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. filial «Geo». 1996, 202 p. (In Russian).

9. Krivolutskaya N. A. Evolyutsiya trappovogo magmatizma i Pt-Cu-Ni rudoobrazovaniye v Noril'skom rayone. [Trapp magmatic evolution and Pt-Cu-Ni mineralization in Noril'sk region]. M.: Tovarishestvo nauch. izd. KMK, 2013, 306 p. (In Russian).

10. Mitrofanov F. P. Evolyutsiya zemnoy kory, geodinamika i metallogeniya Kolskogo regiona Baltiyskogo shchita. [Earth crust evolution, geodynamics and metallogeny of Kola region in Baltic shield]. *Svyaz poverkhnostnykh struktur zemnoy kory s glubinnymi: Materialy XIV mezhdunarodnoy konferentsii*, vol 2, Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2008, pp 53—57. (In Russian).

11. Proskurnin V. F. Mineragenicheskiy analiz Taymyro-Severozemelskogo regiona i otsenka ego zolotonosnogo potentsiala. [Metallogenic analysis and potential of gold of Taymyr-Severozemelsky region]. Autoref. thesis. d-r geol.-mineral. Nauk. VSEGEI., SPb., 2013. (In Russian).

12. Safonov Yu. G. Sostoyaniye i ratsionalnyye napravleniya osvoyeniya rudnykh resursov rossiyskoy Arktiki. [Status and rational trends of mineral resources development of Russia's Arctic]. *Geologiya i geofizika*, 2010, vol 51, no 1, pp 142—152. (In Russian).

13. Sidorov A. A., Volkov A. V. Metallogeniya okrainnomorskoy litosfery (Severo-Vostok Rossii) [The metallogeny of marginal basins]. *Litosfera*, 2015, no 1, pp 24—34. (In Russian).

14. Khain V. E., Filatova N. I. Evolyutsiya zemnoy kory Arkticheskogo regiona. [Earth crust evolution in Arctic region]. *Svyaz poverkhnostnykh struktur zemnoy kory s glubinnymi: Materialy XIV mezhdunarodnoy konferentsii*, vol 2, Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2008, pp 311—314. (In Russian).

15. Khanchuk A. I., Ivanov V. V. Mezo-kaynozoiyskiye geodinamicheskiye obstanovki i zolotoye orudneniye Dalnego Vostoka Rossii. [Geodynamic environments in mezo- and kainozoy and gold mineralization of Russia's Far East]. *Geologiya i geofizika*, 1999, vol 40, no 11, pp 1635—1645. (In Russian).

Information about the authors

Volkov Alexander Vladimirovich, Doctor of Science, Chief Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, 119017, Russia), e-mail: tma2105@mail.ru.

Galyamov Andrey Lvovich, Ph.D., senior researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, 119017, Russia), e-mail: alg@igem.ru.

Lobanov Konstantin Valentinovich, Doctor of Science, Corresponding member RAS, director of Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, 119017, Russia), e-mail: lobanov@igem.ru.

Murashov Konstantin Yuryevich, junior researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, 119017, Russia), e-mail: kostik.mur@mail.ru.

Bibliographic description

Galyamov A. L., Volkov A. V., Lobanov K. V., Murashov K. Yu. Prospects for identifying strategic metals deposits in the Russian Arctic. *The Arctic: ecology and economy*, 2017, no 1 (25), pp 59—74. (In Russian).

© 2017 Galyamov A. L., Volkov A. V., Lobanov K. V., Murashov K. Yu.