

УДК 553.48

*Л.В. Игревская***О ПРОБЛЕМЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ  
РУДНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ (НА ПРИМЕРЕ  
ОКЕАНИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ)**

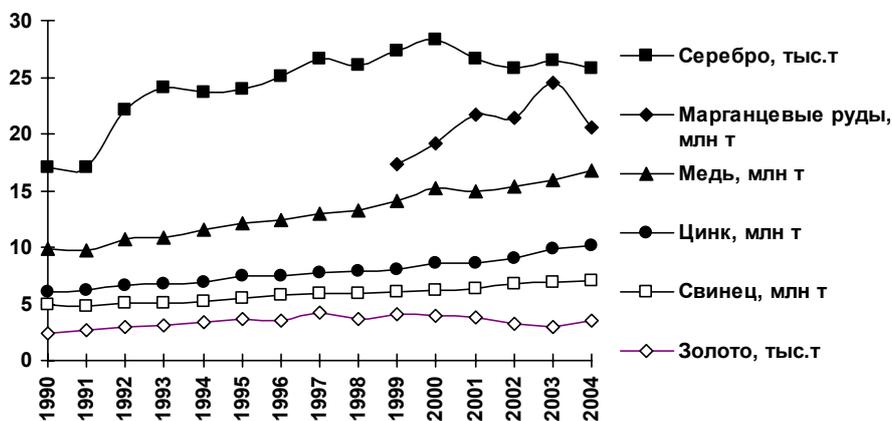
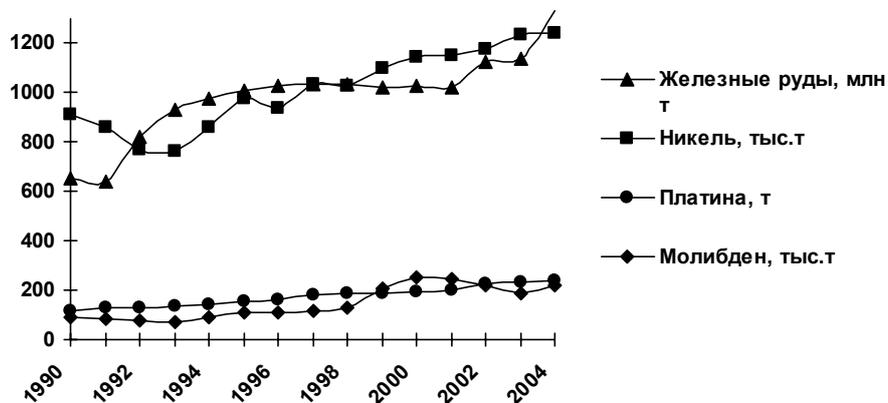
**Р**азвитие мировой экономики сопровождается ростом спроса практически на все виды минерального сырья, в том числе и на металлические полезные ископаемые, несмотря на заметные перепады в использовании металлов в отдельные годы. С 1990 по 2004 г. мировое потребление железных и марганцевых руд, например, увеличилось в 2 раза, меди и цинка – в 1,7, никеля и свинца – в 1,4, кобальта – в 1,3, золота и серебра – в 1,5, платины и молибдена – в 2,1-2,4 раза (рисунок). И если разведанных запасов железных и марганцевых руд в мире при текущих объемах добычи и потребления (с учетом потерь при производстве товарной продукции) хватает более чем на 100 лет, а кобальта и платины – на 65-70 лет, то запасы молибдена будут израсходованы за 30, меди и никеля – за 25, свинца, цинка, золота и серебра – менее чем за 20 лет (оценка по данным [4]), а приняв во внимание нарастающие темпы потребления, значительно быстрее.

Перед Россией проблема истощения ресурсов полезных ископаемых страны стоит еще более остро: минерально-сырьевой комплекс РФ, обеспечивающий более половины ВВП и доходов федерального бюджета в связи с отчетливо проявленной экспортной ориентацией, стремительно сокращается. При существующих темпах отечественного производства ряда металлов их рента-

бельные эксплуатируемые запасы, по оценке Министерства природных ресурсов, будут исчерпаны в течение ближайших 15 лет: свинца, цинка, золота россыпного – до 2011 г., никеля, меди, молибдена, золота коренного, платины – к 2020 г. Не может быть обеспечена в обозримом будущем за счет собственной минерально-сырьевой базы потребность отечественной экономики в марганце, поэтому марганцевые руды и продукты их передела импортируются во всё нарастающих объемах. В балансовых запасах названных металлов эксплуатируемая рентабельная их часть составляет незначительную долю, а перспективы прироста запасов по всем металлам ограничены.

Ресурсы континентов невозобновляемы, качество минерального сырья по мере его извлечения из недр снижается, растет дефицит отдельных его видов. Все это не остается без внимания: одной из актуальных проблем развитых стран становятся поиски альтернативных континентальным источников полезных ископаемых. Вот почему в последние десятилетия заметно возрос интерес к минерально-сырьевому потенциалу глубоководных частей Мирового океана.

Открытие на дне океана более 130 лет назад (1872-1876 гг.) во время кругосветной британской научной экспедиции железомарганцевых конкреций и фосфоритов имело принципиально важное значение, поскольку явилось



Динамика мирового потребления некоторых металлов в 1990-2004 гг. (по «Минеральным ресурсам мира». ФГУНПП «Аэрогеология». М., 1997-2006 гг.)

свидетельством сосредоточения рудных ресурсов не только в недрах земли, но и в океане. В 60-70-х годах прошлого столетия в ходе конкуренции мировых держав за освоение стратегического пространства к изучению проблемы ресурсов океанического дна подключились практически все ведущие страны мира. Работы охватили Тихий, Индийский и Атлантический океаны.

В ходе исследований было установлено, что дно морей и океанов распола-

гает огромными ресурсами рудных полезных ископаемых. В настоящее время их можно подразделить на следующие типы:

1. Железомарганцевые конкреции (ЖМК) на дне глубоководных впадин;
2. Кобальтомарганцевые корки (КМК) подводных гор и возвышенностей;
3. Гидротермальные сульфидные постройки на поверхности океанического дна:

- «черные курильщики»;
  - «сульфидные купола»;
4. Эпитермальные сульфидные месторождения в породах океанической коры;
5. Металлоносные осадки в глубоких впадинах морей и океанов.

*Железомарганцевые конкреции* (ЖМК), широко распространенные в удаленных от суши областях Мирового океана на глубинах 2-5 тыс. м и частично погруженные в рыхлые донные осадки, максимально сосредоточены в 12 рудных полях и 14 конкреционных площадях, в пределах которых они распределяются неравномерно, на некоторых участках покрывая свыше 50 % площади дна: в отдельных частях Индийского океана, например, объем конкреций составляет от 4 до 10 тыс. т на 1 км<sup>2</sup>. Основными металлами ЖМК являются марганец (диапазон средних содержаний 0,04-50,3 %; среднее содержание в конкрециях Тихого океана – 21,6 %, Индийского – 15,25 %, Атлантического – 13,25 %), железо (0,3-50 %; 10,4, 14,2 и 17 %), никель (0,08-2,48 %; 0,9, 0,43 и 0,32 %), медь (0,003-1,9 %; 0,6, 0,25 и 0,13 %) и кобальт (0,001-2,53 %; 0,26, 0,21 и 0,27 %). Попутно с главными компонентами промышленный интерес могут представлять цинк (в среднем 0,11-0,15 %), свинец (0,074-0,14 %), молибден (0,03-0,06 %), ванадий (0,05-0,06 %), титан (0,42-0,73 %), платина (0,12 г/т), золото (0,03 г/т), серебро (1,1 г/т), висмут и редкоземельные элементы. Прогнозные ресурсы марганца в конкрециях Мирового океана оцениваются в 6 млрд т, никеля – 290 млн т, меди – 240 млн т, кобальта – 60 млн т [3; 6].

Месторождения *кобальтоносных железомарганцевых корок* (КМК) приурочены к плосковершинным подводным горам (гайотам) и состоят из рудных залежей, локализованных на склонах и вершинных

поверхностях коренных пород в виде сплошных покровов мощностью (толщиной) от 0,5 до 25 см. Корки встречаются во всех климатических зонах на глубинах от нескольких десятков до нескольких тысяч метров. В наибольшей степени они распространены в Тихом океане на глубинах от 1500 до 2500 м – на подводных горах Мид-Пасифик и Магеллановых, склонах Гавайского хребта, горах в районе Маршалловых о-вов и архипелага Туамоту. В Атлантическом океане большая часть мощных корок залегает на глубинах от 800 до 2500 м. В химическом составе КМК доминируют марганец и железо при средних содержаниях соответственно 22,5 и 15 %. Наиболее ценный компонент – кобальт – при среднем содержании 0,68 % местами концентрируется до 2,5 %. Присутствуют никель (в среднем 0,45 %), медь (0,12 %), молибден (0,043 %), вольфрам, легкие редкоземельные элементы, иттрий. В некоторых районах отмечалось повышенное содержание платины (0,5-4 г/т), серебра (до 3,7 г/т) и золота (до 0,17 г/т). Ресурсы марганца в кобальтоносных корках Мирового океана оцениваются в 2,5 млрд т, кобальта – 80 млн т, никеля – 40 млн т, меди – 7 млн т [6] (таблица).

Гидротермальные *сульфидные постройки* сложного строения и переменного состава образуются в местах выходов горячих рудоносных растворов на поверхность океанического дна. Они известны в ряде участков Восточно-Тихоокеанского поднятия, в Калифорнийском заливе, западной части Тихого океана, на севере Срединно-Атлантического хребта, приурочиваясь к океаническим рифтам и образуя поля площадью в несколько км<sup>2</sup>. Средние глубины океанских рифтов составляют 2700-2900 м при колебаниях от 1250-1610 м (рифт Окинава в западной части Тихого океана) до 3650-3700 м (рифто-

**Ресурсы некоторых металлов на континентах  
и в Мировом океане**

Металлы	Мировые ресурсы, т		
	Выявленные ресурсы <sup>1</sup> на континентах [4]	Прогнозные ресурсы в океане	
		железомарганцевые кон- креции [6]	кобальтомарганцевые корки [6]
Марганец	4,5x10 <sup>9</sup> *	6x10 <sup>9</sup>	2,5x10 <sup>9</sup>
Никель	307x10 <sup>6</sup>	290x10 <sup>6</sup>	40x10 <sup>6</sup>
Медь	1600x10 <sup>6</sup>	240x10 <sup>6</sup>	7x10 <sup>6</sup>
Кобальт	15x10 <sup>6</sup>	60x10 <sup>6</sup>	80x10 <sup>6</sup>

\*Оценка автора

вые зоны Срединно-Атлантического хребта). В составе сульфидных отложений, наряду с повсеместно наблюдаемыми сульфидами железа (пирит, пирротин), присутствуют сульфиды цинка (сфалерит) и меди (халькопирит). По сути, эти сульфидные залежи являются аналогами древних колчеданных месторождений. В зависимости от продолжительности формирования их можно подразделить на два пограничных подтипа с различной промышленной ценностью слагающих их руд.

Активные сульфидные постройки, так называемые «*черные курильщики*», представляют собой каналы, по которым происходит выброс горячих (350-360°C) гидротерм с густой взвесью рудных компонентов. Большая их часть рассеивается в водной толще океана. Часть отлагается по всей поверхности постройки. В пределах одного из наиболее молодых гидротермальных полей Брокен-Спур (Срединно-Атлантический хребет) с возрастом менее 1000 лет выходящие на поверхность флюиды на начальном этапе строят конические и столбообразные постройки высотой от десятков сантиметров до первых метров.

<sup>1</sup> Выявленные ресурсы (Identified Resources) – это масса (количество) сырья в недрах, изученная с полнотой, достаточной для принятия решения о подсчете запасов. Соответствуют, по российской классификации, запасам категорий А+В+С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> и части прогнозных ресурсов Р<sub>1</sub>.

По мере развития деятельности гидротермальной системы происходит постепенное наращивание материала труб, в основном от периферии к центру, с одновременным снижением пропускной способности подводных каналов. Полная их закупорка приводит к «гидротермальным взрывам». Образуется раздробленный цоколь, формируются новые каналы гидротермальных растворов, вокруг выходов которых на поверхности над цоколем возникают новые гидротермальные трубы.

В пределах наиболее развитого действующего гидротермального поля ТАГ (Срединно-Атлантический хребет) с возрастом около 50 тыс. лет на месте многочисленных построек сформирована единая крупная гидротермальная залежь с четко выраженной латеральной зональностью состава отложений, типичными для которых являются процессы метаморфизации, и глубокими подповерхностными «корнями». Здесь над усеченным рудоносным конусом диаметром 200 м и высотой 30 м возвышаются дымящиеся трубы высотой до 10-15 м. Корни постройки уходят на 125 м ниже поверхности дна. Ресурсы сульфидной руды в ней оцениваются в 4 млн т [1].

Зрелые, завершившие гидротермальную деятельность, постройки («сульфидные купола») имеют форму усеченных конусов высотой десятки и первые сотни метров. Состав оруденения массивной текстуры значительно варьирует.

Концентрации рудных элементов часто достигают промышленных значений: содержание цинка колеблется от 0,2 до 50 %, меди – от 0,2 до 20 % и более. Нередко отмечаются высокие содержания свинца и благородных металлов (золота – до 20 г/т, серебра – 20-1200 г/т, платины – первые г/т), а также теллура, висмута, кадмия. Самая крупная из известных в Атлантике сульфидная постройка «Мир» в районе ТАГ возрастом 100-150 тыс лет имеет высоту 70 м и диаметр в основании около 200 м. Ресурсы сульфидов в ней составляют, по приблизительным оценкам, около 10 млн т, т.е. в разы превосходят количество рудного вещества в «черных курильщиках» [8].

Состав оруденения в рифтах открытого океана и в задуговых областях значительно разнится. В зонах задугового спрединга (бассейны Лау, Манус, Вудларк и др. в юго-западной части Тихого океана) сульфидные отложения обогащены свинцом, золотом и серебром, что делает их исключительно привлекательными для промышленности. Такие месторождения известны и активно разведываются канадской *Nautilus Minerals Inc.* и британской *Neptune Minerals plc* в территориальных водах Папуа-Новой Гвинеи и Новой Зеландии.

*Эпитермальные сульфидные месторождения*, залегающие ниже дна океана, ассоциируют, по-видимому, с сульфидными постройками на его поверхности, которые представляют собой не что иное как небольшую часть гидротермальных систем, находящихся внутри океанической коры. Морские воды, проникая по трещинам и разломам формирующейся рифтовой зоны в литифицированные осадки и базальты коры на многие сотни метров, нагреваются и обогащаются химическими, в том числе рудными элементами. Такие растворы, смешиваясь с флюидами, поступающими в систему из

магматических камер, расположенных под рифтом, еще до выхода на поверхность дна активно взаимодействуют с вмещающими породами, изменяя их и в ряде случаев слагая рудные тела типа вулканогенно-метасоматических колчеданных образований. Важнейшее промышленное значение имеют рудные скопления, обогащенные золотом. Так, в 1998 г. в западной части Тихого океана, в 10 км к юго-востоку от о-ва Лихир (Папуа-Новая Гвинея), была открыта подводная гора Коникл-Сима-унт, сложенная известково-щелочными базальтами с прожилково-вкрапленным сульфидным оруденением, среднее содержание золота в котором составило 26 г/т. Золотоносные породы находятся на глубине 1050-1650 м от поверхности океана, что делает практически возможными их разведку и отработку. По своему качеству эти руды превосходят разрабатываемые на островном золото-порфировом месторождении Лихир, среднее содержание золота в котором равно первым граммам на тон-ну. Северозападнее от Коникл-Сима-унт в пределах океанического жёлоба Идзу-Огасавара, расположенного к юго-востоку от главных Японских островов, разведывается подводное золоторудное месторождение Санрайз [11].

Металлоносные осадки открытого океана представляют собой обогащенные железом, марганцем, цинком, медью и некоторыми другими рудными элементами неконсолидированные морские отложения, парагенетически связанные с вышеупомянутыми «черными курильщиками». Наиболее крупные залежи рудоносных осадков локализованы в спрединговых зонах Красного моря и Тихого океана. Весьма вероятно их обнаружение в Аденском заливе Индийского океана. Отличительной чертой многих из них является высокое содержание золота и серебра. Наибольшее экономическое значение в

настоящее время имеют осадки Красного моря, в пределах рифтовой зоны которого на глубине 2000-2200 м локализована знаменитая впадина Атлантис-II, где и сейчас продолжается формирование сульфидоносных осадков. Ресурсы цинка во впадине оценены в 2,5 млн т, меди – 600 тыс. т, серебра – 9 тыс. т [11].

Освоение минеральных ресурсов Мирового океана, наряду с традиционными видами его использования, стало в последние десятилетия важным направлением общечеловеческой хозяйственной деятельности. Действия компаний по изучению и разработке морских месторождений регламентируются конвенцией ООН по морскому праву 1982 г., согласно чему, основным объектом регулирования в настоящее время являются ресурсы железомарганцевых конкреций – комплексной руды на марганец, кобальт, медь и никель, – наиболее крупные скопления которых сосредоточены в зоне Клариион-Клиппертон в приэкваториальной части Тихого океана. России в числе первых в мире удалось в 1987 г. закрепить за собой участок дна площадью около 75 тыс. км<sup>2</sup> в этом районе, а в 2001 г. получить лицензию на проведение здесь геологоразведочных работ и разработку морских залежей сроком на 15 лет. Прогнозные ресурсы ЖМК на исследуемой площади оцениваются в 703 млн т. В них содержится 142 млн т марганца, 6,7 млн т никеля, 5,6 млн т кобальта [2].

В зоне Клариион-Клиппертон закреплены также участки за Францией, Японией, Китаем, Южной Кореей, международной организацией «Интерокеанметалл» (Россия, Польша, Болгария, Чехия, Словакия и Куба), с августа 2005 г. – Германией.

В приэкваториальной части Тихого океана в пределах международного сектора морского дна для изучения и освоения скоплений кобальтомарганцевых корок России выделен район, включающий

часть Магеллановых гор, поднятия Маркус-Уэйк и Уэйк-Нек-кер, а также северную часть подводного продолжения Маршалловых о-вов и островов Лайн. Прогнозные ресурсы сухой руды здесь оценены в 1,84 млрд т. Она содержит порядка 380 млн т марганца и 10 млн т кобальта. Месторождения коркового типа отличаются от конкреционных более высоким средним содержанием кобальта в рудах (0,6 против 0,2 %) и меньшими глубинами сосредоточения основной части ресурсов (1200-1800 м против 4700-5100 м для ЖМК) [7].

Из районов развития глубоководных полиметаллических сульфидов наибольший интерес для России представляют рудные районы Срединно-Атлантического хребта, где нашими специалистами выявлен ряд месторождений и проявлений сульфидов, в которых сосредоточено 15 % суммарных прогнозных ресурсов полиметаллов, содержащихся в недрах хребта. Их потенциальная ценность составляет около 50 млрд долл. США [2]. Результаты выполненных к настоящему времени геологоразведочных работ, технических и технологических испытаний свидетельствуют о реальной возможности освоения рудных ресурсов океана.

Из различных методов разработки железомарганцевых конкреций наиболее перспективно драгирование с гидро- и эрлифтным (с помощью сжатого воздуха) подъемом добытого материала. Горно-геологические условия эксплуатации месторождений кобальтоносных марганцевых корок отличаются от таковых для месторождений ЖМК. Они в значительной степени зависят от рельефа дна, физических свойств корок и подстилающего субстрата (прежде всего, их прочности), а также гидродинамических условий добычи. Поэтому разработка месторождений ЖМК требует создания специальных до-

бывающих средств. Для транспортировки сырья реально использование обычных сухогрузных судов. Переработка конкреций и корок методами пиро- и гидрометаллургии была успешно апробирована на ряде предприятий США и бывшего СССР. ЖМК и КМК, представленные оксидными рудами металлургического сорта, по качеству значительно превосходят руды континентальных месторождений марганца РФ, основное количество которых имеет карбонатный состав. Сквозное извлечение никеля при гидрометаллургическом переделе конкреций достигает 96 %, меди – 92 %, кобальта – 95 %, бесфосфорного марганца – 98 % [5].

Проблема отработки сульфидных руд подводных построек во многом может быть решена путем создания технических средств типа существующих угле- или алмазодобывающих с дистанционным управлением, но приспособленных к работе на больших глубинах. Вплотную к этому подошла компания *Nautilus Minerals*, которая намерена в конце 2009 г. приступить к отработке медно-цинковых обогащенных золотом залежей проектной площади Солвара (Solwara), расположенной в территориальных водах Папуа-Новой Гвинеи. Объекты, выявленные канадцами, находятся на глубине 1450-1700 м. Предусматривается создание специального судна для морской добычи 1,8 млн т руды в год, которая с помощью стандартных помп будет подниматься по трубопроводу диаметром 30 см на поверхность, обезвоживаться и отправляться на побережье для обогащения по традиционной флотационной схеме. Полученные в результате концентраты планируется отгружать на плавильные заводы Азиатского региона. Капитальные затраты на приобретение добычного оборудования составят 120 млн долл. Строительство обогатительной фабрики, портовых сооружений и сопутствующей инфраструктуры

обойдется еще в 160 млн долл. Годовая производительность предприятия проектируется на уровне 160 тыс. т меди в концентрате. Без учета реализации попутного золота себестоимость производства меди здесь оценивается в 0,39 долл. за фунт (860 долл./т) [9; 10]. Особую привлекательность проекту с экономической точки зрения придает тот факт, что одни и те же технические средства (трубопровод и добычное оборудование) могут использоваться многократно на большом количестве подводных объектов.

\*\*\*

Практическое использование морских «кладовых» для российской металлургии – задача вполне обозримого будущего: эксплуатируемые рентабельные запасы большинства металлов в учтенных запасах страны составляют незначительную долю, а перспективы прироста запасов ограничены. Необходимость в добыче океанических полезных ископаемых для решения проблемы дефицита марганцевых руд уже возникла. К середине следующего десятилетия проявится нехватка качественных запасов ряда металлов, таких как свинец, цинк, медь, никель, золото и молибден. Они могут быть восполнены за счет минерально-сырьевых ресурсов океанов.

К настоящему времени отечественными и зарубежными учеными и специалистами выполнен ряд технико-экономических оценок, результаты которых свидетельствуют об осуществимости и рентабельности эксплуатации глубоководных месторождений. Начата подготовка к отработке сульфидных океанических залежей. Доказано, что реальным источником стратегически важных легирующих металлов являются железомарганцевые конкреции и кобальтоносные корки. Экономическая эффективность промышленного освоения месторождений этих

образований может существенно возрасти, если рассматривать их в качестве комплексного сырья для безотходного производства легированных сталей и сплавов на базе ферромарганца. Нашей стране при рассмотрении вопросов, связанных с отработкой скоплений рудных конкреций и корок в зоне Клариион-Клип-пертон, необходимо учитывать и фактор времени: не так уж много его осталось до истечения сроков лицензии, выданной России на ГРР и начало добычи на этом участке.

Освоение минеральных ресурсов Мирового океана имеет исключительно важное стратегическое и геополитическое значение.

Это не только один из альтернативных путей удовлетворения растущих потребностей развитых стран, в том числе России, в минеральном сырье, но и средство достижения военных и политических преимуществ одних государств перед другими. Дело за малым: промышленная добыча океанических руд нуждается в решении недостаточно проработанных вопросов экологической безопасности и создании специальных технических средств для рентабельной эксплуатации глубоководных месторождений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Все о геологии*. Современные гидротермальные системы Мирового океана. А.П. Лисицын. <http://geo.web.ru>. 2000.
2. Государственное управление ресурсами. № 3. 2005. Наши интересы в зоне Клариион-Клиппертон. <http://www.gosresurs.ru>.
3. *Металлы Евразии*. 1998. № 3.
4. Минеральные ресурсы мира: В 3 т. / ФА по недропользованию РФ. ФГУНПП "Аэрогеология", ИАЦ "Минерал". М., 2006. Т.1: Статистический справочник на 1.01.2005.
5. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. №3, с.73.
6. *Природа*. 2002. № 5. Г.Н. Батулин: Рудный потенциал океана. <http://vivovoco.rsl.ru>.
7. *Промышленные ведомости*. 2005. №1. Е.А. Козловский: Морские и океанические кладовые минерального сырья. <http://www.promved.ru>.
8. Соросовский образовательный журнал. № 7. 1998. Науки о Земле. В.И. Сотников: Рудообразование в океанах. <http://journal.issep.rssi.ru>.
9. *Mining Journal*. 2005, August 19.
10. *Mining Journal*. 2006, October 13.
11. Polymetallic Massive Sulphide Deposits at the Modern Seafloor and ... <http://www.isa.org.jm>. 13.09.2002.

#### Коротко об авторах

*Игневская Людмила Валерьевна* – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий специалист, ИАЦ «Минерал».

Статья представлена ИАЦ «Минерал».

Рецензент – *Федорчук Виктор Парфентьевич*, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник ВИЭМС.