

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СУШИ И МИРОВОГО ОКЕАНА

Л. В. Оганесян

*Российское геологическое общество,  
Россия, 115191, Москва, 2-я Рощинская ул., д. 10,  
e-mail: oganesian@alliance-gr.com*

Аналоги основных типов океанских руд: железо-марганцевых конкреций (ЖМК), кобальтоносных марганцевых корок (КМК), глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС) с учетом их состава, условий залегания и морфологии рудных тел на суше отсутствуют. Они представляют собой новые, промышленно-генетические типы рудных месторождений. Степень изученности ЖМК и КМК позволяет оценить их рудный потенциал между категориями запасов  $C_1$  и  $C_2$ , а ГПС между прогнозными ресурсами  $P_1$  и  $P_2$ . При оценке их ресурсного потенциала применен новый интервальный вариант таких категорий.

**Ключевые слова:** железо-марганцевые конкреции, кобальтоносные марганцевые корки, глубоководные полиметаллические сульфиды, минерально-сырьевой потенциал, рудный район

### Введение

В Российской Федерации приняты единые принципы подсчета, оценки и государственного учета запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (ТПИ). Они разделяются по степени изученности месторождений и имеют весьма важное экономическое и народно-хозяйственное значение. Различные, иногда сходные, классификации запасов существуют во всех странах. Однако все эти классификации разработаны применительно к твердым полезным ископаемым суши. Что касается ТПИ Мирового океана, где выделяются три типа руд: железо-марганцевые конкреции (ЖМК), кобальтоносные марганцевые корки (КМК) и глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС), то их классификация пока не разработана, несмотря на высокие перспективы их освоения. В настоящей работе поставлены следующие задачи:

- охарактеризовать специфику всех трех типов океанских руд с точки зрения их возможного будущего освоения;
- рассмотреть возможность использования классификации запасов ТПИ суши для ранжирования скоплений океанских руд;
- провести сравнительную оценку рудного потенциала ТПИ суши и океана, включая ТПИ российских разведочных районов в Тихом и Атлантическом океанах.

В основу анализа положены материалы по изучению океанских ТПИ, любезно предоставленные ВНИИОкеангеологией им. И. С. Гранберга, статистические сведения по минеральным ресурсам суши (Бежанова, Стругова, 2011; Ставский, 2011(а), 2011(б); Минеральные ресурсы..., 2013; Оганесян, 2016; О состоянии.. [Доклады... ], 2011–2021), а также циркуляционные материалы, устанавливающие классификацию запасов суши (Классификация запасов..., 2006).

### **Специфика твердых полезных ископаемых океана**

Приступая к сравнительной оценке минерально-сырьевого потенциала твердых полезных ископаемых суши и Мирового океана необходимо учесть, что аналоги железо-марганцевых конкреций, кобальто-марганцевых корок и глубоководных полиметаллических сульфидов на суше отсутствуют. Это проявлено в следующих особенностях скоплений океанических твердых полезных ископаемых.

1. В составе ЖМК и КМК основные полезные ископаемые не представлены собственными минералами, что исключает возможность их первичной переработки (обогащения) традиционными технологиями с целью получения дифференцированных по металлам концентратов. ЖМК и КМК представляют собой рудную минеральную массу, образующую изоморфную смесь, из которой отдельное получение металлов может быть осуществлено в процессе металлургического передела, минуя традиционные способы обогащения руд.

2. Скопления ЖМК и КМК представлены субгоризонтальными, маломощными, плащеобразными залежами, располагающимися на нелитофицированных отложениях дна океана. Составляющие их минеральные агрегаты между собой не сцементированы. По сложности геологического строения эти скопления лишь условно могут быть отнесены к месторождениям I группы (Классификация запасов..., 2006). Эти особенности исключают необходимость проходки горных выработок и скважин в процессе геологоразведочных работ. Маломощность залежей позволяет путем их опробования на всю глубину рудного слоя получить представительный материал для оценки ресурсного потенциала.

3. В отличие от залежей ЖМК и КМК, минеральный состав скоплений ГПС имеет много схожих черт с полиметаллическими рудами суши. Рудная масса ГПС представлена минералами соответствующих металлов с типичным для полиметаллических месторождений изоморфным содержанием золота и серебра. Первичная переработка (обогащение) этих руд может сводиться к дифференциации общей рудной массы на отдельные минеральные составляющие. При этом будет исключено формирование безрудных хвостов обогащения в больших объемах.

4. Скопления ГПС представлены куполами и башневидными образованиями, локализованными на субстрате со сложным, изрезанным рельефом. Максимальная глубина их распространения практически не установлена, точно также отсутствуют надежные данные об изменчивости минерализации по объему рудных тел.

При проведении геологоразведочных работ с оценкой ресурсов и подсчетом запасов потребуется проходка скважин, если копировать методику традиционной практики, применимость и необходимость которой предстоит установить. Дело в том, что при планировании детальных геологоразведочных работ на ГПС, возникнут как минимум два вопроса, требующих ответа. Первый: имеется ли необходимость в проведении буровых работ для изучения внутреннего строения и продуктивности выходящих на поверхность дна океана сульфидных рудных тел, если их контуры и объемы можно определить визуальными наблюдениями и измерениями, а минеральный и вещественный состав опробованием? Второй: возникает ли необходимость буровыми работами проследить распространение «корней» скоплений ГПС океана до частичного освоения их выходов с внушительными объемами рудной массы?

На поставленные вопросы могут быть получены различные, и даже противоположные, ответы в зависимости от решаемой задачи, потребностей в сырье, вариантов экономических моделей освоения океанических руд и др. В частности, при необходимости изучения внутреннего строения скоплений, зональности минерального состава, вариаций содержаний металлов бурение скважин окажется оправданным.

5. Скопления ЖМК, КМК и ГПС представлены сплошь обнаженными рудными телами. У них отсутствует вмещающая лито-петрографическая среда (за исключением уходящих ниже дна океана корневых частей ГПС). Между тем генетическая и промышленно-генетическая классификация рудных месторождений базируется на системе всего комплекса геологических условий локализации, минерального состава, вмещающей среды. В частности, полиметаллические месторождения только по признаку вмещающей среды подразделяются на локализованные в фанерозойских осадочно-вулканогенных породах (медно-свинцово-цинковый промышленно-генетический тип), в эффузивах кислого состава (свинцово-цинковый тип) и на иные типы.

Именно промышленно-генетическая принадлежность лежит в основе определения методики разведки месторождений.

Своеобразие скоплений ЖМК, КМК и ГПС, выраженное в том числе отсутствием вмещающей лито-петрографической среды, однозначно указывает на невозможность применения традиционных разведочных методов к океаническим объектам. В частности, густота разведочной сети и объем опробования применительно к рудным объектам суши регламентируется комплексом природных особенностей. На этой основе определяется стадийность последовательных шагов их изучения, категоризация ресурсов и запасов. Распространение этих требований, их копирование применительно к объектам, не имеющих аналогов на суше и локализованных в водной среде, может оказаться неоправданным. В связи с этим сравниваемые показатели продуктивности по суше и океану могут иметь различные уровни точности и подтверждаемости. Более того, принятая в России категоризация запасов и ресурсов отличается от таковых, используемых в других странах (таблица 1). В связи с этим при сравнении минерально-сырьевого потенциала суши и Мирового океана необходимо данные по ресурсам и запасам привести к единой системе учета.

Уровень геологической изученности ЖМК, КМК и ГПС российского разведочного района различен. Это связано как с особенностями их геологического строения, природными условиями локализации, так и со временем начала работ по их изучению. Наиболее детально изучены концентрации ЖМК, контракт по которым заключен в 2001 г. Проведенный объем работ позволяет их минерально-сырьевой потенциал оценить на уровне, близком к интервалу между категориями оцененных ( $C_2$ ) и разведанных запасов ( $C_1$ ).

Табл. 1 – Основные категории запасов и прогнозных ресурсов ТПИ в России и за рубежом (Ставский, 2011(а), 2011(б))

№ п/п	Россия, 2006	USGS, 1980	CRIRSCO, 2006	Использованный перевод
1	Прогнозные ресурсы $P_3$	Speculative Resources	–	–
2	Прогнозные ресурсы $P_2$	Hypothetical Resources	–	–
3	Прогнозные ресурсы $P_1$ (может быть включена часть $C_2$ )	Inferred Resources		Предполагаемые ресурсы
4	Запасы $C_2$ (или их часть, не вошедшая в п.п. 3 и 5)	Indicated Resources		Установленные ресурсы
5	Запасы $ABC_1$ (может быть включена часть $C_2$ )	Measured Resources		Измеренные ресурсы
6	$P_1+C_2+ABC_1$	Identified Resources	Mineral Resources	Выявленные ресурсы
7	Запасы экономические $C_2$	–	Probable Reserves	Вероятные запасы
8	Запасы экономические $ABC_1$	–	Proved Reserves	Доказанные запасы

Примечание: 1. Вероятные запасы (п. 7) и доказанные запасы (п. 8) соответствуют эксплуатационным запасам, но в госстатистику не включаются. 2. Иногда взамен “Proved Reserves” используются термины “Possible” и “Proven”.

Контракт по концентрациям КМК заключен в 2015 г., однако их простое строение, достаточно близкая аналогия условий локализации с концентрациями ЖМК, реализованные виды и объемы работ позволяют сырьевой потенциал оценить по категории близкой к оцененным запасам  $C_2$ .

Иная ситуация с ГПС. Контракт по ним заключен в 2012 г., т. е. на три года раньше, чем по КМК. Однако концентрации ГПС являются весьма сложными геологическими образованиями. К этому добавляются непростые природные условия и, в первую очередь, исключительно расчлененный рельеф дна океана. В принятой классификационной группе месторождений ТПИ (Классификация запасов..., 2006) ГПС не находят свое место. По масштабам минерализации они могут быть отнесены ко II группе. Однако по выдержанности качества руд, степени изменчивости распределения ценных компонентов, внутреннему строению «башен» и «сопок» ГПС не могут быть отнесены ко II группе. По этим признакам они не могут быть отнесены и к I группе. ГПС не отвечают также признакам III и IV групп, в состав которых входят мелкие и средние по масштабам минерализации месторождения.

Руководствуясь классификационными требованиями категоризации запасов и ресурсов, уровень современной изученности масштабов минерализации ГПС российского разведочного района можно оценить категориями прогнозных ресурсов  $P_1$ – $P_2$ .

Приведенные оценки состояния изученности и категоризации ресурсного потенциала ЖМК, КМК и ГПС в значительной степени приблизительные, однако дают возможность корректного ориентировочного сравнения общего минерально-сырьевого потенциала океанов и суши. При этом в качестве показателя общего объема ресурсов суши принята сумма предполагаемых (indicated) и измеренных (measured) ресурсов, что означает сумму прогнозных ресурсов  $P_1$ , оцененных запасов  $C_2$  и разведанных запасов  $A+B+C_1$ . Это отвечает категории «выявленные ресурсы» (таблица 1).

Необходимо отметить, что данные по сумме ресурсного потенциала суши, опубликованные в различных источниках, отличаются весьма существенно. В частности, сумма мировых выявленных ресурсов никеля в одном опубликованном источнике определена в объеме 284.925 млн т (Ставский, 2011(а)), в другом – 186.91 млн т (Бежанова, Стругова, 2011). Лишь после суммирования к «выявленным ресурсам» (186.91 млн т) так называемых подтвержденных запасов, которые по определению должны быть частью «выявленных ресурсов», из-за наличия в их составе категорий  $ABC_1$ , сумма приближается к первой оценке (284.925 млн т), составив 271.608 млн т. Более того, имеются указания о прогнозных ресурсах никеля в ЖМК Мирового океана в объеме 700 млн т. По более представленным, но не опубликованным, оценкам эти ресурсы составляют 373.7 млн т. Даже суммарные ресурсы никеля по ЖМК и КМК составляют 471.4 млн т. В ситуации неоднозначности опубликованных в различных источниках данных оправдано руководствоваться показателям более поздних публикаций (Бежанова, Стругова, 2011) с определением общего ресурсного потенциала суммой «выявленных ресурсов» и «подтвержденных запасов» Ставский, 2011(а), 2011(б)). В этом случае удастся достичь удовлетворительной согласованности данных, опубликованных в указанных выше источниках (таблица 2).

Табл. 2 – Минерально-сырьевой потенциал суши по основным металлам ЖМК, КМК и ГПС

№ п/п	Металлы	Ресурсные оценки	
		Бежанова, 2015 г.	Ставский, 2011 г.
1	Mn, млн т	20 094	20 700
2	Ni, тыс. т	271 608	285 000
3	Cu, тыс. т	2 231 346	1 987 790
4	Pb, тыс. т	317 916	311 958
5	Zn, тыс. т	760 877	716 700
6	Mo, тыс. т	54 465	53 282
7	Co, тыс. т	19 252	н/д
8	Au, т	193 731	195 655
9	Ag, т	1 831 845	2 195 000

### Сравнительный минерально-сырьевой потенциал ЖМК

Подавляющий объем минерально-сырьевого потенциала ЖМК сосредоточен в семи провинциях Тихого океана (по рудной массе 93.8 %). Относительная доля рудной массы четко коррелирует с долей основных металлов: Mn – 94.4 %; Ni – 94.7 %; Cu – 94.6 %; Co – 95.5 %. Суммарный потенциал 3-х провинций ЖМК Индийского океана более чем в 15 раз уступает тихоокеанским провинциям ЖМК.

Суммарный ресурсный потенциал 10-ти провинций ЖМК не только сопоставим с этим показателем на суше, но и превышает его: по никелю – около 1.4 раза; по кобальту – более, чем в 4 раза (таблица 3). По марганцу и меди потенциал ЖМК уступает потенциалу суши, но тоже достаточно высокий и соответственно составляет 46.5 и 13.2 %.

Табл. 3 – Сравнительный мировой минерально-сырьевой потенциал суши и провинций ЖМК Мирового океана

№ п/п	Металлы	Сырьевой потенциал		Доля потенциала океана, %	Доля потенциала Тихого океана, %
		Суша	Океан		
1	Марганец, млн т	20 094	9 352	46.5	43.95
2	Никель, тыс. т	271 608	373 300	137.4	130.10
3	Медь, тыс. т	2 231 346	293 700	13.2	12.45
4	Кобальт, тыс. т	19 252	84 800	440.5	420.74

Если из ресурсов исключить относительно небольшие три провинции Индийского океана, то доля ресурсов тихоокеанских провинций от общих ресурсов суши изменится лишь незначительно (таблица 3).

Помимо общего количества металлов при оценке сырьевого потенциала необходимо учесть качество руд. Этот показатель при оценке сплошной рудной массы определяется содержанием полезных компонентов. В связи с этим возникает необходимость сопоставления содержаний соответствующих металлов месторождений суши и ЖМК Мирового океана. При таком сравнении очевидна необходимость исключения аномально высоких и низких содержаний, а при наличии соответствующих данных оперировать средневзвешенными содержаниями по рудной массе. Соблюдение этого условия исключается для объектов суши из-за отсутствия опубликованных данных по рудной массе. В связи с этим по суше учтены интервалы колебаний содержаний, а по океаническим объектам содержания как интервальные, так и средневзвешенные, по рудной массе (таблица 4).

Очевидно, что средние содержания основных металлов в ЖМК укладываются в интервал их содержаний в рудах месторождений суши. Однако ЖМК отличаются весьма высоким содержанием кобальта. Заслуживает внимания и то обстоятельство, что интервал содержаний для ЖМК достаточно узок, что свидетельствует о меньшей изменчивости качества руд.

Табл. 4 – Средние содержания металлов в рудах месторождений суши и ЖМК

№ п/п	Металлы	Содержания, %		
		Суша, интервалы	ЖМК	
			Интервалы	Средние
1	Марганец	16–44	19.8–30.8	21.7
2	Никель	0.3–2.0	0.50–1.24	0.97
3	Медь	0.3–2.8	0.32–1.04	0.76
4	Кобальт	0.06–0.28	0.20–0.29	0.25

### Сравнительный минерально-сырьевой потенциал КМК

Сравнительный анализ соотношений минерально-сырьевого потенциала суши и кобальто-марганцевых корок Мирового океана выполнен с соблюдением условий, определенных при рассмотрении этих соотношений применительно к ЖМК.

В Мировом океане выявлены 8 провинций КМК, из которых 6 находятся в Тихом океане, и по одной в Индийском и Атлантическом океанах. Основная часть рудного потенциала, как по рудной массе, так и по ресурсам металлов, сосредоточена в четырех провинциях Тихого океана. Такая четкая положительная корреляция обусловлена тем, что средние содержания металлов (Mn, Ni, Co) во всех провинциях укладываются в достаточно узком интервале, а содержания металлов по традиционным месторождениям суши варьируют в значительно более широких пределах (таблица 5).

Табл. 5 – Содержания металлов в рудах традиционных месторождений суши и КМК Мирового океана

№ п/п	Металлы	Содержания, %		
		Суша, интервалы	КМК	
			Интервалы	Средние
1	Марганец	16–44	19–23	19.6
2	Никель	0.3–2.0	0.42–0.54	0.46
3	Кобальт	0.06–0.28	0.50–0.62	0.61

Примечание: При определении интервалов содержаний и их средних значений исключены максимальные и минимальные значения.

Содержания марганца и никеля в КМК укладываются в интервалы, характерные для месторождений суши. Но по нижнему уровню интервалов они заметно больше. Привлекает внимание исключительно высокое содержание кобальта в КМК. Нижний уровень содержания этого металла почти на порядок выше, чем в традиционных рудах суши, а средние значения содержаний кобальта в КМК более, чем в 2 раза, превышают максимальные уровни содержаний в рудах традиционных месторождений.

Совершенно очевидно, что КМК являются уникальными рудными образованиями. Их потенциал от суммарного потенциала суши составляет: по марганцу – более 20 %, по никелю – 36 %. По кобальту имеет место фантастически высокий уровень потенциала, превышающий суммарный уровень по суше более, чем в 7 раз (таблица 6).

Табл. 6 – Минерально-сырьевой потенциал суши и провинций КМК  
Мирового океана

№ п/п	Металлы	Сырьевой потенциал		Доля потенциала ЖМК от потенциала суши, %
		Суша	Провинции КМК	
1	Марганец, млн т	20 094	4 296.6	21.4
2	Никель, тыс. т	271 608	97 700	36.0
3	Кобальт, тыс. т	19 252	140 200	728.2

Даже если допустить возможность частичного сокращения потенциала кобальта при переводе его прогнозного и оцененного объема в запасы, то масштабы минерализации сохраняют уникальный уровень.

### Сравнительный минерально-сырьевой потенциал ГПС

Сравнительная оценка рудного потенциала скоплений глубоководных полиметаллических сульфидов Мирового океана и суши затруднена по комплексу причин.

1. Скопления ГПС представлены сложно построенными трехмерными объектами, определение объемов рудной массы которых возможно только при реализации детальных наблюдений и дистанционных измерений.

2. Распределение металлов в общей массе ГПС характеризуется высокой неравномерностью, что потребует формирования большого объема выборки при точечном опробовании.

3. Практически отсутствуют фактические данные о глубине распространения минерализации ГПС ниже уровня дна океана.

В связи с этими особенностями, а также сложными природными условиями площадей локализации скоплений ГПС (в первую очередь изрезанного рельефа морского дна), оценки объемов рудной массы и другие особенности минерализации приближенные и находятся на уровне прогнозных заключений, характеризующих прогнозные ресурсы между интервалами категорий  $P_2$  и  $P_1$ . Такая неопределенность обусловлена принятыми критериями категоризации прогнозных ресурсов по рудным объектам суши (Классификация запасов..., 2006). В частности, прогнозные ресурсы категории  $P_1$  учитывают возможность расширения границ распространения полезного ископаемого за контуры запасов категории  $C_2$  или выявления новых рудных тел на рудопроявлениях, разведанных или разведываемых месторождениях. Между тем

на участках наличия ГПС контуры запасов  $C_2$  разведанных и разведываемых месторождений отсутствуют.

Прогнозные ресурсы  $P_2$  учитывают возможность обнаружения в пределах рудных узлов и полей новых месторождений, наличие которых предполагается уже обнаруженными проявлениями минерализации, геофизическими и геохимическими аномалиями, перспективность которых установлена единичными выработками. Однако скопления ГПС уже выявлены и предположения в данном случае неуместны.

Ресурсный потенциал ГПС не может быть оценен также по категории прогнозных ресурсов  $P_3$ , поскольку последние предполагают потенциальную возможность выявления рудоносных таксонов в основном на уровне рудных полей и реже – крупных месторождений в малоисследованных районах. Между тем рассматриваемые рудные поля ГПС уже выявлены, их наличие является однозначно установленным фактом, что исключает критериальную категорию «возможность». Более того, прогнозные ресурсы  $P_3$  оцениваются на основе наличия комплекса благоприятных предпосылок. Это означает, что при оценке ресурсов по категории  $P_3$  нет необходимости наличия прямых признаков минерализации. Однако применительно к глубоководным сульфидам установлено наличие возвышающихся над уровнем дна океана крупных рудных тел.

Возникшие противоречия и неопределенность еще раз подтверждают очевидную необходимость разработки критериев категоризации запасов и ресурсов применительно к скоплениям твердых полезных ископаемых дна Мирового океана. Очевидно, что этому должно предшествовать создание промышленно-генетической классификации ТПИ Мирового океана, не имеющих аналогов на суше.

В связи с отмеченными неопределенностями, сравнение ресурсных потенциалов суши и ГПС Мирового океана проведено на основе выборки объектов (рудных полей), по которым имеются данные по содержаниям металлов и по рудной массе, т. е. необходимых величин для оценки массы полезных компонентов. Эта выборка включает 30 рудных полей, в том числе: 7 рудных полей Северной части Срединно-Атлантического хребта (2 по экономической зоне Португалии, 4 по РР Франции, 1 по нераспределенной<sup>1</sup> части), по одному полю хребтов Эксплорер (нераспределенная часть), Хуан-де-Фука (экономическая зона США), Галапагосский (экономическая зона Эквадора), Южной части Восточно-Тихоокеанского поднятия (нераспределенная часть), 3 поля Северной части Восточно-Тихоокеанского поднятия (1 – экономическая зона Мексики, 2 – нераспределенная часть) и 16 полей разведочного района России.

Приведенный далеко не полный перечень неопределенностей, невозможность отнесения ресурсного потенциала ГПС хотя бы к ближайшим категориям прогнозных ресурсов из-за полного отсутствия аналогов в системе классификации рудных объектов суши, вынуждает при сравнении «суша – океан» исключать из суммы ресурсного потенциала суши запасы экономические  $C_2+ABC_1$  (Probable + Proved).

<sup>1</sup> Здесь и далее под «нераспределенной частью» имеется в виду Мировой океан, не включающий экономические зоны и разведочные районы государств.

Относительно низкая доля полученных значений прогнозного потенциала ГПС по сравнению с прогнозными ресурсами мировой суши (таблица 7) обусловлена в первую очередь тем, что учтен потенциал 20–25 % уже выявленных рудных полей. Не оценен прогнозный потенциал скоплений ГПС ниже уровня дна Мирового океана. С учетом этих обстоятельств и с учетом общего количества уже выявленных полей, прогнозируемый ресурсный потенциал ГПС, выходящих на уровень дна Мирового океана, можно увеличить в 4–5 раз по сравнению с расчетным по 30 рудным полям. При этом с такой же кратностью увеличатся относительные пометалльные доли от прогнозных ресурсов суши. Корректность такого подхода может быть оспорена, однако уровень знаний о масштабах минерализации, внутреннего строения, других особенностей и уникальности скоплений ГПС исключает возможность применения прочих конкурирующих вариантов.

Табл. 7 – Прогнозный минерально-сырьевой потенциал суши и провинций ГПС Мирового океана

№ п/п	Металлы	Прогнозный потенциал		Доля ГПС от суши, %
		Суша	Провинции ГПС	
1	Медь, тыс. т	1 374 680	7 334.4	0.53
2	Цинк, тыс. т	439 404	3 508.4	0.80
3	Золото, т	130 597	247.05	0.19
4	Серебро, т	1 048 024	5 989.1	0.57

### **Сравнительный минерально-сырьевой потенциал суши России и разведочных районов России в Мировом океане**

Россия располагает тремя контрактами с МОМД ООН на проведение геолого-разведочных работ: по ЖМК (контракт с 2001 г.), по КМК (контракт с 2015 г.) и по ГПС (контракт с 2012 г.).

#### ***Железо-марганцевые конкреции***

Российский разведочный район ЖМК входит в состав крупнейшей провинции ЖМК Кларион–Клиппертон в северо-восточной части Тихого океана. Рудная масса РРР (401.2 млн т) составляет 2.3 % от общей рудной массы провинции (17 400 млн т). Однако содержания металлов в ЖМК РРР выше средних содержаний по провинции. Это особенно заметно в рудной массе восточного, основного по значимости, участка района. В частности, среднее содержание меди в ЖМК РРР более, чем на 2.6 % выше этого показателя по провинции (соответственно 30.16 и 27.5 %). Этот тренд устойчив и по другим металлам Восточного участка и сохраняется на Западном участке по марганцу, никелю и кобальту. Такая ситуация имеет место и в пределах РР «Интер-океанметалл», где российская доля составляет 25 %.

В ЖМК РРР сосредоточен внушительный объем марганца, никеля и кобальта (таблица 8). При этом потенциал России определен путем суммирования прогнозных ресурсов и подтвержденных запасов. Однако представляется более корректным при сравнительной оценке в качестве базовых как по России, так и по ЖМК, показателей принять уровни прогнозных ресурсов (таблица 9). Это оправдано тем, что оценка потенциала ЖМК занимает недостаточно определенное положение в промежутке между прогнозными ресурсами категории  $P_1$  и оцененными запасами  $C_2$ . В связи с этим сопоставление величин близкого уровня подтверждаемости представляется более корректным.

Табл. 8 – Минерально-сырьевой потенциал России по сумме «ресурсы–подтвержденные запасы» и прогнозные ресурсы ЖМК РРР

№ п/п	Металлы	Потенциал МСБ		Доля ЖМК, %
		Россия	ЖМК	
1	Марганец, млн т	472	120.4	25.50
2	Никель, тыс. т	23 700	5 660	23.90
3	Медь, тыс. т	103 013	4 500	4,37
4	Кобальт, тыс. т	650	920	141.54

Примечание: Здесь и далее сумма «ресурсы+подтвержденные запасы» (потенциал МСБ) по данным М. П. Бежановой и Л. И. Струговой (2015 г.).

Табл. 9 – Прогнозные ресурсы России и ЖМК РРР

№ п/п	Металлы	Прогнозные ресурсы		Доля ЖМК, %
		Россия	ЖМК	
1	Марганец, млн т	334	120.4	36.0
2	Никель, тыс. т	15 800	5 660	35.8
3	Медь, тыс. т	36 413	4 500	12.4
4	Кобальт, тыс. т	400	920	230.0

В случае возникновения разногласий по оптимальности определения доли ЖМК различными подходами (таблицы 8 и 9) есть возможность оперировать интервальными оценками, принимая в качестве граничных верхние и нижние уровни полученных значений. Тем более, что при прогнозных заключениях интервальные оценки предпочтительнее точечных.

Два варианта сравнения однозначно подтверждают высокий уровень потенциала ЖМК. При этом аномально высоким является доля кобальта.

### *Кобальтоносные марганцевые корки*

Российский разведочный район кобальто-марганцевых корок расположен в северо-западной части Тихого океана. Он входит в состав рудной провинции КМК Магеллановых гор. Общая площадь РРР – 3 000 км<sup>2</sup>. Он состоит из 150 блоков по

20 км<sup>2</sup> каждый. Блоки по пространственному расположению образуют 4 кластера, контролируемых морфоструктурами-гайотами: Говорова (55 блоков), Альба (35 блоков), Коцебу (40 блоков), Вулканолог (20 блоков). Содержания полезных компонентов во всех кластерах достаточно равномерны, их вариации укладываются в узкий интервал и составляют по марганцу – 20.56–23.21 %; по никелю – 0.45–0.54 %; по кобальту – 0.50–0.61 %. Средневзвешенные содержания этих металлов по РРР составляют: Мп – 21.99; Ni – 0.50; Со – 0.56. Эти значения превосходят средние показатели по провинции Магеллановы горы (Мп – 19.80 %, Ni – 0.42 %, Со – 0.54 %). Рудная масса РРР составляет чуть более 6 % от массы провинции, а доля металлов, как в отдельности, так и по сумме (Мп+Ni+Со), приближается к 7 % (Мп – 6.73; Ni – 7.14; Со – 6.30; в сумме – 6.72).

По мере проведения геологоразведочных работ площадь РРР должна быть сокращена во исполнение установленных требований МОМД ООН, зафиксированных в Правилах поиска и разведки кобальтоносных железо-марганцевых корок в Районе. Уже в 2023 г. Россия должна отказаться от площади 1 000 км<sup>2</sup> (50 блоков), а в 2025 г. оставить за собой всего 1 000 км<sup>2</sup> с 50 блоками. В связи с этим возникает необходимость помимо суммарной сравнительной оценки ресурсного потенциала суши и КМК РРР (таблицы 10 и 11) проводить вариантную групповую оценку наиболее перспективных кластеров. Варианты для компоновки блоков могут быть различные. С учетом незначительных вариаций содержаний металлов в КМК варианты можно сформировать с учетом рудной массы кластера. При таком подходе имеем четкую положительную корреляцию массы руд с природной ценностью суммы металлов. По любому из указанных критериев однозначно худшие показатели имеет гайот Говорова с 55 блоками. Это по существу может с избытком на 5 блоков решить проблему сокращения площади в 2023 г.

Табл. 10 – Минерально-сырьевой потенциал России по сумме «ресурсы + подтвержденные запасы» и ресурсный потенциал КМК РРР

№ п/п	Металлы	Потенциал МСБ		Доля КМК, %
		Россия	КМК	
1	Марганец, млн т	472	33.29	7.05
2	Никель, тыс. т	23 700	750	3.16
3	Кобальт, тыс. т	650	850	130.77

Примечание: См. табл. 8.

Табл. 11 – Прогнозные ресурсы России и ресурсный потенциал КМК РРР

№ п/п	Металлы	Прогнозные ресурсы		Доля КМК, %
		Россия	КМК	
1	Марганец, млн т	334	33.29	9.97
2	Никель, тыс. т	15 800	750.00	4.74
3	Кобальт, тыс. т	400	850.00	212.50

Примечание: См. табл. 9.

С учетом этого возможного, но не единственного и небесспорного варианта, помимо общей сравнительной оценки проведена такая оценка с исключением гайота Говорова (таблицы 12, 13).

Табл. 12 – Минерально-сырьевой потенциал России (суммарно «ресурсы + подтвержденные запасы») и ресурсный потенциал кластеров КМК гайот Вулканолог, Коцебу, Альба

№ п/п	Металлы	Потенциал МСБ		Доля КМК, %
		Россия	КМК	
1	Марганец, млн т	472	30.04	6.36
2	Никель, тыс. т	23 700	680	2.87
3	Кобальт, тыс. т	650	770	118.46

Табл. 13 – Прогнозные ресурсы России и ресурсный потенциал кластеров КМК гайот Вулканолог, Коцебу, Альба

№ п/п	Металлы	Прогнозные ресурсы		Доля КМК, %
		Россия	КМК	
1	Марганец, млн т	334	30.04	9.00
2	Никель, тыс. т	15 800	680	4.30
3	Кобальт, тыс. т	400	770	192.50

Рассмотрение принятого варианта, предусматривающего сокращение площади РРР КМК в 2023 г. путем отказа от блоков гайота Говорова, показывает, что этот вариант лишь незначительно сократит сравнительный ресурсный потенциал сохраненного за Россией до 2025 г. разведочного района КМК. Сокращение сравнительной доли Mn и Ni составит значительно меньше 1 % (таблицы 10 и 12). Но по кобальту оно составит более 12 % при сравнении с суммой «ресурсы+подтвержденные запасы» и 20 % по отношению к прогнозным ресурсам (таблицы 10 и 13). Вместе с тем очевидно, что при любых вариантах решений по сокращению площади РРР потери сырьевого потенциала неизбежны. В связи с этим необходима оптимизация потерь через многовариантные решения.

### *Глубоководные полиметаллические сульфиды*

Российский разведочный район глубоководных полиметаллических сульфидов расположен в центральной части Атлантического океана в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта. Он занимает 10 тыс. км<sup>2</sup> и включает 100 блоков площадью 10×10 км каждый. В пределах этой площади, которая является наиболее детально изученной частью ГПС Мирового океана, выявлены 19 рудных полей. Из них достаточно удовлетворительно изучены 16, по которым приведены сопоставления с прогнозным потенциалом рудоносности суши России (таблица 14).

Табл. 14 – Прогнозные ресурсы России, ресурсный потенциал ГПС РРР

№ п/п	Металлы	Прогнозные ресурсы		Доля ГПС, %
		Россия	ГПС	
1	Медь, тыс. т	36 413	4 591	12.61
2	Цинк, тыс. т	27 800	878	3.16
3	Золото, т	10 945	160.5	1.47
4	Серебро, т	72 200	2 490.6	3.45

Сульфидная минерализация РРР относится к атлантическому типу, для которого характерно преобладание меди над цинком (или переменное их количественное соотношение), практическое отсутствие специализации по свинцу. Процесс рудообразования атлантического типа происходил по ассоциации Cu-Zn. Это главное отличие от минерализации тихоокеанского типа, для которой характерна ассоциация Zn-Pb а также более высокие содержания золота и серебра.

Полезные компоненты ГПС РРР – медь, цинк, золото и серебро – в составе руд распределены весьма неравномерно. Иногда пределы колебаний средних содержаний по рудным полям составляют 1–2 математических порядка (например, по меди – 0.82–27.47 %; по цинку – 0.92–15.46 %; золоту – 0.32–39 г/т; серебру – 3.25–199.3 г/т).

По степени неравномерности распределения полезных компонентов ГПС могут быть отнесены к III группе месторождений суши с очень неравномерным распределением основных ценных компонентов. Не исключено, что при объемном изучении структуры и минерального состава скоплений ГПС мозаика неравномерности окажется более сложной и многокомпонентной.

По показателям текущего уровня изученности скопления ГПС не могут быть отнесены ни к одной из групп месторождений твердых полезных ископаемых по сложности геологического строения.

С учетом указанных особенностей сравнение рудного потенциала ГПС РРР может быть проведено только по прогнозным ресурсам соответствующих металлов (таблица 14).

Очевидно, что потенциал ГПС РРР уступает ЖМК и КМК, хотя полученные значения в некоторой степени условные. Вместе с тем, необходимо учесть, что на суше в рамках текущего периода изученности отсутствуют предпосылки наращивания сырьевого потенциала в объемах с уровнем потенциала ГПС. В частности, для наращивания сырьевого потенциала меди в объеме потенциала ГПС потребуется открытие крупного месторождения.

В пределах традиционных металлогенических провинций такое открытие маловероятно, если не сказать «исключено». Можно добавить, что за последние четверть века на территории России не оконтурена ни одна новая металлогеническая провинция, а в пределах традиционных провинций тренд открытий стремится к мелким месторождениям. Этот процесс объективный, поскольку, за редкими исключениями, крупные месторождения выявляются на ранних и средних

периодах геологического изучения металлогенических провинций и рудных районов (Оганесян, 2016; О состоянии и использовании..., 2011–2022).

### Заключение

Итогом проведенного анализа являются следующие положения, играющие принципиально важную роль для решения проблемы будущего освоения ТПИ Мирового океана:

- На суше не существует аналогов железо-марганцевых конкреций, кобальто-марганцевых корок и глубоководных полиметаллических сульфидов. Специфика океанских ТПИ проявлена в ряде их особенностей, в частности: в составе ЖМК и КМК основные полезные ископаемые не представлены собственными минералами, что исключает возможность их первичной переработки (обогащения) традиционными технологиями с целью получения дифференцированных по металлам концентратов; рудная масса ГПС представлена минералами соответствующих металлов с типичным для полиметаллических месторождений изоморфным содержанием золота и серебра, обогащение таких руд может сводиться к дифференциации общей рудной массы на отдельные минеральные составляющие.

- Своеобразие скоплений ЖМК, КМК и ГПС, выраженное, в том числе, отсутствием вмещающей лито-петрографической среды, однозначно указывает на невозможность применения традиционных разведочных методов к океаническим объектам. В частности, густота разведочной сети и объем опробования применительно к рудным объектам суши регламентируется комплексом природных особенностей. На этой основе определяется стадийность последовательных шагов их изучения, категоризация ресурсов и запасов. Распространение этих требований, их копирование применительно к объектам, не имеющим аналогов на суше и локализованных в водной среде, может оказаться неоправданным. В связи с этим сравниваемые показатели продуктивности по суше и океану могут иметь различные степени точности. Поэтому при сравнении минерально-сырьевого потенциала суши и Мирового океана необходимо данные по ресурсам и запасам привести к единой системе учета.

- Суммарный ресурсный потенциал десяти океанских провинций ЖМК не только сопоставим с долей основных металлов на суше, но и превышает его: по никелю – около 1.4 раза; по кобальту – более чем в 4 раза. По марганцу и меди потенциал ЖМК уступает потенциалу суши, но он тоже достаточно высокий и соответственно составляет 46.5 и 13.2 %. В ЖМК РРР сосредоточен внушительный объем марганца, никеля и кобальта. При этом потенциал России определен путем суммирования прогнозных ресурсов и подтвержденных запасов. Основная часть рудного потенциала КМК, как по рудной массе, так и по ресурсам металлов, сосредоточена в четырех провинциях Тихого океана. Такая четкая положительная корреляция обусловлена тем, что средние содержания металлов (Mn, Ni, Co) во всех провинциях укладываются в достаточно узкий интервал, а содержания металлов по традиционным месторождениям

суши варьируют в значительно более широких пределах. Российский разведочный район кобальтоносных марганцевых корок входит в состав рудной провинции КМК Магеллановых гор и его рудная масса составляет чуть более 6 % от массы провинции, а доля металлов, как в отдельности, так и по сумме. Сравнительная оценка рудного потенциала скоплений ГПС Мирового океана и суши затруднена в силу специфики их геологического расположения. Полезные компоненты ГПС РРР – медь, цинк, золото и серебро – в составе руд распределены весьма неравномерно: иногда пределы колебаний средних содержаний по рудным полям отличаются на 1–2 порядка. По показателям текущего уровня изученности скопления ГПС РРР не могут быть отнесены ни к одной из групп месторождений твердых полезных ископаемых по сложности геологического строения.

### Список литературы

1. *Бежанова М. П., Стругова Л. И.* Ресурсы, запасы, добыча, потребление и цены важнейших полезных ископаемых мира. М.: Из-во ВНИИЗарубежгеология, 2011. 144 с.
2. Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых Российской Федерации. Приказ МПР РФ от 11 декабря 2006 г. № 278 «Об утверждении Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых». 2006 г.
3. *Ставский А. П.* Минеральное сырье: от недр до рынка – цветные металлы. М.: Научный мир, 2011(а). 496 с. [info@mineral.ru](mailto:info@mineral.ru).
4. *Ставский А. П.* Минеральное сырье: от недр до рынка – благородные металлы и алмазы. М.: Научный мир, 2011(б). 397 с. [info@mineral.ru](mailto:info@mineral.ru).
5. Минеральные ресурсы Мира: статистика / Информационно-аналитический центр «Минерал». М.: Сам Полиграфист, 2013. 146 с.
6. *Оганесян Л. В.* Органическое единство науки и практики при системном геологическом изучении недр и воспроизводстве минерально-сырьевой базы // Минеральные ресурсы России: экономика и управление. № 5. 2016. С. 32–41.
7. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации // Государственные доклады за 2011–2021 гг. Из-во ФГБУ Всероссийского института минерального сырья им. Н. М. Федоровского. 2011–2021.

Статья поступила в редакцию 23.03.2023, одобрена к печати 13.06.2023.

**Для цитирования:** *Оганесян Л. В.* Сравнительный минерально-сырьевой потенциал твердых полезных ископаемых суши и Мирового океана // *Океанологические исследования*. 2023. № 51 (4). С. 35–51. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(4\).3](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(4).3).

## COMPARATIVE MINERAL RESOURCE POTENTIAL OF SOLID MINERALS OF THE LAND AND THE WORLD OCEAN

L. V. Oganessian

*All-Russian genealogical society,  
bld. 10, Roschinskaya 2ya str., Moscow, 115191, Russia,  
e-mail: oganessian@alliance-gr.com*

There are no analogues of the main types of ocean ores (IMN, CMC, DPS), taking into account their composition, conditions of occurrence and morphology of ore bodies on land. They represent new, industrial-genetic types of ore deposits. The degree of study of the IMN and CMC allows us to assess their ore potential between the categories of reserves  $C_1$  and  $C_2$ , and GPS between the forecast resources  $P_1$  and  $P_2$ . When assessing their resource potential, a new interval version of such categories was used.

**Keywords:** iron-manganese nodules, cobalt-rich manganese crusts, deep-sea polymetallic sulfides, mineral resource potential, ore region

### References

1. Bezhanova, M. P. and L. I. Strugova, 2011: *Resources, reserves, extraction, consumption and prices of the most important minerals of the world*. Moscow, Vnniizarubezhgeologiya, 144 p.
2. *Classification of reserves and forecast resources of solid minerals of the Russian Federation*. 2006. Order of the MPR of the Russian Federation, dated December 11, 2006, No. 278 “On approval of the Classification of Reserves and forecast resources of solid minerals”.
3. Stavsky, A. P., 2011: *Mineral raw materials: from the subsoil to the market – non-ferrous metals*. Moscow, Scientific world, 496 p., [info@mineral.ru](mailto:info@mineral.ru).
4. Stavsky, A. P., 2011: *Mineral raw materials: from the subsoil to the market – precious metals and diamonds*. Moscow, Scientific world, 397 p., [info@mineral.ru](mailto:info@mineral.ru).
5. *Mineral resources of the World: statistics*. Information and Analytical Center “Mineral”, Moscow, Polygraphist Himself, 2013, 146 p.
6. Oganessian, L. V., 2016: *Organic unity of science and practice in the systematic geological study of the subsoil and reproduction of the mineral resource base. “Mineral Resources of Russia: economics and management”*. **5**, 32–41.
7. *On the state and use of mineral resources of the Russian Federation*. In: State reports for 2011–2021. From the FSBI of the All-Russian Institute of Mineral Raw Materials named after N. M. Fedorovsky.

Submitted 23.03.2023, accepted 13.06.2023.

**For citation:** Oganessian, L. V., 2023: Comparative mineral resource potential of solid minerals of the land and the World Ocean. *Journal of Oceanological Research*, **51** (4), 35–51, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(4\).3](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(4).3).