

## Вклад учёных ЦНИГРИ в изучение геологии и рудоносности Мирового океана

Е.Г.МИРЛИН (Государственный геологический музей имени В.И.Вернадского РАН; 125009, г. Москва, Моховая ул., д. 11, стр. 11)

Мирлин Евгений Гилельевич  
доктор геолого-минералогических наук



egmmir@gmail.com

## TsNIGRI researcher contribution to the World ocean geology and ore potential study

E.G.MIRLIN (V.I.Vernadsky state geological Museum of the Russian Academy of Sciences)

Первые сведения о рудоносности Мирового океана были получены в конце XIX в. в экспедиции «Челленджера» (1872–1876 гг.). Тогда впервые со дна океана были подняты железо-марганцевые и фосфоритовые конкреции. Однако в то время эти находки не привлекли внимание геологов, что, впрочем, вполне объяснимо в силу ограниченности сведений о строении дна океана и океанской земной коры, а также отсутствия у человечества мотивации к расширению минерально-сырьевой базы. Ситуация кардинально стала меняться во второй половине XX в. Во-первых, многие государства мира столкнулись с ограниченностью минерально-сырьевых ресурсов, и во-вторых, благодаря успехам морской геологии и геофизики настал период пересмотра общепланетарных геотектонических моделей. Результатом широкого разворота исследований по изучению дна Мирового океана и глубинного строения его коры было создание новой глобальной геодинамической парадигмы – тектоники литосферных плит. Помимо этого, интенсификация исследований дна Мирового океана сопровождалась обнаружением многочисленных скоплений ряда металлических полезных ископаемых. Они представлены железо-марганцевыми конкрециями (ЖМК), кобальтоносными марганцевыми корками (КМК) и глубоководными полиметаллическими сульфидами (ГПС). Большинство скоплений океанских руд располагается в пределах международных вод Мирового океана, они объявлены общечеловеческим достоянием. Стало очевидным, что по мере отработки запасов и ресурсов на континентах настанет

эпоха освоения руд Мирового океана, причём тенденция эта будет иметь общепланетарный характер. Однако не менее очевидно, что её реализация на практике потребует решения совершенно новых задач с привлечением специалистов по различным научным дисциплинам и их тесного взаимодействия.

ЦНИГРИ как ведущий в стране институт в области рудогенеза не мог остаться в стороне от проблемы металлогении Мирового океана. Исходя из этого, в 1986 г. были начаты систематические исследования по геологии и твёрдым полезным ископаемым дна океана. Цель настоящей статьи – охарактеризовать вклад учёных института в рассматриваемую проблему и полученные ими научные результаты в рамках направлений, в которых проводились исследования. Эти направления охватывают все главные аспекты проблемы, то есть относятся к наиболее актуальным.

**Изучение строения земной коры и литосферы океанов.** Природу твёрдых полезных ископаемых океана невозможно понять вне знания о строении его земной коры и литосферы. В связи с этим отечественные специалисты объединений «Севморгеология» и «Южморгеология» в 1979–1994 гг. выполняли регулярные работы на трансокеанских геотраверзах, охватывающих основные структурные элементы дна океана. Учёные ЦНИГРИ в течение многих лет осуществляли комплексную интерпретацию полученных материалов (батиметрия, магнитометрия, гравиметрия, геологический пробоотбор). Под руководством Б.Д.Углова была разработана методология

количественной обработки огромного материала, полученного в океанских экспедициях и представленного в цифровой форме [19], причём в дальнейшем в анализ были включены данные спутниковой альтиметрии, что существенно расширило диапазон его возможностей. Прогрессивный комплексный подход к анализу разнообразных первичных данных позволил впервые в отечественной и мировой практике выделить разноранговые структурные элементы океанского дна, охарактеризовать строение их земной коры и оценить их геодинамическую значимость. Анализ карт и схем, построенных на основе количественного анализа, позволил выделить морфоструктурные элементы самого разного масштаба: от небольших по высоте подводных гор до крупных поднятий и обширных депрессий, от локальных тектонических нарушений до грандиозных по протяжённости трансформных разломов. В итоге получены результаты, чрезвычайно важные для познания структурной геологии глобальной системы срединно-океанских хребтов. В частности, было установлено, что тектоносфере Срединно-Атлантического хребта свойственна чётко выраженная асимметрия [4]. Последняя проявляется не только в рельефе дна и в геофизических полях, но и в глубинном строении земной коры, что, в свою очередь, указывает на асимметрию глубинной геодинамики этой глобальной морфоструктуры. Важнейший геодинамический параметр срединно-океанских хребтов – скорость спрединга, именно от него зависит морфотектонический облик этих глобальных структур литосферы. Благодаря детальному анализу материалов, полученных в рамках программы работ на океанских геотраверзах, и качественной интерпретации этих материалов было впервые показано, что интенсивность структурообразования нелинейным образом зависит от скорости разрастания дна [8, 9, 11]. Другой важной особенностью строения литосферы срединно-океанских хребтов является её разноранговая сегментация. На основе комплексного анализа морфотектонических и геофизических данных был выявлен феномен зональности в распределении разнопорядковых сегментов вдоль простирания срединно-океанских хребтов, и рассмотрено его геодинамическое значение [12, 14]. Все вновь полученные данные о строении и геодинамике срединно-океанских хребтов сыграли весьма важную роль для понимания условий возникновения гидротермальной циркуляции на их гребнях и связанного с ней рудогенеза.

Важнейшим результатом анализа геолого-геофизических данных в пределах Маскарено-Австралийского геотраверза в северной части Индийского океана явился вывод о широком развитии внутриплитных деформаций и внутриплитной тектономагмати-

ческой деятельности в пределах глубоководных котловин [10, 13, 15]. Тем самым было опровергнуто ранее существовавшее представление о тектономагматической пассивности океанской литосферы за пределами гребней срединно-океанских хребтов. Этот вывод имеет важное теоретическое значение для оценки выноса глубинного корового и мантийного вещества в воды океана, что, в свою очередь, служит своего рода отправной точкой для понимания природы скоплений кобальтоносных марганцевых корок и железо-марганцевых конкреций.

**Геологическое строение и эволюция активной зоны сочленения океан–континент западной части Тихого океана.** Возникновение большинства рифтогенных структур переходной зоны западной части Тихого океана связано с растяжением в тылу зон субдукции и расщеплением энсиматических, реже энсиалических островных дуг. При этом геолого-геофизические характеристики и морфотектонический облик рифтов существенно меняются по мере их эволюции. Весьма значимым итогом исследований геодинамики этого региона, выполненных в ЦНИГРИ, являются выделение разновозрастных рифтовых поясов, выявление особенностей развития рифтовых зон, а также закономерностей размещения гидротермальных рудопроявлений и углеводородов [8, 17]. Это стало возможным благодаря синтезу огромного объёма первичных данных в форме палеогеографических карт и их последующего анализа [2, 3]. Было показано, что по мере увеличения степени раскрытия и, соответственно, удаления областей магмаобразования от зоны субдукции внутридуговые рифты преобразуются в зоны задугового спрединга с новообразованной океанской корой. К иной группе относятся отдельные рифтогенные структуры или системы разнонаправленных рифтов, развивающиеся глубоко в тылу островных дуг, автономно от последних [1]. Сравнительный анализ раскрытия задуговых спрединговых и океанских бассейнов позволил выявить специфические черты отличия в их кинематике и геодинамике [8]. Важно подчеркнуть при этом, что для индикации тектонической и геодинамической обстановки широко привлекались данные по геохимии вулканогенных пород [17, 18].

**Сравнительное изучение рудогенеза современных и древних океанов.** Научным руководителем этого направления являлся А.И.Кривцов. Проведённая им сравнительная типизация обстановок современного океанского и древнего колчеданообразования показала, что большинство традиционно выделяемых типов месторождений формируется во вполне определённых геодинамических обстановках [5]. Однако в некоторых случаях с одной и той же обстановкой могут быть связаны рудные образования, значительно

отличающиеся друг от друга составом, размером и характером локализации [7, 16]. Кроме того, в океанских рифтах наблюдается отчётливая цикличность формирования рудных скоплений [17, 18]. По мере накопления новых данных о процессах океанского гидротермального и гидротермально-осадочного рудогенеза стало очевидным, что его изучение, сравнительные исследования современных и их древних аналогов составляют в совокупности крупную проблему современной геологии, имеющую как прикладной, так и фундаментальный аспекты. Прикладной аспект заключается в определении ресурсов глубоководных полиметаллических сульфидов в океанах и в выявлении критериев поисков новых колчеданных месторождений на континентах, а фундаментальный – в оценке теплового баланса планеты, изучении обмена веществом между тремя оболочками Земли (гидросферой, литосферой и биосферой). Учитывая масштаб проблемы, специалисты ЦНИГРИ выступили с инициативой издания специального сборника работ, посвящённых её различным аспектам. Он был издан в 1992 г. [6]. В сборнике приняли участие ведущие специалисты как Российской Академии наук, так и отраслевых институтов. Статьи охватывают все основные аспекты проблемы генезиса гидротермального рудогенеза в океанах и континентальных колчеданных руд. Время показало, что публикация сборника была полезной для широкого круга специалистов, интересующихся данной проблемой в целом либо одной из многих её сторон.

**Геолого-экономическая оценка различных видов твёрдых полезных ископаемых Мирового океана.** С момента открытия указанных трёх типов твёрдых полезных ископаемых Мирового океана стало очевидным, что они представляют весьма значительный научный интерес. Однако насколько целесообразно их экономическое освоение? Разумеется, полноценный ответ на этот вопрос может быть получен, когда станет возможным прояснить многие технико-технологические аспекты: подъём с больших глубин ЖМК, КМК, ГПС, их транспортировка, переработка, сохранение биоценозов пелагиали в процессе добычи и др. В связи с этим в исследованиях по экономическому аспекту освоения ЖМК, КМК и ГПС основной акцент был сделан на оценках прогнозных ресурсов этих трёх типов ТПИ [1, 20]. Разумеется, по мере поступления новых данных эти оценки, скорее всего, будут меняться. Что касается ЖМК, то коммерческий интерес связан с конкрециями, содержащими в сумме никеля, меди и кобальта не менее 1,8% в никелевом эквиваленте (1 часть никеля+0,5 части меди+1 часть кобальта) при минимальной весовой концентрации ЖМК 10 кг/м<sup>2</sup>. Поля конкреций с такими концентрациями сосре-

доточены преимущественно в зоне Кларион-Клиппертон (Тихий океан). Общие прогнозные ресурсы этой рудной провинции составляют 9224 млн. т руды (кобальт 20,7, никель 120,3, марганец 2566,8, медь 95,5 млн. т). Именно в пределах этой провинции Российской Федерации выделен район распространения ЖМК площадью 75 тыс. км<sup>2</sup>. Прогнозные ресурсы руды в его пределах оцениваются в 472 млн. т.

В отличие от ЖМК, практически все скопления кобальтоносных марганцевых корок (толщина рудной составляющей более 1 см) сосредоточены на подводных горах вулканической природы, многие из которых расположены в экономических зонах ряда государств. Интересы России в области освоения КМК можно связать, в первую очередь, с вулканическими поднятиями в западном и северо-западном секторах Тихого океана. Общие прогнозные ресурсы КМК, сопряжённых с Магеллановыми горами, поднятиями Маркус-Уэйк и Уэйк-Неккер, а также с Маршалловыми островами, составляют 1842 млн. т сухой руды, в том числе 10036 кобальта. В то же время проведение поисково-разведочных работ, скорее всего, будет сосредоточено лишь на ограниченном числе подводных гор.

Прогнозные ресурсы ГПС в рифтовых зонах Тихого океана (северный сектор Восточно-Тихоокеанского поднятия) могут составлять около 360 млн. т руды. Примерно 140 млн. т может быть выявлено в пределах Южно-Тихоокеанского поднятия, которое, тем не менее, весьма мало изучено. Согласно ограниченному числу анализов, глубоководные сульфиды Тихого океана имеют преимущественно медно-цинковую специализацию. В рифтах Атлантического океана количество выявленных рудопроявлений меньше, по этой причине самые предварительные подсчёты прогнозных ресурсов ГПС дают величину около 530 млн. т. В то же время подчёркивается ограниченный характер проведённых оценок, поскольку значительное количество рудных скоплений может быть обнаружено при более детальных исследованиях гребня хребта.

В качестве заключения упомянем следующее весьма важное событие, произошедшее в 2001 г., когда Россия получила от Международного органа по морскому дну (МОМД) контракт на проведение в течение 15 лет геологоразведочных работ на железомарганцевые конкреции в разведочном районе в пределах обширной рудной провинции Кларион-Клиппертон (центральная часть Тихого океана). Кроме того, наша страна имеет контрактное право на проведение работ по рудным скоплениям кобальт-марганцевых корок и глубоководных сульфидных руд. Несомненно, что подача заявки в Международный орган и её одобрение были невозможны без той работы,

которую проделало отечественное научное сообщество, включая как отраслевые институты, так и институты РАН. Даже краткое изложение научных результатов, полученных учёными ЦНИГРИ в рамках данной проблемы, убедительно показывает, что их вклад в осуществление указанного события весьма значителен.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорина Ю.Г., Востоков Е.Н., Ельянова Е.А., Родникова Р.Д. Нефтегазосность и гидротермальные рудопроявления рифтовых систем юго-западной части Тихого океана. – М.: ВИЭМС, 1989.
2. Зорина Ю.Г., Марков Ю.Д., Николаева Н.А., Родникова Р.Д. Моря Южно-Китайское, Восточно-Китайское и Желтое // Атлас палеогеографических карт. Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое. – Лондон, 1991. – Т. 17. – С. 6.1–6.12.
3. Зорина Ю.Г., Родникова Р.Д. Южно-Китайское море и шельф Юго-Восточной Азии // Атлас палеогеографических карт. Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое. – Лондон, 1991. – Т. 2. – С. 6.1–6.5.
4. Комарова О.И., Мирлин Е.Г., Углов Б.Д. Асимметрия тектоносферы Срединно-Атлантического хребта в пределах Анголо-Бразильского геотраверза // Доклады АН СССР. – 1993. – Т. 333. – № 5. – С. 638–641.
5. Кривцов А.И. Обстановки и условия древнего и современного колчеданообразования // Геология рудных месторождений. – 1987. – № 3. – С. 3–17.
6. Металлогения современных и древних океанов // Под ред. Е.Г.Мирлина. – М.: НТК «ГЕОЭКСПЕРТ», 1992. – 202 с.
7. Мирлин Е.Г., Ельянова Е.А. Океанский рудогенез // Советская геология. – 1990. – № 6. – С. 15–21.
8. Мирлин Е.Г., Зорина Ю.Г. Раскрытие океанских и окраинных спрединговых бассейнов: сравнительный анализ // Геотектоника. – 1992. – № 1. – С. 21–33.
9. Мирлин Е.Г., Комарова О.И. Цикличность океанского рудогенеза // Советская геология. – 1991. – № 10. – С. 58–67.
10. Мирлин Е.Г., Лейбов М.Б., Углов Б.Д. Внутриплитная тектономагматическая активность в Западно-Австралийской котловине Индийского океана // Доклады АН СССР. – 1992. – Т. 334. – № 5. – С. 1064–1068.
11. Мирлин Е.Г., Пшенина И.А. О нелинейной зависимости интенсивности структурообразования от скорости спрединга в рифтовых зонах океана // Доклады АН СССР. – 1989. – Т. 304. – № 6. – С. 1423–1427.
12. Мирлин Е.Г., Пшенина И.А. Опыт количественной оценки интенсивности вулканизма и структурообразования в зонах спрединга // Геотектоника. – 1989. – № 3. – С. 26–36.
13. Мирлин Е.Г., Пшенина И.А., Сивуха Н.М. Внутриплитовые деформации литосферы в Западно-Австралийской котловине Индийского океана // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 310. – № 2. – С. 414–418.
14. Мирлин Е.Г., Синева Е.М. Зональность сегментации срединно-океанических хребтов и ее геодинамическое значение // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 313. – № 3. – С. 665–670.
15. Мирлин Е.Г., Углов Б.Д., Лейбов М.Б. Плотностные и магнитные неоднородности литосферы в зоне внутриплитных деформаций Индийского океана // Руды и металлы. – 1992. – С. 19–24.
16. Миронов Ю.В. Соотношение титана и калия в базальтах как индикатор тектонической обстановки // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 314. – № 6. – С. 1484–1487.
17. Миронов Ю.В., Зорина Ю.Г. Эволюция вулканизма рифтогенных структур окраинных морей Западно-Тихоокеанской переходной зоны // Геотектоника. – 1994. – № 4. – С. 15–26.
18. Миронов Ю.В., Зорина Ю.Г., Панеско Т.М. Эволюционные ряды колчеданосных вулканогенных формаций // Руды и металлы. – 1994. – № 3–5. – С. 9–18.
19. Углов Б.Д., Болотов Л.А., Былинский Е.Н. и др. Изучение геологии и рудоносности Мирового океана – вклад ЦНИГРИ // Отечественная геология. – 1995. – № 3. – С. 66–76.
20. Улицкий Ю.А., Былинский Е.Н. Предварительная оценка прогнозных ресурсов кобальтоносных корок Мирового океана // Научно-технические достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр. – М., 1993. – № 5. – С. 57–67.

#### REFERENCES

1. Zorina Yu.G., Vostokov Ye.N., Yel'yanova Ye.A., Rodnikova R.D. Neftegazonosnost' i gidrotermal'nyye rudoproyavleniya riftovykh sistem yugo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana [Oil and gas potential and hydrothermal ore occurrences of rift systems in the southwestern Pacific Ocean]. Moskva, VIEMS publ. 1989.
2. Zorina Yu.G., Markov YU.D., Nikolayeva N.A., Rodnikova R.D. Morya Yuzhno-Kitayskoye, Vostochno-Kitayskoye i Zheltoye [Seas South China, East China and Yellow]. Atlas paleogeograficheskikh kart. Shel'fy Yevrazii v mezozoye i kaynozoye. London. 1991. V. 17. P. 6.1–6.12.
3. Zorina Yu.G., Rodnikova R.D. Yuzhno-Kitayskoye more i shel'f Yugo-Vostochnoy Azii [The South China Sea and the shelf of Southeast Asia]. Atlas paleogeograficheskikh kart. Shel'fy Yevrazii v mezozoye i kaynozoye. London. 1991. V. 2. P. 6.1–6.5.

4. Komarova O.I., Mirlin Ye.G., Uglov B.D. Asimetriya tektonosfery Sredinno-Atlanticheskogo khrebtva v predelakh Angolo-Brazil'skogo geotraverza [Asymmetry of the tectonosphere of the Mid-Atlantic Range within the Angola-Brazilian geotraverse]. Doklady AN SSSR. 1993. V. 333. No. 5, P. 638–641.
5. Krivtsov A.I. Obstanovki i usloviya drevnego i sovremenogo kolchedanoobrazovaniya [Situation and conditions of ancient and modern pyritic formation]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy. 1987. No. 3. P. 3–17.
6. Metallogeniya sovremennykh i drevnykh okeanov [Metallogeny of modern and ancient oceans]. Pod red. Ye.G.Mirlina. Moscow, NTK GEOEKSPERT publ. 1992. 202 P.
7. Mirlin Ye.G., Yel'yanova Ye.A. Okeanskiy rudogenez [Ocean ore genesis]. Sovetskaya geologiya. 1990. No. 6. P. 15–21.
8. Mirlin Ye.G., Zorina Yu.G. Raskrytiye okeanskikh i okrainnykh spredingovykh basseynov: sravnitel'nyy analiz [Disclosure of oceanic and marginal spreading basins: a comparative analysis]. Geotektonika. 1992. No. 1. P. 21–33.
9. Mirlin Ye.G., Komarova O.I. Tsiklichnost' okeanskogo rudogeneza [Cyclic Ocean Ore Genesis]. Sovetskaya geologiya. 1991. No. 10. P. 58–67.
10. Mirlin Ye.G., Leybov M.B., Uglov B.D. Vnutriplitnaya tektonomagmaticheskaya aktivnost' v Zapadno-Avstraliyskoy kotlovine Indiyaskogo okeana [Intraplate tectonomagmatic activity in the West Australian basin of the Indian Ocean]. Doklady AN SSSR. 1992. V. 334, No. 5, P. 1064–1068.
11. Mirlin Ye.G., Pshenina I.A. O nelineynoy zavisimosti intensivnosti strukturoobrazovaniya ot skorosti spredinga v riftovykh zonakh okeana [On the nonlinear dependence of the intensity of structure formation on the spreading rate in the rift zones of the ocean]. Doklady AN SSSR. 1989. V. 304, No. 6, P. 1423–1427.
12. Mirlin Ye.G., Pshenina I.A. Opyt kolichestvennoy otsenki intensivnosti vulkanizma i strukturoobrazovaniya v zonakh spredinga [The experience of quantifying the intensity of volcanism and structure formation in spreading zones]. Geotektonika. 1989. No. 3. P. 26–36.
13. Mirlin Ye.G., Pshenina I.A., Sivukha N.M. Vnutriplitnyye deformatsii litosfery v Zapadno-Avstraliyskoy kotlovine Indiyaskogo okeana [Intraplate deformations of the lithosphere in the West Australian Basin of the Indian Ocean]. Doklady AN SSSR, 1990. V. 310, No. 2, P. 414–418.
14. Mirlin Ye.G., Sineva Ye.M. Zonal'nost' segmentatsii sredinno-okeanicheskikh khrebtov i yeye geodinamicheskoye znachenie [The zoning of segmentation of mid-ocean ridges and its geodynamic significance]. Doklady AN SSSR, 1990. V. 313, No. 3, P. 665–670.
15. Mirlin Ye.G., Uglov B.D., Leybov M.B. Plotnostnyye i magnitnyye neodnorodnosti litosfery v zone vnutriplitnykh deformatsiy Indiyaskogo okeana [Density and magnetic heterogeneities of the lithosphere in the zone of intraplate deformations of the Indian Ocean]. Rudy i metally. 1992. P. 19–24.
16. Mironov Yu.V. Sootnosheniye titana i kaliya v bazal'takh kak indikator tektonicheskoy obstanovki [The ratio of titanium and potassium in basalts as an indicator of tectonic conditions]. Doklady AN SSSR. 1990. V. 314. No. 6. P. 1484–1487.
17. Mironov Yu.V., Zorina Yu.G. Evolyutsiya vulkanizma riftogennykh struktur okrainnykh morey Zapadno-Tikhookeanskoj perekhodnoy zony [Volcanism evolution of riftogenic structures of marginal seas of the West Pacific transition zone]. Geotektonika. 1994. No. 4. P. 15–26.
18. Mironov Yu.V., Zorina Yu.G., Papesko T.M. Evolyutsionnyye ryady kolchedanonosnykh vulkanogennykh formatsiy [Evolutionary series of pyritiferous volcanogenic formations]. Rudy i metally. 1994. No. 3–5. P. 9–18.
19. Uglov B.D., Bolotov L.A., Bylinskiy Ye.N. et. al. Izucheniye geologii i rudonosnosti Mirovogo okeana - vklad TSNIGRI [The study of the geology and ore content of the oceans – the contribution of TsNIGRI]. Otechestvennaya geologiya. 1995. No. 3. P. 66–76.
20. Ulitskiy Yu.A., Bylinskiy Ye.N. Predvaritel'naya otsenka prognoznykh resursov kobal'tonosnykh korok Mirovogo okeana [A preliminary assessment of the forecast resources of cobalt-rich crusts of the oceans]. Nauchno-tekhn. Dostizheniya i peredovoy opyt v oblasti geologii i razvedki neдр. M. 1993. No. 5. P. 57–67.