

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ДВГИ ДВО РАН



Д-р М.Н. И.А. Тарасенко

" 26 " января 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения
Российской академии наук
(ДВГИ ДВО РАН)

Диссертация «Железомарганцевые корки северной части Тихого океана и прилегающих дальневосточных морей: строение, состав и условия формирования» выполнена в лаборатории «Региональной геологии и тектоники» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук.

В период подготовки диссертации соискатель Михайлик Павел Евгеньевич работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Дальневосточном геологическом институте Дальневосточного отделения Российской академии наук в лаборатории «Региональной геологии и тектоники» в должности старшего научного сотрудника.

Окончил с отличием в 2004 году Дальневосточный государственный технический университет (ДВГПИ им. В.В. Куйбышева) по специальности «Геологическая съемка и поиски месторождений полезных ископаемых», получив квалификацию горный инженер-геолог. Диплом кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения (серия ДКН № 102384) выдан 12 февраля 2010 г. по решению диссертационного совета Д. 005.006.01 при Дальневосточном геологическом институте Дальневосточного отделения Российской академии наук от 5 июня 2009 г. № 36.

Научный консультант – доктор геолого-минералогических наук, академик РАН Ханчук Александр Иванович работает в должности научного руководителя Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Материалы диссертации представлены соискателем на заседании Ученого совета ДВГИ ДВО РАН 25 января 2024 г.

По итогам обсуждения принято следующее заключение: диссертационное исследование Михайлика П.Е. выполнено по актуальной тематике и основной целью работы является изучение строения, состава и определения условий формирования железомарганцевых корок северной части Тихого океана и прилегающих дальневосточных окраинных морей, а также оценка перспектив их практического использования. Работа выполнена на современном научном и методическом уровнях.

1. Актуальность темы

В настоящее время Россия ограничена собственной марганцевой ресурсной базой. Наиболее востребованные в экономике черные металлы (Mn, Cr, Ti), цветные металлы (Cu, Ni, Co, Pb, Mo, W, Sn, Sb), редкие и рассеянные металлы и полуметаллы (Zr, Ta, Nb, Be, Y, Sc, Li, Ge, Re, Bi, Cd, Se, Ga, Tl, Re, Sc, Hf), а также благородные металлы (Au, Ag и платиноиды) имеют ограниченные континентальные ресурсы (Бортников и др., 2016). Эти причины побуждают исследователей к поиску новых источников высокотехнологичных элементов. Одним из источников таких металлов, имеющих потенциальное практическое значение, являются морские железомарганцевые образования (ЖМО), среди которых наиболее ценными являются железомарганцевые конкреции (ЖМК) и кобальтобогатые железомарганцевые корки (КМК) (Кобальтобогатые руды..., 2002; Hein et al., 2013; 2015a; Petersen et al., 2016 и мн. др.). По запасам таких стратегических элементов, как Mn, Ni, Mo, Co, Bi, Y, Te, океанические руды не уступают, а порой существенно превосходят континентальные (Андреев и др., 2006; Hein et al., 2013).

С 2000 года были возобновлены геологоразведочные работы в пределах российских разведочных районов в приэкваториальной части Тихого океана на ЖМК (рудная провинция Клариян-Клиппретон, ресурсный потенциал 580 млн т сухой руды) и КМК (Магеллановы горы, ресурсный потенциал 350 млн т рудной массы) (Андреев, Бабаева, 2014). Изучение рудных образований этих районов проводилось по стандартной методике определения концентраций главных рудных металлов (Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo) в валовых пробах. Однако сведения по содержанию редких и рассеянных элементов единичны. Строение и состав ЖМО на обширной части дна Тихого океана исследованы слабо, а в его северном сегменте практически не изучены (Petersen et al., 2016). Определение источников стратегических металлов в основных минеральных компонентах ЖМО помогут понять природу их образования и механизм накопления. Результаты исследований явятся основой для разработки технологий их извлечения из общей рудной массы.

Исследование вещественного состава ЖМО методом последовательного селективного извлечения элементов имеет научную значимость для расшифровки особенностей металлогенической зональности дна Тихого океана, ранее установленной отечественными и зарубежными исследователями (Страхов, 1968; Мери, 1969; Скорнякова, Андрущенко,

1976; Железо-марганцевые..., 1976; Кронен, 1982; Железо-марганцевые..., 1986; Батулин, 1986; Богданов и др., 1990; Батулин, 1993; Андреев, Аникеева, 1993; Андреев, 1994; Кобальтбогатые..., 2002; Мельников, 2005 и мн. др.). Такой подход позволит более корректно охарактеризовать факторы и механизмы накопления высокотехнологичных металлов в ЖМО и оценить их роль в повышении качества руды; поспособствует решению вопросов генезиса и специфики состава ЖМО, предстоящему их освоению в пределах существующих заявочных участков России в Тихом океане, а также прогнозу и поиску новых областей распространения ЖМО, в частности КМК.

2. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Личный вклад автора включает выбор темы диссертационного исследования, постановку цели и формулирование задач работы. Часть результатов, изложенных в работе, получены автором совместно с научными сотрудниками лаборатории геохимии и лаборатории микро- и наноисследований ДВГИ ДВО РАН, а также сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и Всероссийского научно-исследовательского института геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга. Автор лично принимал участие в научных морских экспедициях, в которых производил отбор проб железомарганцевых корок. В работах по изучению отдельных минеральных компонент железомарганцевых корок автор лично принимал участие в оптимизации алгоритмов последовательного селективного растворения и рационального извлечения элементов. Обработка и интерпретация полученных экспериментальных данных, касающихся распределения широкого спектра химических элементов по минеральным составляющим железомарганцевых корок, проведена непосредственно автором. В работах по изучению регионального разнообразия вещественного состава железомарганцевых корок автор лично получил значительный объём соответствующих данных, позволивших провести сравнение своего фактического материала с кобальт-марганцевыми рудами Российского разведочного района в пределах западного звена Магеллановых гор (Тихий океан). Обсуждение данных и подготовка публикаций по результатам исследований выполнялась совместно с сотрудниками ДВГИ ДВО РАН, Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва), ВНИИОкеангеологии (Санкт-Петербург), Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск), Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский) и Южморгеологии (Геленджик).

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность результатов обеспечена применением прецизионных методов изучения вещественного состава железомарганцевых корок, математической обработки и анализа экспериментально полученных данных; применением новейших высокочистых реактивов и точных методов измерения концентраций элементов в образцах железомарганцевых корок; использованием международных стандартных образцов для калибровки измерений химического и минерального составов. Результаты исследований опробованы при реализации проектов РНФ и РФФИ; отражены в докладах на международных, российских конференциях, а также в публикациях в рецензируемых периодических изданиях.

4. Научная новизна результатов

Автором впервые изучены малоизвестные железомарганцевые корки высокоширотных областей Тихого океана: разломных зон Амлия, Рат и Стейлмейт, окаймляющих Алеутский глубоководный желоб, и гайотов северной части Императорского хребта (Детройт, Ханзей и Сьюзей). Выявлено наличие мощного «антрацитового» слоя с низким содержанием фосфора, а также установлена благороднометальная минерализация в корках гайота Детройт. Особенностью строения железомарганцевых корок северных областей является отсутствие «пористого» миоценового слоя, который повсеместно распространен в корках тропических областей Тихого океана. Это указывает на различные условия формирования корок в миоцене в пределах разных широт Тихого океана.

Прежние результаты изучения связи рудных (Mn, Fe, Cu, Co, Ni, Zn) и других химических элементов с аутигенной и аллотигенной составляющими ЖМК в экваториальной Пацифики (Железо-марганцевые..., 1986) получены по устаревшей методике, использующей обработку валовых проб органическими и/или минеральными реагентами, которые приводили к одновременному разрушению как марганцевых, так и железистых минералов, а также экстракции в эти вытяжки легкорастворимых форм элементов карбонатной фазы. Это не способствовало точной оценке спектра и содержания элементов, связанных с оксидами и гидроксидами Mn и Fe – основными сорбентами металлов в водородных ЖМО. В отличие от предшественников, автором в данной работе использована усовершенствованная методика выделения и углубленного изучения отдельных минеральных компонент ЖМО (Михайлик и др., 2014; 2015; 2017; 2022; 2023).

При однотипном минеральном составе водородных корок (вернадит) тропических и северных широт установлены значительные отличия в концентрации химических элементов, в их валовом и компонентном составе. Проведено доизучение вскрытой в 55-м рейсе НИС «Гломар Челленджер» (Initial reports..., 1977; Karpoff et al., 1980) 8,5 метровой гравийно-щебневой

рыхлой толщи ЖМО, которая идентифицирована как новый генетический тип океанских месторождений твердых полезных ископаемых – делювиальная петрогенная железомарганцевая россыпь ближнего сноса (Mikhailik et al., 2019б). Морфология фрагментов железомарганцевых корок в северной части Тихого океана указывает на разрушение основных корковых залежей, что при благоприятных ландшафтно-географических условиях может приводить к аккумуляции разрушенного железомарганцевого материала с формированием железомарганцевых океанских россыпей.

Наличие кондиционных по толщине и содержанию рудных элементов железомарганцевых корок в пределах гайотов и разломных зон северной Пацифики увеличивает перспективные площади распространения железомарганцевой минерализации, что может быть основанием для расширения работ по изучению этого вида сырья в пределах северной Пацифики.

Охарактеризованы распространение, геологическое положение, минеральный и химический состав гидрогенных и гидротермальных Fe-Mn корок в окраинно-морских и островодужных бассейнах, прилегающих к российской территории. Выявлены их металлогенетические различия и оценены возможности практического использования. Наблюдения автора показывают, что объемы гидрогенных железомарганцевых корок в дальневосточных окраинных морях и островных дугах могут быть также значительными.

5. Научная и практическая значимость.

Результатами данного исследования являются усовершенствованные и аргументированные теоретические положения, методы морских исследований глубоководных твердых полезных ископаемых Мирового океана. Совокупность этих результатов можно квалифицировать как научное направление, связанное с выявлением закономерностей распространения железомарганцевой минерализации в пределах северных областей Тихоокеанского региона, считавшихся ранее малоперспективными. Выполненные работы направлены на решение важной задачи - увеличение минерально-сырьевой базы России и обеспечение технологического суверенитета страны.

Обнаружение на подводных горах и гайотах северной Пацифики кондиционных гидрогенных железомарганцевых корок, по вещественному составу близких КМК гайотов Российского разведочного района в пределах Магеллановых гор, свидетельствует о перспективности международного сегмента северной части Тихого океана на данный вид минерального сырья. Результаты работы являются значимыми для Российской Федерации и могут быть использованы для дальнейшего экономического, социального, а также научного развития страны в целом и Дальневосточного федерального округа в частности. Новые данные о вещественном составе Fe-Mn корок могут быть использованы при отработке промышленной технологии извлечения металлов и оценке перспектив железомарганцевого оруденения в изученных

акваториях. Итоги проведенных исследований будут использованы для дополнения существующих представлений о морском железомарганцевом рудогенезе. Автором показано, что формирование валового вещественного состава железомарганцевых корок подводных гор и гайотов открытой части Тихого океана подвержено влиянию вулcano-тектонических активизаций Тихоокеанской плиты и зависит от географического положения подводной структуры, несущей железомарганцевое оруденение.

6. Соответствие содержания диссертации паспорту специальности, по которой она рекомендуется к защите.

Содержание диссертации соответствует научной специальности 1.6.10 - «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» (геолого-минералогические науки) по следующим направлениям исследования: условия образования месторождений твердых полезных ископаемых: структуры и текстуры руд, их происхождение и генетическое значение (п. 1 паспорта специальности); закономерности размещения месторождений; металлогения и минерагения (п. 3 паспорта специальности); прогнозирование, поиски, разведка и геолого-экономическая оценка месторождений (п. 4 паспорта специальности).

7. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основное содержание диссертации достаточно полно изложено в 32-х публикациях в ведущих рецензируемых зарубежных и российских научных журналах, 25 из них включены в Перечень ВАК, 7 публикаций в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и/или Scopus:

Статьи

1. **Михайлик П.Е.**, Деркачев А.Н., Чудаев О.В., Зарубина Н.В. Железомарганцевые корки подводных возвышенностей трога Кашеварова (Охотское море) // Тихоокеанская геология. 2009. Т.28, № 1. С. 32-43.
2. **Михайлик П.Е.**, Ханчук А.И. Железомарганцевые корки с подводных вулканов задуговых бассейнов – новый генетический тип месторождений галлия // Доклады Академии наук. 2011. Т. 439, №4. С. 520-522
3. **Михайлик П.Е.**, Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Иванов М.В., Еловский Е.В., Мельников М.Е. Новые данные о концентрации ртути в железомарганцевых корках с подводных гор северо-западной Пацифики // Доклады Академии наук. 2012. Т. 447. № 5. С. 546-551.

4. Михайлик Е.В., Ханчук А.И., **Михайлик П.Е.**, Баринов Н.Н., Зарубина Н.В. Первая находка видимого золота в железомарганцевых корках Тихого океана // Доклады Академии наук. 2013. Т. 449, №5. С. 574-578.
5. **Михайлик П.Е.**, Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Баринов Н.Н., Съедин В.Е., Леликов Е.П. Вещественный состав и распределение РЗЭ в железомарганцевых корках подводных возвышенностей Беляевского и Медведева (Японское море) // Тихоокеанская геология. 2014. № 3. С. 3-16.
6. **Михайлик П.Е.**, Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Блохин М.Г. Новые данные о распределении редкоземельных элементов и иттрия в гидротермально-осадочных Fe-Mn корках Японского моря по результатам фазового анализа // ДАН. 2014. Т. 454, №3. С. 322-327.
7. **Михайлик П.Е.**, Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Баринов Н.Н., Зарубина Н.В. Самородное золото в железомарганцевых корках гайота Детройт (Императорский хребет, Тихий океан) // Вестник ДВО РАН. 2014. №4. С. 13-24.
8. Зарубина Н.В., Блохин М.Г., **Михайлик П.Е.**, Сегренев А.С. Определение элементного состава стандартных образцов железомарганцевых образований методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Стандартные образцы. 2014. № 3. С. 33-44.
9. **Михайлик П.Е.**, Михайлик Е.В., Блохин М.Г., Зарубина Н.В. Источники галлия в железомарганцевых корках Японского моря // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, №8. С. 1456-1472.
10. Ханчук А.И., **Михайлик П.Е.**, Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Блохин М.Г. Особенности распределения редкоземельных элементов и иттрия в минеральных фазах железомарганцевой корки гайота Детройт, Тихий океан // Доклады Академии наук. 2015. Т.465, №4. С. 479-483.
11. **Михайлик П.Е.**, Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Блохин М.Г. Распределение редкоземельных элементов и иттрия в гидротермально-осадочных железомарганцевых корках Японского моря по результатам фазового анализа // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. С. 1928-1943.
12. **Михайлик П.Е.**, Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Иванов М.В., Рашидов В.А., Зарубина Н.В., Блохин М.Г., Баринов Н.Н., Плетнев С.П. Аномально высокое содержание ртути в гидротермальных железомарганцевых корках гайота Сет (СЗ Пацифика) // Геология и геофизика. 2018. Т. 59, № 3. С. 275-285.
13. Иванова Ю.М., **Михайлик П.Е.**, Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Блохин М.Г. Вещественный состав и условия формирования железомарганцевых корок хребта Зонне (Курильская котловина, Охотское море) // Геология и геофизика. 2019. Т. 60, №9. С. 1292-1309.
14. Волохин Ю.Г., Ханчук А.И., **Михайлик П.Е.**, Михайлик Е.В. Минеральный состав марганцевых корок вулкана Беляевского (Японское море) // Доклады Российской АН. Науки о Земле. 2020. Т. 491, №2. С. 31-36.

15. Волохин Ю.Г., **Михайлик П.Е.**, Михайлик Е.В. Минералы в марганцевых образованиях вулкана Беляевского (Японское море) // Тихоокеанская геология. 2020. Т.39, №4. С. 53-76.
16. Савельев Д.П., Ханчук А.И., Савельева О.Л., Москалёва С.В., **Михайлик П.Е.** Первая находка платины в космогенных сферулах железомарганцевых корок (гайот Федорова, Магеллановы горы, Тихий океан) // Доклады Российской АН. Науки о Земле. 2020. Т. 491, №2. С. 15-19.
17. **Михайлик П.Е.**, Вишневская И.А., Михайлик Е.В., Блохин М.Г., Червяковская М.В., Рашидов В.А., Жэнь С. Генезис и изотопный состав Nd железомарганцевых образований Охотского моря и Курильской островной дуги // Геология и геофизика. 2021. Т. 62, № 9. С. 1309-1326.
18. Константинова Н.П., Ханчук А.И., **Михайлик П.Е.**, Сколотнев С.Г., Иванова Е.В., Бич А.С., Черкашев Г.А. Новые данные о составе железомарганцевых корок разлома Долдрамс, центральная Атлантика // Доклады Российской академии наук. Науки о земле. 2021. Т.496, № 2. С. 1-5.
19. Иванов В.В., Ханчук А.И., **Михайлик П.Е.** Природа самородного золота в железомарганцевых корках северо-западной части Тихого океана // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 497. № 1. С. 44–48.
20. **Михайлик П.Е.**, Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Рашидов В.А. Распределение химических элементов в минеральных фазах железомарганцевых корок С-З Пацифики // Доклады Российской АН. Науки о Земле. 2022. Т. 504, №1. С. 34-40.
21. **Михайлик П.Е.**, Ханчук А.И., Волохин Ю.Г., Михайлик Е.В. Железомарганцевые образования зон разломов Кларион и Сикейрос, С-В Пацифика // Доклады Российской АН. Науки о Земле. 2020а. Т. 503, №2. С. 97-104.
22. **Михайлик П.Е.**, Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Рашидов В.А., Савельев Д.П., Зарубина Н.В. Железомарганцевые корки северной Пацифики // Тихоокеанская геология. 2023. Т. 42, №2. С. 3-35.
23. **Михайлик П.Е.**, Вишневская И.А., Михайлик Е.В., Рашидов В.А., Савельев Д.П., Солошенко Н.Г. Изотопный состав Sr и Nd гидrogenных железомарганцевых корок северной пацифики // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 2. С. 7-21.
24. Блохин М.Г., Зарубина Н.В., Иванов В.В., **Михайлик П.Е.** Экстракционно-атомно-абсорбционное определение золота в морских железомарганцевых образованиях после его концентрирования дибутилсульфидом в толуоле // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 1. С.19-29.
25. **Mikhailik P.E.** Ferromanganese crusts of submarine Belyaevsky and Medvedev volcanoes from the Sea of Japan // Water-Rock Interaction. Bullen & Wang (eds). London: Taylor & Francis Group. 2007. P. 523–526.

26. Konstantinova, N., Hein, J.R., Gartman, A., Mizell, K., Barrulas, P., Cherkashov, G., **Mikhailik, P.**, Khanchuk, A. Mineral phase-element associations based on sequential leaching of ferromanganese crusts, Amerasia Basin Arctic Ocean // Minerals. 2018. V. 8, 460.
27. **Mikhailik P.E.**, Khanchuk A.I., Mikhailik E.V., Zarubina N.V., Blokhin M.G. Compositional Variations and Genesis of Sandy-Gravel Ferromanganese Deposits from the Yomei Guyot (Holes 431, 431A DSDP), Emperor Ridge // Minerals. 2019. 9, 709.
28. **Mikhailik P.**, Mikhailik E., Ivanov V. Gold in Ferromanganese Deposits from the NW Pacific // Minerals. 2021. V. 11, 979.
29. Blokhin, M., Zarubina, N., **Mikhailik, P.**, Elovskiy, E., Ivanova, Y., González, F.J. and Somoza, L. Discriminating formation and accumulation processes of some strategic metals in Fe-Mn deposits of the Atlantic Ocean // World Journal of Engineering. 2021. V. 18, N 3, pp. 416-425.
30. Blokhin M.G., Zarubina N.V., Ivanova Yu.M., **Mikhailik P.E.**, Ivanov V.V. Stepwise Selective Leaching of the Marine Ferromanganese Formations for Determining Their Phase Composition: Experience of the Technique Application in the Shared Research Facilities of FEGI FEB RAS // Geodynamics & Tectonophysics. 2022. 13 (2s), 0598.
31. Yi L.; Li Y., **Mikhailik P.**, Qi Y., Deng C. Magnetic and geochemical scanning reveals growth history of marine ferromanganese crust on Detroit Seamount, Northwest Pacific since the Early Miocene // Quaternary International. 2023. Vol. 671. P. 52-61.
32. **Mikhailik P.**, Vishnevskaya, I., Yi L., Soloshenko N., Pellinen V. Sr and Nd Isotopes in Mineral Fractions of Ferromanganese Crusts from the Northernmost Pacific // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. V. 11, 1920.

8. Апробация результатов.

Исследования по теме диссертации выполнялись в рамках планов НИР ДВГИ ДВО РАН, проектов ДВО РАН, РФФИ (проекты № 16-35-00005 мол_а, 18-05-00436), РНФ (проекты № 18-17-00015 22-27-00079). Основные результаты и защищаемые положения диссертации докладывались автором на российских и международных конференциях, таких как Международная Школа по морской геологии (начиная с 2013 года), Underwater Mining Institute (2004, 2005, 2006, 2010), Underwater Mining Conference (2018, 2019), Minerals of the Ocean (2004, 2006, 2014, 2023), а также многочисленных региональных конференциях, начиная с 2004 года.

Диссертация «Железомарганцевые корки северной части Тихого океана и прилегающих дальневосточных морей: строение, состав и условия формирования» Михайлика Павла Евгеньевича рекомендуется к защите на

соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Заключение принято на заседании Ученого совета ДВГИ ДВО РАН. Присутствовало на заседании 15 человек. Результаты голосования: "за" – 15 человек, "против" – 0 человек, "воздержавшихся" – 0 человек, протокол № 1 от 25 января 2024 г.

Ученый секретарь ДВГИ ДВО РАН
к.г.-м.н.



Лихачева О. Ю.