

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Михайлика Пávла Евгеньевича «**ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫЕ КОРКИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ: СТРОЕНИЕ, СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ**» представленную к защите на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10. - Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Актуальность избранной темы определяется тем, существующие в России ограничения собственной марганцевой ресурсной базой, а также ряда металлов, побуждают исследователей к поиску новых источников высокотехнологичных элементов. Одним из ведущих источников таких металлов, имеющих потенциальное практическое значение, являются морские железомарганцевые образования (ЖМО), среди которых наиболее ценными являются железомарганцевые конкреции (ЖМК) и кобальтбогатые железомарганцевые корки (КМК). В связи с тем, что исследование вещественного состава ЖМО методом последовательного селективного извлечения элементов позволяет более корректно охарактеризовать факторы и механизмы накопления высокотехнологичных металлов в ЖМО, природу их образования, полученные в работе результаты поспособствует решению вопросов предстоящему их освоению в пределах существующих заявочных участков России в Тихом океане, а также прогнозу и поиску новых областей распространения ЖМО, в частности КМК.

Объектом исследования данной работы являются железомарганцевые корки северной части Тихого океана и прилегающих дальневосточных окраинных морей. Четко сформулирована цель работы – изучение строения, состава и определение условий формирования железомарганцевых корок северной части Тихого океана и прилегающих дальневосточных окраинных морей, а также оценка перспективы их практического использования. Для достижения этих целей соискателем сформулировано четыре конкретные задачи и в итоге проведенных исследований данные задачи реализованы полностью: выделены литотипы железомарганцевых корок на основе их текстурно-структурных, вещественных особенностей; проведено их сравнение и оценено региональное разнообразие; определены концентрации элементов, их особенности распределения в минеральных компонентах железомарганцевых корок; установлены причины и факторы региональных различий состава основных литотипов ЖМК в изученных районах, выявлено влияние на их образование гидрологических, тектонических и вулканических событий; установлены условия формирования железомарганцевых корок, а также оценено их практическое использование.

Научная новизна. В настоящей работе впервые проведено изучение малоизвестных ЖМК высокоширотных областей Тихого океана, при этом выявлено наличие мощного «антрацитового» слоя с низким содержанием фосфора в их составе, а также установлена благороднометалльная минерализация в корках гайота Детройт. Использование усовершенствованной методики выделения и углубленного изучения отдельных минеральных компонент ЖМО позволила выявить значительные отличия при однотипном минеральном составе гидрогенных корок (вернадит) тропических и северных широт в концентрации химических элементов, в их валовом и компонентном составе ЖМО. Впервые установлен новый генетический тип океанских месторождений твердых полезных ископаемых — делювиальная петрогенная железомарганцевая россыпь ближнего сноса.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Диссертационная работа Михайлика Павла Евгеньевича основана на четырех защищаемых положениях и исходящих из них выводах и практических рекомендациях, которые достаточно обоснованы геологическими, аналитическими, графическими и табличными материалами, полученными соискателем в ходе выполняемых им работ.

Первое защищаемое положение освещает, что в пределах подводных гор и гайотов северного района дна Тихого океана залегают железомарганцевые корки толщиной более 100 мм, формирование которых осуществлялось за счет гидрогенного источника вещества. Их строение отличается от ЖМК Российского разведочного района наличием мощного «антрацитового» слоя с низкой концентрацией фосфора и отсутствием «пористого» миоценового слоя.

Второе защищаемое положение базируется на результатах геолого-геохимических и минералогических исследованиях гидротермальных железомарганцевых корок открытой части северной Пацифики. Установлено, что в них редкоземельные элементы и иттрий сорбируются марганцевыми оксидами и железистыми гидроксидами, а их концентрация зависит от соотношения моно- и бикарбонат ионов в морской воде.

В третьем защищаемом положении указывается на наличие проявлений вулканотектонических активизаций Тихоокеанской плиты, которые нашли свое отражение в вещественном составе железомарганцевых корок.

В четвертом защищаемом положении диссертант оценивает перспективы практического использования железомарганцевых океанских россыпей и ЖМК северных областях Тихоокеанского региона, в которых присутствует мощный «антрацитовый» слой по вещественному составу близкому с кобальтбогатыми ЖМК Российского разведочного района (Магеллановы горы, Тихий океан).

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. При личном участии соискателя для получения полной и достоверной информации о содержании и распределении минералов в ЖМО использовался комплекс современных минералого-аналитических методов, в который входят высокоразрешающая оптическая и электронная микроскопия, рентгенография, инфракрасная спектроскопия, мессбауэровская спектроскопия (ЯГРС) и др. Разнообразный химический состав исследованных образцов ЖМО анализировался в ЦКП ДВГИ ДВО РАН, определение содержаний главных элементов проводилось методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в режиме радиального наблюдения плазмы на ИСП-АЭС, остальные элементы изучены методом ИСП-МС. Для оценки и контроля точности результатов анализа валового состава наряду с исследуемыми пробами анализировались стандартные образцы состава железомарганцевой конкреции. Матричные элементы в стандартных образцах серии ООПЕ аттестованы с достаточной степенью точности и использованы для контроля определений химического состава образцов ЖМО. Проведена статистическая обработка полученных результатов по стандартным образцам. В данной работе диссертантом используется оригинальная методика компонентного анализа ЖМО, основанная на селективном извлечении минеральных составляющих и определении в них содержаний матричных элементов (методом ICP-AES) и микроэлементов, в том числе редкоземельных, методом ICP-MS, содержащихся в ничтожных количествах, на уровне тысячных мг/т. Полнота растворения минеральных компонент и, соответственно, выход в вытяжку ассоциирующихся с каждой компонентой элементов контролировались рентгеноструктурным анализом пробы после каждой обработки. Диссертантом проведены методические работы для решения основной задачи постадийного селективного извлечения железа и установления связи микроэлементов с оксигидроксидами железа. Поэтапный контроль компонентного анализа различных по минеральному и химическому составу образцов ЖМО показал существенные различия в степени полноты перевода в раствор Fe, зависящего от форм нахождения его соединений в ЖМО, а концентрация железа в алюмосиликатной составляющей может свидетельствовать о различиях геологических условий формирования ЖМО. Определение содержаний золота в ЖМО проводилось с использованием метода атомной абсорбции с электротермической атомизацией. Для проверки полноты извлечения золота в органическую фазу из проб ЖМО с различным содержанием железа диссертантом проведен эксперимент, который показал отсутствие спектрального наложения сигнала железа на сигнал золота из-за отсутствия

совместной экстракции этих элементов по методике НСАМ 237-С. Однако, электронно-микроскопическое исследование железомарганцевых корок северо-западной части Тихого океана, проведенное Михайликом П.Е. выявило присутствие в них золотых микрозерен, которые могут осложнять процедуру подготовки ЖМО к анализу и вызывать методические сложности. Такая детальная проработка фактического материала с применением современных методов статистической обработки и литературы по теме исследования обеспечило достоверность защищаемых положений.

Степень апробация работы: исследования по теме диссертации выполнялись в рамках государственных заданий ДВГИ ДВО РАН, проектов РФФИ и РНФ. Основные результаты и защищаемые положения диссертации апробирована в виде опубликованных 32 статьях, 25 из них включены в Перечень ВАК, 7 публикаций в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и/или Scopus. Результаты полученных исследований доложены более чем на 50 Всероссийских и Международных конференциях и симпозиумах с опубликованием материалов.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов. Все полученные соискателем данные на базе опытно-методических исследований и обнаружение на подводных горах и гайотах северной Пацифики кондиционных гидrogenных 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 и Дальневосточного федерального округа в частности. Проведенные исследования диссертанта будут использованы для дополнения существующих представлений о морском железомарганцевом рудогенезе.

Содержание диссертации, её достоинства и недостатки. Диссертация П.Е. Михайлика состоит из введения, семи глав и заключения общим объемом 314 стр., 97 рис., 43 табл., списка литературы – 559 наименований.

Во **введении** автор обосновывает актуальность темы, формулирует цель и задачи работы, подчеркивает новизну, практическую значимость, обоснованность защищаемых положений.

В первой и второй главах приведены обзоры по литературным и авторским данным о состоянии изученности железомарганцевых образований Мирового океана и методологии и методах изучения железомарганцевых корок. Во второй главе отдельно стоит отметить результаты по методической работе в применение аналитических методов

в диссертационной работе для получения достоверных анализов (использование стандартных образцов сравнения; сопоставление аналогичных аналитических данных, полученные разными методами и по отдельным элементам и пробам. Автор подробно освещает проведения опытно-методических экспериментов, направленных на изучение влияния различных факторов на элементный состав железомарганцевых образований. Проведена трудоемкая работа по выбору метода анализа золота и РЗЭ в железомарганцевых корках. Особенно нужно отметить использованный комплекс статистической обработки результатов при анализе стандартных образцов. Существенным недостатком во 2 главе является полное отсутствие данных о фактическом количестве проб, экспериментов и количестве аналитических анализов по разным методам. Есть статистика по сравнению полученных цифр, но и при этом в таблицах отсутствуют данные по количеству проб и количеству аналитических измерений. Хотелось бы надеяться, что в докладе диссертант цифры общего количества изученных железомарганцевых образований и аналитических измерений по разным методам.

В третьей главе автор подробно освещает места отбора проб, облик, морфологию, внутреннюю структуру, вещественный состав и генезис железомарганцевых корок дальневосточных окраинных морей. Проведение скрупулезного исследования на основе новых данных в сравнении с литературными материалами позволило автору сделать выводы, что железомарганцевые корки дальневосточных окраинных морей: обладают специфической морфологией и минералого-геохимическими признаками, свидетельствующими об их формировании в обстановке приконтинентального литогенеза; что распространены среди них как гидротермальные, так и гидрогенные; основными марганцевыми минералами гидротермальных корок являются тодорокит, бёрнессит, манганит и пиролюзит, которые могут быть как в ассоциации (смеси), так и представлять самостоятельные мономинеральные фазы. Михайликом П.Е. установлено, что по морфологии ЖМК Японского, Охотского и Берингова морей можно разделить на две группы: массивные, брекчированные или крупнослоистые корки разнообразной окраски, которые встречаются только на вулканических поднятия, и вторую группу тонкослоистые железомарганцевые корки различных оттенков коричневого цвета, которые встречаются как на вулканических, так и не вулканических (тектонических) поднятиях. Диссертантом указывается на сложную историю формирования геохимического состава ЖМО, происходившую под влиянием многих факторов и разных источников поступления металлов. Ряд вопросов и замечаний к этой главе касается оформления графиков и рисунков – на которых многочисленные перемешивания своих полученных результатов с литературными данными без четкого отделения своих данных от литературных. В

результате, собственно проведенные исследования сложны для восприятия, так как в силу огромного массива информации, тонут в общем объеме данных. Также часто очень мелкий масштаб фотографий и практически нигде на фотографиях не указана та область, которая поясняется в подписях к рисунку.

В четвертой главе рассматриваются облик, морфология, внутренняя структура, вещественный состав и генезис железомарганцевых корок высокоширотных областей северной части Тихого океана. На базе проведенного комплексного изучения ЖМК в пределах гайотов северной Пацифики, а также разломных зон установлено, что особенностью строения ЖМК северных областей является отсутствие пористого слоя, что указывает на различные условия формирования корок в миоцене в пределах разных широт Тихого океана, так как в настоящее время повсеместно по океану происходит рост буроугольного слоя. Диссертантом выявлено, что при едином минеральном составе гидрогенных корок наблюдается вариация в накоплении химических элементов, при этом обогащение ЖМК разного генезиса одним из элементов (Ni, Mo), может быть следствием, как гидротермального привноса, так и признаком активного участия микробиоты в их образовании. Соискателем на основе изучения морфологии и структурно-текстурных черт образцов ЖМК открытой северной части Тихого океана установлено, что активно проявленные процессы разрушения длительно накапливавшихся на подводных горах корковых залежей, может приводить как к рассеиванию, так и к аккумуляции железомарганцевых обломков. Далее в главе обсуждается приводится пример аккумуляции железомарганцевых обломков: железомарганцевая россыпь на гайоте Йомей - рыхлая толща, которая содержит от 20 до 90% песчано-щебнево-дресвяные гидрогенные и диагенетические обломки железомарганцевых корок и конкреций. Проведенное детальное изучения облика, морфологии, внутренней структуры, вещественного состава и генезиса обломков железомарганцевых корок, распределения в них элементов позволило диссертанту сформулировать ряд признаков на основе которых, изучаемая им нелитифицированная толща гайота Йомей идентифицирована как океанская петрогенная железомарганцевая россыпь ближнего сноса. Основное замечание к этой главе: на стр. 197 диссертации Михайлик П.Е. указывает на то, что «проведенный детальный анализ строения КМК гайота Детройт показал наличие перерыва в осадконакоплении в период с 3.97 по 3.21 млн лет» и далее, диссертант считает «что именно в течение этого отрезка времени (0.77 млн лет) происходило разрушение КМК (антрацитового слоя) по двум причинам: первая – увеличение гидродинамической активности, вторая - влияние глобальной плиоценовой (6 – 3 млн лет.) и вулканогенно-тектонической активизации в тихоокеанском регионе, что и

привело к разрушению (дроблению) ЖМО гайота Йомей». Но почему-то, при характеристике особенностей строения, вещественного состава КМК гайота Детройт (стр. 160-176), об этом нет информации.

В пятой главе охарактеризованы концентрации и распределение золота и ртути в железомарганцевых корках северной Пацифики, а в главе 6 - распределение элементов между основными минеральными компонентами железомарганцевых корок северной Пацифики. В данных главах наиболее интересной частью являются материалы обсуждения причин концентрации золота, ртути в железомарганцевых корках и оценка роли основных минеральных компонент ЖМО в сорбции из морской придонной и поровой воды микроэлементов, рудных и редкоземельных элементов в процессе накопления железомарганцевого осадка. Диссертантом установлено, что распределение основной массы изученных элементов между двумя основными компонентами, оксидом марганца и оксигидроксидом железа, аналогично с ЖМО центральной (приэкваториальной) части Тихого океана и объясняется простой моделью сорбции. Изучения концентрирования РЗЭ по минеральным компонентам методом последовательного извлечения Fe-Mn образований разного генезиса позволило установить существенные отличия в распределение РЗЭ, как в их концентрациях, так и генезисе.

В седьмой главе автор подробно освещает условия формирования железомарганцевых корок северной Пацифики и перспективы практического использования, отмечая при этом, что низкие скорости роста гидрогенных КМК на подводных горах считаются одним из важных признаков накопления в них кобальта, никеля и редкоземельных элементов. Михайлик П.Е. детально разбирает условия формирования ЖМК на подводных горах и способы расчета их скорости роста. Обсуждая особенности гидрогенных железомарганцевых корок гайотов северных широт Тихого океана, диссертант указывает на их двухслойное строение, что отличает их от четырехслойных КМК, формирующихся в тропической области океана. КМК гайотов высоких широт имеют толстый «антрацитовый» слой, который перекрывается сверху «буроугольным». Исходя из полученных данных, диссертант делает заключение, что в пределах северного сегмента Императорского хребта, представленного верхнемеловыми гайотами, могут быть широко распространены гидрогенные железомарганцевые корки.

В заключение диссертации выделены основные закономерности, установленные Михайликом П.Е. в процессе работы.

Замечания к диссертационной работе во многом обусловлены объёмностью обсуждаемых проблем и многогранностью факторов, влияющих на формирования малоизученных

Аннотация соответствует содержанию диссертации и отражает важные её положения.

доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник ИГМ СО РАН,
профессор кафедры минералогии и
геохимии ГГФ НГУ,

[Handwritten signature]

В.Д. Страховенко

Я, Страховенко Вера Дмитриевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



ПИСЬМО УДОСТОВЕРЯЮ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ИРКО К.В.
27.09 2024