

Е.В.МИХАЙЛИК, Л.Б.ХЕРШБЕРГ, О.В.ЧУДАЕВ

О механизме формирования кобальтомарганцевых корок на гайотах Магеллановых гор Тихого океана

Детальное геологическое изучение гайотов Магеллановых гор (Дальморгео, ИОАН и Роскомнедра) показало, что кобальтомарганцевые корки покрывают коренные породы узкими лентообразными телами вдоль бровок. Исходя из современных представлений геофизической гидродинамики, авторы предполагают, что формирование данного типа руд обусловлено развитием над гайотами топографических вихрей Тэйлора–Хогга (ТВ). Механизм деятельности этих вихрей удовлетворительно объясняет отложение рудного вещества на одном месте десятки миллионов лет, асимметрию строения и химического состава протяженных рудных тел, а также отложение карбонатных илов в центральной части плоских вершин в форме выпуклой линзы. Эти данные по геологическому строению могут быть востребованы в геофизической гидродинамике как критерии эволюции ТВ над гайотами.

New data on the mechanism of the Co-rich Fe–Mn crust deposition on the Magellan Guyots in the Pacific Ocean. E.V.MIKHAILIK, L.B.KHERSHBERG, O.V.CHUDAEV (Far Eastern Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

Detailed geological studies of the Magellan Guyots have revealed that the Co-rich Fe–Mn crusts cover the motherland rocks with narrow band-shaped bodies along edges. In accordance with current views of the geophysical hydrodynamics, the authors explain the formation of this type of ores by development of the Taylor–Hogg topographic eddies over guyots. The mechanism of action of these eddies provides a satisfactory explanation of ore deposition at the same location during tens of millions years, asymmetry of structure and chemical composition of expanded ore bodies as well as calcareous ooze deposition in the form of a convex lens in the central parts of flat tops. These data on the guyot geology may be in demand in the geophysical hydrodynamics as criteria of evolution of the Taylor–Hogg topographic eddies over guyots.

Перспектива истощения запасов минеральных ресурсов на континентах стимулировала индустриально развитые страны в середине прошлого столетия к активному решению проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов в Мировом океане. В нашей стране в тот период исследования были сконцентрированы главным образом на железо-марганцевых конкрециях (ЖМК) как комплексном минеральном сырье. С 1976 г. рекогносцировочные и региональные исследования

МИХАЙЛИК Евгений Васильевич — кандидат геолого-минералогических наук, ХЕРШБЕРГ Леонид Борисович — кандидат геолого-минералогических наук, ЧУДАЕВ Олег Васильевич — доктор геолого-минералогических наук (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток).

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Мировой океан: геология, геодинамика, физика, биология» (грант 03-1-0-08-009) и Министерства промышленности, науки и технологий РФ (договор 43.634.11.003/ДВГИ).

ЖМК в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах проводили организации Мингео СССР. На основе полученных материалов были выделены крупные поля распространения конкреций в океанах. Геолого-экономический анализ их показал целесообразность сосредоточения работ на рудном поле Кларион-Клиппертон в Тихом океане со следующими характеристиками руд: среднее содержание никеля 1,2—1,3 %, меди 1,0—1,1 %, кобальта 0,2 %, марганца 28—29 %.

Решением Подготовительной комиссии ООН от 17.12.1987 Советскому Союзу в Международном районе морского дна (МРМД) выделен участок дна площадью 75 000 км² в поле Кларион-Клиппертон (рис. 1) для разведки и промышленной эксплуатации [1, 2].

Железомарганцевые корки гайотов, подводных хребтов и других топографических поднятий по сравнению с ЖМК абиссальных равнин океанов представляют экономически значительно (в 3 раза) более выгодный объект ввиду высокого содержания кобальта (до 2,9 %, в среднем 0,6 %) и его ценовой конъюнктуры. В сущности, это кобальтомарганцевые корки (КМК), в которых дополнительно содержатся молибден, платина, редкие земли и другие рудные элементы. Потребности промышленности в кобальте в ближайшее время резко возрастут в связи с широким применением его в аккумуляторных батареях благодаря новым технологиям. Эти факторы, по мнению участников международной конференции по океанским минеральным ресурсам в Санкт-Петербурге (20—23 апреля 2002 г.), определили КМК как первоочередной объект промышленного освоения в будущем.

С целью наращивания ресурсов руд кобальта, марганца и других металлов ВНИИОкеангеология (1986—1988 гг.) и ПГО «Дальморгеология» (1988—1996 гг.) стали изучать КМК гайотов в Тихом океане, и Магеллановы горы определились как главный заявочный объект России в МРМД (рис. 1). С применением метода геологической съемки различных стадий, от региональной геолого-геофизической масштаба 1:1 000 000 до поисковой масштаба 1:50 000, ими с высокой степенью достоверности исследованы три гайота: Дальморгео (МА-15) [4], ИОАН (МЖ-35) [3, 10]

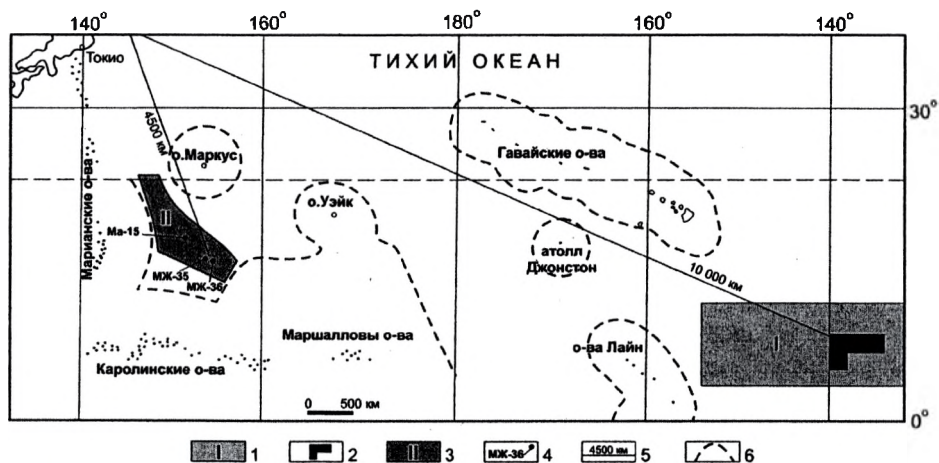


Рис. 1. Рудные поля железомарганцевых конкреций (ЖМК) и кобальтомарганцевых корок (КМК) в международном районе морского дна, находящиеся в зоне экономических интересов России. 1 — контуры рудного поля Кларион-Клиппертон; 2 — контуры месторождения ЖМК, выделенного СССР Подготовительной комиссией ООН в 1987 г.; 3 — контуры Магелланова рудного поля; 4 — местоположение изученных гайотов; 5 — расстояние до порта Находка; 6 — границы исключительных экономических зон иностранных государств

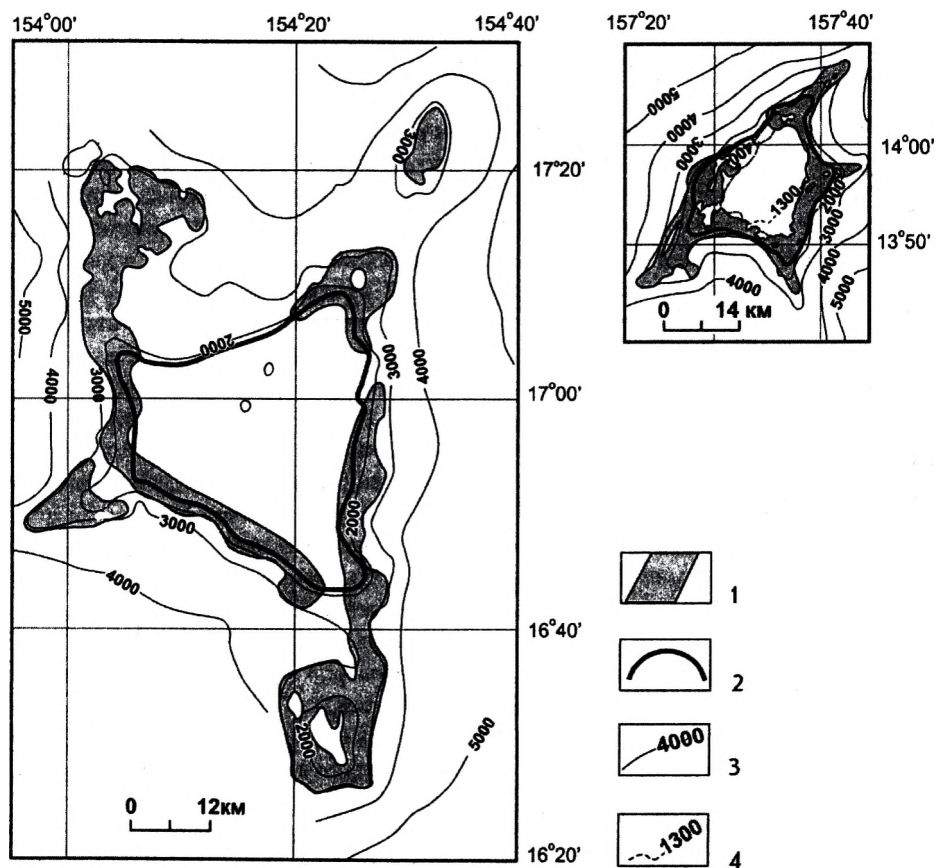
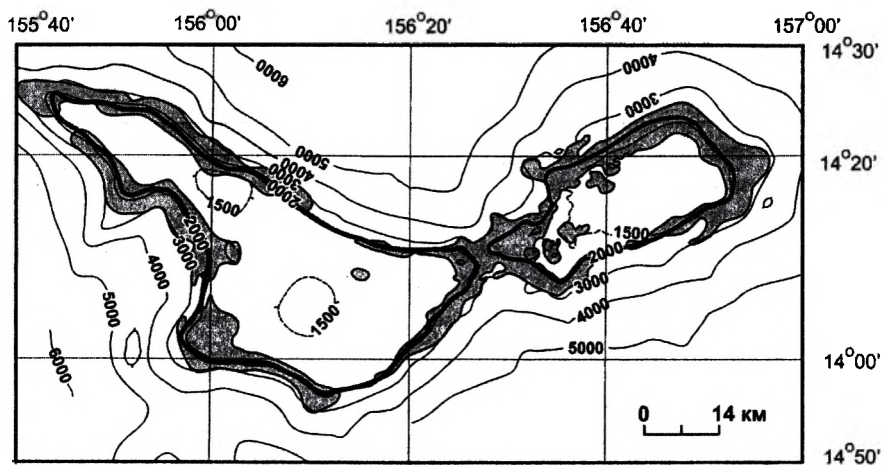


Рис. 2. Контуры рудных тел по категориям P_2 и P_3 [4, 10, 13] месторождений КМК, приуроченных к бровкам гайтов Магеллановых гор (вверху — гайот ИОАН, внизу слева — Дальморгео, справа — Роскомнедра). 1 — площади развития КМК, 2 — бровка гайтов, 3 — изобаты (м), 4 — дополнительные изобаты (м)

и Роскомнедра (МЖ-36) [13]. Полученный уникальный материал позволил впервые в мире увидеть реальную картину залегания рудных тел. На рис. 2 показано различие между гайотами по размерам, ориентировке в плане, морфологии поверхностей, выположенных абразией, а также глубинам. Они сформировались в различные века мелового периода, а современной глубины достигли в олигоцене [3, 10, 13].

В локализации и строении рудных тел выявлена закономерность. КМК залегают вдоль бровки узкими (лентовидными) полосами, которые максимальны по толщине на бровке (10—12 см), уменьшаются до первых миллиметров по направлению к центрам гайотов и вниз по склону и исчезают на глубине 3500 м. Центральные части плато гайотов покрыты карбонатными планктоногенными осадками со знаками ряби, размеры и ориентировка которой свидетельствуют о придонных течениях со скоростями 5—10 см/с [3].

Поперечный срез большей части образцов КМК слоистый. Сводный разрез начинается реликтовым слоем (R слой). Выше залегает антрацитовый слой (I), затем пористый (II) и, наконец, буроугольный (III). Содержание кобальта в рудных корках возрастает от 0,3 % в R слое до 0,8 % в слое III [10, 13]. Биостратиграфическими исследованиями установлен возраст КМК более 65 млн лет [12]. Хотя за этот отрезок времени на Земле произошли грандиозные изменения (миграция континентов, значительные колебания уровня моря и многое другое), КМК Магеллановых гор с удивительным постоянством росли на одном месте.

Объяснения этому феномену до сих пор не было. Анализ литературных данных по геологическому строению и рудоносности гайотов Тихого океана, а также по течениям в области современных подводных гор открытого океана позволил Е.В. Михайлику установить, что причина подобного формирования оруденения — деятельность топографических вихрей (ТВ) над гайотами. Основные характеристики этих вихрей выявлены наиболее полно для абиссальных холмов и островов, а для гайотов интенсивно исследуются геофизиками [7]. Поскольку сущность и механизм действия топографических вихрей геологам мало известны, кратко рассмотрим историю развития этой теории [7, 8, 11] и отдельные характеристики ТВ, имеющие непосредственное отношение к кобальтомарганцевому оруденению на гайотах.

В 1893 г. Ф.Нансен на судне «Фрам», дрейфующий в ледяном плену в Северном Ледовитом океане, наблюдает природные явления и приходит к выводу, что лед движется под углом 20° вправо от преобладающего направления ветра. Он предположил, что причиной является отклоняющий эффект, связанный с вращением Земли. В 1896 г., возвратившись в Норвегию, он поручает своему студенту В.Экману заняться теоретическим решением задачи движения судна и льда под действием ветра.

В 1905 г. Экман публикует теорию дрейфовых течений, в которой утверждается, что ветер заставляет тонкий поверхностный слой воды в океане двигаться под углом 45° вправо от направления ветра в Северном полушарии (или влево — в Южном). Каждый последующий более глубокий слой движется под углом вправо от направления движения вышележащего слоя, который воздействует на него благодаря силе трения. Скорость движения слоев уменьшается с глубиной. На некоторой глубине поток воды направлен против ветра, дующего у поверхности. Просуммировав перенос воды по всем слоям, Экман установил, что в Северном полушарии суммарный перенос направлен под углом 90° вправо от ветра. Теория Экмана стала своего рода вехой в океанологических исследованиях. Впервые океанологи получили возможность объяснить наблюдаемые особенности движения воды в океане.

В 1916 г. Дж.Прудмен рассмотрел теорему об обтекании препятствия быстро вращающейся однородной жидкостью. Из этой теоремы следовало, что жидкость в данном режиме течения не могла перетекать напрямую через подводную возвы-

шенность, а должна была ее обтекать. Понимая важность проблемы влияния рельефа дна на течения в океане, В.Экман в 1923 г. рассматривает задачу об обтекании крупномасштабного возмущения рельефа дна в виде цилиндра или конуса. Из ее решения следовало, что линии тока при обтекании течением возмущения рельефа дна должны испытывать за возвышенностью смещение вправо, а за впадиной — влево. Что должно происходить над самой возвышенностью, оставалось неясным.

В 1923 г. Дж.Тэйлор, проводя эксперимент с перемещением небольшого возмущения по дну вращающегося резервуара, обнаруживает эффект формирования над возмущением дна цилиндрического вихря. После нескольких десятилетий забвения внимание к этому феномену привлек Р.Хайд, указавший на возможные геофизические приложения обнаруженных эффектов; он же впервые употребил для вихря Тэйлора название «столб (колонна) Тэйлора» (Taylor column). В 1973 г. Н.Г.Хогг впервые показал, что в толще морской воды вихрь приобретает коническую форму («конус Тэйлора»). Вершина такого вихря может находиться на любом горизонте и не всегда будет выходить на поверхность океана, а основание совпадает с вершиной препятствия. Таким образом, сущность этого явления заключается в наличии замкнутых линий течения над подводной горой и независимости их от вертикальной координаты, что приводит к изоляции внутренней области над вершиной от окружающих вод и обтеканию вращающегося столба воды как твердого тела. Позднее такие течения было предложено называть топографическими вихрями Тэйлора–Хогга [6].

Экспериментальные наблюдения в океане не были целенаправленными исследованиями теоретически предсказанного феномена. Топографические вихри в океане над подводными возвышенностями были обнаружены случайно, когда советские океанологи занялись поисками новых мест промысла рыбы. Во время рейса РТМ «Астроном» (ТИНРО) в 1967 г. в районе Гавайского хребта в Тихом океане было отмечено промысловое скопление кабан–рыбы. Это было полной неожиданностью, так как океан вокруг практически безжизненный и существование замкнутой изолированной популяции рыб вдали от шельфа было маловероятно. Наткнувшись на аномальные скопления, приуроченные к подводным горам, экспедиции ТИНРО стали планомерно обследовать и другие поднятия дна Тихого океана.

Океанографические съемки в районах подводных гор показали, что над их вершинами формируются столбообразные структуры в распределении гидрологических, гидрохимических и биогенных элементов, обусловленные завихренностью в поле течений над подводными горами. Именно эти вихри создавали благоприятную основу для развития замкнутых рыбных популяций в открытых частях океана, препятствуя разнесу икринок и молоди рыбы на большие расстояния от вершины горы. Биопродуктивность вод в районах подводных гор в пересчете на единицу площади иногда даже выше, чем на шельфе, и может на порядок и более превышать окружающий фон.

Промысловые исследования в юго–восточной части Тихого океана в районе хребтов Сала, Гомес и Наска показали, что, хотя вершины некоторых подводных гор оказываются в зоне кислородного минимума, образование над ними топографических вихрей приводит к увеличению вертикальных скоростей движения вод на 2—3 порядка и значительному повышению содержания кислорода над вершиной (до 6,5 мл/л). Это является главным гидродинамическим фактором в поддержании высокого уровня биопродуктивности вод над горами в этом районе.

Американские ученые с 1975 г. начали изучать с помощью буев нейтральной плавучести Лагранжеву структуру течений Мирового океана. Первый эксперимент был связан с особенностями формирования возвратного Агульяского течения у южной оконечности Африки. Второй, совместно с океанологами Японии, — с особенностями динамики течения Куроисио. Обсервация буев шла через спутник.

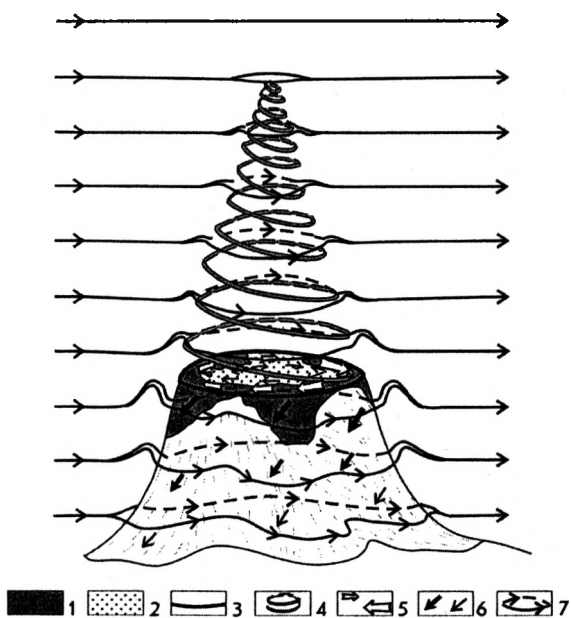


Рис. 3. Гипотетическая модель топографического вихря Тэйлора-Хогга над гайотом Роскомнедра (Е.В.Михайлик). 1 — рудные тела КМК, 2 — вершинные карбонатные осадки, 3 — бровка гайота, 4 — топографический вихрь Тэйлора-Хогга, 5 — направление и интенсивность (толщина стрелки) вершинных течений, 6 — направление и интенсивность (толщина стрелки) склоновых течений, 7 — течение по линиям равных значений температуры (изотермы), солености (изохалины), плотности (изопикны) и других характеристик морской воды. Пунктиром обозначены течения в тыловой части объекта

знакам, а также с помощью стандартных динамических расчетов над подводными горами и в их окрестностях выявляются весьма сложные вихревые структуры.

Таким образом, при вращении Земли вокруг своей оси вся толща морской воды находится в движении, скорость которого не зависит от экзогенных факторов. Встречая на своем пути препятствие (в нашем случае гайот), вода не в состоянии перелиться через него и огибает его по изолиниям. Причем над вершиной гайота течение имеет вихревое строение.

Согласно закону сохранения потенциального вихря [9], в его развитии выделяются две стадии. Стадия наползания воды на вершину горы сопровождается подъемом изотерм (равно как и изохалин, изопикн) со стороны набегающего потока. На второй стадии наползшая на вершину горы вода формирует собственно вихрь Тэйлора-Хогга. При вращении его по часовой стрелке (антициклонически) течение на склонах гайота в том же направлении приведет к опусканию вод вдоль склонов горы. После этих двух стадий эволюции топографической завихренности изотермы приобретают характерный вид (рис. 3). Над горами малой высоты такому опусканию изотерм препятствует дно [7, 8].

Поля скоростей в ТВ теоретически и экспериментально асимметричны [7, 9]. Распределение относительных скоростей резко меняется в различных секторах вихря. Но, как правило, они увеличиваются вблизи бровки гайотов, а к центру плоских вершин — минимальны. Считается, что для существования ТВ необходима

Исследователи получили данные по антициклонической (вращение по часовой стрелке) и циклонической траекториям движений буев нейтральной плавучести в районах подводных гор. Однако тогда они не смогли дать объяснений обнаруженным вихревым структурам в поле течений: видимо, феномен вихрей Тэйлора в тот момент широкому кругу океанологов не был известен. Началом использования теоретических результатов для интерпретации океанографических данных океанологи считают 1979—1980 гг.

Идентификация топографических вихрей в реальном океане сопряжена с огромными трудностями из-за нестационарного характера реальных структурных образований и отсутствия необходимого количества прямых синхронных измерений поля течений в исследуемом районе. Как правило, по различным косвенным при-

скорость по периметру не менее 20 см/с, а, по данным [3], Fe–Mn корки растут при скоростях 10—30 см/с. Течения придонных вод вниз по склонам фиксировались пилотами «Пайсис» при изучении Магеллановых гор [3].

Эти расчеты и наблюдения согласуются с нашими схемами распределения КМК и осадков на вершинах гайотов. Особенно характерны они для гайота Роскомнедра Магеллановых гор, выделяющегося простым строением (рис. 2). На северном участке его вершины на бровке и вблизи залегают карбонатные пески и рудных корок нет. Рудная залежь западной части вершины имеет «окна» и промоины, а граница ее с осадками извилистая, с «бухтами» и «заливами». Восточная залежь почти сплошная, причем содержание кобальта здесь на 0,05 %, а марганца на 2,8 % выше, чем в западной части [13]. Для ЖМК известно, что на склонах холмов, обращенных к течениям, содержания металлов большие, чем на «теневых» склонах [5]. Это свидетельствует о различных скоростях придонных вод вблизи и на бровке гайота длительное время. В зоне фациального перехода от рудных корок к осадкам плоской вершины КМК присыпаны тонким слоем карбонатного песка. К центру мощность осадков увеличивается до 36 м [13] и в них больше алевритовой примеси. Это геологическое тело, сложенное рыхлыми осадками, имеет форму выпуклой линзы. Образование его происходит при уменьшении скоростей придонных вод к центру ТВ.

Однако всюду есть знаки ряби, обязанные пульсирующему характеру приливо–отливных течений (т. е. их скорости не превышают скорости ТВ). Например, скорости таких течений на центральных участках плоских вершин двух гайотов хр. Лайн, по данным длительных измерений (9 и 7 мес), варьируют в пределах 1—10 см/с [14].

Изложенные факты свидетельствуют о ведущей роли топографических вихрей Тэйлора–Хогга в формировании узких (лентообразных) рудных тел КМК вдоль бровок гайотов Магеллановых гор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев С.И. Металлогения железомарганцевых образований Тихого океана. СПб.: Недра, 1994. 191 с.
2. Батурин Г.Н. Руды океана. М.: Наука, 1993. 303 с.
3. Богданов Ю.А., Сорохтин О.Г., Зоненшайн Л.П. и др. Железомарганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана. М.: Наука, 1990. 229 с.
4. Волохин Ю.Г., Мельников М.Е., Школьник Э.Л. и др. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность. М.: Наука, 1995. 368 с.
5. Горяинов И.Н., Грамберг И.С., Прожогин А.Г. Зависимость состава и строения залежей железомарганцевых конкреций от ориентировки по отношению к придонному течению // Докл. АН СССР. 1986. Т. 289, № 6. С. 1488—1492.
6. Зырянов В.Н. Двойные и инверсные вихри Тэйлора–Хогга в стратифицированном океане // Докл. АН СССР. 1984. Т. 277, № 4. С. 967—971.
7. Зырянов В.Н. Топографические вихри в динамике морских течений. М.: ИВП РАН, 1995. 239 с.
8. Козлов В.Ф. Модели топографических вихрей в океане. М.: Наука, 1983. 200 с.
9. Козлов В.Ф., Дарницкий В.Б. Топографический циклогенез в океане // Тр. ДВНИИ. Л.: Гидрометеоздат, 1981. Вып. 83. С. 85—100.
10. Мельников М.Е., Школьник Э.Л., Пуляева И.А., Попова Т.В. Результаты детального изучения оксидной железомарганцевой фосфоритовой минерализации на гайоте ИОАН (Западная Пацифика) // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14, № 5. С. 4—20.
11. Нешиба С. Океанология. Современные представления о жидкой оболочке Земли. М.: Мир, 1991. 414 с.
12. Пуляева И.А. Этапы формирования железомарганцевых корок Магеллановых гор Тихого океана: Автореф. дис. ... канд. геол.–минер. наук. СПб., 1999. 25 с.
13. Хершберг Л.Б., Михайлик Е.В., Чудаев О.В. и др. Особенности геологического строения и рудоносность гайота Роскомнедра Магеллановых гор (Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2002. Т. 21, № 1. С. 96—110.
14. Noble M., Kinoshita K. Current patterns over Karin Ridge, a seamount in the Central Pacific // Data and results from RV «Aleksandr Vinogradov» cruises 91–AV–19: US Geol. Surv. Open File Report 94—230. 1994. P. 149—168.