

ОТЗЫВ

на диссертацию Янченко Елены Александровны

«Отклик радиолярий на глобальные орбитальные и тысячелетние изменения климата и среды Охотского моря в позднем плейстоцене и голоцене»,

Представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.28-Океанология

Микропалеонтология морских донных осадков традиционно входит в комплекс базовых фактических материалов, необходимых для экологических и, в том числе, палеоклиматических оценок. Имеющие широкое распространение и достоверный отклик на климаты прошлого в океанских обстановках микрофоссилии признаны в качестве биоиндикаторов внешних условий, как надежного инструмента для получения независимых данных о гидрологических и климатических изменениях. В субарктической зоне важна информация о течениях, штормах, температурах и ледовых обстановках, которые закономерно и в том числе циклически варьируют в прошлом и служат основой для прогноза на будущее. Конечной целью подобных исследований, вообще говоря, является создание количественных реконструкций, то есть временных рядов упомянутых природных параметров с различной детальностью и длительностью эволюции. В основу рецензируемой работы положены вариации продуктивности и видового состава радиолярий на тысячелетней шкале за период позднего плейстоцена-голоцена.

В диссертации впервые предпринято детальное изучение видового состава радиолярий, с целью анализа изменчивости на временной шкале. В дополнение к изученным ранее климатически обусловленным закономерностям изменения литолого-геохимических показателей было обосновано положение о том, что радиолярии также согласуются с общей закономерностью накопления терригенной составляющей осадка. В подтверждение тезиса рассчитаны коэффициенты корреляции сравниваемых параметров, которые показывают существование достоверных связей, хотя и на низком уровне. Таким образом соискателем с помощью радиоляриевого биомаркера получена фундаментальная независимая характеристика обстановок осадконакопления в связи с колебаниями палеоклимата Охотского моря в последние 135 тыс. лет. Изложенный материал обработан статистически, что позволяет проводить сравнения с другими районами мирового океана и сделать следующий шаг – рассчитать прогнозную функцию на ближайшие тысячелетия.

Выбор объекта исследования вполне обоснован в рамках общей стратегии океанологических исследований субарктических морей, учитывая транспортные и народнохозяйственные задачи развития дальневосточных приграничных акваторий, включая рыбный промысел, полезные ископаемые и др. В свою очередь, в плане научного изучения гидрологии и истории климата выбранная природная морская система имеет преимущества за счет ее высокой чувствительности к изменениям в позднечетвертичное время. В этом отношении планктонные одноклеточные организмы, обитающие в водной толще, методически эффективны при анализе среды обитания, так как реагируют изменениями численности и видового состава в реальных гидрологических обстановках на температуру, соленость и структуру циркуляции морских вод. Экология радиолярий и палеоклиматические реконструкции обоснованно рассматриваются в сочетании с данными по гидрологии, а также по литологии и геохимии донных осадков, известными из литературы.

Физико-географические обстановки, оказывающие влияние на экологию микроорганизмов, с необходимой полнотой обсуждаются во 2 главе диссертации. Приведены литературные и авторские материалы о современных температурах, солености, растворенном

кислороде, ледовитости, течениях, о первичной продукции биомасс по горизонтам глубинности, а также о донных отложениях.

Материал исследования и методика радиоляриевого анализа показаны в отдельной главе 3. В общепринятой технологии пробоподготовки, подсчета таксонов и расчета основных показателей выделен еще один дополнительный параметр, контролируемый климатом – скорость аккумуляции радиолярий (САР). В условиях крайне низких скоростей морской седиментации САР дает уникальную информацию о первичной продукции среды.

Глава 4 - Радиолярии как показатели изменений природных условий Охотского моря в позднем плейстоцене и голоцене. В разделе решается прямая задача о связи, параметров радиоляриевого анализа с современными обстановками. В этом плане учитывается распространение и экология видов радиолярий, идентифицированных в океане и в Охотском море по литературным и собственным данным. В том числе выделены группы, обитающие в поверхностной, подповерхностной, а также в промежуточной и глубинной водных массах в зависимости от количества питательной массы, таким образом намечена связь радиоляриевого сигнала с течениями.

Система опробования привязана к представительному осадочному разрезу из центральной части моря, где взята колонка донных осадков длиной 630 см с глубины 1256 м. Образцы отобраны по сантиметровым интервалам с шагом 1-3 см. По результатам микроскопического подсчета таксонов составлена база цифровых данных, включающая сведения о радиоляриях (ОСР, САР, ВБ, ВР, процентное содержание и скорости аккумуляции таксонов), скоростях осадконакопления, геохимических индикаторах биопродуктивности и литологических характеристиках осадка, всего 16 параметров. Она представлена в диссертации (приложение В), и является оригинальной фактологической основой всех авторских статистических расчетов и содержательных выводов.

Временная шкала и ее неопределенности

Ключевым моментом анализа и интерпретации временных рядов (реконструкций) является возрастная модель, или, точнее, ее надежность. Тем более, что большинство выводов диссертанта описывают эволюцию палеоклимата посредством микропалеонтологического исследования. Базовой временной моделью в работе принята шкала морских изотопных стадий, которая в своей основе представляет соотношение лед-вода в глобальной системе, которое контролируется орбитальными параметрами. В диссертации принята модель со ссылкой на предыдущие исследования (Gorbarenko et al., 2012) без развернутого пояснения временной привязки глубины опробования по керну к известным временным интервалам оледенений и межстадиалов. Возрастная модель в упомянутой работе была построена путем сопоставления датированного ряда минимумов палеонапряженности в записях геомагнитной интенсивности, признанных границ морской изотопной стадии (MIS), определенных в широких вариациях литофизических показателей, а также показателей продуктивности и тефрохронологии

На самом деле упомянутая временная модель составлена по совпадению изменений признаков в керне с известными прокси для ледниковых и межледниковых событий в глобальном масштабе. Для осадков Охотского моря «установлена одновременность 11 похолоданий... в последние 77 тыс. лет с резкими сильными холодными явлениями в ледовом керне Гренландии и Хейнрич-событиями в Североатлантическом секторе. События Охотского моря имеют свои аналоги в записях осадков Северной Атлантики, ледяного покрова Гренландии и Антарктики, летнего муссона в Восточной Азии. Предполагается, что Арктическое колебание было основным фактором, определяющим орбитальные и тысячелетние колебания климата в высокоширотном северном полушарии, включая регион Охотского моря». Соответственно, датировка границ событий в изученном разрезе по существу является опосредованной, вторичной, поскольку она

не поддержана какими-либо новыми датировками. Фактически такой подход раскрывает качественные тенденции приуроченности радиоляриевых показателей среды к ледниковым, либо межледниковым морским изотопным стадиям. Основными временными границами МИС в осадочном разрезе верхнего плейстоцена-голоцена являются резкие изменения радиоляриевых прокси в совокупности с литолого-геохимическими признаками. Синхронность колебаний подтверждается коэффициентами корреляции между радиоляриевыми и литолого-геохимическими прокси (таблица 5.1). Очевидно, что содержательные выводы об эволюции «радиоляриевого» палеоклимата справедливы в рамках представленной полуколичественной модели.

С учетом указанных неопределенностей орбитальные и тысячелетние изменения климата вряд ли следует относить к высокоразрешающим палеореконструкциям. Во многих публикациях по реконструкциям палеоклимата термин «высокое разрешение» применяется для временных рядов с шагом год-сезон. В действительности 296 проб осадков глубоководного керна MR 06-04 PC-7R из центральной части Охотского моря фактически изучены по сантиметровым интервалам с шагом в 1-3 см, всего 630 см на 135 тыс. лет. Значит средний шаг опробования 2 см или $135:296 \approx 0,5$ тыс. лет, что соответствует скорости седиментации 0.04 мм в год, которая типична для современных глубоководных океанских отложений. Разумеется, при таких скоростях осадочная запись сезонных колебаний исключается. Важно, что предложенная в диссертации оценка скорости аккумуляции радиолярий (САР) остается в качестве объективного прокси внешних условий в точках, соответствующих интервалам проб 1 см, или 250 лет. На самом деле профиль такого показателя, как САР, можно представлять как график исключительно точной переменной величины, но в точках сильно разреженного опробования. Заметим, что прерывистое опробование с пропусками по 1-2 см снижает разрешающую способность реконструкций, поскольку сантиметровые интервалы объективно не могут отражать усредненный состав керна, как если бы пробоотбор проводился непрерывно по 2-3 см без пропусков (типа бороздового опробования). По существу, в реконструкциях приведен прерывистый ряд (событийная шкала), позволяющий видеть качественные тенденции, но не непрерывная хронология. При этом компьютерные способы усреднения и интерполяции признаков никак не повышают уровень разрешения реконструкций.

В главе 5 обсуждаются событийные осцилляции климата, связанные с **орбитальным механизмом**. Показано, как и во многих других глобальных построениях, что ледовые МИС отличаются от межледниковий по многим параметрам. Это дало основания автору сопоставить границы изотопных стадий с реперными колебаниями сообществ радиолярий (табл. 3.3) и далее использовать скорректированную таким способом временную шкалу для привязки изученных образцов. Основанием для подобной процедуры служат многочисленные данные по геохимии, литологии и палеонтологии в различных регионах мира, которые показывают, что климатические характеристики обладают некоторой повторяемостью и последовательностью. Циклы тысячелетних масштабов известны в осадках Северной Атлантики, в ледовых кернах Гренландии, в пещерных сталагмитах Китая и др. Подобные исследования с близким хроностратиграфическим разрешением, основанным на отклике радиолярий, предпринимались и в Охотском море, однако явно в недостаточном объеме. В частности, для исследуемого керна было выполнено сопоставление тысячелетних циклов изменений среды с данными реконструкций Восточно-Азиатских муссонов и циклов в ледовых кернах Гренландии. Корреляция основывалась на предположении, что в Охотском море продуктивность повышается (или снижается) во время теплых интерстадиалов (или холодных стадиалов), подобно орбитальным климатическим изменениям [Gorbarenko, Goldberg, 2005; Seki et al., 2004 и др.]. Для устранения дефицита такой информации в диссертации отдельно рассмотрена

реакция сообществ радиолярий на резкие изменения климата на основе биомаркеров, таких как OCP, CAP, VB и VP, вариации вещественного состава осадков – записи хлорина, TOC, CaCO₃, опал, Ba_{bio}, δ¹³C_{org}, δ¹⁸O, IRD.

Тысячелетним колебаниям уделяется отдельное внимание (глава 6), в их основу заложен тот же принцип различия ледовых обстановок от межледниковых. Изменения несомненно вызваны климатическими причинами и по существу рассмотрены более детально, чем орбитальные. Так, в табл. 3.3 перечислены 39 регионально-глобальных событий за 135 тыс. лет, по которым линейная шкала реперных теплых и холодных событий, полученных по биологическим и вещественным индикаторам в изученном керне, была трансформирована во временную. Рис 6.1 и 6.2 представляют визуальное сравнение осцилляций параметров на адаптированной временной шкале. Границы климатических событий, проведенные в соответствии с этой шкалой, и колебания параметров не везде совпадают. Текстовые описания помогают понять происхождение экстремумов на графиках, рассматривая комбинации основных механизмов климатического отклика. Например, (цит.) «увеличение видового богатства ассоциаций радиолярий и интенсивный рост их продукции в периоды дегляциаций связываются с короткими зимними сезонами с гораздо меньшим распространением льдов, длительными продуктивными периодами и активным привнесом терригенного вещества». Здесь для интерпретаций привлекаются уже региональные факторы, например, изменчивость зимних и летних муссонов Восточной Азии, влияющих на ледовый покров, среду и продуктивность Охотского моря. Судя по конкретным изменениям среды, объясняющим причины неодинаковых откликов, методика их количественного учета на наш взгляд еще недостаточно формализована. Вместе с тем, по нашему мнению, кластерный и регрессионный анализ в целенаправленно созданных выборках вполне могут описывать природные тенденции в виде информационных весов главных механизмов, таких как динамика продуктивности фотического слоя, скорость аккумуляции видов и т.д. Возможно, в настоящее время еще не хватает исходных данных для таких оценок.

Актуальность темы диссертации. С позиций актуальности полученная специализированная информация о биоиндикаторах изменений климата вписывается в комплексное океанологическое изучение окраинных морей и закрывает пробелы в конкретных регионах. В условиях информационного прогресса и уровня знаний актуальными признаны научные работы, создающие реконструкции природных условий прошлого с целью моделирования изменений среды обитания человека в будущем (IPCC, 2013). В морских осадках особенно чувствительными считаются планктонные организмы, в том числе радиолярии, которые со всей полнотой исследованы автором в Охотском море.

Научная новизна обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Распределение радиолярий в осадках Охотского моря, впервые адаптировано к тысячелетней шкале, что позволяет соотносить изменения их сообществ под влиянием орбитальных и тысячелетних ледовых и межледниковых климатических изменений. Обоснована результативность комплексного учета таких параметров, как скорость аккумуляции видов радиолярий и их процентное содержание. Интерпретация данных радиоляриевого анализа выполнена с применением методов многокомпонентной статистики. На этом направлении в дальнейшем просматривается перспектива развития математической формализации результатов на этапе количественных реконструкций палеосреды.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что соискателем доказаны выдвинутые на защиту, положения, которые на новом природном материале демонстрируют эффективность использования радиолярий для реконструкций. Во-первых, это такие важные параметры, как

скорость аккумуляции индикаторных видов, отражающая общие изменения среды и климата, а также процентные соотношения видов внутри сообществ в зависимости от экологических предпочтений. Во-вторых, в диссертации акцентирована орбитальная модель изменения климата, согласно которой количество радиоларий снижалось в условиях оледенений, а в течение межледниковий, наоборот, увеличивалось. На орбитальной шкале времени выявлена корреляция между численностью видов и геохимическими параметрами осадков. В третьем положении также получены оценки климатического и гидрологического отклика в связи с вариациями продуктивности фотического слоя на более детальной тысячелетней шкале. Показатели радиоларий связываются здесь с региональным фактором - изменчивостью зимних и летних муссонов Восточной Азии, влияющих на ледовый покров, среду и продуктивность Охотского моря.

Применительно к проблеме диссертации результативно использован комплекс современных методов исследований: опробование и литологическая документация керна донных отложений из центральной части Охотского моря, специализированный радиолариевый анализ осадочного разреза, корреляционный и кластерный анализы массива оригинальных результатов подсчета таксонов в сопоставлении с показателями среды обитания одноклеточных и палеопродуктивности за последние 135 тыс. лет.

Практическая ценность результатов заключается в документации и систематизации радиолариевых биоиндикаторов внешней среды Охотского моря. По ним создана оригинальная база данных в виде матрицы (296 проб)х(16 признаков), характеризующая опорный разрез донных отложений и содержащая исходные данные для пространственного и хронологического анализа палеоклиматических и гидрологических изменений природной среды и их прогноза, включая ледовитость. Представлены высококачественные микрофотографии радиоларий отрядов *Spumellaria*, *Nassellaria* из донных осадков Охотского моря.

Список замечаний по диссертации и автореферату. В оформлении графики использован мелкий, трудно распознаваемый шрифт надписей на рисунках в диссертации и в автореферате. Есть примеры отсутствия подписей единиц измерения на вертикальных шкалах признаков (рис 6.1) или несоответствия обозначений на самом рисунке с подписью под ним (рис.3). Из объяснений в тексте можно найти эти единицы, но восприятие рисунка затрудняется.

На рис 4.1.2 и в других местах упоминаются «поверхностные осадки», при этом глубина пробоотбора или возрастной интервал анализируемого слоя не указаны, что создает неопределенность при характеристике современных биоценозов.

На рис 6.2 и др. шкала времени на рисунках равномерная, а точки пробоотбора не показаны (всего имеется 296 проб с переменным шагом). В таких случаях для лучшего понимания фактуры лучше приводить не только таблицу, но на отдельном рисунке дать линейную шкалу глубины по керну вместе с временной шкалой и реперными точками изотопных стадий. Если, например, рассматривать средний шаг измерений по керну 0,5 тыс. лет, а также учесть пропуски по 1-2 см при пробоотборе, то тысячелетний цикл вообще не может быть выделен на некоторых участках.

Кроме корреляции при сопоставлениях признаков желательно было провести анализ периодичностей, который обычно дает полезную информацию для сравнений.

В итоговых результатах исследований (см. стр. 123) описаны статистически значимые связи между показателями радиоларий и некоторыми характеристиками вещественного состава осадков Охотского моря. Таким способом выявляется индикаторная роль биомаркеров для реконструкций наряду с литологическими параметрами. По логике здесь не хватает ранжирования, чей вклад в данном случае более весомый, для этого необходимы корреляционные или информационные оценки признаков.

Высказанные замечания носят технический или рекомендательный характер и не умаляют реальных достижений работы.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности не вызывает сомнений по существу исходного материала – микропалеонтологические пробы в разрезе морских донных отложений, по методам диагностики видов одноклеточных, наконец, по результатам использования биологических записей для реконструкции параметров палеосреды на временной шкале за последние 135 тыс. лет.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации. Структура автореферата и диссертации идентичны, имеется необходимая вводная часть, оглавление, содержательные выводы по каждому разделу, рисунки, таблицы и список публикаций. Соискателем опубликовано по теме около 30 работ (2004 по 2019 гг.), 4 – в российских и международных научных журналах, включённых в перечень ВАК, 2 - в коллективных монографиях, и более 20 – в материалах конференций, симпозиумов и школ.

Заключение оппонента о соответствии работы требованиям ВАК. Рассмотренная диссертация является законченной научно-квалификационной работой на современном уровне геологического исследования, она содержит новое решение актуальной научной задачи - установить закономерности изменений сообществ радиолярий под влиянием орбитальных и тысячелетних осцилляций природной среды Охотского моря в позднем плейстоцене и голоцене, составить базу данных для решения обратных задач - реконструкций палеоусловий, что имеет существенное значение для океанологии.

Данная работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением № 842 Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г (в редакции Постановления Правительства РФ от 21.04.2016 г. № 335), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.28-Океанология

Калугин Иван Александрович

ученая степень доктор геолого-минералогических наук

ученое звание старший научный сотрудник

должность ведущий научный сотрудник

Лаборатория литогеодинамики осадочных бассейнов (220)

ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения

Российской академии наук (ИГМ СОРАН)

630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3, <https://www.igm.nsc.ru>

e-mail: ikalugin@igm.nsc.ru

раб. тел.:8(383)373-05-26 доп. 496

Я, Калугин Иван Александрович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«27 мая» 2019 г.



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
ЗАВ. КАНЦЕЛЯРИЕЙ
ШИПОВА Е.Е.
27.05.2019г.

И.А. Калугин