

Министерство образования и науки Российской Федерации

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.И. Ульянова-Ленина

На правах рукописи

УДК 550.834+551.3.051

Нигмедзянова Алсу Равилевна

**ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМОАКУСТИКИ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ
УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
АРАЛЬСКОГО МОРЯ И ОЗЕРА КАНДРЫКУЛЬ**

Специальность: 25.00.10 - геофизика,
геофизические методы поисков полезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

КАЗАНЬ - 2004

Работа выполнена на кафедре геофизики Казанского государственного университета

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Д.К. Нургалиев** (КГУ, г.Казань);
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент **А.С. Борисов** (КГУ, г.Казань).

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук,
профессор **В.А. Трофимов** (ИГИРГИ, г.Москва)
кандидат технических наук, **А.А. Архипов**
(НПП «Геошельф», г.Геленджик)

Ведущая организация:

Кафедра сейсмометрии и геоакустики Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова (г. Москва)

Защита состоится «16» декабря 2004 г. в 14⁰⁰ на заседании Диссертационного Совета Д 212.081.04 при Казанском государственном университете по адресу: 420008, Казань, ул. Кремлевская 4/5.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И.Лобачевского Казанского государственного университета.

Автореферат разослан «10» ноября 2004 г.

Ученый секретарь Диссертационного Совета,

кандидат геолого-минералогических наук, доц.  Д.И. Хасанов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность проблемы.

Изменения окружающей среды, происходящие в настоящее время, оказывают огромное влияние на жизнь человечества. Естественные изменения окружающей среды, наряду с антропогенными, являются мощным фактором, определяющим будущее развитие общества. Прогнозирование изменений климата, эрозии почв, эволюции биосферы в целом на несколько десятилетий в будущее должно базироваться на тенденциях и закономерностях происходивших в геологическом прошлом, а в особенности – в последние несколько тысяч лет. Реконструкция изменений, происходивших в различных оболочках Земли в прошлом – одна из актуальнейших проблем сегодняшнего дня. Одним из важных источников информации при осуществлении подобных палеореконовструкций являются донные отложения современных внутриконтинентальных водоемов. Интерес, к отложениям современных озер как к архивам недавних в геологическом масштабе времени изменений окружающей среды объясняется тем, что эти объекты можно обнаружить на всех континентах в различных физико-географических условиях. Сюда можно добавить ряд неоспоримых преимуществ донных отложений: достаточно высокая скорость накопления, позволяющая получать хорошую разрешенность записи вариаций параметров, используемых при палеореконовструкциях; минимум постседиментационных изменений донных отложений, гарантирующий высокую достоверность извлекаемой информации; высокая восприимчивость свойств донных отложений к изменениям окружающей среды. Донные отложения современных озер в процессе формирования достаточно тонко фиксируют изменения, происходящие в верхних оболочках Земли.

Процессы осадконакопления в озерах происходят при наложении множества факторов, приводящих к многообразию фациальных условий и неравномерному распределению донных осадков. Данные батиметрии, гидрологические наблюдения в подавляющем большинстве случаев не могут ответить на вопросы фациального распределения осадков. Предварительный отбор проб и классические методы их анализов позволяют получить только точечную или одномерную, по отношению ко всему бассейну, информацию. Наиболее полное осуществление палеореконовструкций на основе изучения всего седиментационного бассейна может быть реализовано при сейсмоакустических исследованиях изучаемых водоемов. Сейсмоакустика в этом случае представляет собой мощный инструмент, позволяющий получить принципиально новые данные о генезисе озерных котловин, пространственных характеристиках донных отложений водоемов. В комплексе с другими палеоолимонологическими данными (абсолютное датирование осадков, литология осадков, палеобиологические исследования) результаты сейсмоакустических исследований позволяют надежно рекон-

струировать историю развития внутриконтинентальных водоемов, а следовательно – историю изменений окружающей среды.

Целью данной работы является реконструкция истории осадконакопления на основе анализа данных сейсмоакустических исследований разрезов донных отложений о.Кандрыкуль (Башкирия) и Аральского моря (Казахстан).

В процессе выполнения данной работы решались следующие **основные задачи**:

- получение и обработка сейсмоакустической информации по современным водоемам Арал и Кандрыкуль;
- выделение сеймостратиграфических комплексов и сейсмофациальный анализ сейсмоакустических разрезов;
- обобщение и анализ литологической, химической и петрофизической информации по разрезам донных отложений о.Кандрыкуль и Аральского моря;
- реконструкции вариаций уровня Аральского моря и озера Кандрыкуль по комплексу информации;
- анализ палеоклиматической информации и сравнение ее с результатами интерпретации сейсмоакустических исследований.

Научная новизна:

- впервые получены высокоразрешенные сейсмоакустические разрезы по Аральскому морю и озеру Кандрыкуль;
- на основании сеймостратиграфической интерпретации выявлена цикличность колебаний уровней водоемов в голоцене; рассчитаны амплитуды колебаний;
- на основе проведенных палеореконструкций установлено неизвестное ранее сильное понижение уровня Аральского моря;
- показана существенная роль тектонических процессов на эволюцию Аральского моря;
- внесены поправки в кривую палеоклимата для территории Южного Урала в голоцене.

Практическая ценность работы: полученные результаты позволяют реконструировать изменения окружающей среды за последние несколько тысяч лет в регионах Аральского моря и озера Кандрыкуль. Кроме того, полученные новые геологические данные по водоемам можно в дальнейшем использовать для проведения детальных исследований донных отложений для решения прикладных инженерно-геологических задач - например, для подсчета запасов сапропелевых отложений озера Кандрыкуль, которые являются ценным лечебным и агросырьем.

Защищаемые положения:

1. Основные черты эволюции Аральского моря и озера Кандрыкуль реконструированы на основе анализа результатов сейсмоакустических исследований в комплексе с данными других методов.

2. Существенная роль тектонических процессов в эволюции Аральского моря наиболее полно зафиксирована в донных отложениях западной котловины.

Фактический материал. В качестве основных использованы материалы сейсмоакустических исследований донных отложений о.Кандрыкуль по 2 профилям общей протяженностью 6.5 км. Для реконструкции истории развития Аральского моря были использованы сейсмоакустические данные по 15 профилям общей протяженностью 57 км, полученные в полевые сезоны 2002 и 2004 гг. в различных частях акватории водоема. Для привязки сейсмоакустических данных и оценки средних скоростей распространения упругих волн в осадках были использованы результаты исследования 8 колонок осадков. Абсолютная привязка сейсмостратиграфических границ осуществлена с использованием 14 определений абсолютного возраста осадков радиоуглеродным методом.

Апробация работы и публикации. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на ежегодных итоговых научных конференциях Казанского государственного университета (Казань, 2002, 2003, 2004 г.г.), на научно-практической конференции «Геоакустика - 2001» (Москва, 2001), на научно-практической конференции «Мы – Геологи XXI века» (Казань, 2001, 2002, 2003 г.г.), международном семинаре «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород» (Казань, 2004). Всего по теме диссертационной работы опубликовано 7 печатных работ, одна из них монография в соавторстве.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем работы 170 страниц; в работе содержится 75 рисунков, 3 таблицы; список литературы состоит из 160 наименований.

Автор выражает искреннюю благодарность своим научным руководителям – д.г.-м.н., профессору Нургалиеву Д.К. и к.г.-м.н., доценту Борису А.С. за помощь при работе над диссертацией. Автор благодарен сотрудникам геологического факультета КГУ доцентам Ясонову П.Г., Черновой И.Ю. и другим коллегам за помощь при выполнении отдельных разделов работы. Особую благодарность автор выражает сотрудникам кафедры сейсмометрии и геоакустики МГУ Старовойтову А.В., Калинин В.В., Владову М.Л. за ценные замечания на завершающей стадии работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В главе дается краткий очерк истории развития сейсмоакустического метода исследований, практическое применение которых началось с 50-х годов прошлого столетия (Е.А.Попов, 1946, Ф.Шепард 1951, Л.А.Сергеев 1951, С.А.Бузо 1952, Г.Р.Жуковский 1953, Т.Буркарм 1953, В.О.Смит 1953, Н.Е.Эдгертон, Г.А.Кротов, А.А.Гурич, В.Б.Аранович, 1964, М.Е.Лившиц, Е.Ф.Дубров, О.Н.Соколов, В.Н.Киселев, 1957 А.В.Калинин, В.В.Калинин 1964 и др.). Рассмотрены области применения сейсмоакустического метода исследований на акваториях - геологические исследования на шельфах (Калинин А.В., Калинин В.В., Старовойтов А.В., и др.); инженерно-геологические изыскания - обследование подводных нефте-, газопроводов и гидротехнических сооружений (Безродных Ю.П., Лисицин В.П., Федоров В.И., Кутузов А.Н., Vanneste M. et al. 2001., Batist M., Klerkx J. et al. 2002); сейсмических исследований КМПВ на водоемах (Бабенко К.М., . Исмагилов Д.Ф. 1980 и др.); решение гидрогеологических задач (Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров 1983 и др); восстановление процессов осадконакопления в руслах и озерных бассейнах с целью реконструкции палеоклиматов (Федотов А.П., М. Де Батист, Е. Шапрон 2002; Kelts K., Zao Ch., Lister G., Qing Y., Zhang G., Niessen F., Bonani G. 1989; Aqrawi A.A.M. 1995; Beck Ch., Chapron E. 1999; Vanneste M., Saoutkine A. 2000; Rensbergen P., Batist M., Hus R. 2002; Baster I. 2002 et. al.).

Глава 2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной главе обоснован выбор объектов исследования - донных осадков Аральского моря и о.Кандрыкуль. Интерес к донным осадкам Аральского моря очевиден. Начавшееся в 1970-х годах, катастрофическое снижение его уровня привело к разрушению его экосистемы и невероятно ухудшило жизнь местного населения. В 2002 и 2004 гг.. при участии автора учеными кафедры геофизики КГУ в рамках совместного проекта INTAS Aral 10-30 «Голоценовые изменения климата и эволюция расселения человека в бассейне Аральского моря» были проведены исследования на Аральском море с целью выяснения естественноисторических закономерностей развития Арала; изменения климата и экосистемы озера; их влияния на расселение и миграцию населения. Периоды трансгрессий и регрессий, обводнений и иссушений в истории Аральского моря нашли отражение в осадках как индикаторах палеоклимата, что представляет для нас большой интерес в плане палеореконструкций среды. В противоположность деградирующему Аральскому морю, озеро Кандрыкуль представляет собой классический пример олиготрофного водоема гумидной зоны седиментогенеза, с равномерным терригенно-биогенным осадконакоплением.

Различия двух рассматриваемых водоемов связаны не только с особенностями питания осадочным материалом, географическим положением (аридная и гумидная зоны седиментогенеза), морфологическими признаками, но также с их генезисом. Например, общепринятым является то, что Аральское море, водоем плоского типа, своим возникновением обязан плавным и медленным прогибаниям земной коры. Возникновение котловины озера Кандрыкуль произошло, по мнению большинства авторов благодаря дифференциальным движениям блоков земной коры. Совокупное действие климата, тектонического режима и отдельных факторов осадконакопления (гидродинамика, гидрохимия, гидробиология и др.) обусловили формирование изучаемых нами донных отложений озера.

Изученность выбранных нами для исследования водоемов также различна. Озеро Кандрыкуль является слабо исследованным объектом, так как это типичное озеро Приуралья, не привлекавшее особого внимания исследователей [Андреева М.А., 1977]. Напротив, Аральское море является чрезвычайно важным объектом хозяйственной деятельности и ярким примером развития экологического кризиса, вызванного сложным взаимодействием природных и антропогенных факторов. Различные аспекты эволюции Аральского моря в голоценовую эпоху межледниковья и литология осадков продемонстрирована во многих литературных источниках [Шнитников А.В., 1983; Рубанов И.В. 1982, 1987; Кесь А.С. 1969, 1978, 1980, 1983, 1990; Маев Е.Г. 1983, 2000; Хрусталеv Ю.П. 1977 и др.].

Глава 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Сотрудниками кафедры геофизики КГУ (П.Г.Ясонов, А.С.Борисов) был создан сейсмоакустический комплекс (1996 г.), включающий в себя источник упругих колебаний («бумер» - в Аральском море и пьезокерамический преобразователь типа дифрагирующей решетки в озере Кандрыкуль), приемное устройство, систему регистрации и накопления информации, соответствующее программное обеспечение, удовлетворяет следующим требованиям: разрешенность записи не ниже 10 см; глубинность исследований различных типов озерных осадков не менее 10 м; цифровая регистрация информации; портативность и небольшое энергопотребление; геодезическое позиционирование системы в пределах единиц метров; высокая производительность – 2-5 км акустического профиля в час. Материал прошедший в полевых условиях экспресс-обработку (нормирование амплитудных значений для последующей адекватной визуализации) в лабораторных условиях подвергался основной обработке с помощью многофункциональной системы RadexPro+ (коррекция амплитуд, полосовая фильтрация, ввод статистики, преобразование Гильберта, деконволюция). При обработке материалов полученных на ряде аральских профилей мы столкнулись с необходимостью фильтрации повторного удара связанного с конструкцией используемого бумера. С целью устранения повторного удара и

расширения спектральных характеристик записи мы использовали модуль предсказывающей деконволюции. Следует отметить, что в ряде случаев, эффективность устранения повторного удара после проведения процедуры деконволюции была неидеальной, что можно объяснить большими значениями коэффициентов отражения ряда акустических границ изучаемых разрезов.

Ограничение сейсмоакустического метода по принципу центрального луча, заключается в невозможности получения данных о распределении скоростей распространения упругих волн по разрезу и в плане не позволяет корректно перестроить временной разрез в глубинный. Скорости распространения продольных волн в осадках изучаемых водоемов мы оценивали в первом приближении двумя способами - используя петрофизические характеристики колонок, отбираемых на водоемах, и анализируя соотношение амплитуд одно и двухкратных волн. На основании перебора скоростей (модуль t-v преобразование в RadexProPlus) по отношению к опорному горизонту (первый случай) мы получили средние значения скоростей продольных волн для заливов Аральского моря в пределах $1630 \div 1720$ м/с, а для озера Кандрыкуль средняя скорость распространения продольных волн в 6.4 м толщи осадков составила 1440 м/с. Такие вариации скоростей близкие к значению скорости звука в воде ≈ 1500 м/с, свидетельствуют о сильной водонасыщенности осадков изучаемых водоемов. Повышенное значение средней скорости для осадков Аральского моря по сравнению с озером Кандрыкуль объясняется присутствием в осадках хемогенной компоненты (гипс). Во втором случае мы оценили интервальную скорость в поддном слое для озера Кандрыкуль, которая составила 1550 м/с, по вычисленному значению коэффициента отражения от дна. Произвести подобные вычисления интервальных скоростей для заливов Аральского моря нам не удалось из-за невозможности четкого выделения и идентификации кратной волны от поверхности придонных осадков.

Исследования, проведенные на о.Кандрыкуль и Аральском море имели комплексный характер. Их основной целью была реконструкция палеогеомагнитных вариаций и изменений окружающей среды, зафиксированных в осадках этих водоемов. Поэтому, первой задачей сейсмоакустических исследований являлось обнаружение мест оптимальных для отбора кернов донных отложений. Основным критерием отбора являлась ненарушенность осадков, стратиграфическая полнота разреза, отсутствие резких отражающих горизонтов (прослой гипса, травы и т.д.), а также оптимальная мощность. Последнее определялось ограниченной (до 6.5 м) длиной трубы гидравлического пробоотборника. Отобранные образцы озерных донных осадков были использованы для проведения геохимического, гранулометрического и минералогического анализов, а также комплекса магнито-минералогических и палеомагнитных исследований. Указанные данные позволяли провести корреляцию колонок и реконструировать вариации древнего геомагнитного поля и условий окружающей среды (палеоклимат, палеотектоника).

Хронологическая привязка обнаруженных сейсмостратиграфических границ, выделенных в о. Кандрыкуль и Аральском море была осуществлена на основе абсолютного датирования осадков радиоуглеродным методом, а для отложений Аральского моря также с использованием известных литературных данных об основных событиях (трансгрессиях и регрессиях). Абсолютные датировки донных осадков, полученные по радиоуглероду (^{14}C), позволяют предположить, что формирование озера Кандрыкуль началось в конце пребореального периода и почти совпало с началом господства голоценовой эпохи межледниковья $\approx 10300 \pm 300$ лет назад. Возраст осадков в заливе Тше-Бас Аральского моря на глубине 2.2 м оценен в 1495 ± 145 лет, в заливе Чернышева Аральского моря на глубине 6 м в 1470 ± 110 лет. Столь значительная разница в мощностях осадков для двух заливов Аральского моря связана с расположением залива Чернышева на активном Западно-Аральском блоке в области распространения докембрийского кристаллического фундамента Устюрта, от скорости прогибания блока зависело осадконакопление в заливе. Кроме того, по радиоуглеродным данным было обнаружено аномальное увеличение скорости накопления осадков (прогибания дна водоема) в заливе Чернышева Аральского моря между $\sim 480 \pm 120$ лет т.н. и $\sim 655 \pm 65$ лет т.н., когда накопилось около 3 м отчетливо-слоистых (по наблюдениям керна) осадков и средняя скорость их накопления составила ~ 1.7 см/год. Это явление, несомненно, вызвано значительной тектонической активностью района. Данный факт стимулировал продолжение в 2004 г сейсмоакустических исследований в Западно-Аральской котловине, что позволило полностью подтвердить выдвинутые нами ранее предположения о важной роли тектонических процессов в эволюции Аральского моря.

Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аральское море

Аральское море в настоящее время состоит из двух частей: Большого моря, в пределах которого выделяется Западно-Аральская котловина, и Малого моря. Морфология рельефа дна Аральского моря определяет многие особенности эволюции этого уникального водоема. Когда уровень Аральского моря падает до минимальных значений и большой Аральский бассейн пересыхает, западная котловина сохраняется. В Малом море (залив Тостубек) был отработан 1 профиль, в заливе Тше-Бас, который располагается в Большом море один профиль, в заливе Чернышева (Большое море) 11 профилей и в Западно-Аральской котловине 2 параллельных друг другу профиля (рис. 1). Обработанные сейсмоакустические данные интерпретировались нами с использованием основных принципов сейсмостратиграфического анализа [Ч.Пейтон, 1983]. Выделенные сейсмокомплексы с сейсмофациями в их пределах мы называли

стадиями развития Аральского моря. Однако, учитывая тот факт, что процессы осадконакопления в Большом Арале и Малом море отличны от процессов в Западно-Аральской котловине, мы нумерацию выделенных стадий в заливах не идентифицируем с нумерацией стадий Западно-Аральской котловины.



Рис.1 Космоснимок Аральского моря 2001 г., с нанесенными сейсмоакустическими профилями.

Заливы Аральского моря.

Характер прекращения прослеживания отражений у поверхностей палеошельфа в заливе Тще-Бас позволил получить информацию об относительных колебаниях уровня моря и палеообстановках, в которых происходило осадконакопление (рис.2). На основании имеющихся радиоуглеродных датировок и основных критериев сеймостратиграфической интерпретации стадии развития моря, выделенные в заливе Тще-Бас мы прокоррелировали со стадиями в заливах Чернышева (рис. 4) и Тостубек (рис. 3).

Трансгрессивная стадия 1 выделена нами по схеме подошвенного налегания – параллельные и субпараллельные отражения с вариациями амплитуд от средних до высоких прослеживаются в северо-западной части залива Тще-Бас на глубине 7-11 м и характеризуют равномерное и последовательное налегание слоев с продвижением в сторону суши. Вероятно, отложение осадков происходило достаточно длительное время при относительном поднятии уровня моря.

Регрессивная стадия 2 выделена по смещению отражений в сторону моря по схеме прибрежного подошвенного налегания, что является критерием понижения уровня моря. Об относительной амплитуде понижения уровня моря можно судить по поверхности среза - области, которая подверглась интенсивной подводной эрозии, главным образом за счет волновых процессов в результате относительного опускания уровня моря. Эрозионный срез осадков обычно

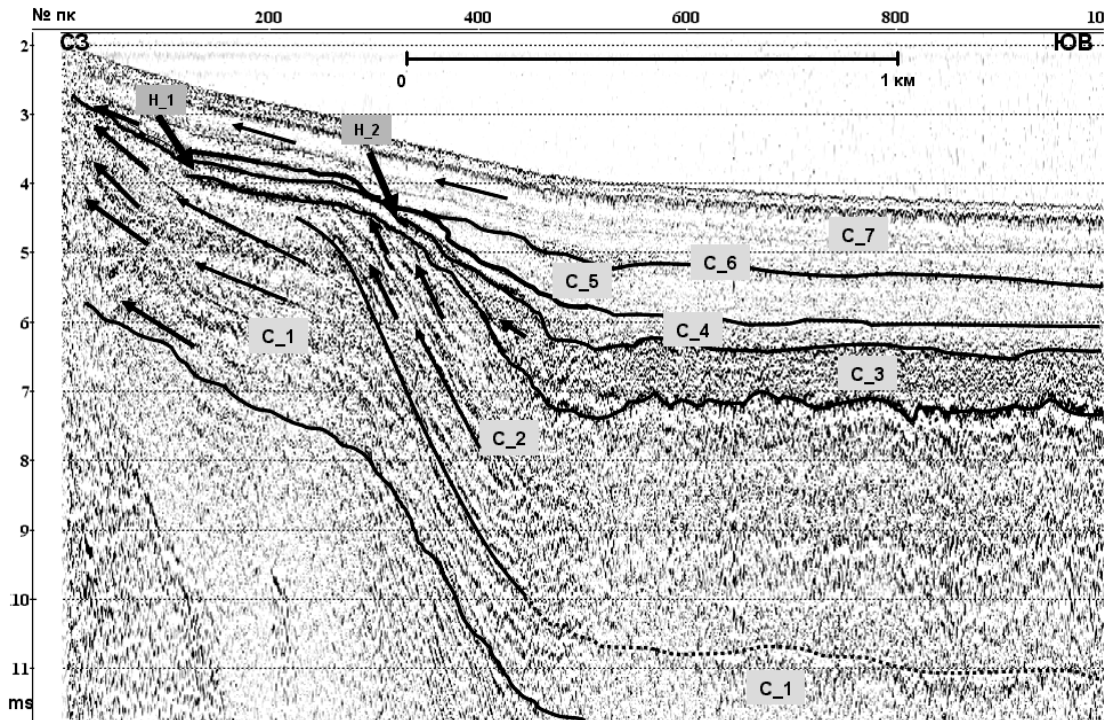


Рис.2 Сейсмоакустический разрез залива Тше-Бас (профиль 2) с выделенными стадиями развития моря, стрелками указано направление трансгрессий и регрессий моря

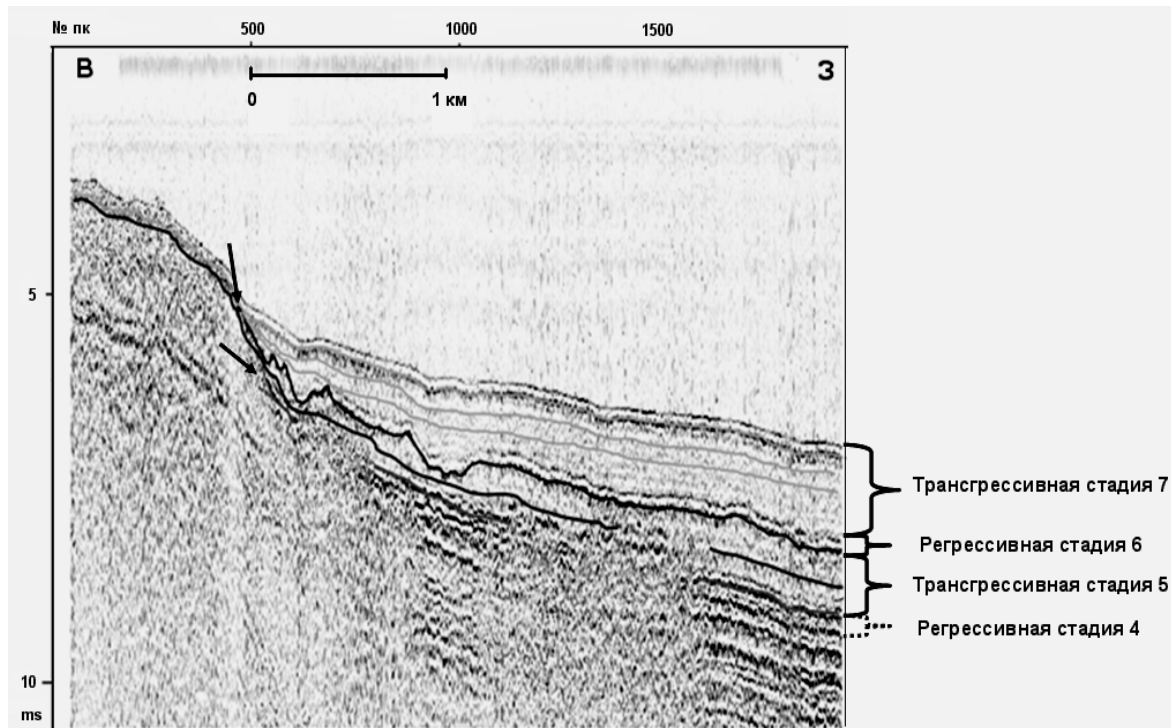


Рис.3 Сейсмоакустический разрез залива Тостубек (профиль 1) с выделенными стадиями развития моря, стрелки- схемы прекращения прослеживания отражений.

является признаком восходящих тектонических движений. Поэтому, выделенное на разрезе залива Тще-Бас понижение уровня моря вероятно связано как с превышением испарения воды над его поступлением в бассейн, так и, частично, с поднятием первичной поверхности осадконакопления. Высокие акустические свойства отражений регрессивной стадии 2 соответствуют, вероятно, осадкам с высоким содержанием гипсовой компоненты.

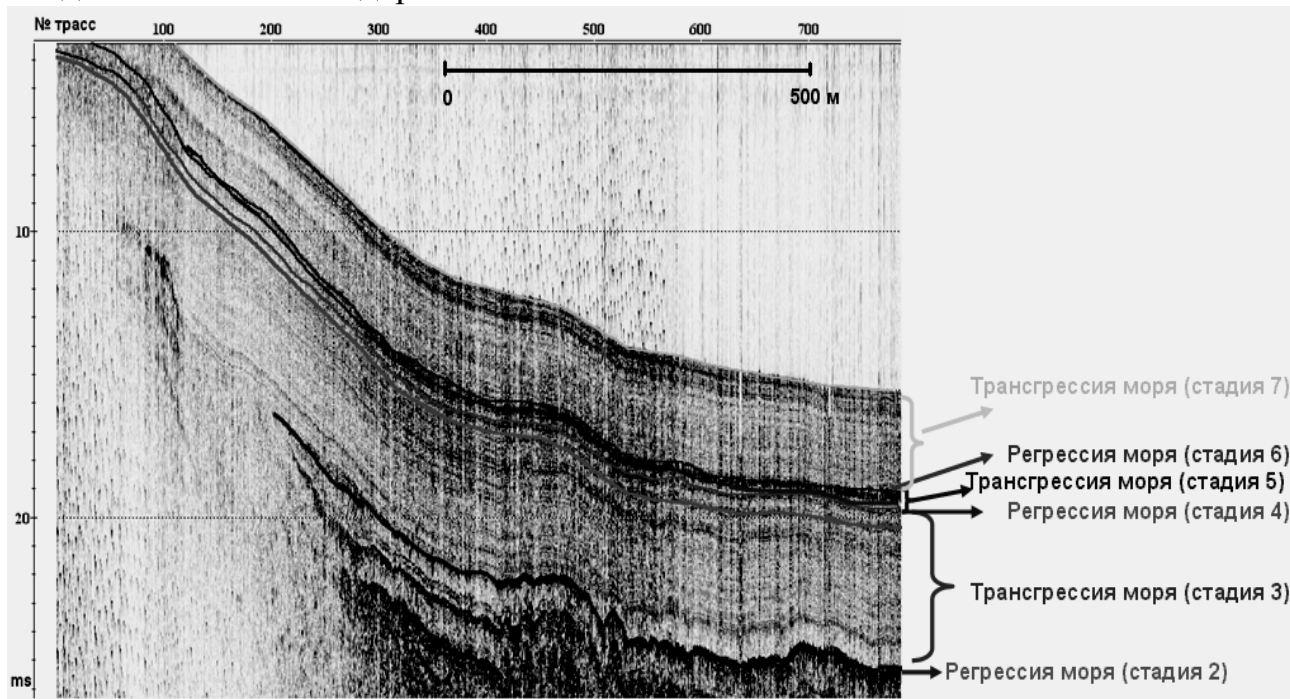


Рис.4 Сейсмоакустический разрез залива Чернышева (профиль 3) с выделенными стадиями развития моря.

Трансгрессивная стадия 3 Равномерное налегание и выклинивание слоев в сторону берега характерно для схемы трансгрессивного подошвенного налегания. Отражения данной стадии имеют прерывистый характер. Относительный подъем уровня моря способствовал захоронению поверхности эрозийного среза более молодыми осадками. Формирование осадков трансгрессивной стадии 3 происходило в условиях тектонического прогибания территории Арала. Видимая мощность осадков в заливе Тще-Бас 1.5-2 м, в заливе Чернышева 5-6 м (№ трасс 600-1000). Такая разница обусловлена различием скоростей прогибания поверхности фундамента для двух заливов: залив Чернышева приурочен к мезозой-палеозойскому разлому первого порядка, испытывающему интенсивные дифференцированные прогибания.

Регрессивная стадия 4 выделенная по отступанию слоев в сторону бассейна у поверхности палеошельфа (залив Тще-Бас) свидетельствует об относительном понижении уровня моря. Четко выраженная акустическая граница указывает на резкую смену типа осадков. В отобранных колонках донным пробоотборником было обнаружено повышенное содержание гипса - в осадках залива Тще-Бас на глубине 3.1 м, в заливе Чернышева на глубине 6.5 м под дном.

Трансгрессивная стадия 5. Повышение уровня моря фиксируется наращиванием осадочных слоев по схеме подошвенного налегания. На повышение

уровня моря указывает также выделенная на сейсмоакустическом разрезе залива Тще-Бас сигмовидная фация бокового наращивания, имеющая форму линзы, вытянутую параллельно простиранию пластов. Относительное повышение уровня моря, скорее, всего, охватило длительный этап во времени, во время которого накопилась почти однородная толща отложений без видимых границ перерывов и несогласий. Мощность осадков трансгрессивной стадии 5 составляет ~1.2-1.6 м в заливе Тще-Бас, ~0.5-1 м в заливе Чернышева и ~1.6-2.0 м в заливе Тостубек.

Регрессивная стадия 6. Резкое изменение характера волновой записи отображается в заливах Тостубек (на временах ~7-8 ms) и Тще-Бас (на временах ~5 ms) в виде интенсивного динамически выраженного отражения. На сейсмоакустическом разрезе залива Тостубек мы наблюдаем отступление регрессивного слоя в сторону бассейна по схеме подошвенного налегания. Подобной схемы прекращения прослеживания отражений в заливе Тще-Бас проследить не удалось. Это говорит о том, что уровень моря в заливе Тще-Бас был выше, чем в заливе Тостубек и границу уровня можно восстановить только по надводной береговой линии. Поскольку залив Чернышева самый глубоководный из изучаемых, то с понижением уровня Аральского моря резкой смены условий осадконакопления не происходило. Поэтому резкого изменения характера волновой записи нам проследить не удалось.

Трансгрессивная стадия 7. Параллельные отражения, облекающие рельеф палеодна и однородная толща осадков свидетельствуют о весьма их равномерном накоплении в низкоэнергетической обстановке осадконакопления. Судя по продвижению слоев в сторону берега можно предположить, что отложение осадков происходило при высоком уровне моря. В заливе Чернышева для осадков 7 стадии характерна высокая скорость осадконакопления – 4 м за 650 лет. Такая высокая скорость связана с формированием осадков в условиях тектонического прогибания Западно-Аральского блока, на котором расположен залив Чернышева. Мощность отложений трансгрессивной стадии 7 в заливе Тостубек составляет ~1-1.5 м, в заливе Тще-Бас ~1-1.5 м и в заливе Чернышева ~5-6 м.

Западно-Аральская котловина

В активных бассейнах, как известно, регрессивные и трансгрессивные поверхности подошвенного (прибрежного) налегания не восстанавливаются и выклинивание слоев обусловлено прекращением тектонического погружения [Шлезингер А.Е. 1998]. Поэтому нахождение низких палеоуровней моря в тектонически-активной западной котловине Аральского моря оказалось достаточно трудоемким. В отличие от монотонного горизонтально-слоистого разреза осадков залива Чернышева временной разрез поддонных отложений в западной котловине Аральского моря представляет разнообразие структурно-тектонических условий: здесь и моноклинальное залегание донных осадков с

различными углами наклона, и хорошо выраженная складчатость, и тектонические нарушения (рис. 5).

Стадия 1. Наблюдаемое параллельное расположение отражений обычно встречается в фациях “осадочного заполнения”. Амплитуда отражений переменная - от средних до высоких значений. Рисунок волновой записи (почти полная непрерывность отражений) предполагает равномерный темп осадконакопления на постепенно погружающемся шельфе или в обстановке стабильного положения дна.

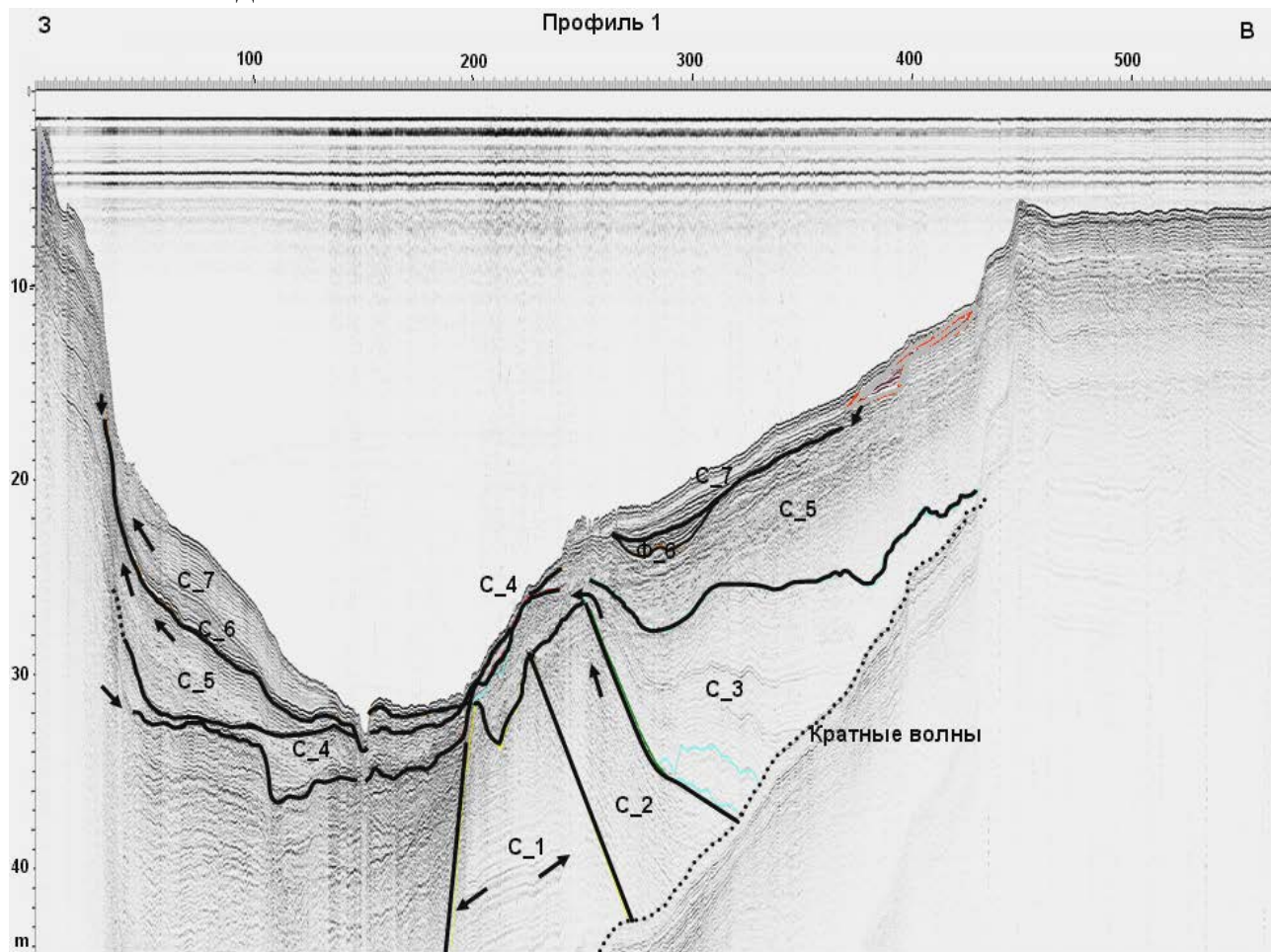


Рис.5 Сейсмоакустический разрез Западно-Аральской котловины с выделенными стадиями (C_1-C_7) развития моря, стрелки указывают зоны прекращения прослеживания отражений.

Стадия 2. Наблюдаемый косослоистый рисунок отражений характеризует падающие под углом слои осадков параллельные друг другу. Амплитуды отражений переменные, уменьшаются с ухудшением непрерывности отражений.

Стадия 3. Низкочастотные отражения с амплитудами от средних до высоких значений характеризуют осадки, отложение которых происходило в условиях относительно стабильного положения дна Западно-Аральской котловины. Однако наблюдаемые конседиментационные наклоны осадочных слоев указывают на тектоническую активность блоков фундамента, возможно имев-

шую место спустя некоторое геологическое время после формирования осадков данной стадии.

Стадия 4. Выделенный на двух профилях постседиментационный наклон осадков в виде уступа подводного рельефа (ПК 100-110- профиль 1), свидетельствует о дифференцированном прогибании Западной котловины Аральского моря. В тектонически-активной западной части профиля 1 мы наблюдаем, выклинивание слоев, которое обусловлено прекращением тектонического погружения, а не критерием понижения уровня моря. В центральной части профиля 1 на глубине ≈ 26 м прослеживается динамически выраженное отражение, которое является подводной береговой линией и характеризует соответственно низкий палеоуровень Аральского моря. Аналогичная палеоструктура подводной береговой линии на профиле 2 (расположен на ~ 0.8 км севернее профиля 1) прослеживается ниже, на отметке ≈ 30 м. Различие в отметках палеоуровней связано с достаточно хорошо выраженным тектоническим наклоном (~ 4 м на 0.8 км) в последующие стадии.

Стадия 5. По конфигурации отражений данная стадия является покровно-облекающей - параллельные отражения облекают рельеф палеодна. Отражения от непрерывных до прерывистых, амплитуда переменная, но относительно низкая, что объясняется однородностью литологического состава.

Стадия 6. Вновь наблюдаемое выклинивание слоев в западной части глубоководной котловины указывает на прекращение тектонического погружения. Высокоамплитудные отражения характеризуются непрерывностью. В пределах данной стадии прослеживается сейсмofация заполнения с подошвенным налеганием (Ф_6). Внутренние отражения фации сравнительно однородны от параллельных до плавно расходящихся с четко выраженной непрерывностью и переменными амплитудами. Отложения данной фации заполнения накопились, по всей видимости, благодаря придонным гравитационным потокам

Стадия 7. Параллельные и непрерывные отражения данной стадии свидетельствуют о равномерном и последовательном осадконакоплении в условиях стабильного положения дна. Отсутствие осадков стадии 7 в центральной части котловины на пикетах $\approx 150-220$ свидетельствует об интенсивном их размыве. Мы полагаем, осадки были размывы мощным придонным течением, которое возникло в момент повышения уровня моря во всем Аральском бассейне – поток высокоминерализованных и плотных вод центральной части Большого Арала в глубоководную Западно-Аральскую котловину. В настоящее время, с понижением уровня моря, объем потоков более плотной (минерализованной) воды резко уменьшился, и размыву был, подвергнут небольшой участок дна, представленный на временных разрезах в виде V-образного молодого рельефа.

Озеро Кандрыкуль. В озере Кандрыкуль было отработано 2 профиля (рис.6): профиль 1 общей протяженностью 4.2 км пересекал озеро с северо-востока на юго-юго-запад, профиль 2 протяженностью 2.3 км - с юго-юго-

запада на север. В ЮЮЗ части профиля 2 отчетливо прослеживается структура рельефа котловины - первичный палеосклон, который является погребенной флексурно-разрывной зоной, образовавшейся за счет интенсивных кратковременных опусканий, сформировавших рельеф котловины озера. Наблюдаемое захоронение палеосклона прислоняющимися слоями является объективным сейсмостратиграфическим критерием для его выделения.

Стадия 1. Отражения прекращают прослеживаться у первичной поверхности осадконакопления на ЮЮЗ склоне озера (профиль 2), по схеме подошвенного налегания. В ЮЮЗ части профиля 2 на склоне бассейна мы выделили холмовидную фацию хаотического заполнения. Транспортировка и осаждение материала этой фации вероятнее всего, обеспечивались процессами сбрасывания и сползания осадков, а также высокоэнергетическими мутьевыми потоками. Не исключено, что сползанию осадков со склона и возникновению высокоплотностных турбидитных течений способствовали мутные паводковые воды крупной в прошлом реки, впадавшей в озеро.

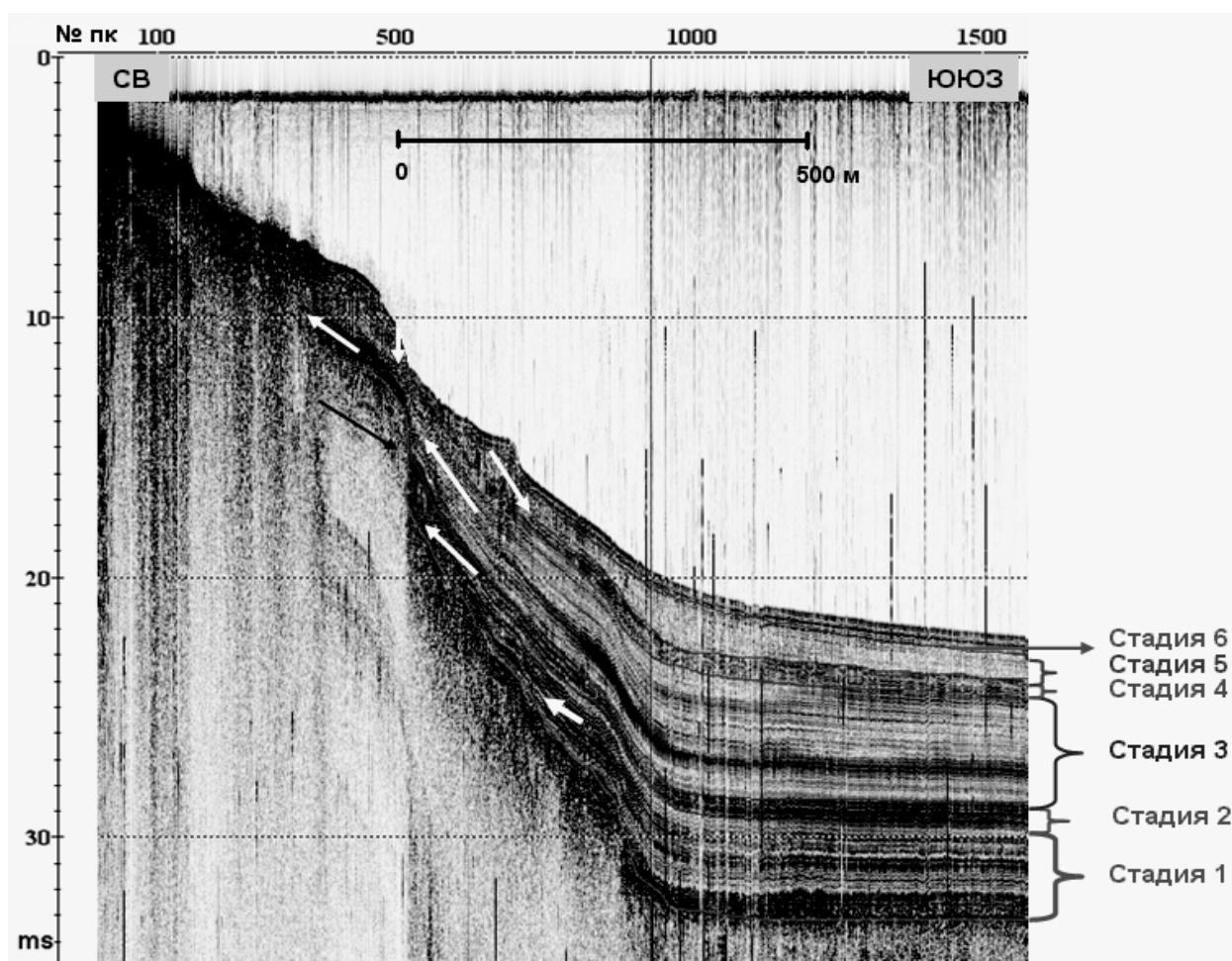


Рис.6 Сейсмоакустический разрез о.Кандрыкуль (профиль 2) с выделенными стадиями развития водоема, стрелки указывают зоны прекращения прослеживания отражений.

Стадия 2. Отложения стадии 2 прослеживаются на глубинах 4.8-5.3 м от поверхности дна. Видимая мощность осадков стадии 2 составляет ≈ 0.5 м. Время формирования осадков, данной стадии относится к атлантическому периоду

голоцена $\approx$ 6720-7500 лет назад. Отражения стадии 2 прекращают прослеживаться у поверхности субстрата бассейна по схеме подошвенного налегания в сторону глубоководной части водоема (относительное понижение уровня водоема).

Стадия 3. Отложения данной стадии прослеживаются на глубинах 3.7-1.5 м от поверхности дна. Видимая мощность осадков стадии 3 составляет $\sim$ 2 м. Время формирования осадков по имеющимся радиоуглеродным данным, затрагивает атлантический период и начало субатлантического периода голоцена $\sim$ 6720-1500 лет назад. На сейсмоакустическом разрезе мы наблюдаем приращение слоев в сторону берега по схеме подошвенного налегания. Транспортировка и накопление осадков данной стадии происходили преимущественно в низкоэнергетической обстановке осадконакопления. Слабая отражающая способность внутренних площадок отражения указывает на относительно однородный состав сейсмofации. Однако в осадках 3 стадии, на временах 27-27.5 ms (3.7-4.2 м от поверхности дна) в глубоководной части водоема прослеживается «пачка» высокоамплитудных динамически выраженных отражений, свидетельствующих о резкой смене всего характера седиментации водоема 5650-5870 лет назад (по данным радиоуглеродного анализа).

Стадия 4. Конфигурация отражений 4 стадии, прослеживаемых на временах 23.5-24.5 ms (трассы № 1300-1700), представляет собой чередование «холмообразных поверхностей» с параллельно-слоистыми относительно выдержанными по мощности единицами. Видимая мощность донных отложений стадии 4 составляет $\sim$ 0.5 м. Формирование осадков 4 стадии происходило, скорее всего, в условиях прогибания первичной поверхности осадконакопления 1500-1000 лет назад в субатлантический период голоцена. О влиянии неотектоники, можно судить по выявленному постседиментационному тектоническому наклону. Накопление осадков 4 стадии происходило в условиях низкого уровня водоема, о котором свидетельствует прекращение прослеживания отражений по схеме подошвенного налегания в сторону глубоководной части водоема.

Стадия 5. Отложения стадии 5 прослеживаются на глубинах 1-0.3 м от поверхности дна. Видимая мощность осадков стадии 5 составляет $\sim$ 0.8 м. Формирование осадков произошло приблизительно 630-250 лет назад в конце субатлантического периода (АТ-3). Низкие амплитуды отражений и согласное залегание осадочной толщи свидетельствует о литологической однородности ее состава.

Стадия 6. Отложения стадии 6 прослеживаются на глубине 0.3-0.2 м от поверхности дна. Видимая мощность осадков 3 стадии составляет $\sim$ 0.2 м. Формирование осадков на основании имеющихся радиоуглеродных датировок произошло приблизительно 150 лет назад. Наблюдаемое на разрезах прекращение прослеживания отражений по схеме подошвенного налегания в сторону суши и динамически выраженное отражение в верхней части осадочной толщи

указывает на резкую смену обстановки осадконакопления. Высокоамплитудные непрерывные и параллельные отражения соответствуют осадкам с высокой долей терригенного материала, который приносился со склонов за счет абразии берегов в высокоэнергетическую обстановку осадконакопления.

Глава 5. ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

Реконструкция палеоклиматов является в настоящее время актуальной фундаментальной проблемой. Существует большое количество методов направленных на осуществление реконструкции палеоклиматов – это традиционные палеоботанические (болотоведческие, палинологические, диатомовые), палеопочвенные, палеофаунистические, палеогидрологические, изотопные, историко-археологические и другие методы, дополняемые, как правило, сериями радиоуглеродных датировок. Привлечение сейсмостратиграфического анализа к пониманию сложных процессов динамики климатов прошлого является достаточно новой тенденцией в палеоклиматологии. По крайней мере в русскоязычной научной литературе примеров использования этого подхода для исследования голоцена не так много [Федотов А.П., М. Де Батист, Е. Шапрон и др. 2002]. Морфология котловины Аральского моря (форма, размеры, распределение глубин) определяет многие особенности эволюции этого уникального водоема. Многие из известных быстрых изменений площади Аральского моря [Маев Е.Г., Кесь А.С. и др.] происходят благодаря автоколебаниям, обусловленным уникальной морфологией Аральского бассейна в целом. Здесь необходимо отметить, что колебания уровня Аральского моря обусловлены сложным переплетением многих факторов - тектонического, климатического и, вероятно, антропогенного характера. Тектоническая активность блоков фундамента, на границе которых располагается Западно-Аральская котловина неоднократно приводила к деформациям дна, что существенно сказывалось на объеме этой котловины, а следовательно и на всем уровне Арала. Тектоническую историю Западно-Аральской котловины в новейшее время нам удалось наиболее полно зафиксировать в ее донных осадках.

Например, формирование осадков стадии 1 произошло с интенсивным прогибанием западной части блока. Наступила эпоха одной из самых глубоких регрессий Аральского моря и Западно-Аральская котловина была изолирована от остальной части моря. С интенсивным прогибанием восточной части котловины отложились осадки стадии 2. Очевидно, что наблюдаемый наклон осадочных слоев стадии 2 обусловлен тектоническими процессами. Последующее интенсивное прогибание западной части глубоководной котловины (стадия 4) вероятно вызвало интенсивную абразию берегов, способствуя тем самым приносу большого количества несортированного осадочного материала в котловину. В результате, поступление осадков превалировало над прогибанием территории. На прекращение тектонического прогибания указывает выклинивание слоев в западной части котловины. Генезис выделенной нами сейсмофации 6

(за счет низкоскоростных мутьевых потоков) и вновь наблюдаемое выклинивание отражений в западной части котловины (стадия 6) свидетельствуют о существовавшем в то время низком уровне Аральского моря за счет тектонического прогибания восточной части Западно-Аральской впадины. На дифференцированное тектоническое прогибание указывает конседиментационная складчатость осадков стадии 3.

На основании выявленных относительных изменений уровня моря по характеру налегания прибрежных осадков в пределах стадий заливов мы построили циклограммы относительных изменений уровня Аральского моря и о. Кандрыкуль (рис. 7, 8). Для построения кривой мы использовали абсолютные датировки возраста осадков, оцененные радиоуглеродным методом и амплитуды относительных подъемов и опусканий. Амплитуды колебаний уровней определялись по величине наращивания берега – вертикальной компоненте прибрежного подошвенного налегания [Ч.Пейтон, 1982]. Наиболее наглядной мерой относительного подъема служит приращение прибрежного осадконакопления, а относительного понижения уровня моря – смещение вниз по падению форм прибрежного подошвенного налегания. К сожалению, из-за отсутствия полных сведений об абсолютном возрасте изучаемой толщи осадков и нечетких либо отсутствующих в результате эрозии данных о системе подошвенного налегания, построенная циклограмма явилась условной, характеризующая лишь основные ключевые моменты в истории развития Аральского моря. Циклограмма изменения уровня Арала была построена по сейсмоакустическому разрезу залива Тше-Бас, поскольку, как упоминалось выше, характер прекращения прослеживания отражений у поверхностей палеошельфа может дать информацию об относительных колебаниях уровня моря и палеообстановках, в которых происходило осадконакопление. Амплитуды наращивания берега мы определили на основании данных о современном состоянии уровня Большого моря – 31.5 абс. м («Aral sea basin conference», Bukhara, 2003).

Так, амплитуда понижения от самого высокого участка в стадии 1 до самого низкого участка стадии 2 составляет 37.2-35.5 м (самая высокая отметка уровня Арала, из литературных источников - 57-60 м). Ведущая роль в понижении уровня моря на данном этапе развития Арала принадлежит, как мы выяснили, в первую очередь тектоническому фактору – это наличие эрозионного среза, положительной формы рельефа, выделенных на сейсмоакустическом разрезе залива Тше-Бас. Возможно, что регрессивная стадия 2 в заливе Тше-Бас и регрессивная стадия 4 в Западно-Аральской котловине, вызванная тектонической активностью Западно-Аральского блока, произошли в одно геологическое время. При падении уровня моря до отметки 24 м отложились осадки 4 стадии (в заливах) Аральского моря. Выделенная регрессивная стадия 4 была одной из самых сильных и глубоких регрессий. На основании датировок вышележающих осадков регрессия 4 стадии наступила приблизительно 1570-1600 л.н. Это время на палеоклиматической кривой голоцена отмечается оптимумом потеп-

ления [Хотинский Н.А.1989]. Среди многих датировок, опубликованных ранее, наиболее близка к нашему определению возраста датировка осадков, приведенная в работе Е.Г.Маева с соавторами и М.Е.Городецкой (1590 ± 140). По мнению авторов, падение уровня Арала до столь низкой отметки могло произойти лишь при однонаправленном воздействии климатического и антропогенного факторов. По нашему мнению, на понижение уровня моря сильное влияние оказывала тектоническая активность Западно-Аральской впадины. Выявленное нами интенсивное дифференцированное прогибание восточной части Западно-Аральской котловины (стадия 6), повлекшей за собой вероятно

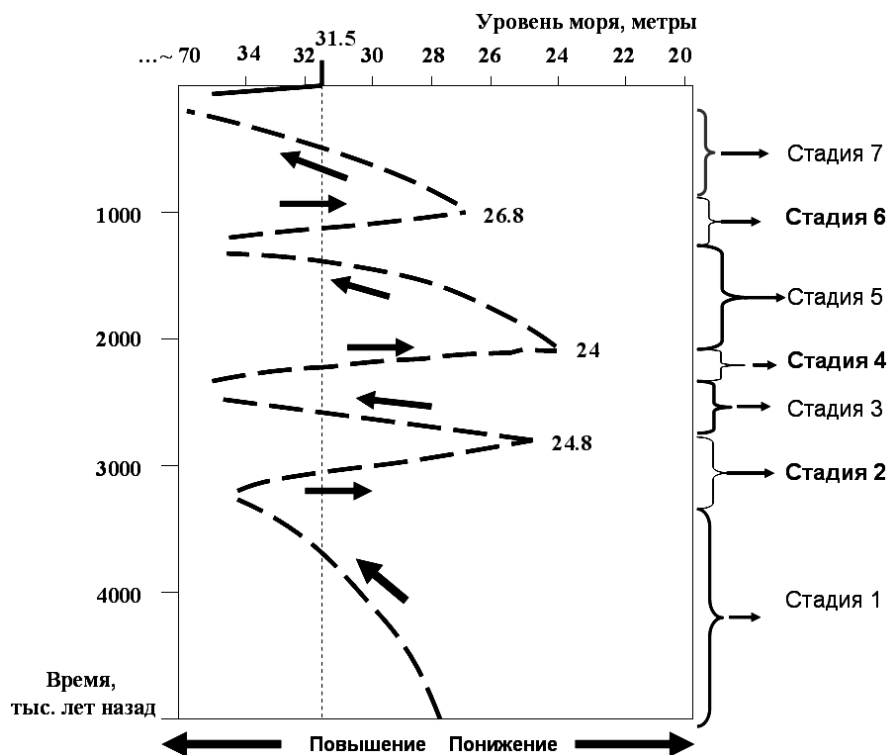


Рис.7 Циклограмма изменений уровня Аральского моря, 31.5 м – современный уровень моря.

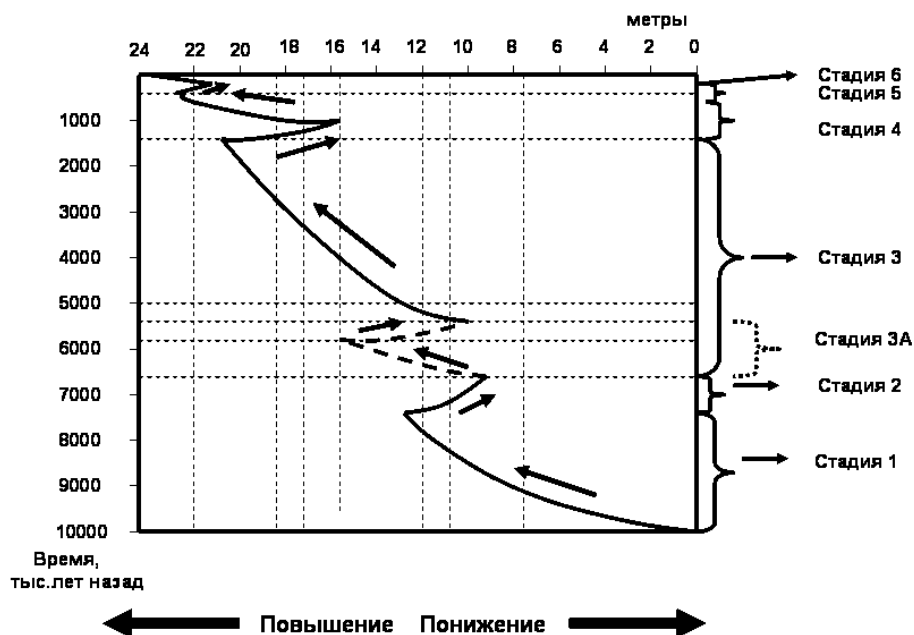


Рис.8 Циклограмма изменений относительного уровня озера Кандрыкуль

понижение уровня моря на всей площади Аральского бассейна, возможно по времени совпадает с регрессивной стадией 4 в заливах Тше-Бас, Тостубек и Чернышева.

Понижение уровня моря до отметки 26.8 м (регрессивная стадия 6), произошедшее по данным радиоуглеродных датировок около 1000 лет назад связано с климатическим фактором. Данная регрессия моря описывается многими авторами и является стадией либо современного этапа развития Арала [Маев Е.В. и др. 1983] либо новоаральского этапа [Кесь А.С. 1990].

На основании имеющихся сейсмоакустических данных, радиоуглеродных датировок и данных литологического состава осадков мы детально реконструировали атлантический период голоцена на палеоклиматической кривой для района Башкирии, обозначенный пунктиром, ввиду отсутствия палинологических данных [Климанов и др.]. Для детальной реконструкции палеоклиматических условий наибольший интерес для нас представляли выделенные в истории развития озера Кандрыкуль стадии 1, 2, 3, охватывающие атлантическое время 4.5 – 8 тыс. лет назад.

Нами установлено, что высокоамплитудные отражения на временах: 31.8 ms; 31 ms; 28.7-29.5 ms; 27.0-27.5 ms соответствуют донным осадкам, отложившимся в условиях относительно низкого уровня водоема, а низкоамплитудные отражения: 31.2-32 ms; 29.5-3.0 ms; 27.7-28.8 ms - осадкам формирования, которых происходило при относительно высоком уровне водоема (рис. 9). По данным радиоуглеродного анализа можно утверждать, что формирование осадков на интервале времен 27.0-27.5 ms происходило относительно быстрыми темпами (0.5 м за ~220 лет). Такое быстрое накопление осадков, а также прослеживание отражений по схеме подошвенного налегания в сторону глубоководной части котловины (интервал времен 28.7-29.5 ms) действительно характерно для формирования осадков в условиях понижения уровня водоема. Потепление климата, вероятно, привело к резкому уменьшению стока рек и временных водотоков в озеро и, вероятно, увеличению минерализации и выпадению карбонатов (рис.9). Уменьшение плотности осадков, а самое главное – ее быстрые вариации, обусловленные наличием прослоев богатых органическим веществом (слой на 28.7-29.5 ms по рис.9) также приводят к возникновению интенсивных отражений. Таким образом, области интенсивных отражений на сейсмоакустическом разрезе приурочены к осадкам, сформированным в эпохи потеплений и нестабильного климата. В эти эпохи при увеличении увлажненности возрастала биопродуктивность озера, и мы наблюдаем переслаивание осадков богатых органикой или терригенным материалом (28.7-29.5 ms), а в эпохи понижения общей увлажненности – переслаивание осадков с различным соотношением карбонатного и терригенного материала (23.5-24.5 ms). Интервалы низкоамплитудных отражений, характеризуют осадки, накопление которых происходило в эпохи более стабильного холодного климата с умеренной влажностью. В это время происходило формирование достаточно

однородных толщ глинисто-карбонатного материала. Эти осадки в целом отличаются более высокой плотностью (рис.9). Полученные нами высокоразрешенные сейсмоакустические данные позволили детально реконструировать палеоклиматические условия в атлантический период голоцена – АТ, изменения которого мы нанесли на палеоклиматическую кривую (рис.10). В работе [Климанов В.А.] вариации общей увлажненности и температуры для этого периода реконструированы предположительно (указана штриховой линией на рис.10) из-за отсутствия надежных данных. Полученные нами данные позволяют полагать более сложные вариации климата в атлантический период (рис.10).

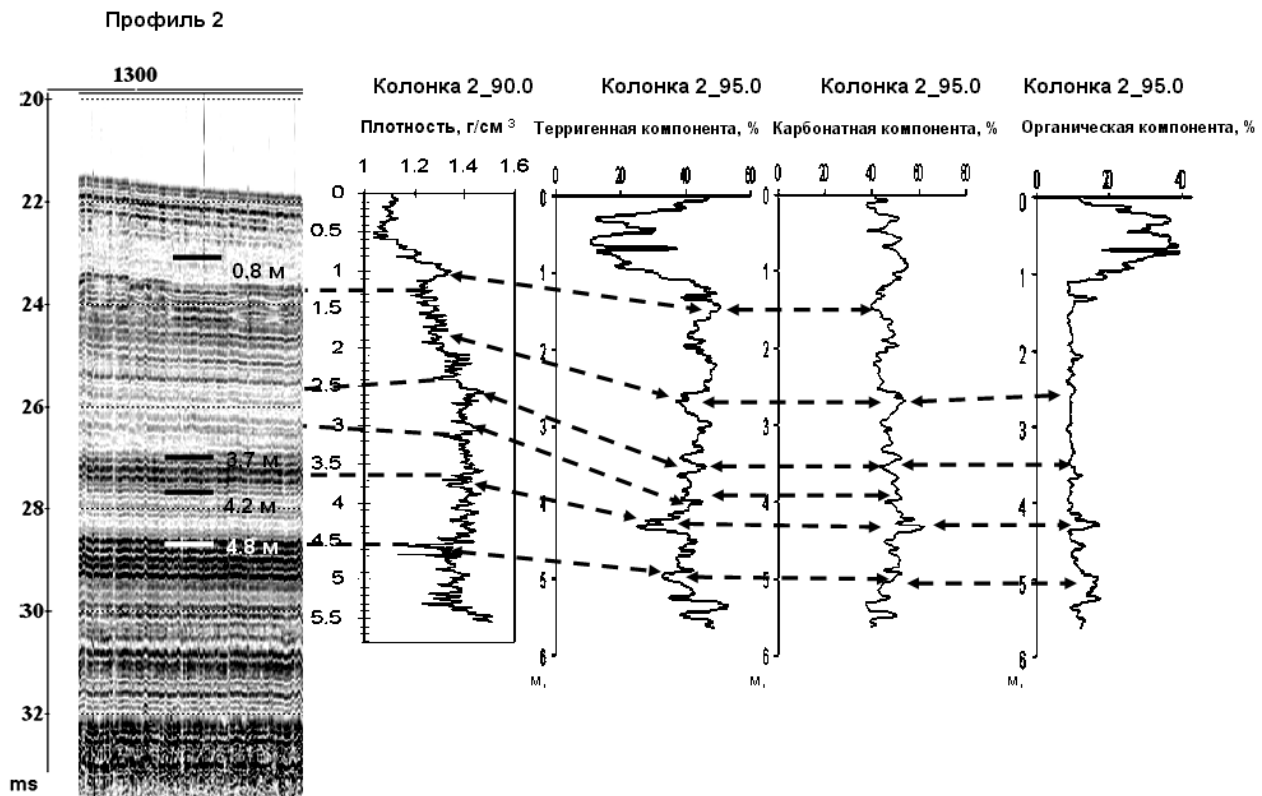


Рис. 9. Корреляция высокоамплитудных и низкоамплитудных отражений разреза озера Кандрыкуль с вариациями плотности осадков, содержанием терригенной и карбонатной компонент в осадках.

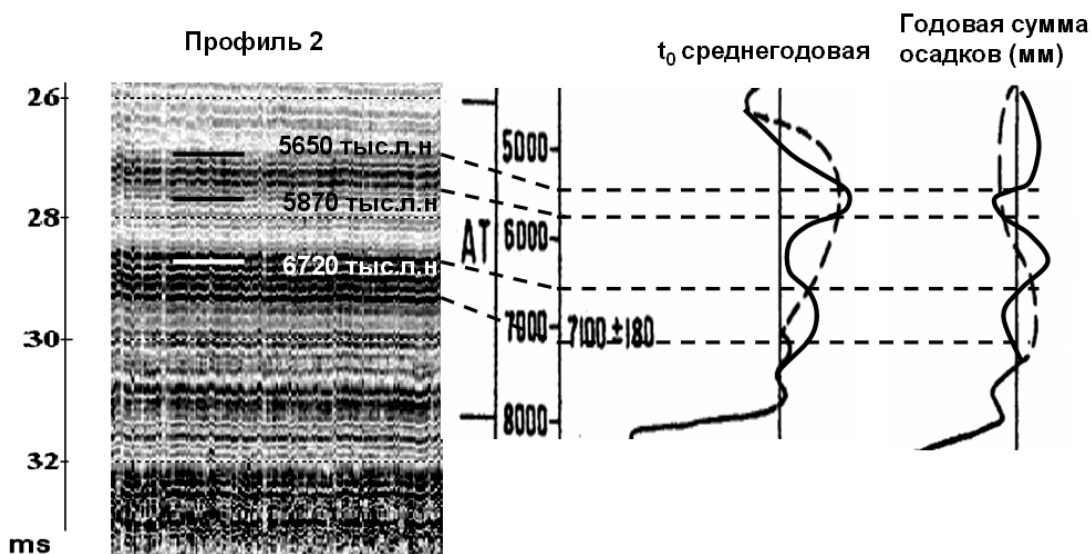


Рис. 10. Реконструкция климатических условий в атлантический период голоцена (штриховой линией показаны климатические вариации по Климанову).

Провести реконструкцию палеоклимата в суббореальный (4.5-2.5 тыс. лет назад) и субатлантический (2.5 тыс.л.н – совр.) периоды голоцена нам удалось лишь приближенно, из-за отсутствия сведений о возрасте осадков в данном интервале. Так, осадки 4 стадии коррелируются с малым климатическим оптимумом голоцена, произошедшим приблизительно 1000 лет назад (на основании значения средней скорости осадконакопления для этого интервала – 1 мм/год). Выявленные постседиментационные нарушения первичного залегания осадочных слоев на сейсмоакустическом разрезе озера свидетельствуют в пользу тектонического фактора, который также мог повлиять на уровень воды в озере.

Осадки 5 стадии обладают аномально низкими значениями плотности, что обусловлено как высоким содержанием органического материала, так и слабой уплотненностью осадков по сравнению с нижележащими. Со стадии 5 начинается новый этап в развитии о.Кандрыкуль – озеро из существенно олиготрофного состояния переходит к эвтрофированию, чем объясняется высокое содержание органического материала в осадках. Вполне вероятно, что это может быть связано с тектоническими процессами, приведшими к обессточиванию бассейна – его замыканию. Формирования осадков 5 стадии по радиоуглеродным данным произошло примерно 400-800 лет назад в субатлантический период голоцена. Выше на сейсмоакустическом разрезе выделяется стадия 6, характеризующаяся достаточно интенсивными отражениями, а по кривой содержания терригенной компоненты осадков (рис.9) наблюдается ее значительное увеличение, что согласуется с наступлением новой стадии нестабильного климата от ~400 лет т.н. до современности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Получена и обработана сейсмоакустическая информация по Аральскому морю и озеру Кандрыкуль;
- В результате сеймостратиграфической интерпретации определены обстановки и процессы осадконакопления Арала и озера Кандрыкуль, изучен рельеф поверхностей несогласий, восстановлены палеотектонические обстановки, выяснены палеогеографические условия и история геологического развития водоемов в комплексе с имеющимися геологическими данными;
- Обнаружена цикличность колебаний уровней в водоемах Арал и Кандрыкуль, построены циклограммы относительных колебаний уровней по характеру налегания осадков для Аральского моря и озера Кандрыкуль;
- На осадкообразование в Арале помимо климатического фактора существенное, а в некоторых случаях основное влияние оказали тектонические процессы;

- Выявлены три низких уровня в истории Арала, с абсолютными отметками 24, 24.8 и 26.8 м ниже современного уровня (31.5 м в Большом Арале) на 6-8 м;
- Детально реконструирован атлантический период голоцена на палеоклиматической кривой для территории Башкирии и внесены некоторые поправки в общую кривую палеоклимата.

Основные работы, опубликованные по теме диссертации:

1. Уникальные экосистемы солоноватоводных карстовых озер Среднего Поволжья: Монография/ Ред.Алимов А.Ф., Мингазова Н.М.-Казань: Изд-во КГУ, 2001.-256 С.
2. Нигмедзянова А.Р. Сейсмоакустические исследования при изучении палеомагнетизма донных отложений современных озер/ Борисов А.С., Нигмедзянова А.Р.//Разведка и охрана недр. 2002. №1, с. 48-49.
3. Нигмедзянова А.Р. Сейсмоакустические работы в комплексе палеомагнитных и палеоэкологических исследований донных отложений современных озер/ Борисов А.С., Нигмедзянова А.Р.//Материалы семинара «Палеомагнетизм горных пород», Борок, 19-22 октября 2002 г. М.: Изд-во ГЕОС.с. 14-15.
4. Нигмедзянова А.Р. Сейсмостратиграфический анализ донных отложений современных озер: палеоклиматическое значение/ Нигмедзянова А.Р., Борисов А.С.// Георесурсы, 2002, №3 (11), с.2-3.
5. Нигмедзянова А.Р. Акустические исследования донных отложений современных озер и искусственных водоемов/ Нигмедзянова А.Р.//Геологи XXI века (тезисы докладов) – Саратов: СО ЕАГО, 2001, с.89.
6. Нигмедзянова А.Р. Сейсмостратиграфический анализ донных отложений современных озер: палеоклиматическое значение/ Нигмедзянова А.Р.// Мы – геологи XXI века (тезисы докладов) – Казань: Из-во КГУ, 2003, с. 81.
7. Нигмедзянова А.Р. Палеореконструкция истории развития Западно-Аральской котловины на основе сейсмоакустических данных/ Нигмедзянова А.Р., Борисов А.С., Oberhaensli Н.// Палеомагнетизм и магнетизм горных пород, 2004, с. 343-347.