

LITHOLOGY AND PALEOMAGNETISM OF VARVED CLAYS

V. Bakhmutov¹, V.Ya. Yevzerov², V. Kolka²

ЛИТОЛОГИЯ И ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ЛЕНТОЧНЫХ ГЛИН

В.Г. Бахмутов¹, В.Я. Евзеров², В.В. Колька²

On an example of varved clays from two periglacial lakes on the territory of NW Russia the model of formation of glaciolacustrine sediments is reported. The geological-geomorphological background, lithology and genesis are interpreted in the framework of turbidity hypothesis. The textural and structural properties of the varved clays from the different zones and significant differences in magnetic parameters are established. In the framework of accepted model the paleomagnetic data have been analyzed. Taking into account the complex of investigation the paleomagnetic records have a different resolution for the ancient geomagnetic field research.

На примере залежей ленточных глин двух приледниковых водоемов на территории северо-запада России представлена модель формирования озерно-ледниковых отложений. Рассмотрено геолого-геоморфологическое положение залежей, литология и генезис отложений, обоснован турбидитный механизм их образования. Структурные и текстурные различия ленточных глин из разных зон подчеркиваются различием их магнитных параметров. Палеомагнитные данные проанализированы в рамках принятой седиментологической модели. По результатам комплексных исследований установлена разная степень информативности отложений для изучения тонкой структуры древнего геомагнитного поля.

Ключевые слова: ленточные глины, литология, турбидиты, палеомагнетизм.

ВВЕДЕНИЕ

Термин «ленточные глины» в общем подразумевает разнообразные отложения приледниковых озер, состоящие из чередующихся слоев алеврита и глины – продуктов осаждения ледниковой мути. Их основной особенностью и, в некоторой мере, уникальностью, является сезонная слоистость, путем подсчета которой, по аналогии с годовыми кольцами деревьев, можно определить продолжительность времени образования всей толщи глин. Разработанный на основе этого варвометрический метод, предложенный Г. Де Геером более 100 лет тому назад, наряду с дендрохронологией до настоящего времени является самым точным методом датирования, хотя его возможности как в территориальном, так и в возрастном аспектах ограничены [1].

Такой, с первого взгляда, благоприятный объект для исследований не мог остаться без внимания ученых, исследовавших феномен естественной остаточной намагниченности горных пород. Первые палеомагнитные результаты по вековым вариациям древнего геомагнитного поля, относящиеся к 1940-м годам, были получены как раз на ленточных глинах, и их можно считать пионерными в палеомагнетизме осадочных пород [2, 3]. Толщи морских и озерных отложений, в первую очередь, являются источником информации для изучения непрерывных изменений геомагнитного поля во времени. В зависимости от скорости осадконакопления временное разрешение здесь колеблется от 1000 лет/см до 100 и менее. В неконсолидированных озерных осадках, в том числе с сезонной слоистостью, скорость осадконакопления в основном колеблется в пределах нескольких миллиметров в год. Именно таким породам отдают предпочтение при изучении тонкой структуры магнитного поля, детальной записи вековых вариаций и экскурсов.

На протяжении нескольких десятков лет был получен богатый фактический материал по результатам палеомагнитных исследований ленточных глин (см., например, [4–11]). С развитием метода стало очевидно, что основным критерием оценки достоверности палеомагнитных данных является согласование палеомагнитных «записей» в литологически разнородных осадках. Вопрос о достоверности каждой такой «записи» связан не только с определением минералов железа – носителей естественной остаточной намагниченности (что является необходимым атрибутом современных палеомагнитных определений), но и с четким представлением о механизме формирования намагниченности. При этом данные лабораторных экспериментов по формированию намагниченности в осадке могут рассматриваться только как дополнительная информация к результатам, которые можно получить при изучении природных объектов.

В палеомагнетизме генетическим вопросам формирования разного типа озерных отложений уделялось мало внимания. Исследователи, связывающие искажения «записи» магнитного поля в осадках с разными причинами, никаких конкретных рекомендаций во избежание ошибок как при выборе объектов, так и при интерпретации палеомагнитных результатов, не предложили (см., например, обзоры [12, 13]). Как следствие в многочисленных публикациях за последние три десятилетия ответ на вопрос о количестве эпизодов и экскурсов в эпохе Брюнес не найден. Их число варьирует у разных авторов от 10 и более вплоть до полного их отрицания. В этой связи показательна история с экскурсом Гетеборг (Готенбург), выделенным более 30 лет назад в ленточных глинах Швеции [14] и упомянутым в последующие два десятилетия в сотнях публикаций. При этом в 1990-х годах большинство зарубежных авторов уже упоминали о нем как о досадной ошибке, хотя до настоящего времени ряд ученых придерживается иной точки зрения.

В предыдущих публикациях авторы поднимали вопрос о годичной периодичности и палеомагнитной информативности ленточных глин [15–17]. Настоящая статья посвящена анализу палеомагнитной «записи» в ленточных глинах в зависимости от седиментологической обстановки в приледниковом водоеме.

ГЕНЕЗИС ОЗЕРНО-ЛЕДНИКОВЫХ ЛЕНТОЧНЫХ ГЛИН

В прошлом столетии господствовали две генетические гипотезы формирования озерно-ледниковых отложений: гравитационная гипотеза Де Геера и турбидитная гипотеза Кюнена. Каждая из них имела своих приверженцев и противников, поскольку объясняла образование и внутреннее строение ленточных глин для конкретных природных объектов, не охватывая их многообразия.

Согласно первой, принятой на начальном этапе исследований [1], талые ледниковые воды переносили на большие расстояния терригенный материал, который, оседая через толщу воды, дифференцировался по крупности. В летний период накапливался алевритовый материал, а в зимний – глинистый; при этом последний длительное время мог находиться во взвешенном состоянии. Так формировалась пара лент – зимняя и летняя, которой, по представлению авторов этой концепции, соответствовал промежуток в один календарный год.

В другой гипотезе главная роль в формировании ленточных глин отводилась мутьевым потокам. Схема движения мутьевых потоков в приледниковых бассейнах с разной соленостью воды была предложена Кюненом [18, 19]. Позднее Д. Банерджи [20] на примере плейстоценовых ленточных глин оз. Онтарио, (Канада), показал, что они аналогичны типичным турбидитам. Не останавливаясь на более поздних, работах следует отметить, что в них показано многообразие строения ленточных глин для конкретных объектов и отсутствие единой модели, которая удовлетворительно объясняла бы их образование (см., например, [21–23]). Наряду с образованием пары лент в течение одного года неоднократно подчеркивалось многообразное чередование различных лент в пределах одного сезона.

Исучая залежи ленточных глин на территории южной Карелии и Кольского полуострова, где их формирование происходило в приледниковых бассейнах различной формы и размеров, при различных гидродинамических условиях, авторы сделали вывод о ведущей роли турбидитного механизма их образования [17].

На юго-востоке Кольского полуострова объектом исследования была залежь озерно-ледниковых отложений типичного для Кольского полуострова узкого и вытянутого приледникового водоема, который располагался в перигляциальной зоне деградировавшей беломорской лопасти Скандинавского ледника в долине р. Усть-Пялка, 66°20'N, 39°40'E. Палеоводоем имел глубину около 60 м и питался водами тающего ледника, который служил подпрудой и его южным берегом. Он расположен перед зоной краевых образований Кейва I, занимая долину р. Усть-Пялка в среднем ее течении (рис. 1,А.1). Отложения палеоводоема приурочены к двум террасам, поверхности которых наклонены по направлению к долине реки. Верхняя терраса с высотой 150–145 м над ур. м. преимущественно конструктивная, а нижняя, поверхность которой находится на отметках 142,5–140,0 м, – деструктивная (рис. 2,а). Обломочный материал в водоем поступал со склона одной флювиогляциальной дельты, ограничивающей озеро с юга.

Детально было изучено девять разрезов-шурфов, вскрывающих озерно-ледниковые отложения в разных зонах водоема. На основе палеомагнитных и геолого-геоморфологических данных их соот-

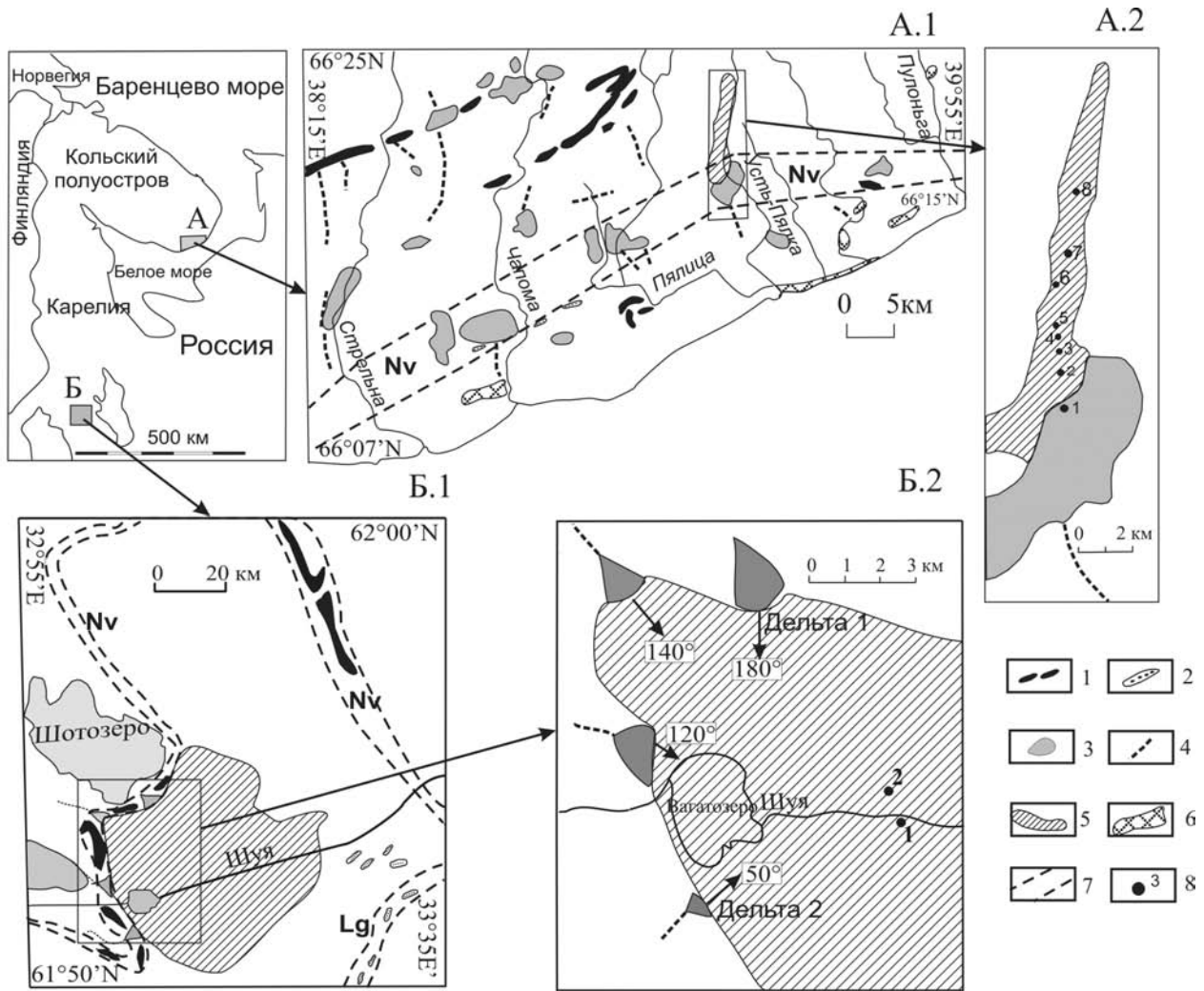


Рис. 1. Краевые ледниковые образования юго-восточной части Кольского полуострова: 1 – морены напорно-насыпные, насыпные; 2 – морены напорные; 2 – флювиогляциальные дельты; 4 – озы; 5 – озерно-ледниковые отложения; 6 – морские осадки; 7 – границы краевых образований (Lg – лужская стадия, Nv – невская стадия); 8 – положение и номера разрезов

ношение друг с другом приведено на рис. 2,а [16]. Изменение структур и текстур ленточных глин позволяет разделить залежь на проксимальную и дистальную части (по отношению к фронту ледника) с границей примерно посередине между разрезами 7 и 8 (рис. 2,б) и рассмотреть в пределах проксимальной части эти изменения в дистальном направлении (шурфы 2–5 и 7) и отчасти по латерали (разрез 6 по сравнению с остальными). Разрезы 2–5 и 7 приурочены к низкой террасе и сложены осадками, накопившимися в вытянутой субмеридионально глубоководной средней части озера. Разрез 6, находящийся на верхней террасе, тяготеет к прибрежной части озера и потому отложения здесь формировались на меньших глубинах.

Ленты проксимальной части в основном имеют сложное ритмичное строение. Выделенные ритмы сходны с типичными турбидитами по аналогии с ритмами Боума [24]. Большинство ритмов представляют собой группы слоев с закономерно изменяющимися структурно-текстурными характеристиками (см. пример на рис.3,а). Наиболее полная из них, состоящая из пяти элементов, отвечает одному ритму, или «совершенному» турбидиту. Исследования гранулярного состава полного ритма Боума ABCDE показало, что медианный размер зерен обломочного материала убывает вверх по разрезу ритма (рис. 3,б). Анализ гранулярного состава осадков, слагающих усеченные ритмы, показывает идентичность изменений грансостава и в усеченных ритмах. Это отвечает сложившемуся представлению о том, что элементы ритма А, В, С и D формируются гляциотурбидитным потоком по мере падения его скорости, и подтверждает генетическое единство рассматриваемой последовательности.

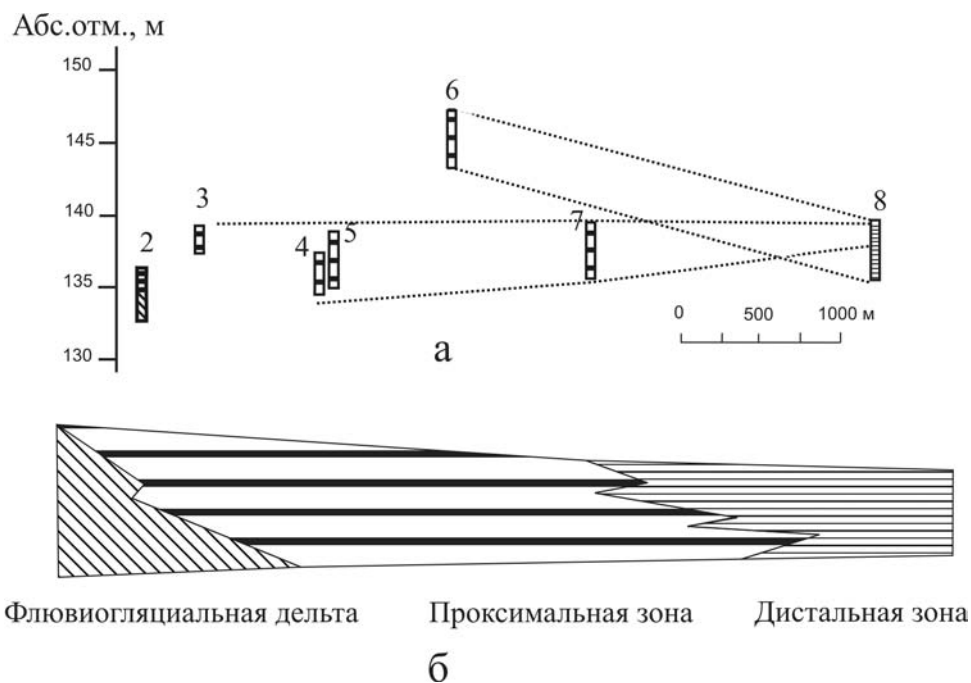


Рис. 2. Схема корреляции разрезов озерно-ледниковых отложений района среднего течения р. Усть-Пялка (а) и ее схематический продольный разрез (б)

При этом завершающий глинистый слой Е частично осаждается летом непосредственно из потока и частично – зимой из суспензии.

В отложениях разрезов 2–5 и 7, как в типичных турбидитах, наряду с полными, редко встречающимися ритмами широко развиты сокращенные, без одного или нескольких элементов. Всего, помимо полного ABCDE ритма, было выделено 20 типов усеченных ритмов. По частоте встречаемости выделенные типы ритмов можно объединить в четыре группы. Наиболее редки (их менее 2 %) ритмы ABCDE, CDE, ABC, BCD, ABDE, ABCE и ACE; 2–5 % приходится на долю ритмов ACDE, ABE, AC, AE, A и E; 5–10 % составляют ритмы DE, ADE, BCE, BDE, BE и B и, наконец, к числу сравнительно часто встречающихся (10–20 %) относятся ритмы BCDE и BC. В южной части проксимальной зоны присутствует 14 типов ритмов, в центральной – 20, а в северной – всего лишь 11. Такое распределение ритмов в пространстве вероятно обусловлено динамикой мутьевых потоков. В южной части, на передовом склоне дельты, потоки набирали скорость, в центральной они перемещались с более или менее постоянной и достаточно высокой скоростью и, наконец, в северной части их скорость снижалась.

Следы размывов, наблюдаемые в осадках, свидетельствуют о том, что мутьевые потоки эродировали подстилающие отложения. В связи с этим изучаемые разрезы существенно редуцированы. Определенный интерес представляет анализ изменения относительного содержания каждого из элементов ритма в пределах проксимальной части залежи. Соответствующие данные приведены на рис. 3, в. Отчетливо видно, что для элементов А, В и С характерна тенденция к уменьшению их распространенности в дистальном направлении, а для элементов D и E – к увеличению. В дистальной части залежи ленты состоят только из ритма DE. Наблюдаемая картина в общих чертах отвечает сложившемуся представлению об изменении строения ритма в направлении движения мутьевого потока [25], согласно которому по мере удаления от места образования потока из разреза ритма последовательно выпадают элементы А, В и С, тогда как элементы D и E развиты повсеместно.

Характеризуемые отложения проксимальной части залежи представлены лентами, мощность которых изменяется от 1 до 40 см, но чаще – всего от 1 до 15 см. Средняя мощность лент в южной и центральной частях проксимальной зоны порядка 12 см, в северной – близка к 10 см. Одну ленту могут слагать один или несколько ритмов. При этом ленты, включающие в себя разное количество ритмов, закономерно изменяются в зависимости от их местоположения относительно дельты (рис.3, г). Ленты южной и центральной частей проксимальной зоны мало отличаются друг от друга; если они состоят из одного и двух ритмов, то на их долю приходится по 34–42 %, если из трех, то по 12–18 %, если из четырех, то по 12–18 %, если из пяти, то по 12–18 %, если из шести, то по 12–18 %, если из семи, то по 12–18 %, если из восьми, то по 12–18 %, если из девяти, то по 12–18 %, если из десяти, то по 12–18 %.

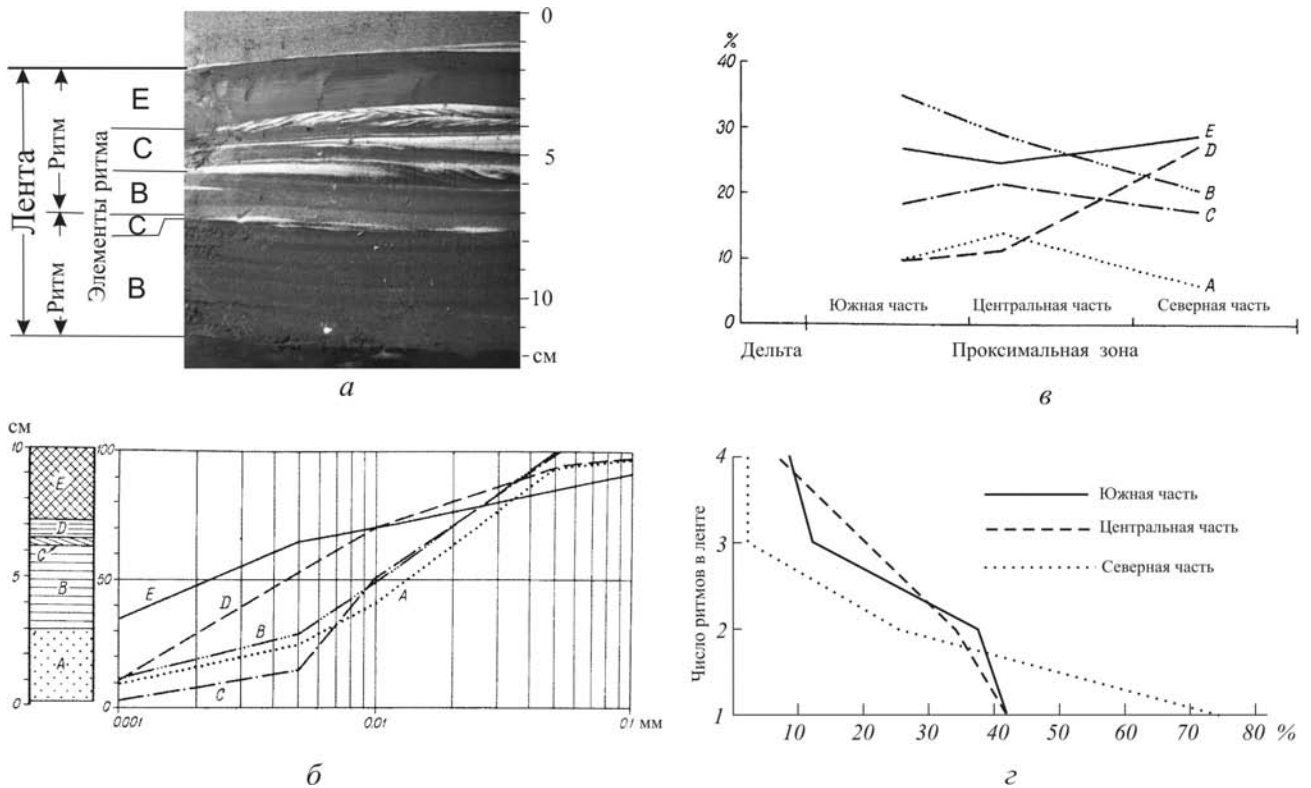


Рис.3. Строение проксимальной ленты, состоящей из двух усеченных ритмов (а); строение полного ритма Боума и коммулятивные кривые гранулярного состава составляющих элементов полного ритма ABCDE в разрезе 5 (б); изменение относительного содержания каждого из элементов ритма ABCDE в отложениях проксимальной зоны по мере удаления от флювиогляциальной дельты (в); количество ритмов в лентах проксимальной зоны (г)

если из четырех то по 6 – 8 %. Ленты северной части залежи по строению проще: 73 % из них представлены одним ритмом, 23 % – двумя, и по 2 % – тремя и четырьмя ритмами. Если каждый ритм образуется одним потоком, то установленное упрощение лент будет свидетельствовать о том, что северной периферии проксимальной зоны достигали не все потоки, зарождавшиеся на передовом склоне дельты. Однако и те из них, которые доходили до этой части залежи, имели меньшую скорость, чем, например, в центральной части, на что указывает отмеченное уменьшение средней мощности лент. Кроме того, потоки здесь менее энергично воздействовали на подстилающие осадки. Соответственно, на северной периферии зоны внутри лент сложного строения значительно чаще сохраняется элемент ритма Е.

Достаточно отчетливо выражены изменения в строении проксимальных лент по латерали. Фактически только разрез 6, расположенный на высоте 147,5 м над ур. м., тяготеет к прибрежной части некогда существовавшего водоема. В этом разрезе выделено 177 ритмов, которые подразделяются на 11 типов. Наиболее существенной особенностью ритмов здесь является редукция элемента Е, который, имея малую мощность, выделяется с большим трудом и не во всех ритмах. Наблюдается отчетливая тенденция к его исчезновению вверх по разрезу. Так, если в нижней части элемент Е обнаружен примерно в 20 % ритмов, то выше по разрезу он присутствует не более чем в 3–4 % ритмов. Отмеченная тенденция объясняется тем, что по мере накопления осадков уменьшалась глубина озера. В результате этого глинистые частицы в более полном объеме выносились из прибрежных областей в относительно глубоководные и спокойные части озера. Мощность лент, вскрытых разрезом 6, варьирует от 0,5 до 3 см, составляя в среднем 1,2 см, что почти на порядок меньше мощности лент разрезов 2–5 и 7. Все ленты представлены одним ритмом. Судя по палеомагнитным данным [17], толща глин разреза 6 сформировалась не менее чем за 600 лет. Таким образом, если даже допустить, что каждый из 177 ритмов отвечает годичной ленте, то и в таком варианте геологическая летопись оказывается неполной. Очевидно, периферические части мутьевых потоков были обеднены кластическим материалом по сравнению с потоками в центральной глубоководной зоне. Вследствие

этого в направлении от срединной области накопления осадков к периферической сокращается мощность лент и упрощается их строение. Эрозионное воздействие мутьевых потоков на подстилающие отложения проявлялось и по всей периферии проксимальной зоны.

Отложения дистальной зоны вскрыты в разрезе 8. В их толще насчитывается 606 лент, мощность которых варьирует в пределах 0,2–2,0 см, составляя в среднем 0,5 см. Все они представлены только одним ритмом DE. Летняя алевритовая часть лент (D) обычно мощнее зимней глинистой (E), однако в отдельных случаях имеет ту же или меньшую мощность. Содержание глинистых частиц в целом сокращается вверх по разрезу. Выявленную тенденцию можно объяснить лишь тем, что по мере накопления глин непрерывно понижался уровень озера. Соответственно происходила перестройка дельты и в составе обломочного материала, поступавшего на ее передовой склон и дававшего начало мутьевым потокам, возрастала доля алевритовых частиц. С учетом результатов палеомагнитных исследований и на основании изложенного есть все основания предполагать, что 606 лент в дистальной части залежи соответствуют 606 календарным годам.

Глины другой залежи, на территории южной Карелии (61°42'N, 33°30'E), формировались в изометрическом водоеме, куда кластический материал поступал из разных дельт через четыре водно-ледниковые магистрали (см. рис. 1, Б.1, Б.2). Здесь толща озерно-ледниковых глин формировалась в непосредственной близости от краевых образований невской стадии последнего оледенения, а привнос кластического материала происходил как через четыре водно-ледниковые магистрали, заканчивающиеся флювиогляциальными дельтами, так и тальми водами вне ледниковых магистралей при вытаивании материала непосредственно из фронтальной части ледниковой лопасти [23].

С каждой из этих дельт связано формирование отложений, которые по своему гранулярному составу и строению лент аналогичны осадкам Усть-Пялксской залежи. Однако воздействие нескольких разнонаправленных потоков усложнило строение Шуйской глинистой залежи, проявившееся в совместном залегании и переслаивании проксимальных и дистальных лент. Замеры азимута падения косых слоев в осадках на передовом склоне флювиогляциальных дельт дали возможность установить четыре основные направления движения гляциотурбидитных потоков [17].

Толща глин была изучена в двух разрезах, расположенных в центральной части залежи (см. рис. 1, Б.2). По мощности лент осадки, вскрытые разрезом 1, можно разделить на две примерно равные части, граница между которыми проходит на отметках 1,2–1,3 м. Большая мощность лент нижней части (в среднем 0,6 см) по сравнению с мощностью лент верхней части (в среднем 0,3–0,4 см) объясняется разными режимами озерно-ледникового седиментогенеза. В нижней части, которая имеет сложное (полициклитное) строение и представлена преимущественно лентами, характерными для проксимальной зоны, отмечено 13 типов усеченных ритмов Боума (таблица). Верхняя часть этого разреза сложена преимущественно дистальными лентами моноциклитного строения (в интервале глубин 0,0–1,0 м 82 % лент представлены только ритмом DE). Но здесь также присутствуют и проксимальные ленты и выделяются семь разных сочетаний ритмов (табл.). Другими словами, в верхней и в нижней частях разреза 1, как и в разрезе 2, отмечаются следы воздействия гляциотурбидитных потоков разных направлений. Результатом наложения разнонаправленных потоков является присутствие в проксимальных лентах типов ритмов, не встречавшихся в глубоководной части Усть-Пялксской залежи. К таковым относятся ритмы SE и S. Всего на этом разрезе определено около 540 годичных лент.

Таким образом, можно заключить, что основным поставщиком кластического материала в приледниковый водоем являются гляциотурбидитные потоки. Условия для их зарождения и функционирования создаются по мере накопления осадков на передовом склоне дельты. Зарождение и функционирование гляциотурбидитных потоков можно рассматривать как автоколебательную систему, в которой постоянно действующим источником пополнения энергии является привнос кластического материала при таянии льда [23]. Период колебания системы определяется интенсивностью поступления осадочного материала, т.е. зависит от времени, в течение которого на передовом склоне дельты накапливается линза кластического материала, периодически перемещаемая гляциотурбидитными потоками в глубь палеоводоема. Судя по установленному количеству ритмов в лентах проксимальной части глинистых залежей Кольского полуострова, в течение года в одном палеоводоеме может формироваться до четырех гляциотурбидитных потоков.

Энергией гляциотурбидитного потока определяются текстурно-структурные характеристики ритмов в проксимальных лентах, которые зависят от гранулярного состава перемещаемого матери-

ала. Этим объясняется повсеместное отсутствие нижних элементов ритма и широкое распространение усеченных ритмов. Кроме того, в разрезах проксимальной зоны часто встречаются неполные ритмы с отсутствием верхних элементов (D, E). Это объясняется эродирующим влиянием последующего гляциотурбидитного потока.

В дистальной части палеоводоема образование ритмов связано с отложением материала либо из малоэнергетичного гляциотурбидитного потока, либо из суспензии за счет материала, доставляемого другими способами – талыми водами, растекающимися по поверхности палеоводоема, ветром, волнами, плавающим льдом и др. В результате в дистальной части залежи формируются ленты, сложенные только одним ритмом – DE. И именно здесь может сохраняться наиболее полная геологическая летопись.

Нас, в первую очередь, интересуют ленточные глины, которые формируются гляциотурбидитными потоками и гравитационным осаждением из взвеси наиболее тонких дифференциатов ледникового кластического материала, поскольку именно с ними связана сезонная слоистость, и они являются наиболее перспективными для палеомагнитных исследований.

МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА И МАГНИТНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

Процесс образования естественной остаточной намагниченности в осадках, в том числе озерно-ледниковых, до сих пор остается одной из малоизученных областей магнетизма осадочных горных пород. Кроме того, решение такого важного вопроса, как определение минералов железа, с которыми связан тот или иной вид намагниченности, в принципе не доказывает геофизическую природу первичной компоненты намагниченности (например, направление последней может быть искажено в процессе седиментации).

Результаты магнитно-минералогических исследований образцов указанных залежей глин детально изложены в работах [26, 27]. Сделаны выводы, что минералами железа – носителями остаточной намагниченности, являются гематит, магнетит, маггемит и гидроокислы. При этом был определен состав магнитной фракции на разных участках разрезов. Также было установлено преобладание в одних зонах преимущественно ориентационной, а в других – химической намагниченности, которые по времени формирования практически синхронны. Тем не менее, ключевой вопрос – насколько точно в осадках фиксируется направление магнитного поля – остается открытым. Известно, что озерно-ледниковым отложениям присущи эффекты «ошибки наклона», «ошибки напластования», а также влияние придонных течений на отклонение магнитных частиц при ориентации в направлении приложенного магнитного поля [13]. Эти эффекты могут существенно влиять на палеомагнитную «запись» направления древнего магнитного поля в осадках.

Ленточные глины исследуемых палеоводоемов представляют несомненный интерес, поскольку здесь можно проследить изменение магнитных параметров в зависимости от разной гидродинамической обстановки. Один из методов установления воздействия таких процессов – исследование магнитной структуры осадков [28]. Параметры анизотропии магнитной восприимчивости (AMB) отражают ориентацию магнитных зерен. На формирование магнитной структуры оказывают влияние следующие факторы: гравитационное выравнивание наибольших плоскостей магнитных частиц параллельно дну бассейна в процессе осаднения; влияние придонных течений, что приводит к ориентации длинных осей частиц параллельно течению (либо перпендикулярно при очень сильных скоростях течений); ориентация частиц под воздействием магнитного поля. При этом гидродинамические факторы, как, например, придонное течение, влияют, в первую очередь, на относительно крупные частицы, в то время как ориентация малых зерен, имеющих большую коэрцитивную силу, происходит под воздействием земного магнитного поля и продолжается на начальных этапах седиментогенеза (соответственно формирование седиментационной и постседиментационной намагниченностей в осадках). К преимуществам метода исследования AMB в осадках следует также отнести возможность определения деформаций микроструктуры, которые зачастую не идентифицируются по внешнему виду осадка [29], определение нарушений в однородных толщах [30], а также деформаций, связанных с отбором образцов неконсолидированных осадков трубками или специальными пробоотборниками на акваториях озер и морей.

В узком и меридионально вытянутом водоеме Усть-Пялка, где терригенный материал поступал из одной дельты, направление ориентации длинных осей эллипсоида AMB для разреза б свидетель-

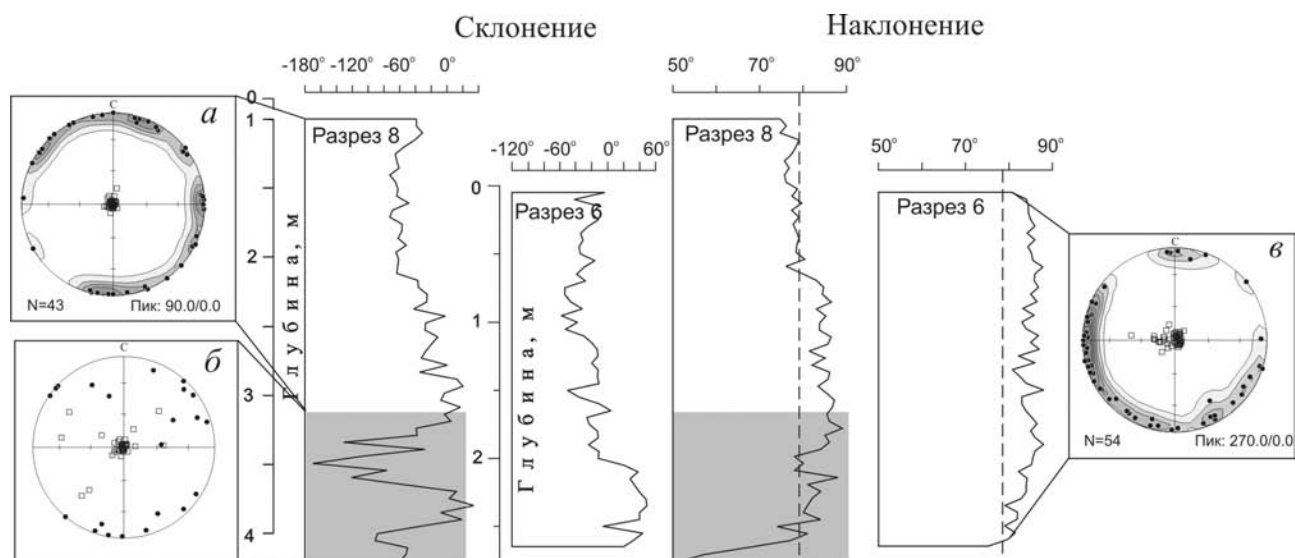


Рис. 4. Равнопромежуточные проекции направлений максимальной K1 (залитые круги) и минимальной K3 (полые квадраты) осей эллипсоидов АМВ образцов Усть-Пяльского приледникового водоема: а – для верхней 2,2-метровой толщи разреза 8 с первичной магнитной структурой; б – для нижней части разреза 8 с нарушениями магнитной структуры; в – для всей толщи разреза 6. Расчетные параметры и изолинии приведены для направлений оси K1. В центре – палеомагнитная «запись» вариаций склонения и наклонения. Наклонение геоцентричного аксиального диполя отмечено пунктирной линией. Зоны с вторичной магнитной структурой (по данным АМВ) и визуально нарушенной слоистостью отмечен серым тоном

ствует об исключительно первичной магнитной структуре осадков (рис. 4,в). Разрез 8 несколько отличается. В его нижней части четко выделяется зона с образцами, характеризующимися типично вторичными магнитными структурами, что видно по аномальным направлениям минимальной оси эллипсоидов АМВ, направление которой должно быть близко к вертикальному (рис. 4,б). Для сравнения на рис. 4,а приведены данные по АМВ для верхней части толщи глин разреза 8 с ненарушенной слоистостью от кровли до глубины 3,2 м. Очевидно, эта толща характеризуется первичной магнитной структурой.

Как показывают результаты исследований АМВ ленточных глин Шуйской залежи, для всей толщи осадков характерны исключительно первичные магнитные структуры. Анализ направлений основных осей K1 и K3 эллипсоидов АМВ (рис.5) показывает, что они хорошо согласуются с результатами полевых замеров направлений ряби течения, выполненных на косо волнистой слоистости элементов ритма С [17]. В зоне преимущественно проксимальных лент встречаются образцы с направлениями, характерными для дистальной зоны, и, наоборот, в зоне преимущественно дистальных лент есть уровни с направлением потоков, присущих проксимальной зоне. Результат полностью согласуется с описанным турбидитным механизмом образования залежи глин и позволяет установить, с какими гляциотурбидитными потоками, зарождавшимися на разных флювиогляциальных дельтах и двигавшимися в разных направлениях, связано переслаивание лент. На первом этапе формирования преимущественно проксимальных лент привнос терригенного материала осуществлялся в основном по направлению $340^{\circ}\text{СЗ} - 160^{\circ}\text{ЮВ}$ из дельты 1 (рис.5,б). В то же время меньшее количество материала поступало из дельты 2 при направлении потоков $240^{\circ}\text{ЮЗ} - 60^{\circ}\text{СВ}$ (см. рис. 1,Б.2). Позднее, с началом формирования преимущественно дистальных лент (см. рис. 5,а), привнос материала уменьшился и происходил в основном в направлении $240^{\circ}\text{ЮЗ} - 60^{\circ}\text{СВ}$ (дельта 2), но часть материала продолжала поступать и из дельты 1.

ПАЛЕОМАГНИТНАЯ «ЗАПИСЬ»

На рис. 4 представлены усредненные результаты палеомагнитной «записи» вариаций склонения и наклонения двух разрезов 6 и 8 палеоводоема Усть-Пялка. При этом в последнем определено 606 го-

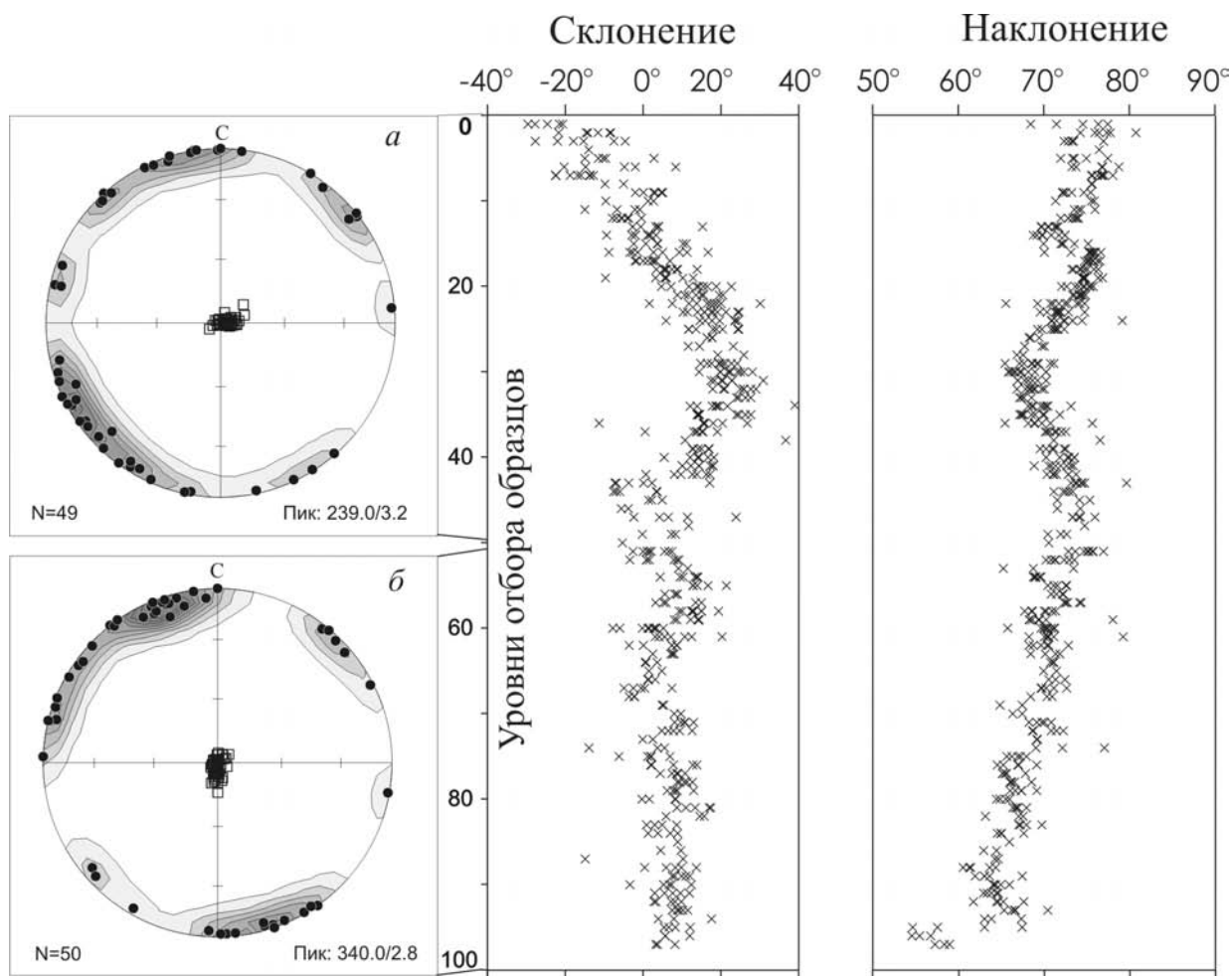


Рис. 5. Палеомагнитная «запись» вариаций склонения и наклонения в Шуйской залежи ленточных глин, разрез 1. Слева – равнопромежуточные проекции направлений максимальной K1 (залитые круги) и минимальной K3 (полые квадраты) осей эллипсоидов анизотропии магнитной восприимчивости образцов Шуйского приледникового водоема для зон с преимущественно дистальными (а) и проксимальными (б) лентами. Расчетные параметры и изолинии приведены для направлений оси K1.

дичных лент, т. е. «запись» может быть приведена к временному масштабу. Здесь выделяется флуктуация склонения с амплитудой около 100° , вариация наклонения в пределах 10° , «записи» в обоих разрезах несколько отличаются, но в целом хорошо согласуются между собой. Средние значения наклонения близки к наклонению аксиального диполя ($78,5^\circ$). Что касается «записи» в разрезах 2–5 и 7 проксимальной зоны, то она малоинформативна, значения склонения и наклонения даже по соседним образцам имеют большой разброс, а результаты по разрезам не согласуются между собой. В нижней части разреза 8, где выделяется зона нарушения первичных магнитных структур, палеомагнитная «запись» очень похожа на геомагнитный «экскурс», который по возрасту (см. ниже) может быть соотнесен с экскурсом геомагнитного поля Гетеборг. Согласно изложенному, к геомагнитному событию этот фрагмент «записи» не имеет никакого отношения.

На рис. 5 представлена «запись» вариаций величины склонения и наклонения в толще ленточных глин Шуйской залежи, полученная по результатам измерений 525 образцов. Расчет средних направлений отдельно для зоны преимущественно проксимальных и дистальных лент дал равные значения склонения 359° и разные значения наклонения – соответственно 68° и 73° . По амплитуде вариации склонения достигают 50° (от 17° восточного до 32° западного). Средняя величина наклонения по всему разрезу 71° , что на 4° меньше наклонения геоцентричного аксиального диполя для этой территории (75°). Отсюда следует, что если величины наклонения занижены, то «ошибка наклонения» более значима в глинах проксимальной части и в среднем составляет 7° (в предположении, что среднее за более чем 500 лет наклонение было близко к наклонению аксиального диполя). Так как наклонение из-

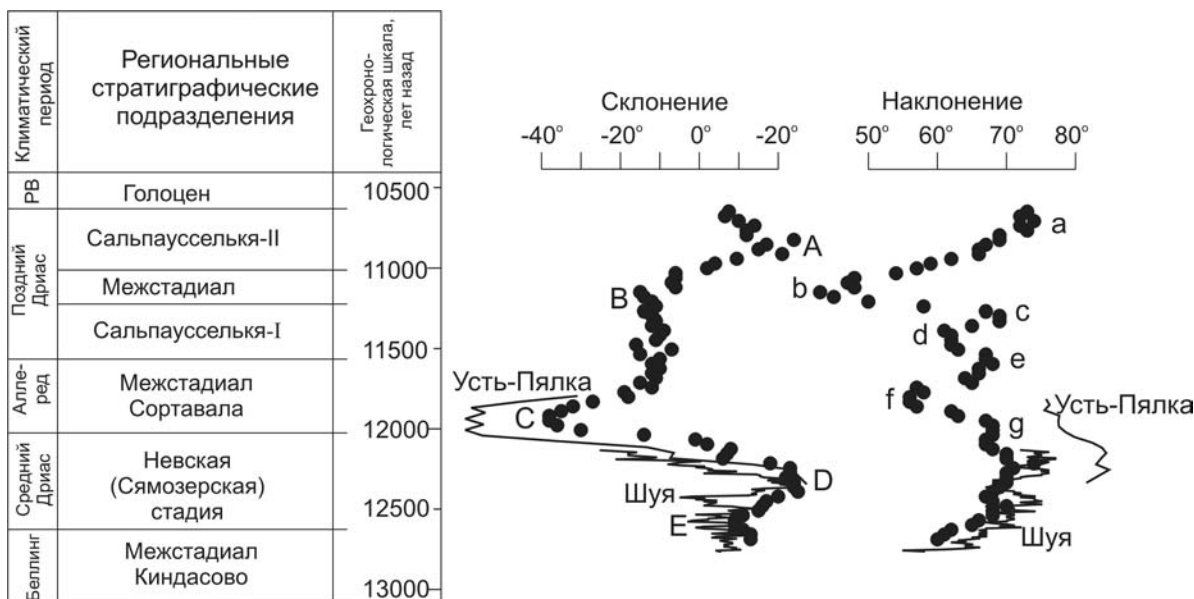


Рис.6. Сопоставление вариаций склонения и наклонения, «записанных» в разрезах Шуя и Усть-Пялка, со сводной хроно- и магнитостратиграфической схемой позднеледниковых отложений северо-запада России [15]. Каждая точка соответствует среднему значению за 30-летний временной интервал. Пики склонения и наклонения обозначены соответственно заглавными и прописными буквами

меняется в пределах 61–77° (без учета явно заниженных величин двух нижних уровней на глубине 2,5 м), амплитуда вариаций более чем в 2 раза превышает возможную погрешность наклонения в 7°.

Есть все основания полагать, что вариации склонения и наклонения, представленные на рис. 4 и 5, отражают флуктуации древнего геомагнитного поля продолжительностью соответственно около 600 и 540 лет. Приведем результаты к единому временному масштабу и сопоставим с региональной магнитохронологической шкалой позднеледниковья для территории южной Карелии [15]. Последняя представлена на рис 6, где каждая точка соответствует среднему значению за 30-летний временной интервал, пики вариаций приведены к хронологической шкале и региональной стратиграфической схеме. Учитывая число «годовых» лент разрезов Усть-Пялка и Шуя, результаты в едином временном масштабе представлены на рис.6. Очевидно хорошее согласование кривых и их абсолютных значений по обоим разрезам (даже без введения поправки за географическую широту, поскольку по широте они отстоят на 600 км). Это является доказательством именно геофизической природы «записи» палеомагнитных вариаций в осадках.

В заключение следует отметить, что в исследуемый временной интервал попадает геомагнитный экскурс Гетеборг. Однако результаты, представленные в настоящей статье, не дают никакого основания для его выделения. Возраст пика С на рис.6 оценивается 11950 лет-лет [15]. Согласно [31], его возраст по радиоуглеродным определениям около 13090 калиброванных лет ВР. Очевидно, что палеомагнитная «запись» нижней части разреза 8 Усть-Пялковского приледникового водоема без учета особенности седиментации и данных по магнитной структуре очень похожа на «геомагнитный экскурс», но не имеет никакого отношения к флуктуациям древнего геомагнитного поля.

ВЫВОДЫ

1. Ленточные глины в приледниковых водоемах формируются гляциотурбидитными потоками и гравитационным осаждением из взвеси наиболее тонких дифференциатов ледникового кластического материала. При этом большое значение имеет форма и размер конкретного водоема.

2. В пределах одной глинистой залежи встречаются ленточные глины с различными текстурно-структурными особенностями, которые зависят от ведущего механизма седиментации. В результате осаждения из гляциотурбидитного потока формируются проксимальные и дистальные ленточные глины. Вследствие гравитационного осаждения из взвеси частично формируются глинистые осадки.

3. Формирование намагниченности озерно-ледниковых отложений рассмотрено в рамках седиментологической модели формирования ленточных глин как производных гляциотурбидитных потоков, что объясняет различие в магнитных характеристиках ленточных глин и разную степень их палеомагнитной информативности.

4. Палеомагнитно информативными являются отложения дистальной зоны, сформированные гляциотурбидитными потоками и осадением из суспензии, и в некоторых случаях периферии проксимальной зоны. Ленточные глины дистальной зоны являются наиболее благоприятным объектом для изучения вековых вариаций, поскольку в них сохраняется полная геологическая летопись.

5. В пределах одного водоема состав магнитной фракции может существенно изменяться в зависимости от условий седиментации. При идентификации многокомпонентного состава магнитной фракции и его изменении в зависимости от условий седиментации критерием достоверности выделения вековых вариаций является согласование результатов по разным объектам, различающимся по литологии. Это основной и самый сильный критерий доказательства геофизической природы выделенных вариаций.

6. Исследование магнитной структуры образцов должно быть неотъемлемой составляющей палеомагнитных исследований неконсолидированных осадков. Это позволяет учесть помехи, обусловленные исключительно механическими причинами, т. е. выделить геомагнитный сигнал в "чистом" виде и избежать ложных «эпизодов» и «экскурсов», которыми пестрят некоторые современные магнитостратиграфические схемы.

Таблица. **Встречаемость различных типов ритмов в разрезе 1 глинистой залежи Шуйского палеоводоема**

Тип ритма	Зона преимущественно проксимальных лент (интервал 1,0 – 2,5 м)		Зона преимущественно дистальных лент (интервал 0,0 – 1,0 м)	
	Общее количество, ед.	Содержание, %	Общее количество, ед.	Содержание, %
<i>BCDE</i>	35	13,11	16	5,9
<i>BCD</i>	2	0,75	–	–
<i>BC</i>	4	1,5	–	–
<i>BC'E</i>	8	3,0	1	0,37
<i>B'DE</i>	50	18,73	8	2,95
<i>B''E</i>	8	3,07	8	2,95
<i>CDE</i>	36	13,48	17	6,27
<i>CD</i>	6	2,25	1	0,37
<i>C'E</i>	2	0,75	10	3,69
<i>DE</i>	104	38,95	210	77,49
<i>B</i>	6	2,25	–	–
<i>C</i>	3	1,12	–	–
<i>E</i>	3	1,12	–	–
Итого:	267	100	271	100

1. *De Geer G. A.* Geochronology of the last 12000 years. // Compt Rendu du XI-e Congres Geologique International. Stockholm. – 1912. – P. 241–253.
2. *Ising G.* On the magnetic properties of varved clays // Ark. Mat. Astronom. Phys. – 1942. – 29A, №5. – P. 1–37.
3. *Johnson E.A., Murphy T., Torreson O.W.* Pre-history of the Earth's magnetic field // Terr. Magn., Atmos. Electr. – 1948. – 53. – P. 349–373.
4. *Granar L.* Magnetic measurements on Swedish varved sediments // Ark. Geofys. – 1958. – 3. – P. 1–40.
5. *Griffiths D. H.* Remanent magnetism of varved clays from Sweden // Mon. Notice Roy. Astronom. Soc., Geophys. Suppl. – 1955. – 7. – P. 103–114.
6. *Griffiths D. H., King R. F., Rees A. I., Wright A. E.* Remanent magnetism of some recent varved sediments // Proc. Roy. Soc. London, ser. A. – 1960. – №256. – P. 359–383.

7. *King R. F.* Remanent magnetism of artificially deposited sediments // *Mon. Notice Roy. Astronom. Soc. Geophys. Suppl.* – 1955. – 7. – P. 115–134.
8. *Nöel M.* The paleomagnetism of varved clays from Blekinge, southern Sweden // *Geol. Fören. Stockholm Förhandl.* – 1975. – 97. – P. 357–367.
9. *Rees A.I.* The effect of water currents on the magnetic remanence and anisotropy of susceptibility of some sediments // *Geophys. J.* – 1961. – 5. – P. 235–251.
10. *Rees A.I.* Measurement of the natural remanent magnetism and anisotropy of susceptibility of some Swedish glacial silts // *Geophys. J.* – 1964. – 8. – P. 356–369.
11. *Verosub K.L.* Paleomagnetism of varved sediments from western New England: secular variation // *Geophys. Res. Lett.* – 1979. – 6. – P. 245–248.
12. *Barton C.E., McElhinny M.W., Edwards D.J.* Laboratory studies of depositional DRM // *Geophys. J. R. Astronom. Soc.* – 1980. – 61. – P. 355–377.
13. *Verosub K. L.* Depositional and postdepositional processes in the magnetization of sediments // *Rev. Geophys. Space Phys.* – 1977. – 15, №2. – P. 129–144.
14. *Mörner N.A., Lanser J.P., Hospers J.* Late Weichselian paleomagnetic reversal // *Nature.* – 1971. – 234. – P. 173–174.
15. *Бахмутов В.Г.* Магнитохронологическая шкала эпохи позднеледниковья (13–10 тыс. лет назад) для юго-восточной Фенноскандии и прилегающих регионов // *Геофиз. журн.* – 2001. – 23, №1. – С. 22–28.
16. *Bakhmutov V.G., Yevzerov V.Ya., Kolka V.V.* Paleomagnetism and lithology of late Weichselian deposits in Ust-Pjalka's periglacial lake, south-east of the Kola Peninsula // *Geologica Carpatica.* – 1993. – 44, № 5. – P. 315–324.
17. *Bakhmutov V., Kolka V., Yevzerov V.* Lithology and paleomagnetic record of Late Weichselian varved clays from NW Russia // *Geological Quarterly.* – 2006. – 50(3). – P. 353–368.
18. *Kuonen P.* Mechanics of varve formation and the action of turbidity currents // *Geol. Fören. Stockholm Förhandl.* – 1951a. – 73, №1. – P. 69–84.
19. *Kuonen P.* Turbidity currents at the cause of glacial varves // *J. Geol. Stockholm.* – 1951b. – 59, №5. – P. 507–508.
20. *Banerjee J.* Sedimentology of Pleistocene glacial varves in Ontario, Canada (Part A). Nature of grain-size distribution of some Pleistocene glacial varves in Ontario, Canada (Part B) // *Geol. Surv. Canada Bull.* – 1973. – 226. – 60p.
21. *Catto N.R.* Lacustrine sedimentation in a proglacial environment. Caribou River Valley, Yukon, Canada // *Boreas.* – 1987. – 16. – P. 197–206.
22. *Gruszka B.* Climatic versus tectonic factors in the formation of the glaciolacustrine succession Belchatow outcrop, central Poland // *Global and Planetary Change.* – 2001. – 28. – P. 53–71.
23. *Колька В.В.* Некоторые аспекты формирования ленточных глин на северо-востоке Балтийского щита // *Изв. РГО.* – 2004. – 136, вып.5. – С. 69–78.
24. *Bouma A.N.* Sedimentology of some flysch deposits. — Elsevier Publishing Co., Amsterdam: 1962. — 168 p.
25. *Градзинский Р., Костецкая А., Радомский А., Унруг Р.* Седиментология. — Недра, Москва: 1980. — 646с.
26. *Петрова Г.Н., Бахмутов В.Г., Диденко Е.Ю.* Вековые вариации геомагнитного поля, записанные в ленточных глинах разрезов Усть-Пялка // *Физика Земли.* – 1995. – №4. – С. 58–66.
27. *Петрова Г.Н., Бахмутов В.Г., Бураков К.С., Диденко Е.Ю.* Запись вековых вариаций геомагнитного поля в ленточных глинах разреза Киндасово (Карелия) // *Физика Земли.* – 1998. – №1. – С. 71–79.
28. *Tarling D.H., Hrouda E.* The magnetic anisotropy of rocks. – Publ. by Chapman & Hall, London: 1993. – 217p.
29. *Schmitz B.* Stress-induced variations of remanent magnetism in Late Quaternary varved clays // *Earth Plan. Sci. Lett.* – 1984. – 69. – P. 422–426.
30. *Blink I.* Magnetic susceptibility anisotropy and deformation of Quaternary sediments // *Z. dt. geol. Ges.* – 1989. – 140. – P. 393–403.
31. *Saarnisto M. and Saarinen T.* Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the Lake Onega Basin to the Salpausselkä End Moraines. // *Glob. Planet. Change.* – 2001. – 31. – P. 385–403.

¹ Институт геофизики НАН Украины, г. Киев, Украина

¹ Institute of Geophysics of the NAS Ukraine, Kiev, Ukraine

² Геологический Институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, Россия

² Geological Institute, Kola Science Center of the RAS, Apatity, Russia