

окраина Сибири приняли свое относительное положение близкое к «пангейскому» (=современному) и закрытие Палеоазиатского океана происходило по типу «ножницы» за счет разворота Сибири по часовой стрелке при соответствующем сближении юго-восточной и юго-западной окраин платформ.

6. Как видно из проведенного анализа, изменение характера движения рассматриваемых древних платформ тесно связано с крупными тектоническими событиями, происходившими на самих платформах и по их периферии, что указывает на единые геодинамические причины их породившие.

В заключении отметим, что Сибирская платформа и Балтика испытывали в целом согласованные перемещения, хотя совершенно очевидно, что в течение палеозоя они не являлись единой жесткой плитой. Это наблюдение можно рассматривать как дополнительную аргументацию геодинамической модели Шенгера-Натальина-Буртмана о формировании Центрально-Азиатского подвижного пояса как результата деятельности единой островной дуги соединяющей южные окраины этих платформ в палеозое.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 07-05-00880, 07-05-00750 и программы ОНЗ РАН «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)»

1. Паверман В.И., Шаццлло А.В. Новые данные по позднеордовикскому-раннесилурийскому участку кривой КМП для Алданского блока Сибирской платформы // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН. 28 апреля 2009г. http://ifz.ru/conference/2009/ysc_thesises/Paverman_Shacillo.pdf
2. Kravchinsky, V.A., K.M. Konstantinov, V. Courtillot, J.I. Savrasov, J.-P. Valet, S.D. Cherniy, S.G. Mishenin, and B.S. Parasotka, Palaeomagnetism of East Siberian traps and kimberlites: two new poles and palaeogeographic reconstructions at about 360 and 250Ma, *Geophys. J. Int.*, 2002, 148, p.1-33.
3. А.В. Шаццлло, И.В. Федюкин. Палеогеографическое положение Сибирской платформы в конце карбона – начале перми по палеомагнитным данным // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания, ИЗК СО РАН, Иркутск, 2009, с.143-144.
4. V.E. Pavlov, V. Courtillot, Bazhenov M.L., and R.V. Veselovsky. Paleomagnetism of the Siberian traps: new data and a new overall 250 Ma pole for Siberia // *Tectonophysics*, 2007 Vol. 443, p. 72–92.
5. Trond H. Torsvik & L. Robin M. Cocks, 2005 Norway in space and time: A Centennial cavalcade // *NORWEGIAN JOURNAL OF GEOLOGY* 2005, 85, p. 73-86.
6. Н.В. Лубнина, А.Г. Иосифиди, А.Н. Храмов, В.В. Попов, М. Левандовский. Палеомагнитные исследования силурийских и девонских отложений Подолии // Палеомагнитная количественная основа палеогеографических и геодинамических реконструкций, ВНИГРИ, С.Пб., 2007 с.105-125.

Процесс образования остаточной намагниченности осадочных пород J_{ro} разбивается на два этапа: 1) собственно осаждение частиц в водной среде с поверхности водоёма на дно; 2) последующее уплотнение и консолидация осадка при его погружении в более глубокие слои. Этим этапам сопоставляются два типа остаточной намагниченности - седиментационная (DRM) и постседиментационная (pDRM). По определению, DRM возникает непосредственно в процессе осаждения путём частичной ориентации магнитных моментов $\mathbf{m}$ магнитных частиц по направлению внешнего магнитного поля $\mathbf{B}$. PDRM образуется за счёт постепенного разворота $\mathbf{m}$ к направлению $\mathbf{B}$ в полужидком осадке уже после осаждения, причём неважно, за счёт каких именно процессов происходит такой разворот.

Базовой теоретической моделью образования DRM долгие годы была модель индивидуальной частицы [1], в которой рассматривалось оседание ферромагнитной сферической частицы радиуса r в условиях, когда единственным фактором, мешающим ориентировке её магнитного момента $\mathbf{m}$ по направлению внешнего магнитного поля $\mathbf{B}$, являлась вязкость воды. Согласно этой модели, величина DRM должна быть близка к насыщению $J_{sat} = J_n c_{mag}$ уже в при осаждении в земном поле. Здесь J_n – естественная остаточная намагниченность частицы, а c_{mag} – относительное содержание ферромагнитного материала в осаждающейся суспензии. Этот вывод противоречит одному из основных положений палеомагнетизма о том, что намагниченность пород прямо пропорциональна интенсивности внешнего поля. К тому же NRM осадков весьма мала, будучи на порядки меньше J_{sat} , а фактически же она в подавляющем большинстве случаев составляет лишь доли от интенсивности безгистерезисной остаточной намагниченности, полученной в полях порядка земного поля [2; 3]).

Для приведения в соответствие теоретические представления и экспериментальные данные, рассматривались различные дезориентирующие факторы: термофлуктуации, гидродинамические воздействия, слипание частиц под действием сил Ван дер Ваальса (флоккуляция). Как оказалось, термофлуктуации эффективны лишь для ОД частиц, а наиболее вероятным фактором дезориентации, резко снижающим величину как индуктивной J_{sus} , так и остаточной намагниченности (DRM), является флоккуляция [4]. Что же касается гидродинамических воздействий, то их роль на настоящий момент далеко неясна в силу больших сложностей, возникающих при соответствующих расчётах, хотя можно отметить работу [5], в которой рассматривалось вращение зерна при осаждении при совместном действии магнитного и гидродинамического моментов сил. Последний возникал за счёт асимметрии (пропеллерности) формы зерна. Как показали расчёты, эти силы могут привести к лишь некоторой дезориентации магнитного момента $\mathbf{m}$ оседающей частицы, выражающейся, главным образом, в некотором завышении наклона. Из всего сказанного делался вывод, что модель Нагаты изолированной оседающей частицы следует признать несостоятельной. Это положение

можно подкрепить и известными эмпирическими фактами, заключающимися в том, что результат переосаждения одного и того же осадочного материала значительно зависит как от применяемого метода (разовый или порционный), так и от солёности воды, чего никак не могло бы быть в случае справедливости модели изолированно оседающей частицы.

Роль флоркуляций исследовалась экспериментально и теоретически в ряде работ [4; 6; 7]. В последние годы нами было предпринято детальное теоретическое исследование этого вопроса [8; 9], в рамках которого выполнено численное моделирование процесса коагуляции частиц в агрегаты с учётом броуновского движения, сил Ван дер Ваальса, гравитации, стокового трения и магнитостатического взаимодействия. Показано что кластеры, образовавшиеся в результате случайной агрегации частиц и кластеров меньшего размера имеют рыхлую ветвистую структуру и могут быть классифицированы как фрактальные образования со средней фрактальной размерностью $d = 1.83$ (Рис. 1).

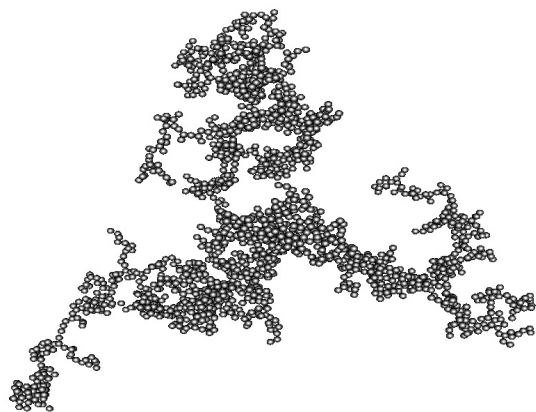


Рис. 1. Конфигурация кластера в кластер-кластерной модели агрегации (ССА-модели) с учетом броуновского движения и сил Ван-дер-Ваальса.

Магнитные частицы в процессе коагуляции не образуют цепочек или кластеров, как это предполагалось в ряде предыдущих работ, а относительно равномерно распределяются среди немагнитных частиц, что даёт дополнительный аргумент в пользу того, что цепочки частиц магнетита, обнаруживаемые в морских осадках, имеют биогенное происхождение, а не являются результатом притяжения магнитных частиц друг к другу за счёт магнитостатического взаимодействия. Показано, что процесс осаждения подчиняется своего рода принципу масштабной инвариантности: количество кластеров и среднее число частиц в них не изменяются при одновременном изменении глубины бассейна H и концентрации исходного материала на поверхности c_0 (при постоянстве температуры и исходного размера частиц r) таким образом, что произведение $Hc_0 = \text{const}$. Коагуляция является важнейшим фактором, формирующим структуру придонного слоя и намагниченность суспензии при относительно высокой концентрации c_0 , типичной для условий переосаждения, озёр и прибрежных морей. Для океанических осадков в силу малости c_0 коагуляция практически не играет роли.

Коэффициент эффективности столкновений при флоркуляции зависит от размеров частиц, их минералогии и свойств среды. Стало быть, то же самое должно

быть справедливо и для DRM. Этот вывод согласуется с многочисленными экспериментальными данными, получение которых стало возможным с появлением магнитометров типа SQUID, способных за нескольких секунд выполнять измерения намагниченности как водной суспензии, так и уже консолидированного осадка. Так, в работе [10] показано, что DRM сильно разбавленных суспензий, с содержанием воды $c_w > 95\%$, насыщается уже в полях $B \approx (0.2-1)$ мТл, в то время как намагниченность “густых” суспензий, с $c_w = 88\%$, не насыщается вплоть до $B = 1$ мТл. Отметим, что в процессе эксперимента, который длился 52 часа, объём разбавленных суспензий уменьшился в (2-3) раза, а объём “густых” суспензий - всего на (1-4) %. При этом заметный рост величины DRM разбавленных суспензий наблюдался на протяжении всего периода осаждения, в то время как намагниченность “густых” суспензий приобрелась уже в первые минуты.

Свидетельства о быстром насыщении величины намагниченности разбавленных суспензий при увеличении B всего до 0.1 мТл приведены в работах [11; 7]. Van Vreimingen, 1993 [12] измерил намагниченность суспензии J_{sus} непосредственно в присутствии B и показал, что наблюдается быстрое затухание интенсивности J_{sus} со временем и увеличением солёности воды. Результаты упомянутых экспериментов сильно зависят от размеров частиц r , их минералогии и свойств среды, в частности, её солёности и величины pH [13; 12; 14].

Отметим, что практически во всех этих работах осадок непосредственно перед осаждением диспергировался путём помещения в ультразвуковую ванну. Что можно извлечь из этих экспериментов?

1. Явление насыщения как индуктивной намагниченности суспензии J_{sus} , так и остаточной намагниченности DRM в малых полях, говорит в пользу модели Нагаты.
2. Быстрое затухание намагниченности суспензии со временем и увеличением солёности воды свидетельствует в пользу модели флоркуляции.

Следовательно, обе эти модели являются предельными случаями одного и того же процесса ориентации оседающих частиц во внешнем магнитном поле, но в одном случае флоркуляция присутствует и заметно уменьшает способность частиц к ориентации вдоль $\mathbf{B}$, а в другом она не успевает проявляться.

Как показали наши расчёты [8; 9], флоркуляционная модель, действительно, может объяснить особенности процесса намагничивания суспензий на полуфеноменологическом уровне. В качестве примера, нами рассчитан спад J_{sus} с глубиной (рис. 2) и временем (рис. 3) в условиях интенсивной флоркуляции. Результаты расчётов хорошо согласуются с данными экспериментов [12].

Свойства pDRM исследовались в многочисленных работах: [15; 10; 16; 17] и т.д. Основные выводы из этих работ, проливающие свет на физический механизм образования pDRM, можно кратко сформулировать так:

1. Если магнитное поле включается уже после осаждения и осадок при этом не испытывает никаких других воздействий, то pDRM $\ll$ DRM.
2. pDRM становится сравнима с DRM, если полужидкий осадок активируется каким-либо способом (ультразвук, размешивание, удары и т.д.) в присутствии поля.

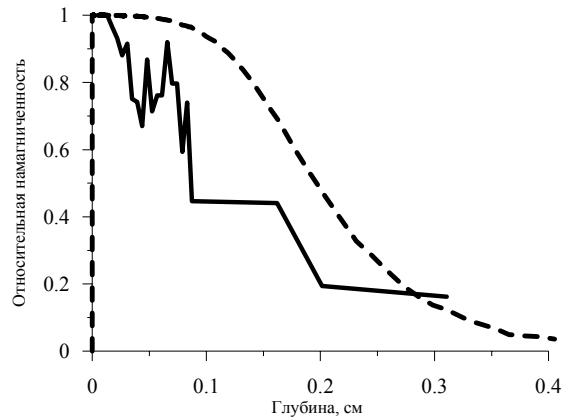


Рис. 2. Изменение J_{sus} с глубиной для $J_n = 10$ кА/м, $c_0 = 1\%$, радиус частиц $r = r_m = 1$ мкм, численное моделирование (сплошная линия). Пунктир – результаты расчёта по упрощённой схеме для характерного кластера.

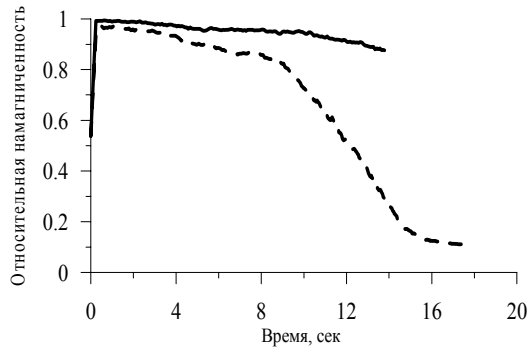


Рис. 3. Изменение J_{sus} от времени при осаждении суспензии в кубе $1.53 \times 1.53 \times 1.53$ см, $J_n = 10$ кА/м. Пунктир – коэффициент слипания $\beta = 1$, сплошная линия – коэффициент слипания $\beta = 0.1$.

Возможное объяснение роли активации состоит в следующем. Процесс слипания обычно описывается потенциалом расклинивающего давления Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО) [18], который состоит из суммы сил электростатического отталкивания частиц суспензии, заряженных относительно водного раствора, и сил Ван-дер-Ваальса, за счёт которых происходит слипание частиц. Энергия притяжения E_1 частиц варьируется в широких пределах, доходя до сотен $k_B T$, где k_B – постоянная Больцмана, T – температура. Действие электростатической составляющей компенсируется наличием диффузного слоя противоионов, экранирующих заряд частиц и силы отталкивания возникает на самом деле из-за его деформации при сближении частиц на расстояние $h \leq$ толщины диффузного слоя $d \propto \sqrt{c}$, где c – концентрация ионов в электролите. В морской воде d составляет всего около 0.4 нм, то есть несколько молекулярных слоёв. При малой минерализации воды d достигает величины в несколько нм, в чистой дистиллированной воде это могут быть и десятки нм. Заряд частиц возникает вследствие различной растворимости заряженных молекул минерала, из которого состоит то или иное зерно, либо вследствие неодинаковой растворимости катионов и ионов, присутствующих в воде (краткий обзор этих проблем относительно минералов, интересующих нас, можно найти в работе [14]).

Флокуляция приводит к образованию агрегатов связанных частиц, отделенных друг от друга прослойкой дисперсионной среды [18; 19]. Соответственно, частицы сохраняют относительную подвижность внутри упавших на дно агрегатов, а стало быть, и некоторую способность ориентироваться во внешнем магнитном поле. Особенно легко могут вращаться частицы, имеющие лишь один-два контакта. Такой род смещений соответствует так называемым быстрым и медленным обратимым упругим смещениям [20]. Временная зависимость и интенсивность возникающей при этом индуктивной намагниченности J_{sus} определяется балансом магнитной и упругих сил [21]:

$$8\pi r^3 \left(\eta \frac{d\phi}{dt} + G\phi \right) = mB \sin \phi \quad (1)$$

где η – эффективная вязкость, G – модуль сдвига осадка, m – магнитный момент частицы, ϕ – угол между $\mathbf{m}$ и $\mathbf{B}$, t – время после включения $\mathbf{B}$. Численно $G \sim (1-10)$ кПа при содержании воды в осадке $\sim (5-10)$ объёмных процентов [20; 16]. Для быстрых упругих деформаций вязкостью можно пренебречь, для медленных деформаций вязкость существенна и при указанном выше содержании воды её можно грубо оценить в 10^3 кПа·с. Более подробные сведения о реологических свойствах осадка в применении к их магнитным свойствам можно найти в работе [22]. Заметим лишь, что физическая природа медленных упругих деформаций в полужидких осадках состоит в существовании спорадических скольжений контактов соседних частиц вдоль контактирующих поверхностей под влиянием внешних нагрузок либо термофлуктуаций. С учётом указанных оценок характерное время установления (затухания) намагниченности за счёт медленных упругих деформаций $\sim (100-1000)$ с. Затухание pDRM на таких временах, действительно, было зарегистрировано в работах [23, 24].

Как известно, наряду с флокуляцией (ассоциацией) существуют и процессы диссоциации. Характерное время диссоциации под действием термофлуктуаций для сильно демпфированных колебаний частицы в потенциальной яме глубиной E_1 , когда силы вязкости намного превышают силы инерции, описывается известной формулой Крамерса [25]

$$\tau = \frac{12\pi^2 r \eta}{\sqrt{E''(h_{\min}) E''(h_{\max 2})}} \exp\left(\frac{E_1}{k_B T}\right) \quad (2)$$

Для грубой оценки τ положим $E''(h_{\min}) \approx E''(h_{\max 2}) \approx \frac{\Delta E}{\alpha^2 r^2}$, где параметр $\alpha \ll 1$. Последнее неравенство связано с тем, что для частиц агрегата $h \ll r$. Тогда соотношение (2) можно записать как

$$\tau \approx \frac{r^3 \alpha^2}{\Delta E} \exp\left(\frac{E_1}{k_B T}\right) \quad (3)$$

Простой подсчёт по этой формуле показывает, что для $\Delta E \sim E_2 < 15 k_B T$, радиусе частицы $r \leq 1$ мкм и $\alpha \leq 0.1$ величина τ не превышает 10^3 с. Таким образом, небольшая величина энергии связи E_1 приводит к протеканию процессов диссоциации в образующихся при столкновениях агрегатов.

Механизм действия активации имеет своё начало, очевидно, в диспергации (диссоциации) частиц. Любые динамические воздействия на разбавленную суспензию приводят к возникновению мелкомасштабных неоднородных гидродинамических течений в порах и каналах между частицами, поскольку твёрдая фаза намного более инерционна и испытывает воздействие гидродинамических течений опосредствовано, через мицеллы, окружающую частицы. Так, при облучении ультразвуком образец испытывает попеременные сжатия и растяжения с частотой в десятки тысяч герц, при серии ударов возникают импульсные воздействия. Течения создают быстро меняющиеся во времени гидродинамические силы, стремящиеся оторвать частицы друг от друга, что приводит к появлению дополнительной, в сравнении с тепловой, энергии случайных воздействий E_{act} на частицы, находящиеся в потенциальных ямах. Полагая, что активация идёт достаточно интенсивно, так что $E_{act} \gg k_B T$, феноменологически время диссоциации частиц за счёт активации можно описать простой модификацией (3):

$$\tau \approx \frac{r^3 \alpha^2}{\Delta E} \exp\left(-\frac{E_1}{E_{act}}\right) \quad (4)$$

Сравнение (3) и (4) показывает, что при $E_{act} \gg k_B T$ время диссоциации частиц падает на порядки величины, что и ведёт к интенсификации процессов диссоциации в полужидком осадке и разрыву связей между частицами. Как оказывают эксперименты, непосредственно после такого воздействия модуль сдвига G снижается до величин ~ 100 Па [14]. Соответственно, на порядок величины возрастает b относительная намагничённость i , возникшая за счёт упругих деформаций: $i = J/J_s \approx \varepsilon \sim mB/G$.

С другой стороны, через некоторое время после прекращения активации модуль сдвига и связи между частицами восстанавливаются до прежних величин. При этом часть зёрен блокируется (т.е. теряет способность к вращению) за счёт увеличения числа связей и закрепления в более глубоких потенциальных ямах. Этот процесс и приводит к возникновению значительной стабильной pDRM, интенсивность которой определяется напряжённостью внешнего поля B , степенью ориентации и относительной долей магнитных частиц, захваченных в потенциальные ямы при восстановлении реологических параметров осадка после прекращения активации. Степень ориентации и доля захваченных магнитных частиц, в свою очередь, зависят от ряда факторов, среди которых можно отметить продолжительность и интенсивность внешних воздействий, их характер, а также химизм водной среды и все те магнитные и минералогические свойства частиц, которые уже упоминались выше, в разделе, посвящённом анализу возникновения и свойств DRM.

Роль активации, по-видимому, может играть и продолжающееся осаждение, как свидетельствуют работы [26; 27]. В этих работах проводилось осаждение материала в цилиндрические сосуды со скоростью ≈ 1 см/несколько часов (путём ежедневных одноразовых заливок) в искусственно созданном внешнем магнитном поле B . По истечении нескольких дней направление B менялось на обратное и осаждение продолжалось. В конце эксперимента измерялась остаточная намагничённость осадка J_{to} на протяжении всей полученной колонки. Оказалось, что в некоторых колонках направление J_{to} изменилось на обратное в тех слоях

осадка, которые лежат на несколько см ниже маркера, отмечающего момент обращения B . Но если даже направление J_{to} не изменялось, то всё равно её интенсивность резко падала. Необходимо подчеркнуть, что такой эффект пока что был получен только в лабораторных экспериментах при очень высокой скорости осаждения и далеко неясно, сохранится ли он в природных условиях, когда скорость осаждения не превышает 1 мм/год.

Физический механизм образования pDRM при продолжающемся осаждении, по-видимому, отличается от механизма образования pDRM при активации полужидкого осадка, поскольку в первом случае вряд ли можно ожидать возникновения заметной диспергации твёрдой фазы. Скорее здесь следует придерживаться традиционной точки зрения, по которой предполагается, что в верхних слоях осадка большинство магнитных частиц ещё не потеряли способности к свободному вращению и, стало быть, в образце присутствует индуктивная намагничённость, созданная за счёт быстрых и медленных упругих деформаций, как это описывалось выше. По мере продвижения уже осевших слоёв вглубь концентрация твёрдой фазы возрастает, число контактов между частицами увеличивается и происходит постепенная фиксация индуктивной намагничённости отдельных частиц. При инверсии внешнего поля намагничённость той части частиц, что не успели ещё закрепиться, немедленно разворачивается вслед за полем. В то же время намагничённость тех частиц, что уже закрепились, сохраняет первоначальное направление. Таким образом, после окончательной фиксации положения и ориентации зёрен в осадке, направление и интенсивность J_{to} определяется конкуренцией между этими двумя типами частиц. Эти рассуждения ясно демонстрируют природу задержки фиксации намагничённости, а также объясняют тот факт, что при инверсии поля при определённых условиях может произойти изменение направления J_{to} и/или спад её интенсивности за счёт возникновения pDRM. Отметим, что близкая к описанной здесь схема приобретения pDRM использовалась в работе [22].

Заключение Как видно из вышеизложенного, наши знания о механизме приобретения и свойствах DRM и pDRM всё ещё очень фрагментарны. Таким образом, вопрос на настоящий момент состоит в том, что нам нужно делать, чтобы существенно продвинуться вперёд.

По нашему мнению, в области эксперимента необходимы выполнить непрерывные измерения намагничённости как в присутствии поля, так и после его снятия. Параллельно с этим следует проводить измерения химизма среды и реологии осадка.

В области теории желательны произвести расчёты пространственно-временной структуры осадка во время его генезиса, с учётом возможных внешних воздействий (активации), имея в виду прежде всего связь этих процессов с процессом образования pDRM и разрушения DRM (возможный инструмент - реологические модели).

1. Nagata T. Магнетизм горных пород. М.: Мир. 1965. 348 с.
2. Богдашов В.А. Использование методов магнетизма горных пород при изучении новейших отложений // М.: ГЕОС. 1996. 192 с.
3. Franke C., Hofmann D., Tilo von Dobeneck. Does lithology influence relative paleointensity records: a statistical analysis on South Atlantic pelagic sediments // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2004. V. 147. P. 285–296.

4. *Shcherbakov V., Shcherbakova V.* On the theory of depositional remanent magnetization in sedimentary rocks // *Geophys. Surv.* 1983. V.5. P. 369-380.
5. *Черноус М.А., Щербаков В.П.* Роль гидродинамических факторов в образовании осадочной намагниченности // *Изв. АН СССР. Физика Земли.* 1980. №1. С. 120-124.
6. *Katari K., Bloxham J.* Effects of sediment aggregate size on DRM intensity: a new theory // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2001. V. 186(1). P. 113-122.
7. *Tauxe L., Steindorf J.L., Harris A.* Depositional remanent magnetization: Toward an improved theoretical and experimental foundation // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2006. V. 244. P. 515-529.
8. *Щербаков В.П., Сычёва Н.К.* О флокуляционном механизме образования остаточной намагниченности осадочных пород // *Физика Земли.* 2008. №10. С.56-68.
9. *Щербаков В.П., Сычёва Н.К.* Численное моделирование процесса образования намагниченности осаждающейся суспензии горных пород // *Физика Земли.* 2009. №1. С.51-60.
10. *Barton C.E., McElhinny M.W., Edwards D.J.* Laboratory studies of depositional DRM, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 61 (1980) 355-377.
11. *Shive Peter N.* Alignment of magnetic grains in fluids // *Earth and Planetary Science Letters.* 1985. V. 72. P. 117-124.
12. *van Vreumingen M.J.* The magnetization intensity of some artificial suspensions while flocculating in a magnetic field // *Geophys. J. Int.*, 1993. 114, 601-606.
13. *Большаков А.С., Куражковский А.Ю.* Ионный состав воды и намагниченность осадков // *Изв. АН СССР. Физика Земли.* 1989. №5. С.118-126.
14. *Katari K., Tauxe L.* Effects of surface chemistry and flocculation on the intensity of magnetization in redeposited sediments // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2000. 181. 489-496.
15. *Verosub, K.* (1977), Depositional and postdepositional processes in the magnetization of sediments, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 15, 129-143.
16. *Katari K., Tauxe L., King J.* A reassessment of post depositional remanent magnetism: preliminary experiments with natural sediments // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2000. 183. 147-160.
17. *Carter-Stiglitz, B., J.-P. Valet, and M. LeGoff* (2006), Constraints on the Acquisition of Remanent Magnetization in Fine-Grained Sediments Imposed by Redeposition Experiments, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 245, 427-437.
18. *Дерягин Б.В.* Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок // М.: Наука. 1986. 206 с.
19. *Шелудко А.* Коллоидная химия // Пер. с болг. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Мир. 1984. 320 с.
20. *Нечипоренко С.П., Круглицкий Н.Н., Панасевич А.А., Хилько В.В.* Физико-химическая механика дисперсных минералов, Наук. Думка, Киев, 246 стр.
21. *Shcherbakov V.P., Shcherbakova V.V.* On the physics of acquisition post-depositional remanent magnetization // *Phys. Earth Planet. Int.* 1987. 46. 64-70.
22. *Малахов М.И.* Физические процессы постседиментационного намагничивания океанских и континентальных осадков // *Процессы постседиментационного намагничивания и характерные изменения магнитного поля и климата Земли в прошлом.* Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003, С.9-42.
23. *Tucker P.* Stirred remanent magnetization: a laboratory analogue of postdepositional realignment // *J. Geophys.* 1980. 48, 153-157.
24. *Heslop D., Witt A., Kleiner T., Fabian K.* The role of magnetostatic interactions in sediment suspensions // *Geophys. J. Int.* 2006. 165, 775-785
25. *Hanggi, P., P. Talkner, and M. Borkovec.* Reaction-rate theory: fifty years after Kramers // *Rev. Mod. Phys.*, 1990. 62, 251.
26. *Lovlie, R.* Post-depositional remanent magnetization in a re-deposited deep-sea sediment // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1974. 21, 315 - 320.
27. *Quidelleur X., Valet J.-P., LeGoff M., Boudoire X.* *Earth Planet. Science Lett.* 1995. 133. 311-325

МИРОВАЯ БАЗА ДАННЫХ (МБД) ПО ПАЛЕОНАПРЯЖЁННОСТИ: ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ИНСТРУКЦИЯ К ПОЛЬЗОВАНИЮ

В.П. Щербаков, Н.К. Сычёва

ГО «Борок» ИФЗ РАН

Первый вариант мировой базы данных по определениям палеонапряженности, полученным на изверженных породах, появился в 1995 году [1], БД содержала 1123 определения VDM из 83 источников. В 1997 году БД была разработана в СУБД Access в ее современном виде [2; 3; 4], дополнена новыми данными (1340 определений VDM из 92 работ) и помещена под названием IAGA PALEOINTENSITY DATABASE (IPD) на сайте ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/Solid_Earth/Paleomag/access/ver3.5/access2000/PINT00.MDB. Геофизического Центра данных в Boulder, В 2001 году в ГО «Борок» ИФЗ РАН IPD была дополнена новыми определениями палеонапряженности и помещена нами для общего пользования на сайте ГО "Борок" <http://www.brk.adm.yar.ru/palmag/index.html>. (BOROKPINT.MDB) [5; 6; 7]. В 2009 году Мировая база данных по палеонапряженности (World Paleointensity Database) зарегистрирована ГО «Борок ИФЗ РАН в Государственном регистре баз данных, регистрационное свидетельство №12579 от 20 августа 2009 года, регистрационный номер 0220913428. База данных доступна для скачивания с сайта ГО «Борок» ИФЗ РАН и с сайта информационно-измерительного комплекса для исследований в области палеомагнетизма и магнетизма горных пород <http://palmag.yar.ru>. БД постоянно обновляется включением в нее новых определений, опубликованных в мировой литературе, и на данный момент содержит почти 3900 определений виртуального дипольного момента (VDM). В базу включаются все известные в литературе определения VDM, полученные на изверженных породах разными методами, с различной степенью достоверности, начиная с работы 1938 года издания. Отметим, что в 40-50-е годы прошлого века было опубликовано всего 2 работы. В дальнейшем их число быстро нарастало: 54 работы – в 60-70-е годы, 38 работ – в 80-е годы, 66 работ – в 90-е годы, а начиная с 2000-го года в БД включены определения VDM уже из 110 источников. Таким образом, в последнее десятилетие наблюдается существенный рост интереса к абсолютным определениям палеонапряженности (рис. 1).