

## ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ В СРЕДНЕМ ПАЛЕОЗОЕ ПО ПАЛЕОМАГНИТНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЯМ

Приводятся результаты палеомагнитных исследований осадочных сероцветных и красноцветных пород нижнего девона юго-запада Украины (бассейн реки Днестр). Образцы представлены серыми глинистыми известняками и доломитами Тиверской серии, а также красноцветными песчаниками и алевроаргиллитами Днестровской серии. Их век сопоставим с Лохковским ярусом международной геохронологической шкалы. Стабильные компоненты намагниченности большинства образцов указывают на перемагничивание пород (пермский полюс,  $\Phi=45^\circ\text{S}$ ,  $\Lambda=340^\circ\text{E}$ ,  $dp/dm=2^\circ/5^\circ$  для Тиверской серии и  $\Phi=47^\circ\text{S}$ ,  $\Lambda=351.5^\circ\text{E}$ ,  $dp/dm=0.8^\circ/1.5^\circ$  для Днестровской). На образцах Иваневской и Устечковской свит выделено первичные компоненты намагниченности (нижнедевонское направление), связанные с детритовым магнетитом в сероцветах и с гематитом в красных породах. Соответствующие палеомагнитные полюса для пород Тиверской серии –  $\Phi=0^\circ$ ,  $\Lambda=329^\circ\text{E}$ ,  $dp/dm=10^\circ/12^\circ$   $\Phi=3.8^\circ\text{S}$ ; для пород Днестровской серии –  $\Phi=3.8^\circ\text{S}$ ,  $\Lambda=337.8^\circ\text{E}$ ,  $dp/dm=5^\circ/8.3^\circ$ . Оба полюса хорошо согласуются с нижнедевонским фрагментом траектории кажущейся миграции полюса (ТКМП) для Балтики.

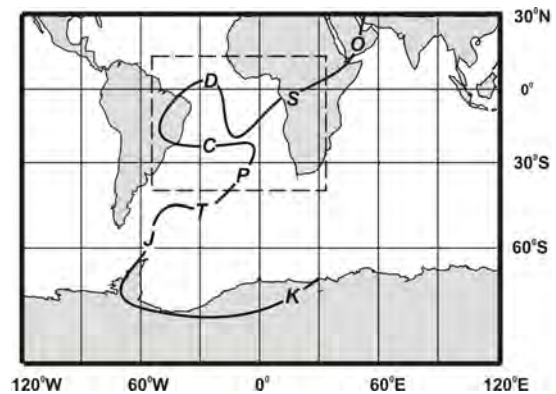
**Ключевые слова:** палеотектоника; палеомагнетизм; средний палеозой; Подолия; Восточно-Европейская платформа; кривая кажущейся миграции палеомагнитного полюса (ТКМП).

### Введение

Восточно-Европейская платформа (ВЕП) занимает одно из ключевых мест в палеотектонических реконструкциях суперконтинентов в фанерозое. При построении кинематических моделей ВЕП, основанных на результатах интерпретации геодинамических, палеогеографических и палеомагнитных данных, именно последним отводится основная роль при количественных оценках эволюции слагающих ее отдельных тектонических блоков. Поскольку необходимым условием при этом является построение траекторий кажущейся миграции полюса (ТКМП либо APWP), для ВЕП в качестве референтной кривой широко используется APWP, разработанная на основе многочисленных палеомагнитных определений по Балтике (рис. 1) [Torsvik et al., 1992, 1996; Smethurst et al., 1998]. Среднепалеозойский фрагмент этой кривой имеет характерную петлю, полная форма которой до сих пор остается дискуссионной, поскольку некоторые ее сегменты построены по результатам интерполяции. Необходимо отметить, что силурийский сегмент кривой миграции полюса расположен близко к ее каменноугольному сегменту, что также является предметом дискуссий в связи с повсеместным присутствием в породах метасинхронной “каменноугольной – пермской” компоненты намагниченности.

Для ВЕП построены разные варианты ТКМП в палеозое [Smethurst and Khramov, 1992; Печерский, Диденко, 1995; Torsvik et al., 2001], которые подразумевают расположение ВЕП в тропических широтах южного полушария в позднем ордовике, перемещение в низкие широты северного полушария в раннем силуре и снова дрейф в приэкваториальные широты южного полушария к началу девона. Исследования силурийских отложений Подолии [Jeleńska et al., 2005] позволили определить палеомагнитные полюса, близкие к пермо-

карбовому и силурийскому фрагментам референтной APWP, а в недавней работе по сероцветам нижнего девона из этого же района [Бахмутов и др., 2012] показано, что нижнедевонский полюс также хорошо согласуется с нижнедевонским фрагментом APWP.



**Рис. 1.** Палеозойский – мезозойский фрагмент APWP для Балтики [Smethurst et al., 1998]. Прямоугольником выделена среднепалеозойская “петля”

В то же время, согласно результатам недавних палеомагнитных исследований на Подолии [Лубнина и др., 2007], ВЕП в начале силура располагалась в умеренных широтах южного полушария, в течение силура – раннего девона перемещалась в северном направлении и на границе силура-девона достигла приэкваториальных широт. То есть эти результаты несколько отличаются от полученных ранее для этого района и, что следует подчеркнуть, указывают на отсутствие “силурийского каспа”, согласно которому силурийские полюса тяготеют к каменноугольным полюсам ВЕП.

Таким образом, силурийский – девонский фрагменты ТКМП нуждаются в проверке, что пред-

полагает получение новых палеомагнитных результатов на новых объектах. Недавно успешно изучены сероцветные отложения силура [Jeleńska et al., 2005] и девона [Бахмутов и др., 2012] Подолии, которые ранее не считались палеомагнитно информативными. Эта работа – продолжение палеомагнитных исследований вышезалегающих нижнедевонских отложений, представленных красноцветами.

**Объекты исследований**

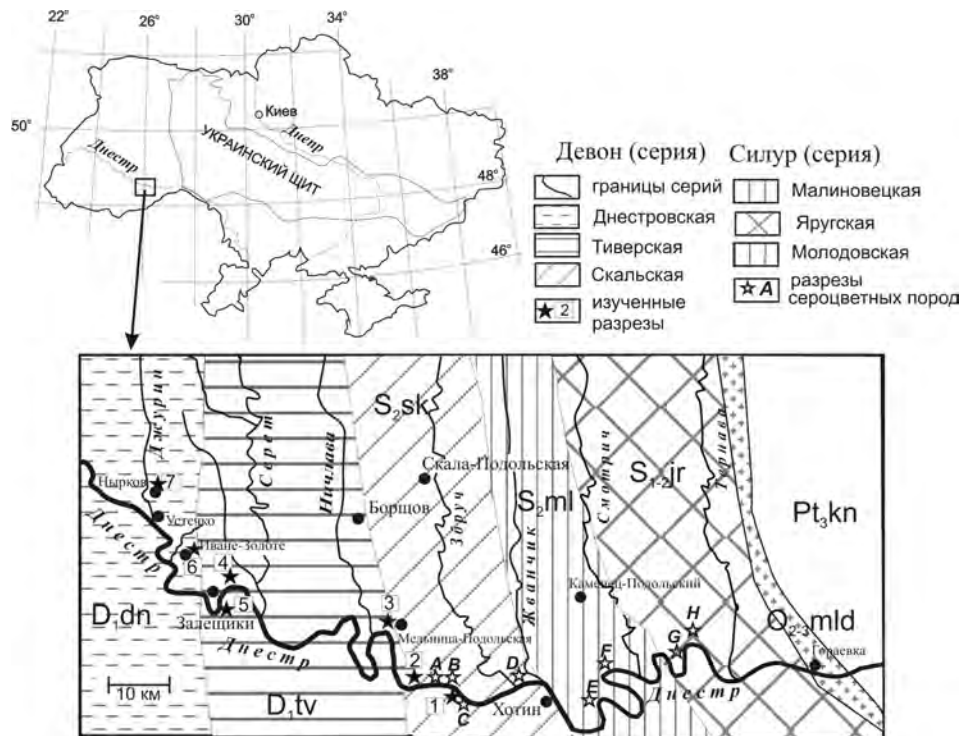
Силурийские – нижнедевонские отложения широко распространены на территории юго-западной Украины, а их стратотипы на Подолии являются наиболее полным разрезами, отражающими соответствующий этап геологической истории Земли [Никифорова и др., 1972; Цегельнюк и др., 1983]. Они вскрываются глубокой долиной реки Днестр и по ее левым притокам.

Разрез силура Подолии имеет общую мощность около 850 м, в нижней части сложен карбонатными отложениями, а выше – карбонатно-тер-

ригенными и терригенными породами. Силурийские отложения с разрывом залегают на отложениях ордовика, а выше согласно перекрываются красноцветными породами нижнего девона. Таким образом, палеозойский разрез Подолии является собой крупный цикл морского седиментогенеза, начало которого можно связать с ордовик-силурийской трансгрессией, а конец – с установлением континентальных условий осадконакопления в нижнем девоне.

Одним из преимуществ при выборе объектов для палеомагнитных исследований является хорошая стратификация толщ, отсутствие масштабных вторичных процессов, а также наличие четких границ изменения условий осадконакопления, что отображается в изменении фациального состава пород. Получение палеомагнитных данных по разнофациальным отложениям свидетельствует в пользу достоверности полученного результата.

Здесь представим результаты по 15 разрезам вдоль реки Днестр и ее левых притоков (рис. 2).



**Рис. 2.** Геологическая схема палеозоя среднего Приднестровья (со снятым мезо-кайнозойским чехлом). Номера исследованных разрезов отложений нижнего девона соответствует сайтам (разрезам) таблицы. Буквенные обозначения разрезов силура приведены в соответствии с [Jeleńska et al., 2005]

**Методика работ**

Ориентированные образцы отбирались шtuфами и выбуривались мини-буром, из них затем вырезались стандартные образцы (по 2–4 шт.) кубической формы с ребром 20 мм либо цилиндры диаметром и высотой 25 мм. Лабораторные измерения выполнены на аппаратуре Института геофизики Польской Академии наук (г. Варшава) и

Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины. Естественная остаточная намагниченность (ЕОН, NRM) образцов измерялась на криогенном магнитометре 2G SQUID (производство США) с приставкой для размагничивания переменным магнитным полем, а также на спин-магнитометре JR-6 (Чехия). Для температурной чистки образцов использовалась экранированная печь

MMLTD (Великобритания). И магнитометр, и печь располагаются в немагнитной комнате MMLFC. Измерение магнитной восприимчивости (МВ) выполнено на каппа-метре KLY-2 и MFK-1. Параметры анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ) вычислены по программе ANISO [Jelinek, 1977] и Anisoft 4.2 (M. Chadima and F. Hroudа). Результаты размагничивания анализировались методом главных компонент [Kirschvink, 1980] с использованием пакета программ PDA [Levandovsky et al., 1977] и Remasoft 3.0 [Chadima and Hroudа, 2006].

#### **Магнитная минералогия**

Для определения минералов железа – носителей остаточной намагниченности – выполнены как исследования шлифов под микроскопом, аншлифов с помощью электронной микроскопии, так и исследования методами термомагнитного анализа (терморазмагничивание изотермической остаточной намагниченности IRM).

Исследование под микроскопом шлифов оказалось малоинформативным. В сероцветых отложениях (известняки, аргиллиты) девона было определено только присутствие гидроокислов железа и пирита. Наличие в породах пирротина либо гетита отмечено не было.

Красноцветые отложения исследовались с помощью электронной микроскопии на микроанализаторе JEOL 6700 и Microzond Cameca SX 100. В результате диагностировано аллотигенные зерна гематита, а также вторичные железистые образования в виде включений линейной формы в бороздах спаянности слюдяных минералов. Был сделан вывод, что основной носитель намагниченности красноцветов – гематит разного генезиса [Jeleńska et al., 2010].

Минералы железа определены по методике, которая ранее использовалась для исследования сероцветов силура [Jeleńska et al., 2005]. Анализировались кривые изменения SIRM и МВ от температуры, результаты терморазмагничивания трехкомпонентной IRM, для отдельных образцов – параметры петли гистерезиса. Результаты по сероцветам Тиверской серии согласуются с выводами, полученными для сероцветов силура из этого района и указывают на магнетит как на основной носитель намагниченности. Новообразование аутигенного магнетита здесь может быть связано как с присутствием в породах карбонатов железа, так и обусловлено окислением пирита до магнетита [Бахмутов и др. 2001]. В работе [Лубнина и др., 2007] по сероцветам из этого же района также указывается на присутствие гидроокислов и на магнетит как на основной минерал – носитель намагниченности.

Термомагнитный анализ красноцветов днестровской серии определил в породе присутствие двух магнитных минералов – магнетита и гематита. Поскольку первый из них, вероятно, является вторичным и образуется при нагревах из

карбонатов железа, о чем свидетельствует резкое возрастание МВ при  $T > 400^\circ\text{C}$ , был сделан вывод, что остаточная намагниченность обусловлена гематитом. Как показали результаты электронной микроскопии, гематит присутствует в трех генерациях [Jeleńska et al., 2010]: 1) аллотигенные детритовые зерна (до 100 мкм) с незначительным содержанием Ti (до 3 %); 2) аутигенные кристаллы (размер 1–2 мкм), слагающие цемент; 3) не идентифицированные зерна оксидов железа (возможно, титаногематита), сформировавшиеся при распаде детритовых зерен хлорита и биотита.

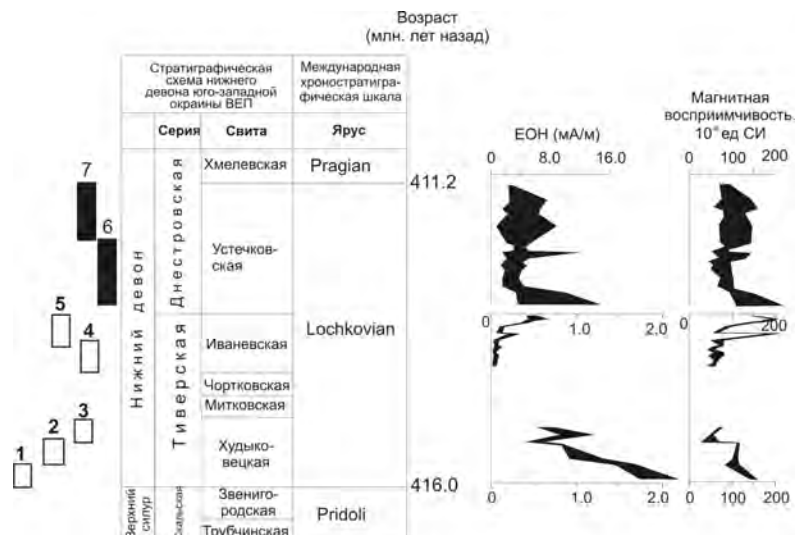
#### **Палеомагнитные исследования**

Сложность палеомагнитных исследований осадочных толщ Подолии обусловлена рядом факторов, которые ранее ставили под сомнение возможность выделения палеомагнитно информативной компоненты намагниченности (либо доказательство ее первичной природы).

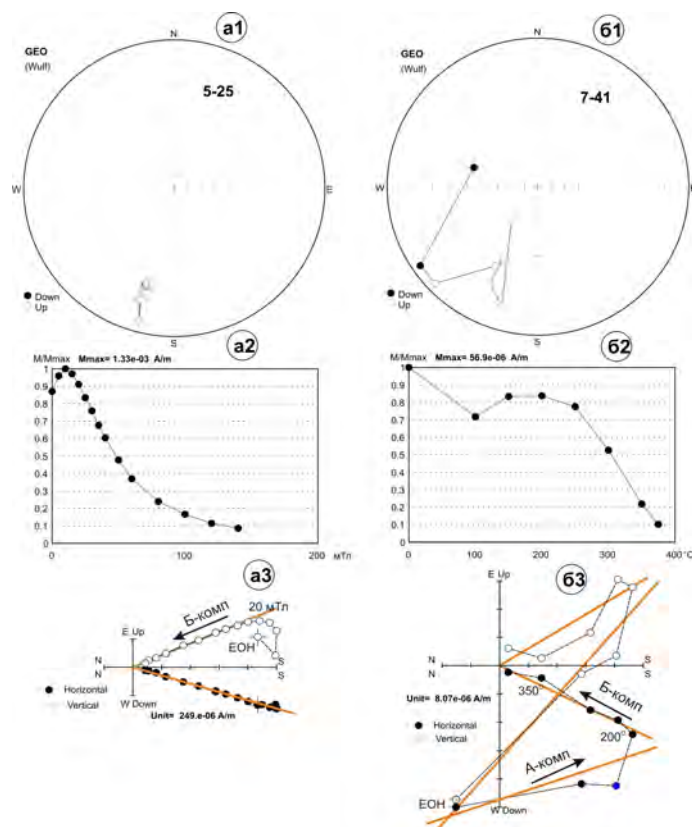
Классические полевые тесты (складки, конгломератов) здесь не применимы из-за отсутствия необходимых для проведения этих тестов геологических объектов, а величины остаточной намагниченности сероцветых образцов настолько малы, что возникают трудности даже при измерениях на высокочувствительном SQUID-магнитометре. Величины ЕОН и МВ серых известняков изменяются в пределах от 0.1 до 2.0  $\text{mAm}^{-1}$  и от  $40 \times 10^{-6}$  до  $200 \times 10^{-6}$  СИ. Это сопоставимо с величинами по сероцветам силура [Jeleńska et al., 2005]. Самыми высокими значениями ЕОН характеризуются породы Худыковецкой свиты. Величины ЕОН для красноцветов девона Днестровской серии в несколько раз выше, и трудности при их измерениях не возникают (рис. 3).

Коллекции образцов были подвергнуты серии последовательных нагревов при 10–12 ступенях размагничивания до температур 420–460 $^\circ\text{C}$  для сероцветов, поскольку ЕОН падала почти до нуля и (либо) происходили минералогические изменения в образцах, на что указывало резкое возрастание МВ, которая измерялась после каждой ступени размагничивания. Образцы – дубли размагничивались переменным магнитным полем (15–20 ступеней размагничивания) при максимальных значениях поля 150 мТл. Образцы красноцветов размагничивались при температурах 680–690 $^\circ\text{C}$ , что указывает на гематит как на носитель высокотемпературной (характеристической ChRM) компоненты намагниченности.

В образцах сероцветов Тиверской серии было выделено три компоненты намагниченности [Бахмутов и др., 2012]. При низких температурах (до 200–250 $^\circ\text{C}$ ) и переменных магнитных полях до 15–20 мТл выделяется низкостабильная компонента (далее А-компонента) прямой полярности, направление которой близко к направлению современного магнитного поля, что свидетельствует о ее вязкой природе, и далее она не рассматривается.



**Рис. 3.** Естественная остаточная намагненность (ЕОН) и магнитная восприимчивость разрезов нижнедевонских сероцветых (белые прямоугольники) и красноцветых (черные прямоугольники) отложений Подолии (вдоль профиля изученных разрезов в соответствии с обозначениями на рис. 2). Разрезы приведены к стратиграфической схеме нижнего девона Подолии, возраст указан в соответствии с геологической шкалой [Gradstein et al., 2004]



**Рис. 4.** Примеры ступенчатого размагничивания образцов сероцветых пород Худыковецкой свиты переменным магнитным полем (а) и температурой (б), на которых выделяется В-компонента намагненности

Приведены стереографические проекции (а1, б1) изменения направления вектора остаточной намагненности в процессе размагничивания (полые (залитые) круги – проекции векторов на верхнюю (нижнюю) полусферу), нормированные кривые размагничивания ЕОН (а2, б2), диаграммы Зийдервельда (залитые и полые круги – проекции соответственно на горизонтальную и вертикальную плоскость) с рассчитанными компонентами намагненности (а3, б3)

Другая, более стабильная компонента (далее В-компонента) обратной полярности, обусловленная присутствием в породе аутигенного магнетита, четко выделяется разными методами магнитной чистки, как при размагничивании переменным полем (рис. 4, а; 5, а), так и температурой (рис. 4, б).

Ее среднее направление (склонение  $D=211^\circ$ , наклонение  $I=-22^\circ$ ) близко к направлению "Г" (или "P-C") компоненты, которая выделяется на многих верхнепалеозойских разрезах осадочных пород ВЕП [Smethurst and Khramov, 1992] и, вероятно, обусловлена перемагничиванием пород в верхнем палеозое (в ранней перми). В некоторых образцах при размагничивании переменным магнитным полем в диапазоне 30–70 мТл и выше (рис. 5, а), либо в диапазоне температур 300–460°C выделяется третья компонента (С-компонента) намагниченности преимущественно обратной полярности, обусловленная присутствием в породах зерен аллотигенного магнетита, а ее среднее направление ( $D=244^\circ$ ,  $I=37^\circ$ ) близко к девонскому направлению, ранее выделенному здесь по красноцветам [Smethurst and Khramov, 1992]. Мы считаем эту компоненту характеристической, имеющей все признаки первичной, и связываем ее с мелкодисперсным магнетитом либо детритовым, либо химического происхождения (на ранней стадии диагенеза). По результатам магнитной чистки образцов красноцветов Днестровской серии также выделяются три компоненты намагниченности. Низкотемпературная компонента выделялась практически во всех образцах в температурном диапазоне 100–350°, ее направление близко к направлению современного магнитного поля, что свидетельствует о ее вязкой природе, и далее она не рассматривается. Среднетемпературную (P-C-компоненту) выделено в подавляющем большинстве образцов при температурах до 570 °C (рис. 5, б), ее направление ( $D=203^\circ$ ,  $I=-19^\circ$ ) близко к направлению В-компоненты, выделенной по сероцветам Тиверской серии, вероятно, она также обусловлена присутствием в породе аутигенного магнетита. Третья из компонент (D-компонента) наиболее стабильна, выделялась в образцах при температурах  $>600^\circ\text{C}$  (рис. 5, б), идет к началу координат, характеризуется как прямой, так и обратной полярностью, обусловлена присутствием в породе гематита.

Анизотропия магнитной восприимчивости образцов в целом незначительна (менее 4%), относится к плоскостному типу, а направления осей эллипсоида типичны для ориентационной намагниченности – минимальные оси ориентированы вертикально, а максимальные и промежуточные оси эллипсоидов лежат в горизонтальной плоскости. Это позволяет сделать вывод в пользу терригенной природы магнитной фракции породы.

Подводя итог вышеизложенному, можно сделать вывод, что выделенная как по сероцветам,

так и по красноцветам характеристическая компонента намагниченности имеет все признаки первичной, а ее направление можно принять для дальнейшей палеогеодинамической интерпретации. Результаты компонентного анализа приведены в таблице, ниже кратко проанализируем каждую из выделенных компонент.

#### ***Интерпретация и обсуждение результатов: Тиверская серия, сероцветы***

Направление А-компоненты намагниченности, выделяемое при низких переменных магнитных полях и при низких температурах, соответствует направлению низкостабильной компоненты, ранее выделенной в силурийских и девонских породах этого же района [Smethurst and Khramov, 1992; Jeleńska et al., 2005; Лубнина и др., 2007], близко к направлению современного магнитного поля в районе работ и интерпретируется как вязкая компонента намагниченности.

Палеомагнитный полюс, рассчитанный по направлению В-компоненты (см. таблицу), точно ложится на пермский фрагмент ТКМП и близкий к полюсам, полученным ранее по силурийским и нижнедевонским породам Подолии [Smethurst and Khramov, 1992; Jeleńska et al., 2005, Лубнина и др., 2007] (рис. 6). Выше мы уже отмечали, что многие исследователи указывали на повсеместное позднепалеозойское – раннемезозойское перемагничивание пород, и наши результаты полностью подтверждают эти выводы.

Направление С-компоненты только условно можно назвать биполярным – только на одном образце было выделено направление прямой полярности. Основным носителем С-компоненты является аллотигенный магнетит, природа намагниченности, по результатам измерения анизотропии МВ – ориентационная (посториентационная) [Бахмутов и др., 2012]. Рассчитанный палеомагнитный полюс ( $\Phi=0^\circ$ ,  $\Lambda=329^\circ\text{E}$ ) хорошо согласуется с нижнедевонским фрагментом ТКМП для ВЕП (рис. 6). В пользу нижнедевонского возраста свидетельствует: а) ее выделение исключительно в слоях с сохраненной осадочной структурой (ориентационная намагниченность); б) ее направление, совпадающее с нижнедевонскими полюсами для Балтики; в) косвенно – биполярность (с учетом данных других авторов).

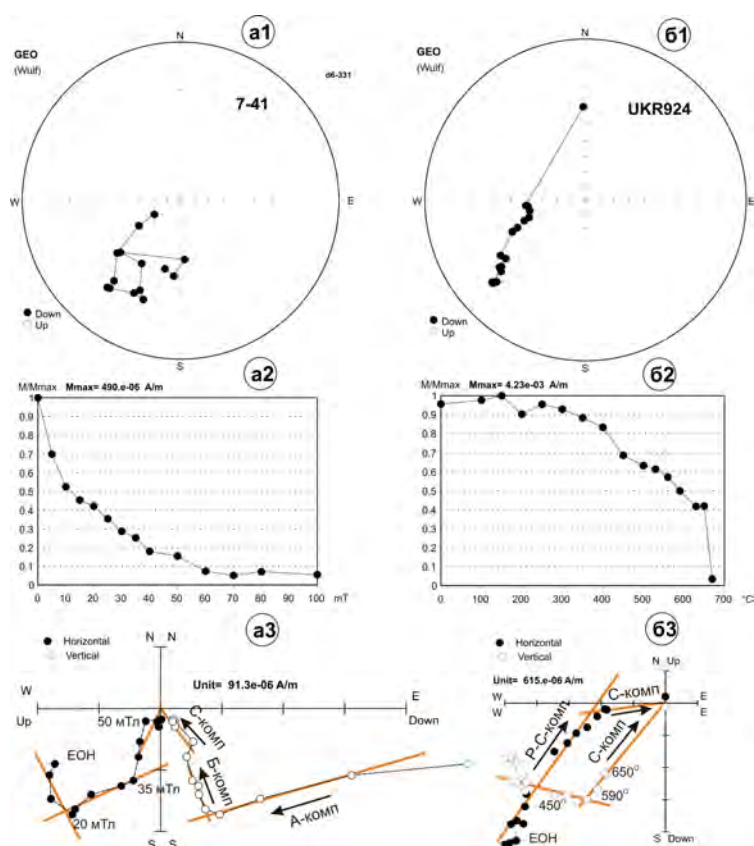
#### ***Днестровская серия, красноцветы***

Низкостабильная А-компонента, направление которой близко к направлению современного магнитного поля, по направлению и по природе аналогична компоненте, выделенной по сероцветам.

Среднетемпературную P-C компоненту, которая выделяется практически на всех исследуемых образцах красноцветов, мы считаем метахронной и связываем ее с не идентифицированными зернами оксидов железа, образовавшихся при перемагничивании пород в карбоне – перми. Ее среднее

направление ( $D=202,7^\circ$ ,  $I=-19,2^\circ$ ) несколько отличается от направления В-компоненты, однако практически совпадает с направлением ИВС-компоненты промежуточной стабильности, выделен-

ной на силурийских сероцветах (которая также связана с позднепалеозойским – раннемезозойским перемагничиванием пород, [Smethurst and Khramov, 1992; Jeleńska et al., 2005]) (рис. 6).



**Рис. 5.** Примеры ступенчатого размагничивания образцов сероцветных пород Ивановской свиты переменным магнитным полем (а), и красноцветов Устечковской свиты температурой (б), на которых выделена С-компонента намагниченности (пояснения см. на рис. 4)

Соответственно палеомагнитный полюс ( $\Phi=47^\circ S$ ,  $\Lambda=351.5^\circ E$ ) близкий к полюсам, полученным ранее на этой территории по силурийским и нижнедевонским отложениям [Smethurst and Khramov, 1992; Jeleńska et al., 2005, Лубнина и др., 2007, Бахмутов и др., 2012]. Высокостабильная D-компонента, выделенная на образцах красноцветов устечковской свиты по результатам температурной чистки в диапазоне  $600-680^\circ C$ , характеризуется всеми признаками первичной намагниченности. Ее носителем являются зерна детритового гематита (с незначительной примесью титана), а природа намагниченности – ориентационная, о чем свидетельствуют результаты АМВ. Кроме того, D-компонента биполярна (таблица), полученные данные проходят тест обращения, что также является доводом в пользу первичности выделенной компоненты. Ее среднее направление по 63 образцам равно  $D=233.4^\circ$ ,  $I=40.8^\circ$ , что определяет координаты палеомагнитного полюса ( $\Phi=3.8^\circ S$ ,  $\Lambda=337.8^\circ E$ ,  $dp/dm=5.0^\circ/8.3^\circ$ ). Последний попадает на нижнедевонский фрагмент ТКМП для ВЕП (рис. 6). Отметим, что полученный нами полюс

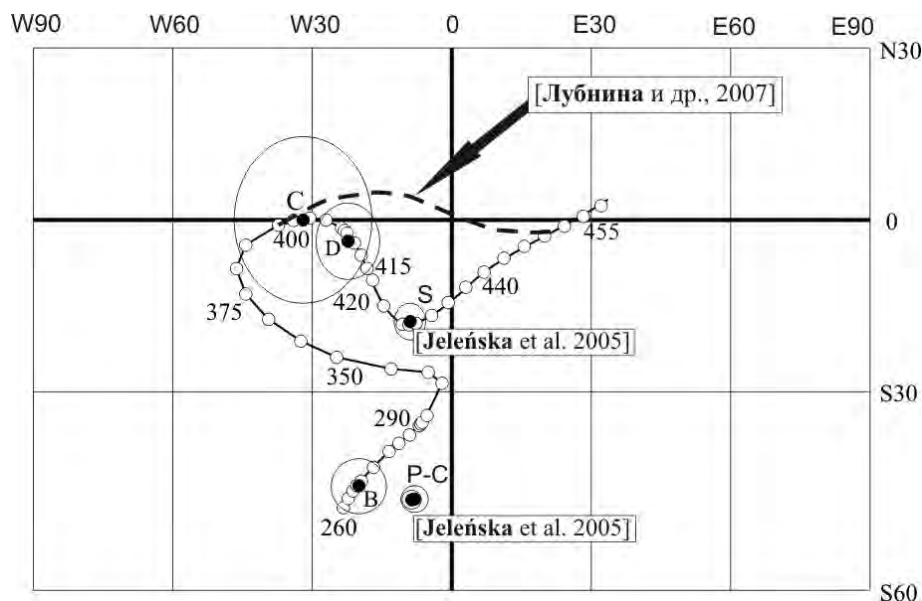
несколько отличается от палеомагнитного полюса, рассчитанного по высокостабильной компоненте 25 образцов красноцветов Подолии ( $\Phi=3.7^\circ N$ ,  $\Lambda=325.5^\circ E$ ,  $dp/dm=5.2^\circ/8.7^\circ$ ), полученного в [Smethurst and Khramov, 1992].

Таким образом, палеомагнитные полюса, рассчитанные для С- и D-компонент, укладываются в классическое представление о дрейфе Балтики в палеозое (попадают на девонскую часть ТКМП). Ранее в этом районе мы определили палеомагнитные полюса по сероцветным породам Яругской, Малиновецкой и Рукшинской (Скальской) серий силура [Jeleńska et al. 2005], которые также вынесены на рис. 6 и тяготеют к силурийскому фрагменту APWP для Балтики в интервале между 428 и 420 млн. лет назад [Torsvik et al. 1992, 1996]. Новый нижнедевонский полюс, полученный на породах верхней части Тиверской серии (возраст около 413 млн. лет), попадает в интервал 407–405 млн. лет назад, что несколько моложе. Но с учетом овала доверия палеомагнитного полюса такое расхождение допустимо.

Палеомагнитные направления и полюса  
для компонент намагниченности нижнедевонских осадочных толщ Подолии

Свита	Сайт (разрез)	N	D°	I°	k	$\alpha_{95}$	Plat (°N)	Plong (°E)	полярность	компонента
Устечковская свита (D <sub>1</sub> )	6, 7	174	202.7	-19.2	56	1.4	-47	351.5	R	P-C
		49	233.7	43.0	8	7.6	-2.3	338.4	R	D-
		14	52.4	-33.1	7	16.1	8.8	155.7	N	D
		63	233.4	40.8	8	6.8	-3.8	337.8	N-R	Dcp.
Ивановская свита (D <sub>1</sub> )	4, 5	38	211	-22	32	4.2	-45	340	R	B
Худыковецкая свита (D <sub>1</sub> )	1, 2, 3	14	244	37	8	14.8	0	329	R-N	C

**Примечание:** N – количество независимо ориентированных образцов, по которым выделены компоненты намагниченности, D – склонение (в градусах), I – наклонение (в градусах). K – кучность распределения векторов [Fisher, 1953],  $\alpha_{95}$  – радиус круга доверия при 95 % вероятности для среднего направления (в градусах), Plat (°N), Plong (°E) – широта и долгота палеомагнитного полюса; dp, dm – полуоси овала доверия (в градусах), N – прямая полярность, R – обратная полярность



**Рис. 6.** Референтная палеозойская кривая ТКМП (APWP) для Балтики [Torsvik et al., 1992], новые результаты определения полюсов с овалами доверия  $\alpha_{95}$  (залитые круги с маркировкой) в соответствии с таблицей и [Jeleńska et al., 2005]. Пунктирной линией приведена предлагаемая траектория ТКМП по [Лубнина и др., 2007]. Цифрами указан возраст в млн. лет назад

Наши полюса для сероцветов силура и сероцветов (и красноцветов) нижнего девона несколько различаются, хотя были получены по единой методике измерений и выделения компонент намагниченности. Но в целом результаты хорошо согласуются с данными других авторов по нижнему девону и с соответствующим фрагментом ТКМП. Красноцветные породы в этом районе, несомненно, являются более благоприятным объектом для палеомагнитных исследований. Тем не

менее, согласование результатов по сероцветым и красноцветым породам с различными носителями остаточной намагниченности, прохождение теста обращения в образцах Днестровской серии является аргументом в пользу достоверности результатов. Дальнейшие работы по уточнению силурийского-нижнедевонского фрагмента ТКМП для ВЕП следует сосредоточить на изучении стратотипических разрезов красноцветов Подолии.

**Палеотектоника Восточно-Европейской платформы в силурийское и девонское время**

Как упоминалось выше, ВЕП в позднем ордовике находилась в тропических широтах южного полушария, в раннем силуре перемещалась в низкие широты северного полушария, к началу девона мигрировала в район приэкваториальных широт южного полушария [Smethurst and Khramov, 1992; Печерский, Диденко, 1995; Torsvik et al., 2001]. Согласно [Лубнина и др., 2007] дрейф Восточно-Европейской платформы в силурийское – раннедевонское время имел иной характер: с начала лланвирина происходило перемещение из умеренных широт южного полушария в северном направлении с одновременным разворотом против часовой стрелки; в венлоке – лудлове она располагалась в тропических широтах, а в раннем девоне переместилась в приэкваториальные широты южного полушария. На рис. 6 пунктирной

линией (выделена стрелкой) показана предлагаемая авторами [Лубнина и др., 2007] новая ТКМП для ВЕП, которая не предполагает наличия силурийского “каспа”, тяготеющего к “каменноугольным” полюсам ВЕП. Это движение можно описать как поворот на 30° против часовой стрелки вокруг полюса Эйлера с координатами  $\Phi=82^{\circ}\text{S}$ ,  $\Lambda=27^{\circ}\text{E}$ . (рис. 7, а).

Итоговые результаты наших исследований по среднепалеозойским объектам Подолии указывают на расположение Восточно-Европейской платформы в экваториальных широтах в пржидольское время, к началу девона она перемещалась в приэкваториальные широты южного полушария, где занимала стабильное положение на протяжении всего лохковского времени. В период с силура по нижний девон платформа совершила поворот против часовой стрелки вокруг полюса Эйлера с координатами  $\Phi=46^{\circ}\text{S}$ ,  $\Lambda=64^{\circ}\text{E}$  на 16° (рис. 7, б).



**Рис. 7.** Реконструкции дрейфа ВЕП в силуре – нижнем девоне: а – по данным [Лубнина и др., 2007]; б – по данным работы [Jeleńska et al. 2005] по силуру и материалам данной публикации по нижнему девону. *D1v* – нижний девон, тиверская серия; *Ddn* – нижний девон, днестровская серия; *S1,2* – верхний силур по [Jeleńska et al. 2005]; *S1kt*, *S2-D1*, *D1,2* – силур и девон в соответствии с [Лубнина и др., 2007] (в скобках указан средний возраст в млн. лет назад (Ma))

**Выводы**

1. По результатам палеомагнитных, петромагнитных и микроаналитических исследований верхнесилурийских и нижнедевонских осадочных толщ Подолии можно сделать вывод, что эти отложения являются палеомагнитно информативными, что позволяет их использовать как новый объект при палеотектонических реконструкциях ВЕП в палеозое.

2. В нижнедевонских сероцветых и красноцветых осадочных толщах Подолии выделяются три компоненты ЕОН, направления которых (по возрастанию магнитной стабильности) интерпретируются как: А – близкое к современному направлению, обусловленное вязкой намагниченностью; В – пермское направление, характеризуемое относительно высокой стабильностью и связанное с присутствием в породе аутигенного магнетита, образовавшегося, вероятно, в результате перемагничивания осадочных толщ в ходе тектонических событий, сопровождавших позднепалеозойскую – раннемезозойскую эволюцию ВЕП; С (Д) – вы-

сокостабильное (нижнедевонское) направление (ChRM-компонента намагниченности, выделяемая разными методами магнитной чистки и интерпретируемая нами как первичная). Эта компонента обусловлена присутствием в сероцветых породах магнетита как детритового, так (вероятно) и химического (на ранней стадии диагенеза) происхождения, и выделяется на некоторых образцах при размагничивании переменным магнитным полем выше 30 мТл (редко – при температурном размагничивании). В красноцветых эта компонента связывается с аллотигенным (детритовым) гематитом и выделяется при температурах выше 600°C.

3. О нижнедевонском возрасте ChRM-компоненты намагниченности свидетельствует: а) ее выделение исключительно в слоях с сохраненной осадочной структурой, что косвенно подтверждает ориентационную природу первичной компоненты намагниченности; б) ее направление, совпадающее с нижнедевонскими полюсами для Балтики; в) биполярность выделенного направления по девонским красноцветам. Ее среднее направление,



выделенное на 63 образцах ( $D=233.4^\circ$ ,  $I=40.8^\circ$   $\alpha 95=6.8^\circ$ ), определяет координаты палеомагнитного полюса ( $\Phi=3.8^\circ S$ ,  $\Lambda=337.8^\circ E$ ,  $dp/dm=5.0^\circ/8.3^\circ$ ), который попадает на нижнедевонский фрагмент ТКМП для ВЕП.

4. Несмотря на малые величины ЕОН и, соответственно, сложности в выделении компонент намагниченности даже при измерениях на высокочувствительном криогенном магнитометре, сероцветные осадочные толщи Подолии могут рассматриваться как перспективный объект с точки зрения выделения первичной компоненты намагниченности. Широкое распространение и доступность этих толщ на территории юго-западной Украины в возрастном диапазоне от венда до среднего девона позволяет рассчитывать, что при постановке здесь детальных палеомагнитных исследований палеозойский фрагмент ТКМП для ВЕП можно уточнить и детализировать.

5. Новые палеомагнитные результаты по силурийским и девонским объектам Подолии указывают на расположение ВЕП в экваториальных широтах в пржедольское время и перемещение к началу девона в приэкваториальные широты южного полушария с поворотом против часовой стрелки вокруг полюса Эйлера с координатами  $\Phi=46^\circ S$ ,  $\Lambda=64^\circ E$  на  $16^\circ$ , где она занимала стабильное положение на протяжении лохковского времени.

6. Красноцветы Подолии, по сравнению с сероцветными породами, традиционно считаются более благоприятным объектом для палеомагнитных исследований. Тем не менее, их территориальные и возрастные пределы весьма ограничены. При отсутствии подходящих объектов для проведения полевых тестов стабильности согласование результатов по сероцветным и красноцветным одновозрастным осадочным толщам является хорошим аргументом в пользу достоверности выделения первичной компоненты намагниченности. Очередные работы по уточнению именно силурийского – нижнедевонского фрагмента ТКМП для ВЕП следует сосредоточить на детальном изучении обнажений красноцветов в этом регионе.

#### Литература

Бахмутов В., Еленська М., Константиненко Л. Новые результаты палеомагнитных исследований силурийских отложений бассейна р. Днестр, Украина // Геофиз. журн. – 2001. – Т. 23, № 2. – С. 3–18.

Лубнина Н.В., Иосифиди А.Г., Храмов А.Н., Попов В.В., Левандовский М. Палеомагнитные исследования силурийских и девонских отложений Подолии // Палеомагнетизм осадочных бассейнов Северной Евразии: сборник трудов. – СПб: ВНИГРИ. – 2007. – С. 105–125.

Никифорова О.И. Западная окраина Украинского щита (Подолия) // Силурийская система. Девонская система. Стратиграфия СССР. – М.: Недра, 1965. – С. 71–94.

Печерский Д.М., Диденко А.Н. Палеоазиатский океан: петромагнитная и палеомагнитная информация о его литосфере – М., ОИФЗ РАН. 1995. – 298 с.

Цегельнюк П.Д., Гриценко В.П., Константиненко Л.И. Ищенко А.А., Абушик А.Ф., Боговяленская О.В., Дрыгант Д.М., Заика-Новачкий В.С., Кадлец Н.М., Киселев Г.Н., Сытова В.А. Силур Подолии: Путеводитель экскурсии – К.: Наук. думка. – 1983. – С. 224.

Fisher R.A. Dispersion on a sphere // Proc. Roy. Soc. – Lond. – 1953. – A 217. – P. 295–305.

Iosifidi A.G. Khramov A.N. Paleomagnetic study of the Early Silurian sequence of the Ukraine, v. Kitaygorod, preliminary data // 5<sup>th</sup> International Conference “Problems of Geocosmos”, Book of Abstracts, St. Petersburg, Petrodvorets 24-28 May 2004. – P. 172–173.

Jeleńska M., Bakhmutov V., Konstantinenko L. Paleomagnetic and rock magnetic data from the Silurian succession of the Dniester basin, Ukraine // Phys. Earth Planet. Int. 2005. 149. – P. 307–320.

Jeleńska M., Kądziałko-Hofmokl M., Bakhmutov V., Poliachenko I., Ziółkowski P. Identification of magnetic carriers of original and secondary NRM components recorded in Devonian sediments from Podolia, SW Ukraine // Геофиз. журн. – 2010. – Т. 32, № 4. – С. 59–60.

Jelinek V. The statistical theory of measuring Anisotropy of Magnetic Susceptibility and its application // Geophysica Brno. – 1977. – P. 5–88.

Kirschvink J.L. The least squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data // Geophys. J. R. Astron. Soc. – 1980. – 62. – P. 699–718.

Lewandowski M., Werner T., Nowozynski K. PDA-a package of Fortran programs for paleomagnetic data analysis. – Inst. Geophys. Pol. Ac. Sci., manuscript. – 1997. – P. 1–17.

Smethurst M.A., Khramov A.N. A new Devonian paleomagnetic pole for the Russian platform and Baltica, and related apparent polar wander // Geophys. J. Int. – 1992. – 108. – P. 179–192.

Smethurst M.A., Khramov A.N., Pisarevsky S.A. Palaeomagnetism of the Lower Ordovician Orthoceras Limestone, St. Petersburg and a revised drift history for Baltica in the early Paleozoic // Geophys. J. Int. – 1998. – 133. – P. 44–56.

Torsvik H.T., Smethurst M.A., Van der Voo R., Trench A., Abrahamsen N., Halvorsen E. Baltica: A synopsis of Vendian-Permian paleomagnetic data and their paleotectonic implications // Earth-Science Reviews. – 1992. – 33. – P. 133–152.

Torsvik H.T., Smethurst M.A., Meert J.G., Van der Voo R., McKerrow W.S., Brasier M.D., Sturt B.A., Walderhaug, H.J. Continental break-up and collision in the Neoproterozoic and Paleozoic: a tale of Baltica and Laurentia // Earth Sci. Rev. – 1996. – V. 40. – P. 229–258.

**ПАЛЕОТЕКТОНІЧНІ РЕКОНСТРУКЦІЇ РОЗТАШУВАННЯ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ У СЕРЕДНЬОМУ ПАЛЕОЗОЇ ЗА ПАЛЕОМАГНІТНИМИ ВИЗНАЧЕННЯМИ**

**Є.Б. Поляченко**

Наведено результати палеомагнітних досліджень осадових сіроколірних та червоноколірних порід нижнього девону південного заходу України (басейн річки Дністер). Зразки представлені сірими глинистими вапняками та доломітами Тиверської серії, а також червоними пісковиками та алевро-аргілітами Дністровської серії. Їх вік відповідає Лохковському ярусу міжнародної геохронологічної шкали. Стабільні компоненти намагніченості більшості зразків вказують на перемагнічування порід (пермський полюс,  $\Phi=45^{\circ}\text{S}$ ,  $\Lambda=340^{\circ}\text{E}$ ,  $dp/dm=2^{\circ}/5^{\circ}$  для Тиверської серії та  $\Phi=47^{\circ}\text{S}$ ,  $\Lambda=351.5^{\circ}\text{E}$ ,  $dp/dm=0.8^{\circ}/1.5^{\circ}$  для Дністровської). На зразках Іванівської та Устечковської світ було виділено первинні компоненти намагніченості (нижньодевонський напрям), пов'язані з детритивним магнетитом у сіроколірних та з гематитом в червоноколірних породах. Відповідні палеомагнітні полюси  $\Phi=0^{\circ}$ ,  $\Lambda=329^{\circ}\text{E}$ ,  $dp/dm=10^{\circ}/12^{\circ}$ ,  $\Phi=3.8^{\circ}\text{S}$  – Тиверська серія;  $\Phi=3.8^{\circ}\text{S}$ ,  $\Lambda=337.8^{\circ}\text{E}$ ,  $dp/dm=5^{\circ}/8.3^{\circ}$  – Дністровська серія. Обидва отриманих полюси узгоджуються з нижньодевонським фрагментом траєкторії уявної міграції полюса (ТУМП) для Балтики.

**Ключові слова:** палеотектоніка; палеомагнетизм; середній палеозой; Поділля; Східноєвропейська платформа; траєкторія уявної міграції палеомагнітного полюса (ТУМП).

**PALEOTECTONIC RECONSTRUCTION OF EAST EUROPEAN PLATFORM LOCALIZATION FOR MIDDLE PALEOZOIC BY PALEOMAGNETIC DATA**

**E.B. Polyachenko**

Results of paleomagnetic studies of Lower Devonian sedimentary gray and red rocks from the south-west of Ukraine (the Dniester River basin) are presented. Samples are gray argillite limestones and dolomites of Tiverian series and red argillite and sandstones of Dniester series. Time scale is comparable to Lochkovian of international geologic time scale. Stable palaeomagnetic components of the most samples show remagnetization of rocks (Permian pole,  $\Phi=45^{\circ}\text{S}$ ,  $\Lambda=340^{\circ}\text{E}$ ,  $dp/dm=2^{\circ}/5^{\circ}$  for Tiverian and  $\Phi=47^{\circ}\text{S}$ ,  $\Lambda=351.5^{\circ}\text{E}$ ,  $dp/dm=0.8^{\circ}/1.5^{\circ}$  for Dnistrovian series). Some samples from Ivanev and Ustechkov suites show the primary components of magnetization (Lower Devonian direction) which are associated with detrital magnetite in grey rocks and with hematite in red ones. The corresponding paleomagnetic poles for Tiverian series –  $\Phi=0^{\circ}$ ,  $\Lambda=329^{\circ}\text{E}$ ,  $dp/dm=10^{\circ}/12^{\circ}$   $\Phi=3.8^{\circ}\text{S}$ ; for Dniester series –  $\Phi=3.8^{\circ}\text{S}$ ,  $\Lambda=337.8^{\circ}\text{E}$ ,  $dp/dm=5^{\circ}/8.3^{\circ}$ . Both poles are in good agreement with the Lower Devonian fragment of APWP for Baltic.

**Key words:** paleotectonics; paleomagnetism; Middle Paleozoic; Podolia; East European platform; apparent polar wander path (APWP).