

Палеомагнитные исследования нижнедевонских сероцветных отложений Подолии

© В. Бахмутов¹, М. Тейсер-Еленская², М. Кадзялко-Хофмоклъ²,
Л. Константиненко³, Е. Поляченко¹, 2012

¹Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

²Институт геофизики ПАН, Варшава, Польша

³Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 22 июня 2012 г.

Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым

Наведено нові результати палеомагнітних досліджень осадових сіроколірних порід нижнього девону південного заходу України (район Поділля, басейн р. Дністер). Зразки представлені сірими плитчастими і глинистими вапняками й доломітами тіверської серії, яка відповідає лохковському ярусу геологічної шкали. Стабільні компоненти намагніченості більшості зразків вказують на перемагнічування порід (пермський полюс, $\varphi=45^{\circ}\text{S}$, $\lambda=340^{\circ}\text{E}$, $dp/dm=2^{\circ}/5^{\circ}$), на окремих зразках іваневської світи виділено первинну компоненту намагніченості (нижньодевонський напрямок). Палеомагнітний полюс ($\varphi=0^{\circ}$, $\lambda=329^{\circ}\text{E}$, $dp/dm=10^{\circ}/12^{\circ}$), що відповідає останній, добре узгоджується з нижньодевонським фрагментом траєкторії уявної міграції полюса для Балтики. Результати узгоджуються з попередніми визначеннями авторів за сіроколірними відкладами силуру Подолии.

New results of paleomagnetic studies of Lower Devonian sediments from the southwest of Ukraine (the Podolia area, the Dniester river basin) have been presented. The samples are grey limestone and dolomite of Tiverian series comparable with the Lochkovian stage of the Geological time scale. Stable component of magnetization of the most samples indicate to remagnetization of rocks (the Permian pole, $\varphi=45^{\circ}\text{S}$, $\lambda=340^{\circ}\text{E}$, $dp/dm=2^{\circ}/5^{\circ}$). In some samples of the Ivanev suite the primary component of magnetization (Lower Devonian direction) has been distinguished. Paleomagnetic pole ($\varphi=0^{\circ}$, $\lambda=329^{\circ}\text{E}$, $dp/dm=10^{\circ}/12^{\circ}$) is in a good agreement with Lower Devonian fragment of apparent wander path for the Baltica. The results are in agreement with earlier data of authors for Silurian gray sedimentary rocks of Podolia.

Введение. Восточно-Европейская платформа (ВЕП) занимает одно из ключевых мест в палеотектонических реконструкциях суперконтинентов в фанерозое. При построении кинематических моделей ВЕП, в основе которых лежат результаты интерпретации геодинамических, палеогеографических и палеомагнитных данных, именно последним отводится основная роль при количественных оценках эволюции слагающих ее отдельных тектонических блоков. Поскольку главным инструментом палеомагнетизма (применительно к палеотектоническим реконструкциям) является построение траекторий кажущейся миграции полюса (ТКМП), в качестве референтной кривой широко используется ТКМП, построенная для Балтики [Torsvik et al., 1992; 1996]. Среднепалеозойский фрагмент этой кривой имеет характерную петлю, форма которой до

сих пор до конца остается дискуссионной (некоторые сегменты построены по результатам интерполяции).

Для ВЕП построены разные варианты ТКМП в палеозое [Smethurst, 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, дрейф в приэкваториальные широты Южного полушария к началу девона. Недавние исследования на Подолии [Лубнина и др., 2007] позволили получить новые палеомагнитные полюсы, согласно которым 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 приэквато-

риальных широт. При этом во многих работах отмечается, что силурийский фрагмент расположен близко к каменноугольному сегменту ТКМП, что, вероятно, обусловлено повсеместным перемагничиванием пород в каменноугольное — пермское время. В связи с этим силурийский—девонский фрагменты ТКМП нуждаются в проверке, что подразумевает получение новых палеомагнитных результатов. Для этого усилия разных палеомагнитных групп неоднократно направлялись на исследования стратотипических осадочных толщ силура — нижнего девона, широко распространенных в юго-западной части ВЕП (юго-западная Украина, район р. Днестр, Подолия).

Авторы работы [Smethurst, Khramov, 1992], исследовавшие верхнесилурийские известняки и нижнедевонские песчаники юго-западной Украины, обнаружили в большинстве пород пермскую компоненту намагниченности, связанную с перемагничиванием пород (неоднократно упоминающуюся в более ранних работах, см. ссылки в работе [Smethurst, Khramov, 1992]), и компоненту, соответствующую девонскому направлению полюсов для Балтики. По силурийским сероцветным породам древнее направление ими выделено не было. Результаты недавних исследований силурийских отложений Подолии, выполненных авторами публикации [Jeleńska et al., 2005], позволили определить палеомагнитные полюсы, близкие к пермо-карбонному и силурийскому фрагментам референтной ТКМП. Исследования силурийских отложений этого же района позволили авторам [Iosifidi, Khramov, 2004] получить новый палеомагнитный полюс, согласно которому ВЕП в венлоке—лудлове располагалась в тропических широтах Южного полушария. В результате детальных палеомагнитных исследования силурийско-девонских отложений Подолии были получены новые палеомагнитные полюсы [Лубнина и др., 2007], которые несколько отличались от полученных ранее другими авторами в этом районе.

Анализируя эти работы необходимо отметить, что исследовались слабромагнитные осадочные породы, поэтому возникали трудности при выделении компонент намагниченности, не было возможности проведения полевых тестов палеомагнитной стабильности, многие породы были перемагничены. Кроме того, зачастую не приводится детальная геологическая информация о разрезах, местах отбора проб, в некоторых работах отсутствуют детали методики палеомагнитных исследований.

Поскольку нами детально и, с нашей точки зрения, успешно были изучены сероцветные отложения силура Подолии [Jeleńska et al., 2005], данная работа является продолжением палеомагнитных исследований перекрывающих их нижнедевонских отложений с целью получения новых палеомагнитных данных для ВЕП.

Общая геология района. Палеозойские отложения широко распространены на западе и юго-западе ВЕП, где они вскрыты многочисленными скважинами и представлены толщей карбонатно-терригенных пород. Их мощность увеличивается к западу, образуя полого наклоненную в западном направлении моноклиаль по мере погружения кристаллического фундамента. В составе осадочного чехла выделяют два структурных этажа, разделенных значительным перерывом в осадконакоплении и резким различием в структурном плане.

Наиболее полный разрез отложений ордовика, силура и нижнего девона обнажается в долине р. Днестр от с. Гораевка на востоке до с. Устечко на западе. Рельеф здесь холмистогрядовый, с глубокими врезами речных долин и абсолютными отметками 200—320 м. В субширотном направлении местность пересекается глубокой долиной р. Днестр, а также долинами его левых притоков, в бортах которых обнажаются палеозойские и мезо-кайнозойские отложения.

Нижний этаж составлен породами верхнего протерозоя (венд), палеозоя (нижний кембрий, верхний ордовик, силур и нижний девон). Эти отложения обнажаются в долине р. Днестр, а наиболее полные разрезы прослеживаются в долинах ее левых притоков. Палеозойские отложения залегают на отложениях венда с угловым (1—3°) и стратиграфическим несогласием. Отложения силура с размывом залегают на осадочных толщах ордовика, кембрия, а местами на отложениях венда. Для отложений нижнего девона характерно наличие небольших сдвигов, сбросов и флексур, которые наблюдаются в отложениях Митковской и Чортковской свит.

Верхний этаж представлен отложениями мела (сеноманский ярус) и неогена (торгонский и сарматский ярусы), которые почти горизонтально срезают низзалегавшие осадки. Таким образом, на горизонтальную подмеловую поверхность моноклиально залегающие палеозойские отложения выходят в виде субмеридиональных полос, которые в западном направлении сменяют более молодые породы (рис. 1).

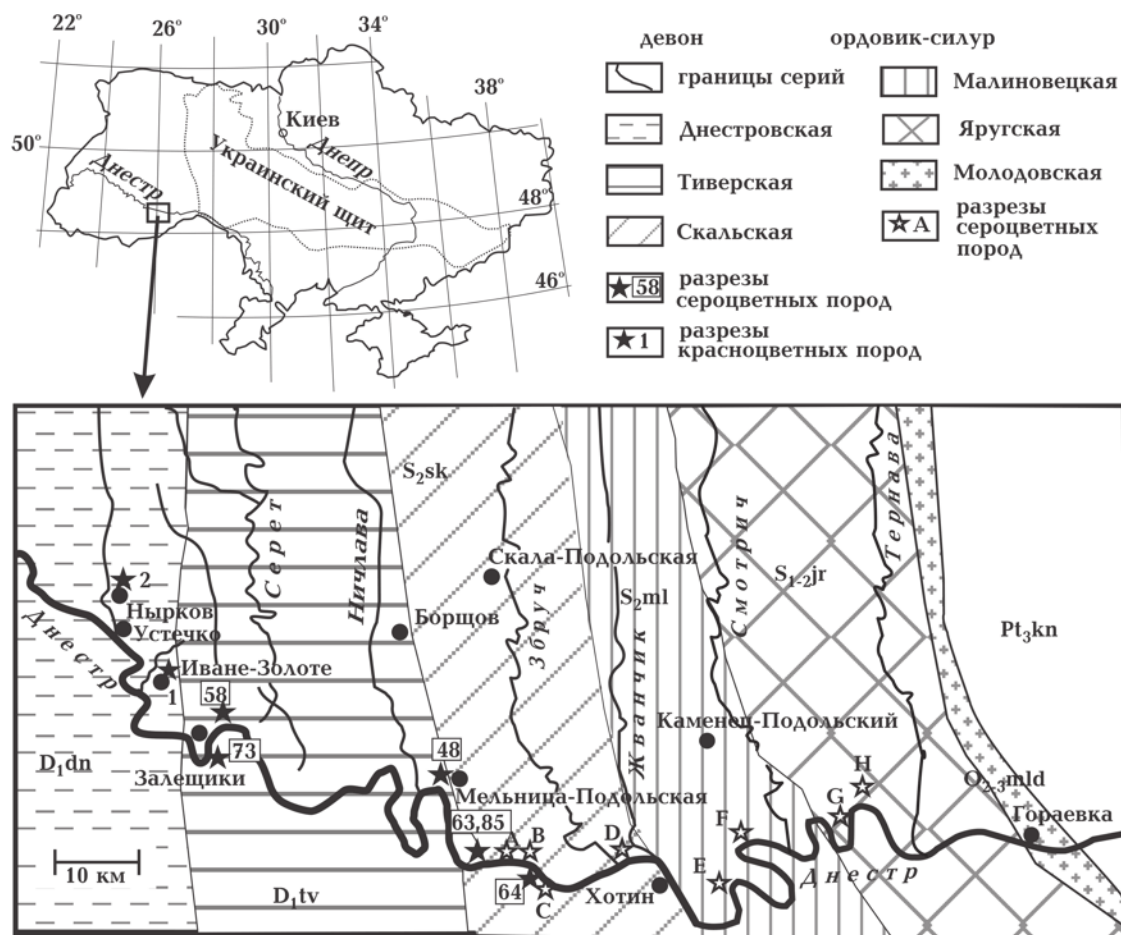


Рис. 1. Геологическая схема палеозоя среднего Приднестровья (со снятым мезо-кайнозойским чехлом). Исследованные разрезы сероцветных пород нижнего девона приведены в квадратах в соответствии с нумерацией в работе [Никифорова, Предтеченский, 1972].

Объекты исследований. Верхнесилурийский и нижнедевонский разрез осадочных толщ Подолии по праву считается стратотипическим и является одним из наиболее полных разрезов в мире. Почти горизонтальное залегание и незначительный метаморфизм пород, хорошая обнаженность высоких и крутых склонов рек и оврагов, многочисленность и разнообразие ископаемых организмов в течение длительного времени привлекают внимание геологов и палеонтологов к этому региону. При разработке местной стратиграфической схемы Подолии в свое время был использован фациальный критерий расчленения, который базировался на фациально-циклическом анализе всего Днестровского опорного разреза [Цегельнюк и др., 1983].

Силур Подолии представлен мощной толщей теригенно-карбонатных пород (до 490 м), в составе которой выделяют три седиментационных цикла — Яругскую, Малиновецкую и

Скальскую серии, отражающие три крупных этапа силурийско-раннедевонского осадконакопления в пределах юго-западной окраины ВЕП. Скальская серия отображает конечную стадию раннепалеозойского карбонатного осадконакопления. Она представлена в основном мелководными отложениями (доломитами, известняками), в верхней части — глинистыми комковатыми известняками и мергелями. Палеомагнитные исследования этих пород представлены в работе [Jeleńska et al., 2005].

Нижнедевонские отложения распространены к западу от линии Дубно—Кременец—Залещики и также обнажаются в бассейне р. Днестр, а западнее они вскрыты скважинами. Отложения среднего девона известны по результатам бурения преимущественно в Львовском палеозойском прогибе.

В разрезе нижнего девона Подолии выделяют две серии: Тиверскую и Днестровскую. Первая из них отражает продолжение силурийско-

раннедевонского осадконакопления, представлена толщей морских осадков (известняки, аргиллиты) и по составу подразделяется на Худыковецкую, Митковскую, Чортковскую и Иваневскую свиты. Худыковецкая и Митковская свиты представлены мощной (до 180 м) толщей переслаивающихся плитчатых известняков и аргиллитов, Чортковская свита (мощностью до 200 м) — аргиллитами с прослоями органогенно-детритовых известняков. Для отложений Иваневской свиты характерно ритмичное переслаивание аргиллитов и глин с прослоями органогенно-детритовых комковатых известняков мощностью до 120 м. С этого интервала в разрезе Тиверской серии появляются красноцветные отложения, представленные алевролитами и аргиллитами (мощностью 0,5—3,0 м).

Для днестровского времени характерно полное разъединение палеобассейнов, которые на протяжении ордовика и силура были единой шельфовой зоной. Мощные (до 430 м) толщи красноцветов накапливались в низменных равнинах в условиях аридного климата

и представлены чередованием аргиллитов, алевролитов и песчаников. Они подразделены на Устечковскую, Хмелевскую, Стрыпскую и Смеркловскую свиты, которые в Львовском палеозойском прогибе достигают суммарной мощности до 1100 м [Никифорова, 1965; Цегельнюк и др., 1983].

Весь разрез нижнего девона, включая сероцветные породы и красноцветы Тиверской серии и нижней части днестровской серии, сопоставим с Лохковским ярусом геологической шкалы [Gradstein et al., 2004], по которой возраст границы силура—девона оценивается $416,0 \pm 2,8$ млн лет назад, а граница Лохковского и Пражского ярусов — $411,2 \pm 2,8$ млн лет назад, т.е. накопление этой толщи происходило на протяжении около 5 млн лет (рис. 2).

Нами были опробованы пять разрезов нижедевонских сероцветов Тиверской серии, месторасположение которых показано на рис. 1. Детальное описание разрезов с соответствующими литологическими схемами, мощностями, нумерацией слоев приведено в работе [Никифорова, Предтеченский, 1972] и

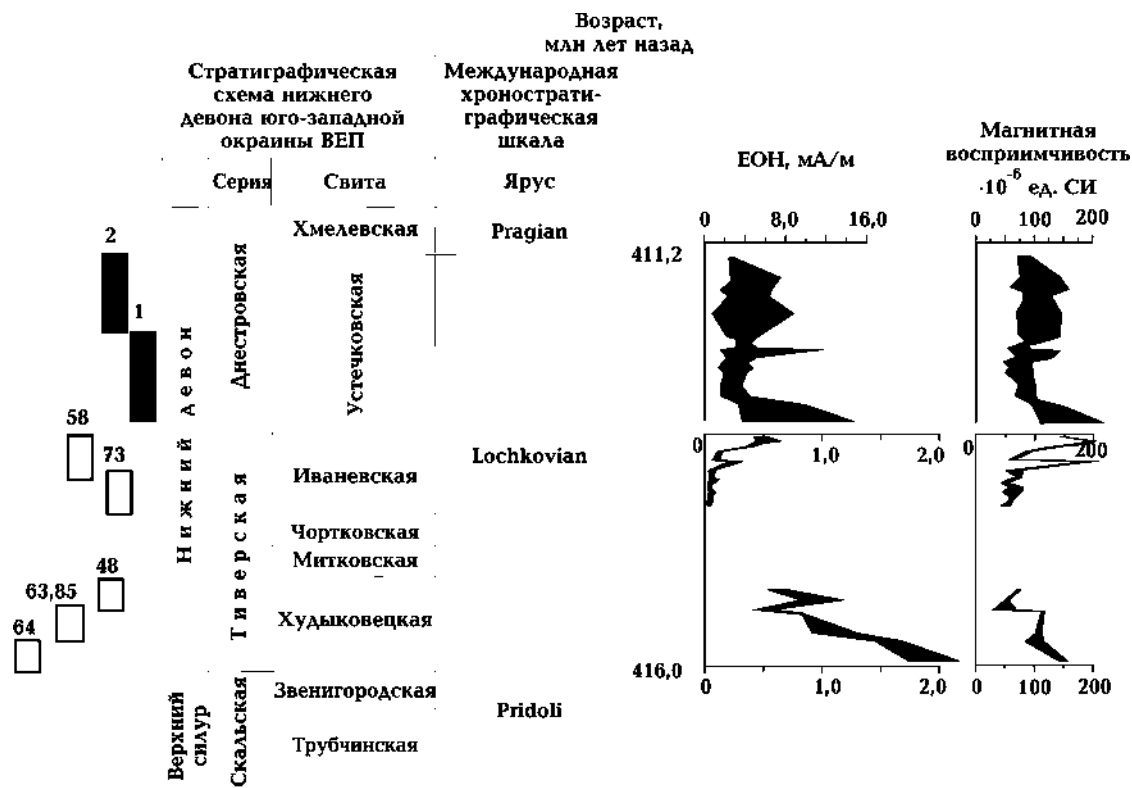


Рис. 2. Естественная остаточная намагниченность (ЕОН) и магнитная восприимчивость нижедевонских сероцветных (белые прямоугольники) и красноцветных (черные прямоугольники) отложений Подолии (вдоль широтного профиля изученных разрезов в соответствии с обозначениями на рис. 1). Разрезы приведены к стратиграфической схеме нижнего девона Подолии, возраст указан в соответствии с геологической шкалой [Gradstein et al., 2004]. Обратите внимание на различия в шкале ЕОН.

ниже мы ссылаемся на рисунки, приведенные в этой работе. Три разреза (номера 64, 63+85 и 48) общей мощностью около 50 м относятся к Худыковецкой свите, а два разреза (номера 73 и 58) — к Иваневской свите (общая мощность около 120 м).

На разрезе 64 Волковцы (Днестровое, 48°32,4'N, 26°14'E) образцы из серых известняков были отобраны из слоев 7 и 11 Борщевского (Худыковецкого) горизонта. На разрезе 63+85 Ольховцы (48°33,5'N, 25°09,1'E) образцы из плитчатых серых известняков, разделенных прослоями аргиллитов, — из средней/верхней частей тайновских слоев на глубине 23 и 45 м [Никифорова и др., 1972, рис. 12]. На разрезе 48 Худыковцы (48°36,4'N, 25°08,5'E), образцы из серых известняков — из тайновских слоев 1 и 2 Борщевского (Худыковецкого) горизонта.

На разрезе 58 Залещики (48°39'N, 25°44'E) образцы из серых и глинистых известняков были отобраны из слоев 4, 6, 7, 11, 16, 19, 21 и 23 Иваневского горизонта. На разрезе 73 Добровляны (48°40,2'N, 25°45,2'E) образцы из серых и глинистых известняков — из слоев 1, 11, 15, 22, 23, 24, 26 и 27 Иваневского горизонта.

Методика работ. Лабораторные исследования. Всего на пяти разрезах было отобрано 47 ориентированных штуфов, из которых вырезались образцы (по 2—4 образца из одного штуфа) кубической формы размером 20×20×20 мм. Лабораторные измерения выполнялись на аппаратуре Института геофизики Польской Академии наук, г. Варшава. Естественная остаточная намагниченность (ЕОН) образцов измерялась на криогенном магнитометре 2G SQUID (производство США) с приставкой для размагничивания переменным магнитным полем. Температурная чистка образцов выполнялась с использованием экранированной печи производства Magnetic Measurements LTD, Великобритания. И магнитометр, и печь располагаются в немагнитной комнате MMLFC. Измерение магнитной восприимчивости выполнялось на каппа-метре KLY-2. Параметры анизотропии магнитной восприимчивости вычислялись по программе ANISO [Jelinek, 1977]. Результаты размагничивания анализировались методом главных компонент [Kirshvink, 1980] с использованием пакета программ PDA [Levandovsky et al., 1997].

Магнитная минералогия. Для определения минералов железа — носителей остаточной намагниченности — выполнялись как исследование шлифов под микроскопом, так и исследование методами терромагнитного анализа

(терморазмагничивание IRM). Исследование под микроскопом тонких шлифов оказалось малоинформативным. Было определено только присутствие гидрооксидов железа и пирита.

Более информативными оказались результаты терромагнитного анализа. Определение минералов железа выполнялось по стандартной методике магнитно-минералогических исследований, которая ранее была привлечена нами для исследования сероцветов силура [Jeleńska et al., 2005]. Анализировались кривые изменения SIRM и магнитной восприимчивости от температуры, результаты терморазмагничивания трехкомпонентной IRM, для отдельных образцов — параметры петли гистерезиса. Результаты согласуются с выводами, полученными для сероцветов силура, 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 с окислением пирита до магнетита [Бахмутов и др., 2001]. В работе [Лубнина и др., 2007] по сероцветам из этого же района также указывается на присутствие гидрооксидов и на магнетит как на основной минерал — носитель намагниченности. В отличие от сероцветов, основным носителем намагниченности красноцветов, широко распространенных в районе исследований, является гематит разного генезиса [Jeleńska et al., 2010].

Палеомагнитные исследования. Сложность палеомагнитных исследований сероцветов Подолии обусловлена рядом факторов, которые ставят под сомнение возможность выделения палеомагнитно-информативной компоненты намагниченности и доказательства ее первичной природы.

Классические полевые тесты (складки, конгломератов) здесь не применимы из-за отсутствия необходимых для проведения этих тестов геологических объектов, а значения остаточной намагниченности образцов настолько малы, что возникают трудности даже при измерениях на криогенном магнитометре. На рис. 2. в правой части приведены значения ЕОН и магнитной восприимчивости, которые изменяются в пределах от 0,1 до 2,0 мАм⁻¹ и от 40×10⁻⁶ до 200×10⁻⁶ ед. СИ. Они сопоставимы с данными по сероцветам силура [Jeleńska et al., 2005], самыми высокими значениями ЕОН характеризуются породы Худыковецкой свиты. Для сравнения на этом же рисунке приведены значения для красноцветов девона, где ЕОН в 5—10 раз выше.

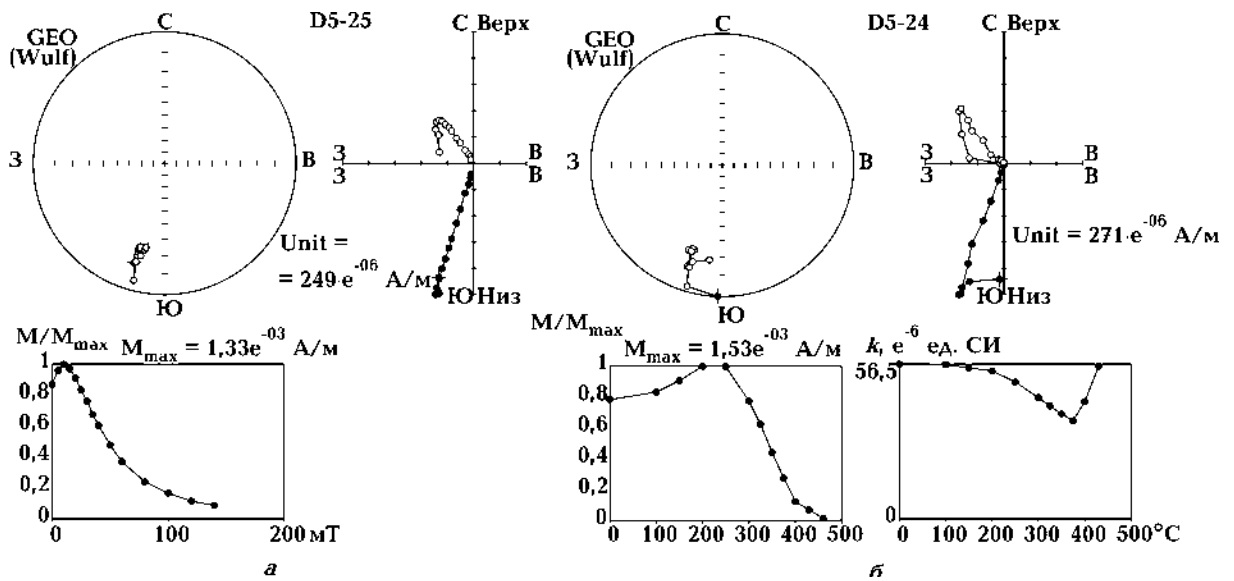


Рис. 3. Примеры ступенчатого размагничивания образцов сероцветных пород переменным магнитным полем (а) и температурой (б), на которых выделяется В-компонента намагниченности. Приведены стереографические проекции изменения направления вектора остаточной намагниченности в процессе размагничивания (полые (залитые) круги — проекции векторов на верхнюю (нижнюю) полусферу), нормированные кривые размагничивания ЕОН, диаграммы Зийдерверльда (залитые и полые круги — проекции соответственно на горизонтальную и вертикальную плоскость) и изменение магнитной восприимчивости в процессе нагрева. D5-25, D5-24 — номера образцов.

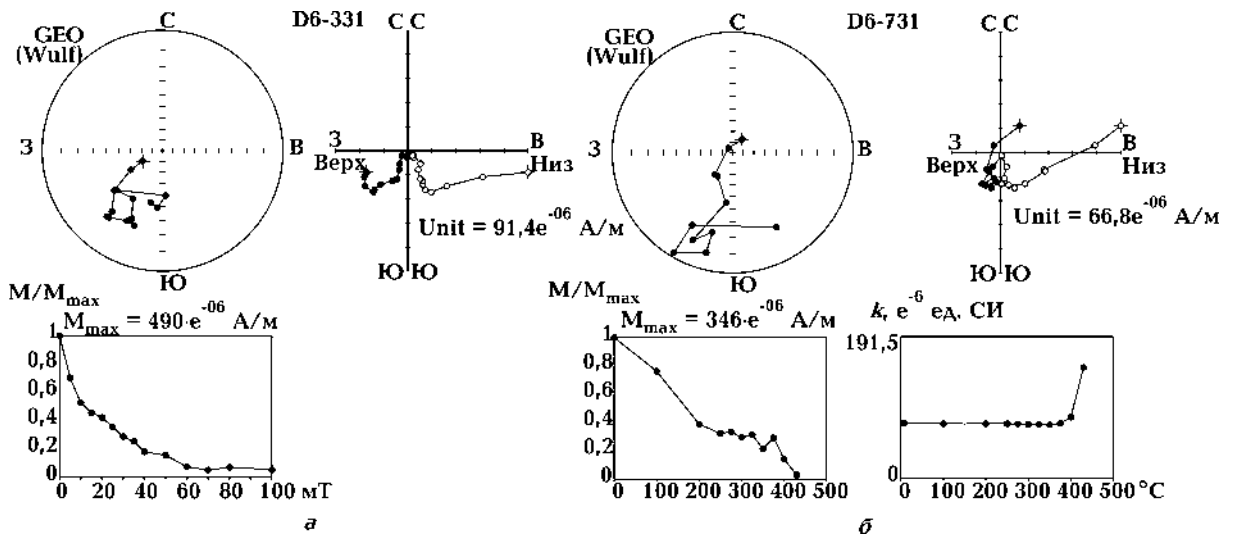


Рис. 4. Примеры ступенчатого размагничивания образцов сероцветных пород переменным магнитным полем (а) и температурой (б), на которых выделена С-компонента намагниченности. D6-331, D6-731 — номера образцов. Пояснение см. на рис. 3.

Образцы (по одному из каждого штупфа) были подвергнуты серии последовательных нагревов при 10—12 ступенях размагничивания до температуры 420—460 °С (при которых ЕОН падала почти до нуля и/или происходили минералогические изменения в образцах, на что указывало резкое возрастание магнитной восприимчивости). Образцы-дубли размаг-

ничивались переменным магнитным полем (15—20 ступеней размагничивания) при максимальных значениях поля 150 мТл.

Наиболее характерный пример размагничивания образцов приведен на рис. 3. Очевидно наличие двух компонент намагниченности, при этом более стабильная компонента обратной полярности (далее В-компонента) четко выде-

ляется разными методами магнитной чистки, идет к началу координат и ее выделение не вызывает проблем. Наряду с ней при низких температурах (до 200—250 °С) и переменных магнитных полях до 15—20 мТл выделяется другая, низкостабильная компонента (далее А-компонента) прямой полярности, очевидно вязкой природы.

Однако некоторые образцы характеризуются иным поведением кривых ступенчатого размагничивания (рис. 4). После удаления низкостабильной А-компоненты здесь, несмотря на разброс значений при последующих ступенях размагничивания (в том числе обусловленный низкими значениями остаточной намагниченности образцов), надежно выделяется как характеристическая ChRM третья компонента (С-компонента), наиболее стабильная и идущая к началу координат диаграмм Зийдерверльда.

Результаты компонентного анализа приве-

дены в таблице, выделенные палеомагнитные направления представлены на рис. 5. Следует отметить, что А- и В- компоненты выделяются на большей части образцов как по результатам температурной чистки, так и чистки переменным полем, в то время как С-компонента была уверенно выделена всего на 14 образцах (преимущественно при размагничивании переменным магнитным полем в диапазоне 30—70 мТл и при температурной чистке в диапазоне 300—460 °С), отобранных на разрезах Залешики (58) и Добровляны (73). При этом только на одном образце было выделено направление прямой полярности, на остальных — обратной.

Измерения анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ) коллекции образцов показали низкую степень АМВ (параметр P , характеризующий степень анизотропии, не превышает 1,05). На рис. 6, а представлены ре-

Палеомагнитные направления и полюсы для компонент намагниченности нижнедевонских сероцветных пород Подолии

Компоненты ЕОН	N	D , град	I , град	K	α_{95} , град	Plat (°N)	Plong (°E)	Pole d_p , град	Pole d_m , град
А-компонента	45	5	70	8	7,9	83,9	54,8	11,7	13,6
В-компонента	38	211	-22	32	4,2	-45	340	2,4	4,5
С-компонента	14	244	37	8	14,8	0	329	10,2	17,3

Примечание: N — количество независимо ориентированных образцов, на которых выделена компонента намагниченности, D — склонение, I — наклонение, K — кучность распределения векторов [Fisher, 1953], α_{95} — радиус круга доверия при 95 % вероятности для среднего направления, Plat (°N), Plong (°E) — широта и долгота палеомагнитного полюса, d_p , d_m — полюсы овала доверия.

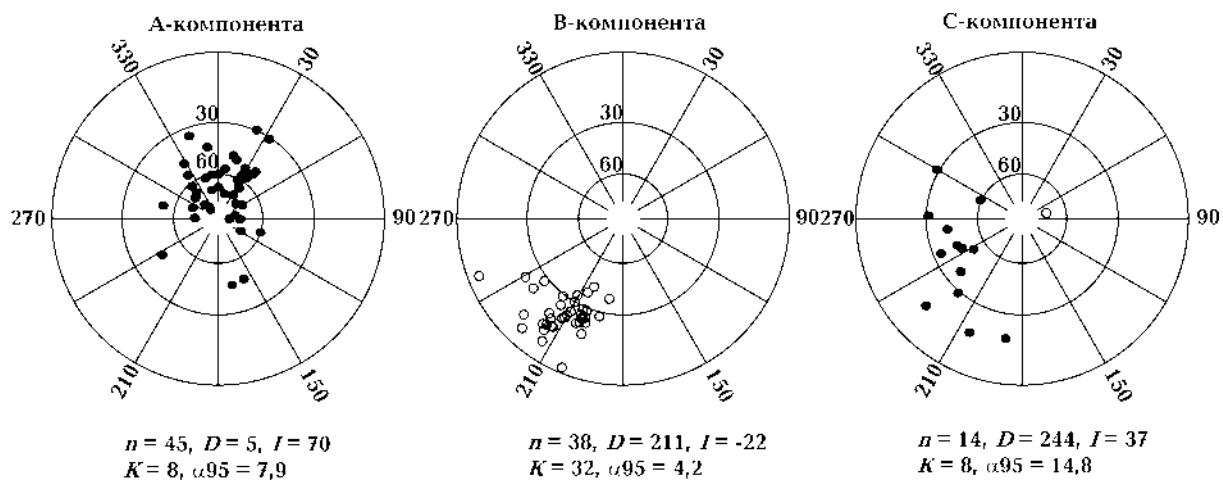


Рис. 5. Стереографические проекции выделенных палеомагнитных направлений на образцах нижнедевонских сероцветов. Полые (залитые) круги — проекции векторов на верхнюю (нижнюю) полусферу.

зультаты, полученные по всем образцам, которые указывают на разную ориентировку осей эллипсоидов АМВ, на рис. 6, б — результаты только по образцам, на которых была выделена С-компонента намагниченности. Очевидно, что форма анизотропии здесь имеет плоскостной тип, минимальные оси эллипсоидов ориентированы в вертикальной плоскости, в то время как максимальные и промежуточные оси эллипсоидов лежат практически в горизонтальной плоскости. Эти результаты позволяют сделать вывод в пользу терригенного происхождения магнитной фракции, с которой связана С-компонента намагниченности, что также косвенно свидетельствует в пользу ориентационной природы характеристической компоненты намагниченности (ChRM) таких образцов.

Обсуждение результатов. Направление низкотемпературной А-компоненты намагниченности близко к направлению низкостабильной компоненты, выделенной на силурийских и девонских породах из этого же района ранее [Smethurst, Khramov, 1992; Jeleńska et al., 2005; Лубнина и др., 2007], и к направлению современного магнитного поля и, скорее всего, связано с вязкой намагниченностью.

Направление более стабильной В-компоненты ($D=211^\circ$, $I=-22^\circ$), которая выделяется в большей части образцов как при размагничивании переменным магнитным полем, так и температурой, близко к направлениям, полученным ранее по силурийским и нижнедевонским породам Подолии [Smethurst, Khramov,

1992; Jeleńska et al., 2005, Лубнина и др., 2007]. В этих работах отмечалось перемагничивание палеозойских осадочных пород ВЕП в результате тектонических событий, сопровождающих позднепалеозойскую — раннемезозойскую эволюцию Восточно-Европейского кратона. В работе [Лубнина, 2009] указывается на вероятную термовязкую природу этой намагниченности, а также на широкое распространение этого типа перемагничивания в пределах ВЕП. Эта компонента намагниченности связана, вероятно, с аутигенным магнетитом, образовавшимся под воздействием флюидов различного состава в течение длительного промежутка времени (вероятно, десятков млн лет). Палеомагнитный полюс ($\varphi=45^\circ\text{S}$, $\lambda=340^\circ\text{E}$) близок к позднепалеозойскому направлению для ВЕП около 270 млн лет назад (рис. 7) и соответствует предположительно пермским «ключевым» полюсам ВЕП [Иосифди, Храмов, 2002]. Следует отметить, что рассчитанные полюсы по выделенным ранее на силурийских и нижнедевонских осадках Подолии I-компоненте, по [Smethurst, Khramov, 1992], и среднетемпературной В-компоненте, по [Лубнина и др., 2007], (соответственно $\varphi=46^\circ\text{S}$, $\lambda=348^\circ\text{E}$ и $\varphi=44^\circ\text{S}$, $\lambda=352^\circ\text{E}$) смещены к востоку относительно референтной кривой. Для полученного нами полюса такое смещение не наблюдается даже при вводе поправки за общий наклон осадочных толщ в этих разрезах на северо-запад (азимут/угол падения — $340^\circ/4^\circ$).

Направление С-компоненты (в нашем случае ChRM-компонента $D=244^\circ$, $I=37^\circ$) условно

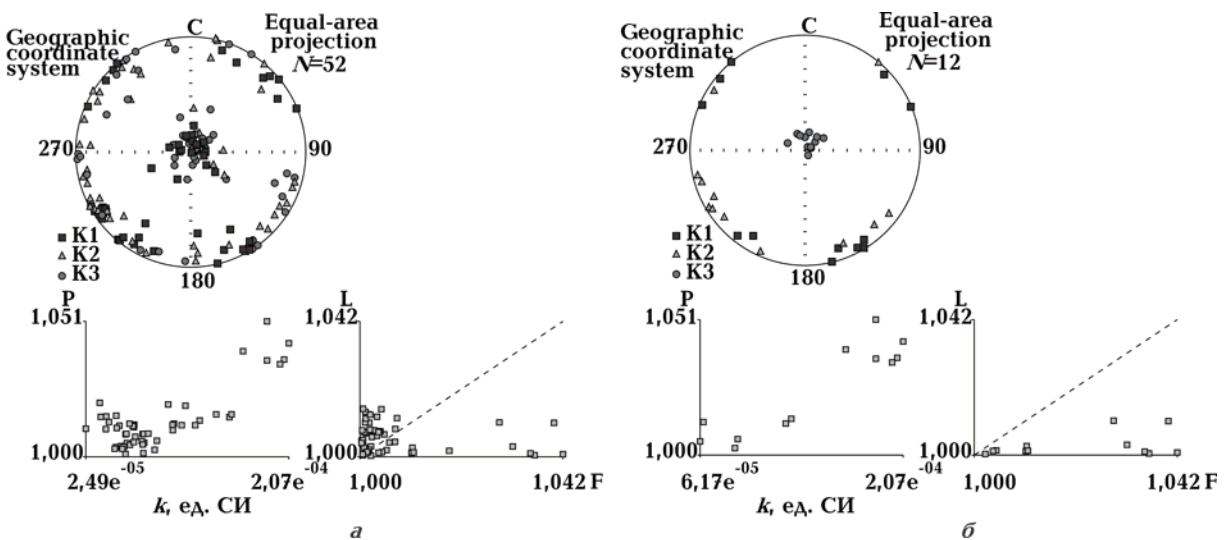


Рис. 6. Распределение осей эллипсоидов анизотропии магнитной восприимчивости (K1, K2 и K3 соответственно направления максимальной, средней и минимальной оси) и диаграммы $P=K1/K3$, $L=K1/K2$, $F=K2/K3$ всех образцов (а) и образцов, на которых выделена С-компонента намагниченности (б). k — магнитная восприимчивость.

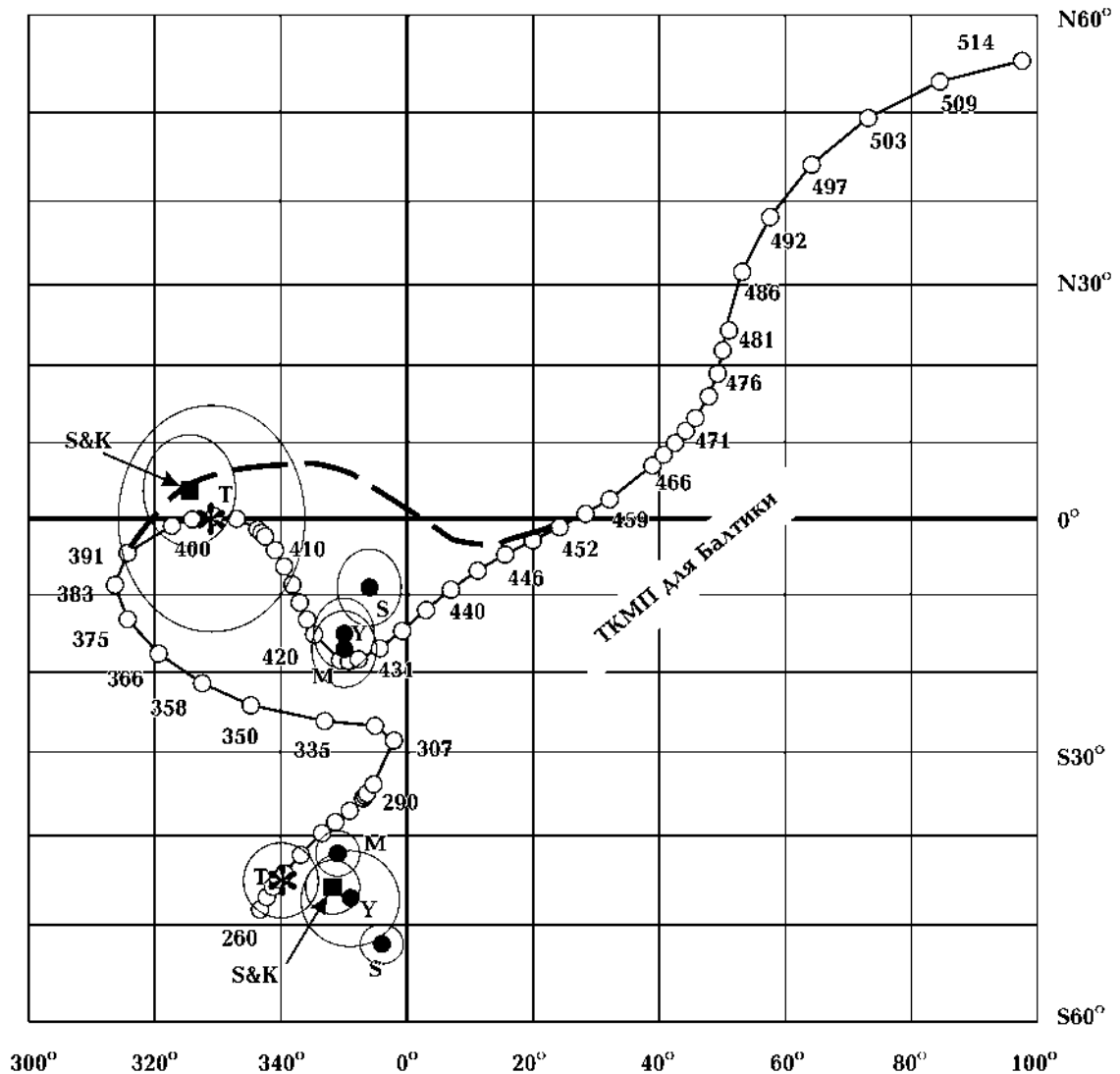


Рис. 7. Референтная палеозойская кривая ТКМП для Балтики [Torsvik et al., 1992], результаты определения полюсов (заполненные круги) для сероцветных пород Яругской (Y), Малиновецкой (M) и Скальской (S) серий силура Подолии [Jeleńska et al., 2005] и новые результаты определения полюсов по нижнедевонским (звездочки) сероцветным осадочным толщам Подолии (Т — Тиверская серия). Черными квадратами отмечено местоположение полюсов, полученных по сероцветам и красноцветам Подолии по [Smethurst, Khramov, 1992]. Цифры в квадратах — возраст референтных полюсов, млн лет назад. Пунктирной линией приведена предлагаемая в работе [Лубнина и др., 2007] ТКМП для ВЕП.

можно назвать биполярным — только на одном образце была выделена прямая полярность. Основной носитель этой компоненты — аллотигенный магнетит, природа намагниченности, судя по результатам измерения АМВ, — ориентационная (посториентационная). Рассчитанный палеомагнитный полюс ($\varphi=0^{\circ}\text{S}$, $\lambda=329^{\circ}\text{E}$) хорошо согласуется с нижнедевонским фрагментом ТКМП для ВЕП (см. рис. 7).

Ранее в этом районе были получены палеомагнитные полюса по сероцветным породам Яругской, Малиновецкой и Рукшинской

(Скальской) серий силура [Jeleńska et al., 2005], которые также вынесены на рис. 7 и тяготеют к силурийской части ТКМП для Балтики в интервале 428—420 млн лет назад [Torsvik et al., 1992; 1996]. Новый нижнедевонский полюс, полученный на породах верхней части Тиверской серии (возраст около 413 млн лет назад), попадает в интервал 407—405 млн лет назад, что несколько моложе. Однако с учетом овала доверия палеомагнитного полюса такое расхождение допустимо.

На рис. 7 пунктирной линией показана пред-

лагаемая [Лубнина и др., 2007] новая ТКМП для ВЕП, которая не предполагает наличие силурийского «каспа», тяготеющего к «каменноугольным» полюсам ВЕП. Наши полюсы для сероцветов силура и нижнего девона значительно различаются, хотя были получены по единой методике измерений и выделений компонент намагниченности, результаты в целом хорошо согласуются с данными других авторов по нижнему девону (полученными в основном по красноцветным породам) и с соответствующим фрагментом ТКМП. Красноцветные породы в этом районе, несомненно, являются более благоприятным объектом для палеомагнитных исследований. Тем не менее согласование результатов по сероцветам и красноцветам (породам с различными минералами железа — носителями остаточной намагниченности) является аргументом в пользу достоверности выделения первичной компоненты намагниченности (учитывая, что полевые тесты стабильности из-за отсутствия подходящих объектов здесь невыполнимы). Дальнейшие работы по уточнению силурийского — нижнедевонского фрагмента ТКМП для ВЕП следует сосредоточить на детальном изучении стратотипических разрезов красноцветов Подолии.

Выводы. 1. В нижнедевонских сероцветных осадочных толщах Подолии выделяются три направления ЕОН: близкое к современному, обусловленное вязкой (низкостабильной) намагниченностью; пермское, характеризующееся относительно высокой стабильностью и связанное с присутствием в породе аутигенного магнетита, образовавшегося, вероятно, в результате перемагничивания осадочных толщ в ходе тектонических событий, которые сопровождали позднепалеозойскую — раннемезозойскую эволюцию ВЕП; нижнедевонское (ChRM-компонента намагниченности, выделяемая нами как первичная), обусловленное присутствием в некоторых образцах магне-

тита, который может быть как детритового происхождения, так и химического на ранней стадии диагенеза.

2. О нижнедевонском возрасте ChRM-компоненты намагниченности 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 [Smethust, Khramov, 1992; Лубнина и др., 2007]).

3. Несмотря на малые значения 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 (в обнажениях) 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 может быть уточнен и детализирован.

4. 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 полевых тестов стабильности согласование результатов по 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.

Список литературы

- Бахмутов В., Еленська М., Константиненко Л. Новые результаты палеомагнитных исследований силурийских отложений бассейна р. Днестр, Украина // Геофиз. журн. — 2001. — 23, № 2. — С. 3—18.
- Иосифиди А. Г., Храмов А. Н. Палеомагнетизм верхнекаменноугольных и пермских отложений Восточно-Европейской платформы: ключевой палеомагнитный полюс и кинематика коллизии с Уралом // Физика земли. — 2002. — № 5. — С. 42—56.
- Лубнина Н. В. Восточно-Европейский кратон от неогархея до палеозоя по палеомагнитным данным: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. — Москва, 2009. — 42 с.
- 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: Сб. тр. — СПб: ВНИГРИ, 2007. — С. 105—125.

- Никифорова О. И. Западная окраина Украинского щита (Подолія) // Силурийская система. Девонская система. Стратиграфия СССР. — Москва: Недра, 1965. — С. 71—94.
- Никифорова О. И., Предтеченский Н. Н. Стратиграфия // Опорный разрез силура и нижнего девона Подолии. — Ленинград: Наука, 1972. — С. 26—127.
- Печерский Д. М., Дигенко А. Н. Палеоазиатский океан: петромагнитная и палеомагнитная информация о его литосфере. — Москва: ОИФЗ РАН, 1995. — 298 с.
- Цегельнюк П. Д., Гриценко В. П., Константиненко Л. И., Ищенко А. А., Абушук А. Ф., Богоявленская О. В., Дрыгант Д. М., Заика-Новацкий В. С., Каглец Н. М., Киселев Г. Н., Сытова В. А. Силур Подолии: Путеводитель экскурсии. — Киев: Наук. думка, 1983. — 224 с.
- Fisher R. A. Dispersion on a sphere // Proc. Roy. Soc. Lond. — 1953. — A217. — P. 295—305.
- Gradstein F. M., Ogg J. G., Smith A. G., Agterberg F. P., Bleeker W., Cooper R. A., Davydov V., Gibbard P., Hinov L. A., House M. R., Lourens L., Luterbacher H.-P., McArthur J., Melchin M. J., Robb L. J., Shergold J., Villeneuve M., Wardlaw B. R., Ali J., Brinkhuis H., Hilgen F. J., Hooker J., Howarth R. J., Knoll A. H., Laskar J., Monechi S., Powell J., Plumb K. A., Raffi I., Röhl U., Sanfilippo A., Schmitz B., Shackleton N. J., Shields G. A., Strauss H., Van Dam J., Veizer J., Van Kolschoten Th., Wilson D. A. Geologic time scale 2004. — Cambridge University Press, 2004. — 589 p.
- Iosifidi A. G., Khramov A. N. Paleomagnetic study of the Early Silurian sequence of the Ukraine, v. Kitaygorod, preliminary data // 5th 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-Hofmokr 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. — **32**, № 4. — С. 59—60.
- Jelinek V. The statistical theory of measuring Anisotropy of Magnetic Susceptibility and its application // Geophys. Brno. — 1977. — P. 5—88.
- Kirschvink J. L. The least squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data // Geophys. J. R. Astron. Soc. — 1980. — **62**. — P. 699—718.
- Lewandowski M., Werner T., Nowozynski K. PDA-a package of Fortran programs for palaeomagnetic data analysis: manuscript. — Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci., 1997. — P. 1—17.
- Smethurst M. A., Khramov A. N. A new Devonian palaeomagnetic pole for the Russian platform and Baltica, and related apparent polar wander // Geophys. J. Int. — 1992. — **108**. — P. 179—192.
- Torsvik H. T., Smethurst M. A., Van der Voo R., Trench A., Abrahamsen N., Halvorsen E. Baltica: A synopsis of Vendian-Permian palaeomagnetic data and their palaeotectonic implications // Earth Sci. Rev. — 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. — **40**. — P. 229—258.
- Torsvik H. T., Van der Voo, Meert J. G., Mosar J., Walderhaug H. J. Reconstructions on the continents around the North Atlantic at about the 60 parallel // Earth Planet. Sci. Lett. — 2001. — **187**. — P. 55—69.