

Н. Ф. Данукалов, Л. С. Кондручина, А. П. Черников, К. Н. Данукалов

ПАЛЕОМАГНИТНАЯ И МАГНИТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РИФЕЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПО Р. БЕЛАЯ (УРОЧИЩЕ КРИВАЯ ЛУКА)

Настоящая работа ставила своей целью получение новых данных и уточнение магнитостратиграфических схем отдельных уровней протерозоя Южного Урала.

Несмотря на длительное изучение рифейских отложений на Южном Урале законченной палеомагнитной шкалы пока нет. Ревизия имеющихся данных позволила сделать вывод о необходимости продолжения дальнейших исследований и критического анализа результатов прошлых лет.

Палеомагнитное изучение рифея на Южном Урале, начатое в 1959 г., продолжается до настоящего времени. Несмотря на слабый метаморфизм, обоснованную стратиграфическую привязку и наличие датировок абсолютного возраста пород рифейские отложения в палеомагнитном отношении являются сложным объектом. Одной из причин этого, как установлено в последние годы, в том числе с участием авторов, является широкое развитие в породах метакристаллической намагниченности, обусловленной герцинским орогенезом. Для решения проблемы — определения границы докембрия — кембрия и дальнейшего уточнения характеристики рифейско-вендских отложений совместно с геологами объединения «Уралгеология» были выбраны разрезы Кривой Луки. Эти разрезы, расположенные на западном склоне Южного Урала в Прибельской полосе восточного борта Башкирского антиклинория, являются наиболее отвечающими в настоящее время требованиям создания опорного разреза. В основу были положены палеонтологические, стратиграфические и палеомагнитные методы исследования. Был использован рациональный комплекс физических методов исследования, позволивший выявить минералы-носители естественной остаточной намагниченности, ее природу, вид и синхронность породам, способы и режим магнитной чистки [1, 3]. Исходным материалом для палеомагнитных исследований были терригенные и карбонатные отложения укской свиты, развитые на восточном и западном крыльях криволукской синклинали, отложения криволукской свиты в четырех разрозненных выходах общей мощностью 50 м и тиллитовые конгломераты кургашлинской свиты в одном выходе мощностью 10 м близ контакта с магматическими породами основного состава. Протяженность разрезов составляла 2,3 км. Шаг отбора ориентированных образцов обуславливался мощностью разреза и отдельных слоев и колебался от 0,1 м до 10 м. Всего изучено 1112 образцов из 384 стратиграфических уровней укской, криволукской и кургашлинской свит.

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе изучались образцы «лидирующей» группы, охваты-

вающей все возрастные подразделения, наметившиеся магнитозоны полярности и типы пород. «Лидирующая» группа составляла не менее 10 % коллекции. На втором этапе выявленные закономерности переносились на всю коллекцию. Для распознавания магнитозон и их стратиграфического положения использовались типы режимов полярности, выделенные Н. Ф. Данукаловым [1993 г.].

При проведении палеомагнитных исследований наиболее изучены отложения **укской свиты**, представленной тремя частями (рис.).

Нижняя, 75-метровая часть представлена терригенной пачкой. Магнитная восприимчивость этих пород изменяется от 5×10^{-7} до $1,6 \times 10^{-5}$ СИ. Колебания величины магнитной восприимчивости, по-видимому, фиксируют изменение концентрации магнитных минералов в породе. По естественной остаточной намагниченности (I_n) колебания величин еще более частые, от 8×10^{-5} до 20×10^{-3} А/м. Характер кривой нормального намагничивания, величины полей, при которых нормальная намагниченность максимальна ($H_e = 2000$ э) и полей, разрушающих эту намагниченность ($H'_{cs} = 280-310$ э), свидетельствуют о том, что в терригенных породах основным носителем намагниченности является разнородный магнетит. Терригенная часть разреза характеризуется режимом полярности типа Пв — (преобладает обратная полярность с редкими участками прямой полярности I_n).

Метахронные намагниченности образцов терригенной толщи фиксируются после чистки по координатам D и J и по положению вычисленных по ним ВГП. Первая позднепалеозойская метакристаллическая намагниченность определяется по ее направлению $D = 160-240^\circ$, $I = -50^\circ$. Вычисленный по ней ВГП располагается в северных широтах (40°), что характерно для положения палеополуса, определенного по породам Урала и Русской платформы, в перми — триасе [3]. Природа этой намагниченности, скорее всего, пьезохимическая и тесным образом связана с позднепалеозойским герцинским орогенезом. Прогрева данных пород более $200-250^\circ\text{C}$, видимо, не было. Стабильность этой намагниченности нередко очень высока и не всегда снимается чисткой при прогреве до 600°C . Вторая метакристаллическая намагниченность имеет западное направление с положительным наклоном. Эта намагниченность тоже достаточно стабильна. По своей природе она, вероятно, химическая, на что указывает сравнение ее величины и стабильности к переменному полю с идеальной намагниченностью данных пород ($I_n > I_{ri}$). Носителем этой намагниченности является маггемит, и выделить ее удается чисткой до $400-550^\circ$ и 600° .

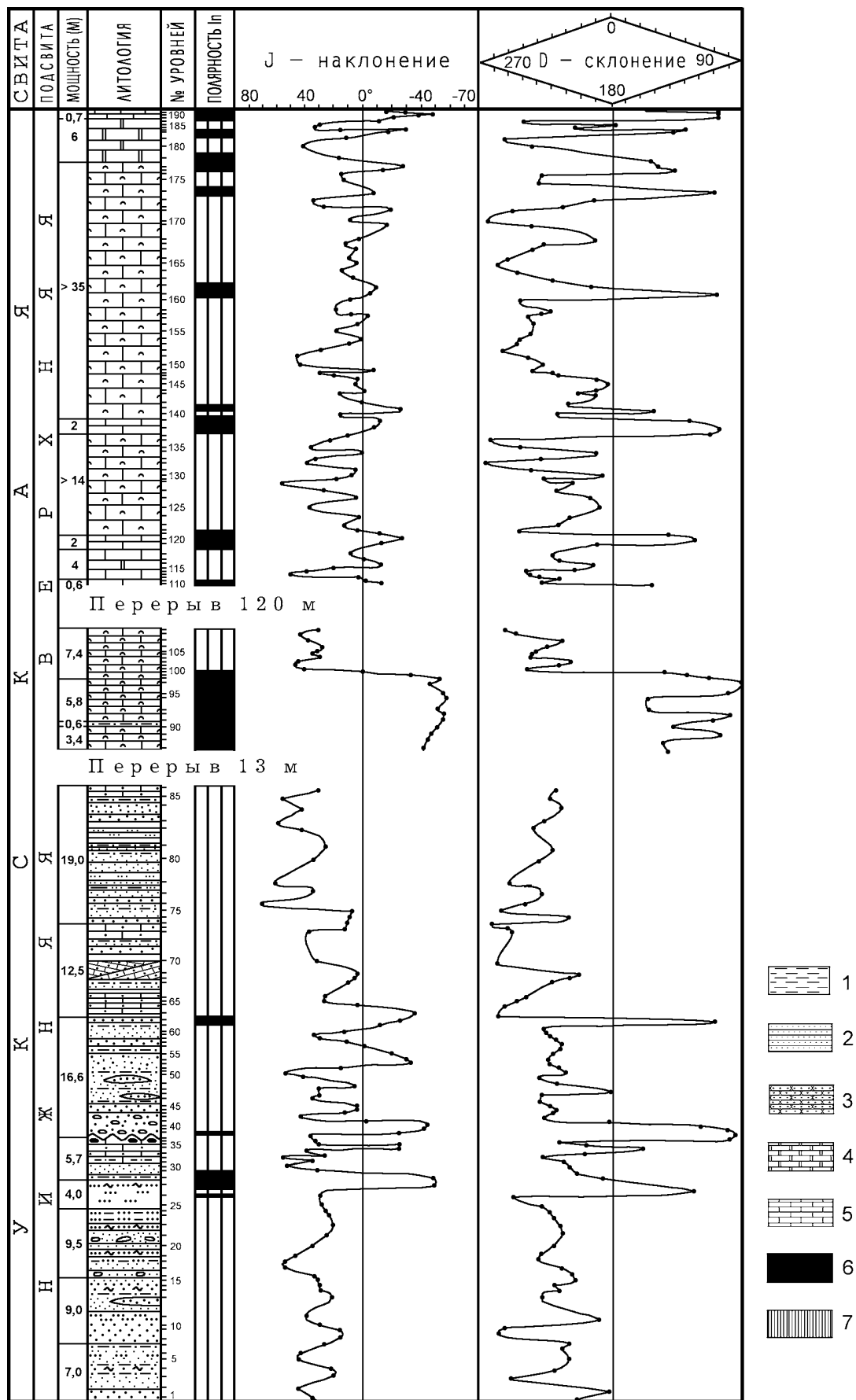


Рис. Палеомагнитный разрез укской свиты. Урочище Кривая Лука

1 – аргиллиты; 2 – алевролиты; 3 – песчаники; 4 – доломиты; 5 – известняки; 6 – прямая полярность In; 7 – обратная полярность In

При ступенчатом размагничивании образцов переменным магнитным полем получены данные о наличии магнетита и незначительной примеси гематита. Последний, видимо, и несет древнюю синхронную составляющую намагниченности. Обычно доля ее в I_n невелика (1–20%), но она чаще бывает стабильнее остальных составляющих к нагреванию и сохраняется после прогрева пород до 500–550°. Эта намагниченность ориентационная, ее носителями являются обломки магнетита и гематита. В пользу ее ориентационного происхождения свидетельствует малая величина этой намагниченности по сравнению с I_{gi} , и она заметно стабильнее к Н, чем I_{gi} . Вычисленный по ней ВГП имеет $\Phi = 2^\circ$ и $\Lambda = 206^\circ$, то есть расположен несколько севернее полюса, полученного по породам укской свиты района рек Зилим и Юрюзань [2]. Возможно это обусловлено тектоническими причинами. По режиму полярности и положению ВГП (по синхронной намагниченности) терригенные породы укской свиты отнесены авторами к позднему рифею, что не противоречит существующим представлениям об их возрасте.

Средняя часть укской свиты представлена карбонатно-терригенными отложениями с редкими прослоями песчаников. Контакт между описанными выше терригенными породами и этими карбонатами не изучен (15 м закрытого участка). Не исключен тектонический характер контакта. Весь этот район разбит серией разломов, отмечается много надвигов. По представлению ряда геологов (В. А. Романов, М. А. Камалетдинов и др.) здесь имеется ряд тектонических шарьяжей и пластин.

Величины I_n и I_i этих пород возрастают снизу вверх со значительными колебаниями для отдельных образцов от $0,11 \times 10^{-3}$ до $0,9 \times 10^{-3}$ А/м по I_i и от $0,15 \times 10^{-3}$ до 3×10^{-3} А/м по I_n . Согласное поведение их по разрезу указывает на связь колебаний этих величин с изменением концентрации магнитных минералов, а не с изменением геохимической обстановки формирования или метаморфизмом этих известняков. К сожалению, выход этих известняков изучен по мощности всего на 18 м. Носителем намагниченности данных пород является довольно однородный магнетит. При нагреве пород выше 400°С магнитная восприимчивость увеличивается. Это указывает на образование нового магнитного минерала магнетитовой группы в процессе эксперимента.

Диаграммы Зийдервельда и кривые терморазмагничивания I_n свидетельствуют о многокомпонентном составе естественной остаточной намагниченности. Отмечается присутствие в I_n как минимум трех составляющих: современной вязкой (I_{nv}), позднепалеозойской метакронной (I_{nm}) и, вероятно, синхронной породам (I_n^0). I_{nv} в ряде образцов преобладает, но она легко снимается нагревом до 100–150°С. Отложения средней части укской свиты характеризуются преобладанием I_n прямой полярности. В некоторых образцах выделяется позднепалеозойская I_{nm} обратной полярности. Она разрушается при нагреве пород до 350–400°С. Доля I_n^0 в I_n невелика, но она преобладает в тех случаях, когда уже остается не более 8% исходной намагниченности. Эта намагниченность наиболее стабильна к нагреву. Положение ВГП, вычисленное по ней ($\Lambda = 192^\circ$, $\Phi = 1^\circ$), соответствует положению полюса,

полученного для пород укской свиты из других районов Южного Урала (рр. Б. Инзер, Зилим, Юрюзань). О палеомагнитной стабильности этой составляющей I_n свидетельствуют и направления I_n прямой (N) и обратной (R) полярности, ориентированные противоположно друг другу почти на 180° ($N - D_{cp} = 54^\circ$, $I_{cp} = 45^\circ$, $R - D_{cp} = 228^\circ$, $I_{cp} = 40^\circ$).

Нижняя часть изученных отложений характеризуется прямой I_n^0 , а верхняя — обратной. Переход от N зоны к R зоне полярности постепенный.

Верхняя часть разреза укской свиты представлена в основном рифовыми известняками, и только самые верхние 8 м пройдены по слоистым доломитам. Магнитная восприимчивость рифейских известняков очень низкая. Поведение естественной остаточной намагниченности достаточно сложное. По нему выделяется несколько пачек пород, имеющих свои особенности, которые в определенной мере характеризуют обусловленность изменения магнитной восприимчивости и естественной остаточной намагниченности изменением концентрации магнитных минералов.

I пачка характеризуется в среднем повышенным значением I_n ($I_{n, cp} = 0,4 \times 10^{-3}$ А/м). II пачка характеризуется пониженными значениями I_n ($I_{n, cp} = 0,05 \times 10^{-3}$ А/м). III пачка характеризуется по величинам I_n как промежуточная между I и II пачками ($I_{n, cp} = 0,15 \times 10^{-3}$ А/м). IV пачка характеризуется промежуточными величинами I_n (выделяются два более мелких цикла с $I_{n, cp} = 0,09 \times 10^{-3}$ А/м). В обоих циклах I_n повышается к центру цикла. V пачка — видимо, незаконченный цикл повышенных значений I_n . Здесь остаточная намагниченность возрастает от $0,4 \times 10^{-3}$ А/м до 8×10^{-3} А/м. Далее I_n постепенно уменьшается. По магнитной восприимчивости фиксируются только I и V циклы.

Полученные данные в определенной мере характеризуют обусловленность изменений магнитной восприимчивости и естественной остаточной намагниченности за счет концентраций магнитных минералов. Однако поведение I_n в большей мере отражает особенности геохимической обстановки образования, а возможно, и метаморфизма пород.

В этой части разреза преобладает обратная полярность с достаточно большим количеством непродолжительных интервалов прямой полярности, расположенных равномерно (тип III в). В целом для пород данного обнажения характерна трехкомпонентная I_n , состоящая из I_{nv} , I_{nm} и I_n^0 .

I_{nv} — современная вязкая. Она составляет обычно около 20% I_n , очень редко — 40%. Разрушается I_{nv} нагревом до 100–150°С. Наибольший процент составляет I_{nm} обратной полярности. Мы ее считаем позднепалеозойской, так как ее направление ($D_{cp} = 213^\circ$, $I_{cp} = -20^\circ$), и вычисленный по ней ВГП ($\Lambda = 193^\circ$, $\Phi = 40^\circ$) соответствуют его положению в позднем палеозое, а последний очень близок к положению ВГП для I_{nm} терригенной пачки, описанной выше (табл.). Прогрев пород до 400–450°С разрушает эту намагниченность. К переменному полю I_{nm} менее стабильна, чем I_{gi} , что свидетельствует о ее не ориентационной, а возможно, пьезохимической природе.

После прогрева пород до 400°C остается 5–10 % I_n . Эту составляющую мы принимаем за синхронную, безусловно, потерявшую какую-то часть при прогревах до более низких температур. В единичных образцах эта намагниченность преобладает, бывает прямой и обратной полярности, при этом направление R и N намагниченностей отличаются почти на 180° ($D=219^\circ$, $I=23^\circ$ и $D=44^\circ$, $I=-17^\circ$). Кроме того, данная намагниченность стабильнее к переменному полю, чем I_g и заметно меньше последней по величине.

Все это: I_n меньше, но стабильнее I_g , наличие пород с разной полярностью, направление намагниченности которых отличается на 180°, свидетельствует о том, что данная составляющая I_n , вероятно, ориентационная и синхронна породам. Вычисленный по ней ВГП ($\Lambda=195^\circ$, $\Phi=17^\circ$) близок к положению ВГП ранее рассмотренных терригенных пород укской свиты.

В целом, по изученным отложениям, предположительно относящимся к укской свите, складывается следующая картина. Нижняя терригенная часть разреза характеризуется режимом обратной полярности с отдельными интервалами прямой R_n — тип IIв. В средней карбонатно-терригенной части (карбонатной, с редкими прослоями песчаников) преобладает прямая полярность N_g — тип IIIа. Верхняя карбонатная часть разреза характеризуется режимом преобладания обратной полярности R_n — тип IIIв. В самом верху разреза режим полярности знакопеременный NR — тип Vа.

Отложения **криволукской свиты** изучены нами в пяти разрозненных небольших выходах.

В породах первого выхода на правом берегу Белой носителем намагниченности является, вероятно, мелкозернистый магнитомягкий магнетит. Диаграмма Зийдервельда указывает, что естественная остаточная намагниченность трехкомпонентная. Это подтверждается и данными терморазмагничивания I_n . Здесь присутствует I_{nv} , разрушаемая нагревом до 150° и две стабильные древние намагниченности. Разрушение одной из них не сказывается на общем направлении. По-видимому, их направления близки, и одна из них к тому же заметно меньше по величине, но более стабильная. В начале эксперимента магнитная восприимчивость немного увеличивается за счет дегидратации гидроокислов железа (до 200°C). В дальнейшем магнитная восприимчивость уменьшается, что связано с окислением магнетита. Новообразований магнитных минералов здесь нет. Наиболее стабильная компонента I_n прямой полярности ориентирована на северо-восток и имеет отрицательное наклонение, что характерно для раннепалеозойских пород.

Во втором выходе носителем намагниченности является магнетит, но более магнитомягкий, чем в породах предыдущего фрагмента криволукской свиты. Кривая I_{cs} идет более круто, раньше достигает насыщения, $H'_{cs}=35$ мТ.

На диаграмме Зийдервельда и по данным терморазмагничивания фиксируется наличие трех составляющих I_n . Здесь довольно четко видно (особенно по терморазмагничиванию), что естественная остаточная намагниченность состоит из I_{nv} , I_{nm} и I_n° .

Вязкая намагниченность разрушается нагревом до 200°, метахронная обратной полярности — при температуре выше 350°, после чего остается примерно 10 % I_n . Последняя составляющая I_n имеет прямую полярность и то же направление, что и в породах предыдущего разреза. Следует отметить, что влияния на направление I_n , ее величину и магнитную восприимчивость со стороны близ расположенного магматического тела не наблюдается.

В третьем выходе криволукской свиты породы тоже имеют прямую полярность I_n . Носителем намагниченности, в отличие от предыдущих двух выходов, здесь является гематит разных генераций, так как кривые нормального намагничивания показывают наличие сравнительно магнитомягкого гематита (I_g до $H=100$ мТ растет быстро) и магнитомягкого гематита (рост I_g замедляется и не достигает насыщения при 300 мТ). Есть образцы, где присутствует один только жесткий гематит.

I_n в большинстве случаев двухкомпонентная. Вторичная намагниченность снимается нагревом до 450°C. Здесь I_n° прямой полярности восточного направления также синхронна породам. В зоне контакта с магматическим телом I_n имеет другое направление обратной полярности, такое же, как в контактной части последнего.

В четвертом и пятом выходах свиты носитель намагниченности — гематит. В четвертом — I_n трехкомпонентная, а в пятом — двухкомпонентная. Вторичные намагниченности снимаются нагревом до 350–600°C. Синхронная породам составляющая I_n — прямой полярности восточных румбов.

Таким образом, в изученных породах криволукской свиты во всех пяти выходах I_n° имеет прямую полярность. Вычисленный по ней ВГП располагается чуть севернее ВГП пород укской свиты. Ранее [2] в криволукской свите за первичную принималась I_n обратной полярности; по-видимому, тогда за нее была принята древняя вторичная намагниченность (ВГП располагался немного севернее и восточнее). В то время (в 70-е годы) мы не располагали чувствительной аппаратурой и защитой от внешнего лабораторного поля, которая имеется в настоящее время, и I_n была просто недочищена.

Отложения **кургашлинской свиты** изучены в одном месте в небольшом выходе 10 м мощности.

Носителем намагниченности пород этой свиты является гематит разных генераций. Обычно присутствуют две из них, что отчетливо видно на кривых нормального намагничивания. I_n трехкомпонентная, состоит из I_{nv} , I_{nm} и I_n° . Доля I_{nv} в I_n невелика. В основном преобладает метахронная намагниченность обратной полярности. Нередко присутствуют только I_{nv} и I_{nm} , а синхронная намагниченность не выделяется. Но есть образцы, у которых после чистки синхронную намагниченность удается выделить. Эта намагниченность прямой полярности.

После чистки выделяются две компоненты намагниченности: одна направлена на юг и имеет обратную полярность — I_{nm} и вторая — прямой полярности направлена на северо-восток — I_n° .

I_{nm} , вероятно, химическая, так как по величине она сравнима с I_{g1} . Оставшаяся после разрушения I_{nm} часть I_n меньше I_{g1} и стабильнее последней, что указывает на ее ориентационное происхождение и, следовательно, синхронность породам. Полюс, вычисленный по I_n , имеет те же координаты, что и в породах укской свиты по I_n ($\Lambda = 217^\circ$, $\Phi = 13^\circ$), а ВГП, вычисленный по древней намагниченности, которую мы считаем синхронной, располагается несколько севернее и восточнее ВГП, установленного по породам криволукской свиты ($\Lambda = 186^\circ$, $\Phi = 13^\circ$). Эти породы снизу контактируют с небольшим магматическим телом, воздействия которого на осадочные отложения кургашлинской свиты не наблюдается, в последних попадаются обломки изверженных пород основного состава. Отложения кургашлинской свиты в данном месте ложатся с перерывом на подстилающие изверженные породы. Перерыв, по-видимому, небольшой — предположительно в одну ортомагнитозону (то есть 1–2 млн. лет). Таким образом, мы видим, что по полярности I_n^0 и составу магнитной фракции изученные породы кургашлинской и криволукской свит (а их к сожалению очень мало) близки между собой и заметно отличаются от отложений укской свиты, хотя режим полярности верхней части укской свиты указывает на переход от R режима к N. Полюсы постепенно смещаются к северо-востоку от их положения для кургашлинской свиты. Следовательно, палеомагнитные данные фиксируют нормальную последовательность накопления пород и их определенную возрастную близость, с одной стороны, а с другой, разные режимы полярности (R и N) и состав носителей намагниченности свидетельствуют о происходящих переменах в условиях осадконакопления (отлагаются в основном терригенные осадки, а по времени образования они моложе карбонатов укской свиты).

Таким образом, по палеомагнитным данным устанавливается непрерывное закономерное изменение режима полярности снизу вверх по разрезу. Укская свита характеризуется устойчивым режимом обратной полярности. В нижней части свиты появляются отдельные редкие интервалы с прямой полярностью. В средней части свиты начинают преобладать участки с I_n^0 прямой полярности, но в целом преобладает знакопеременный режим полярности I_n . Вверх по разрезу снова преобладает обратная полярность, но имеется много небольших интервалов с прямой полярностью, то есть режим полярности становится R_n III типа. В верхах свиты вновь начинает

преобладать режим полярности знакопеременный с примерно равными интервалами R и N.

Криволукская свита характеризуется устойчивым режимом прямой полярности I_n^0 . Такой же режим полярности свойственен и кургашлинской свите, во всяком случае, ее нижней части. Имеющиеся там участки с I_n обратной полярности, вероятно, обусловлены наличием позднепалеозойской намагниченности обратной полярности, от которой не удастся избавиться при чистках. Не исключено, что у этих пород была и синхронная обратная I_n , так как известно, что вторичная намагниченность легче возникает в породах одинаковой с ней полярности, и в таких случаях от нее трудно избавиться. Итак, палеомагнитные данные свидетельствуют о наличии непосредственного перехода от укской свиты к криволукской и о том, что большого перерыва (если он существовал вообще) между криволукской и кургашлинской свитами не устанавливается.

Магнитные и палеомагнитные исследования, проведенные в урочище Кривая Лука, расположенном в Прибельской зоне западного склона Южного Урала, позволяют сделать следующие выводы.

Установлена нормальная последовательность накопления осадочных пород в интервале от укской до кургашлинской свит и их определенная возрастная близость. Разные режимы полярности и различный состав носителей намагниченности свидетельствуют о происходивших переменах в геохимической обстановке образования пород. Эти результаты увязываются с данными, полученными на основе литологических методов исследований, которые показали, что нижняя терригенная и верхняя карбонатная толщи укской свиты тесно связаны между собой и формировались в одном бассейне осадконакопления с закономерным циклическим нарастанием карбонатности до образования строматолитовых тел. На основании сопоставления палеомагнитных разрезов и характеристик ВГП сделан вывод о том, что самая нижняя — терригенная часть изученных отложений укской свиты сопоставима с отложениями миньярской свиты позднего рифея.

Литература: 1. *Петрова Г. Н.* Лабораторные методы при палеомагнитных исследованиях // Геомагнитные исследования. 1977. № 19. С. 40–49. 2. **Стратотип рифея.** Палеонтология. Палеомагнетизм. М.: Наука, 1982. 176 с. (Тр./ГИН АН СССР; Вып. 368). 3. *Храмов А. Н., Гончаров Г. И., Комиссарова Р. А. и др.* Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.