

## НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГРАНИЦЕ МАТУЯМА-БРЮНЕС В РАЗРЕЗЕ РОКСОЛАНЫ

**В.Г. Бахмутов<sup>1</sup>, Д.В. Главацкий<sup>2</sup>**

*(Рекомендовано чл.-кор. НАН Украины О.Б. Гинтовым)*

<sup>1</sup> *Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина,*

E-mail: bakhmutovvg@gmail.com

*Доктор геологических наук, заведующий отделением.*

<sup>2</sup> *Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина,*

E-mail: hlavatskyi@gmail.com

*Аспирант, инженер.*

По результатам новых палеомагнитных исследований 55-метрового опорного разреза четвертичных лессово-почвенных толщ на берегу Днестровского лимана вблизи с. Роксоланы определено местоположение границы Матуяма-Брюнес. Ранее этот разрез неоднократно изучался разными научными группами [Третьяк, 1983; Третьяк и др., 1987; Третьяк и др., 1989; Tsatskin et al., 1998; Tsatskin et al., 2001; Dodonov et al., 2006; Gendler et al., 2006], результаты которых относительно положения этой границы и расчленения отдельных почвенных горизонтов вызывали много дискуссий. Высокоточные измерения, выполненные на современной аппаратуре, позволили выделить первичную компоненту намагниченности пород и надежно установить ее полярность как в лессовых, так и почвенных горизонтах. Местоположение границы Матуяма-Брюнес было определено на глубине 46,6 м на стыке почв лубенского и мартоношского горизонтов. Это согласуется с современными представлениями коллектива украинских ученых о стратиграфии четвертичных толщ юга Украины и не соответствует результатам, по которым эта граница была определена на глубине 34 м в лессах выше уровня РК<sub>7</sub>.

*Ключевые слова:* разрез Роксоланы, граница Матуяма-Брюнес, палеомагнитный метод, плейстоцен, лессово-почвенная толща.

## NEW DATA ABOUT MATUYAMA-BRUNHES BOUNDARY IN ROXOLANY SECTION

**V.G. Bakhmutov<sup>1</sup>, D.V. Hlavatskyi<sup>2</sup>**

*(Recommended by corresponding member of NAS of Ukraine O.B. Gintov)*

<sup>1</sup> *Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,*

E-mail: bakhmutovvg@gmail.com

*Doctor of geological sciences, head of sector.*

<sup>2</sup> *Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,*

E-mail: hlavatskyi@gmail.com

*Postgraduate student, engineer.*

From new palaeomagnetic data of 55-meter key section of Quaternary loess-soil sediments on the Dniester estuary near Roxsolany village the position of Matuyama-Brunhes boundary have been determined. Earlier this section had been studied by different research groups [Третьяк, 1983; Третьяк и др., 1987; Третьяк и др., 1989; Tsatskin et al., 1998; Tsatskin et al., 2001; Dodonov et al., 2006; Gendler et al., 2006] and the position and ages of individual soil horizons caused much discussion. The primary component of natural remanent magnetization and their polarity was identifying both in loess and soil horizons due

to detail measurements on the modern equipments. Position of Matuyama-Brunhes boundary has been identified at a depth of 46.6 m between Martonosha and Lubny soil horizons. This is agree with modern knowledge of Ukrainian scientists about Quaternary records in south Ukraine and is not consistent with the results which identified this boundary at a depth of 34 m in loesses above the level of PK<sub>7</sub>.

*Key words:* Roxolany section, Matuyama-Brunhes boundary, palaeomagnetic method, Pleistocene, loess-soil sequence.

## НОВІ ДАНІ ПО ГРАНИЦІ МАТУЯМА-БРЮНЕС У РОЗРІЗІ РОКСОЛАНИ

**В.Г. Бахмутов<sup>1</sup>, Д.В. Главацький<sup>2</sup>**

*(Рекомендовано чл.-кор. НАН України О.Б. Гінтовим)*

<sup>1</sup> *Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна,  
E-mail: bakhmutovvg@gmail.com*

*Доктор геологічних наук, завідуючий відділом.*

<sup>2</sup> *Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна,  
E-mail: hlavatskyi@gmail.com*

*Аспірант, інженер.*

За результатами нових палеомагнітних досліджень 55-метрового опорного розрізу четвертинних лесово-ґрунтових товщ на березі Дністровського лиману поблизу с. Роксолани визначено місцерозташування границі Матуяма-Брюнес. Раніше цей розріз неодноразово вивчався різними науковими групами [Третяк, 1983; Третяк и др., 1987; Третяк и др., 1989; Tsatskin et al., 1998; Tsatskin et al., 2001; Dodonov et al., 2006; Gendler et al., 2006], результати яких за положенням цієї границі та розчленуванням окремих ґрунтових горизонтів викликали багато дискусій. Високоточні вимірювання, виконані на сучасній апаратурі, дозволили виділити первинну компоненту намагніченості порід і надійно визначити її полярність як у лесових, так і ґрунтових горизонтах. Місцезнаходження границі Матуяма-Брюнес було визначено на глибині 46,6 м на стику ґрунтів лубенського і мартоносського горизонтів. Це узгоджується із сучасними уявленнями українських учених про стратиграфію четвертинних товщ півдня України і не збігається з результатами, за якими ця межа була визначена на глибині 34 м у лесах вище рівня РК<sub>7</sub>.

*Ключові слова:* розріз Роксолани, границя Матуяма-Брюнес, палеомагнітний метод, плейстоцен, лесово-ґрунтова товща.

### **Введение**

Существующие в настоящее время стратиграфические схемы осадочных отложений плейстоцена Украины, несмотря на детальность, в своей основе имеют существенный изъян. Из-за частой смены мощности реперных горизонтов и резких изменений условий седиментации возникают трудности их корреляции даже в пределах одной провинции. Кроме того, большинство континентальных плейстоценовых толщ фаунистически немые, что существенно затрудняет выяснение их стратиграфических взаимоотношений.

В этой связи большой интерес представляют результаты палеомагнитных исследований лесово-почвенных толщ, прежде всего направленных на определение границы Матуяма-Брюнес – ключевого репера четвертичной магнитостратиграфии. Возраст этой границы, калиброванный по аст-

рономической шкале, составляет 780 тыс. лет, а по изотопно-кислородной шкале эта граница попадает в стадию MIS19 (Marine oxugen isotope stage 19).

В Институте геофизики НАН Украины на протяжении многих лет проводятся палеомагнитные исследования с целью построения магнитостратиграфической шкалы территории Украины. В результате палеомагнитного изучения более 60 разрезов, представленных как типично континентальными, так и лиманно-морскими фациями в естественных обнажениях и кернах структурно-картировочных скважин, была предложена магнитостратиграфическая шкала плейстоцена [Третяк, 1983; Третяк и др., 1987; Третяк и др., 1989; Третяк, Вигилянская, 1994]. При этом полевые работы и интерпретация полученных результатов выполнялись в тесном контакте с ведущими стратиграфами Украины.

Но с развитием аналитической базы и появлением нового фактического материала стало очевидно, что существуют весьма противоречивые толкования как стратиграфических, так и, соответственно, магнитостратиграфических схем. Во многих исследованиях, посвященных магнетизму евроазиатских лессово-почвенных толщ, отмечается «плавающее» положение границы Матуяма-Брюнес. Вероятно, последнее обусловлено процессами педогенеза, что приводит к «задержкам» фиксации направления остаточной намагниченности в породах и, соответственно, к определению положения этой границы как в интергляциальных палеопочвах Венгрии, Чехии, Польши, так и в лессах Австрии, Болгарии, Украины (см. ссылки в [Бахмутов и др., 2005]).

Для территории Украины стратиграфическое положение границы Матуяма-Брюнес в разное время определяли и на уровне сульского, и на уровне мартоношского, и на уровне широкинского горизонтов [Третьяк, 1983; Третьяк и др., 1987; Третьяк и др., 1989; Третьяк, Вигилянская, 1994]. Позднее, в серии междисциплинарных исследований лессово-почвенных формаций Западного Причерноморья, одним из ключевых разрезов которых является разрез Роксоланы, новые результаты [Tsatskin et al., 1998; Tsatskin et al., 2001] не просто дополнили существующие педо- и магнитостратиграфические схемы четвертичных субаэральных отложений, а в корне их изменили. При этом основной упор был сделан именно на результаты по идентификации местоположения границы Матуяма-Брюнес.

В связи с этим нами было выполнено независимое детальное палеомагнитное изучение разреза Роксоланы с целью определения местоположения границы Матуяма-Брюнес.

#### **Граница Матуяма-Брюнес по данным предыдущих палеомагнитных исследований в Западном Причерноморье**

Палеомагнитные исследования в Западном Причерноморье проводились неоднократно начиная с 70-х годов прошлого столетия [Третьяк, 1983; Третьяк и др., 1987; Тре-

тяк и др., 1989; Третьяк, Вигилянская, 1994], и частично их результаты были использованы при составлении региональной педостратиграфической схемы [Третьяк, Вигилянская, 1994]. В то же время вопросы соотношения последней с основными климатическими циклами четвертичного периода, определяемыми как по колонкам глубоководных океанических осадков, так и по классическим лессовым толщам Китая, во многом оставались неясными.

Согласно современным представлениям, граница Матуяма-Брюнес соответствует мартоношскому горизонту Стратиграфической схемы четвертичных отложений Украины [Гожик, 2013]. Однако, если между разными палеомагнитными исследованиями разрезов в определении границы Матуяма-Брюнес нет существенных разногласий, то по разрезу Роксоланы есть кардинальные расхождения.

В результате работ под руководством А.Н. Третьяка [Третьяк, 1983; Третьяк и др., 1987] на этом разрезе был установлен ряд горизонтов прямой и обратной полярностей. Отложения причерноморского, дофиновского, бугского и витачевского горизонтов, представленные чередующимися почвами и лессовидными суглинками общей мощностью около 23 м, характеризуются преимущественно прямой намагниченностью, на фоне которой выделяются уровни с обратной намагниченностью (в дофиновском и витачевском горизонтах). Залегающие ниже горизонты удайских лессов, прилукских погребенных почв и тясминских лессовидных суглинков характеризуются прямой намагниченностью. Уровни кайдакских почв, толща днепровских лессов, потягайловская и завадовская почвы имеют преимущественно обратную намагниченность. Отложения нижней части разреза обладают преимущественно прямой полярностью. Исследовав десятки других разрезов, авторы [Третьяк, 1983; Третьяк и др., 1987; Третьяк, Вигилянская, 1994] считали, что выявленные зоны обратной намагниченности являются эпизодами в эпохе Брюнес. На разрезе Роксоланы зона обратной полярности на уровне 36-39 м была отнесена ими к магнитному событию Левантин (именуемому разными авторами как Бива II, Днепр, Чеган) с возрастом

около 290 тыс. лет назад. Граница Матуяма-Брюнес определена не была, поскольку при такой интерпретации она должна располагаться намного ниже и, возможно, выходит за нижнюю границу разреза.

В середине 90-х годов XX ст. междисциплинарные исследования разреза Роксоланы выполнялись другим коллективом авторов и включали комплексные палеомагнитные и магнитно-минералогические исследования, а также мессбауэровскую спектроскопию [Tsatskin et al., 1998; Tsatskin et al., 2001; Gendler et al., 2006]. Положение границы Матуяма-Брюнес было установлено в лессах, залегающих ниже почвы РК<sub>6</sub> на глубине около 34 м (рис. 1), что противоречит предыдущим геологическим, палеонтологическим и палеомагнитным данным. Ниже, до аллювия VII днестровской террасы, было описано еще три почвы РК<sub>7</sub>, РК<sub>8</sub> и РК<sub>9</sub>. В этом же регионе на разрезе Новая Этулия граница Матуяма-Брюнес была определена на уровне почвы РК<sub>7</sub> [Tsatskin et al., 2001]. В то же время в разрезах Колкотова Балка [Tsatskin et al., 2001] и Приморское [Nawrocki et al., 1999], первый из которых подстилается аллювием V Днестровской террасы, а второй – почвами мартоношского горизонта, граница Матуяма-Брюнес выделена не была.

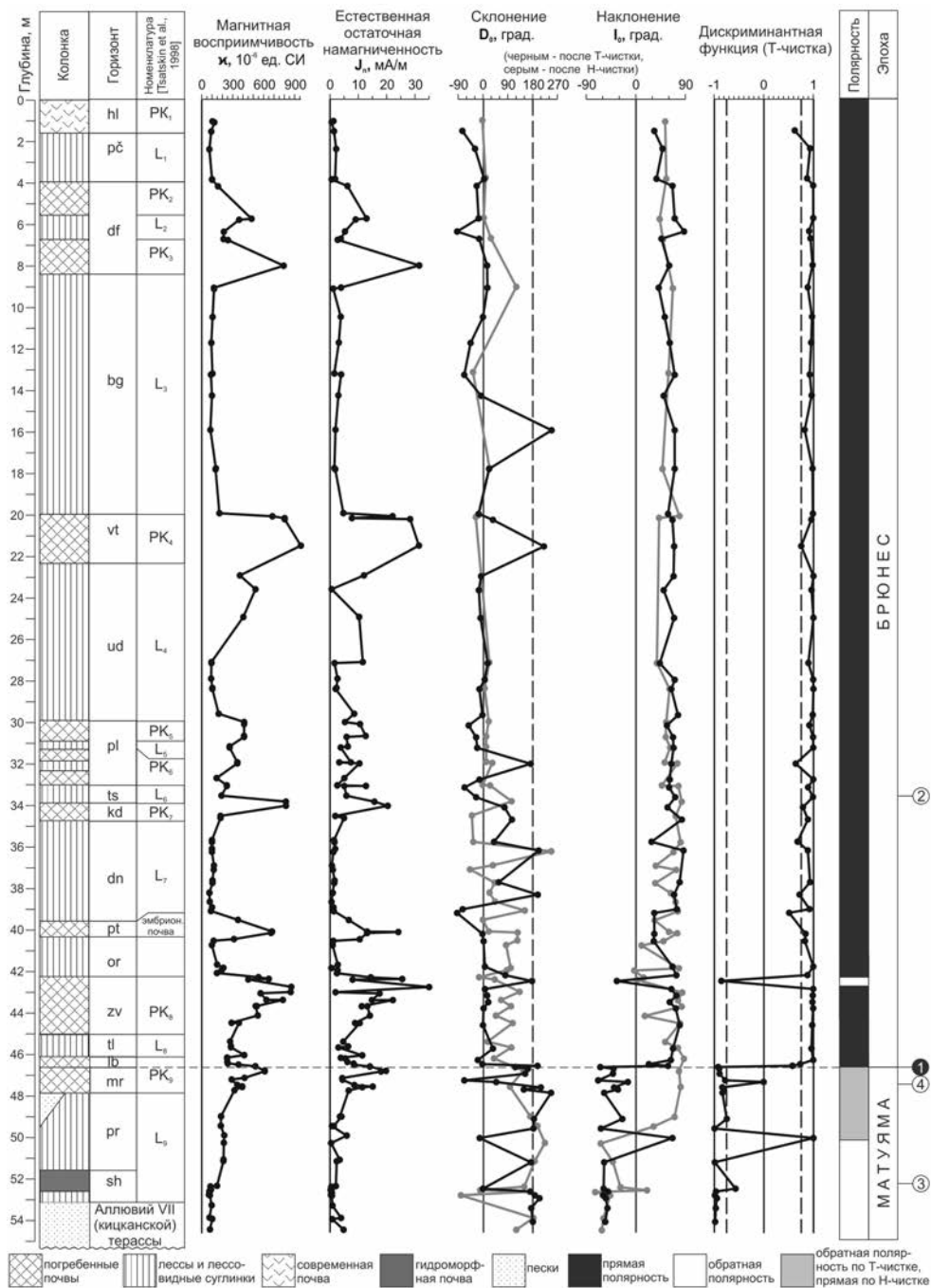
Эти материалы легли в основу построения новой педостратиграфической схемы для Западного Причерноморья с последующей ее корреляцией с изотопно-кислородной шкалой [Tsatskin et al., 2001]. Примечательно, что, несмотря на детальность выполненных работ (отбор образцов проведен с шагом 5-10 см), ни об одном событии обратной полярности внутри хрона Брюнес не упоминается. Кроме того, нет ссылок на корреляцию этих результатов со стратиграфической шкалой четвертичных отложений Украины, утвержденной РМСК в 1984 г. [Веклич и др., 1984].

По данным палеомагнитных исследований разреза Роксоланы в [Dodonov et al., 2006], где, к сожалению, отсутствует описание палеомагнитной части работ и потому сложно сделать заключение о репрезентативности представленного материала, авторы выделяют границу Матуяма-

Брюнес в основе педокомплекса трех почв (под прилуцким горизонтом), что не соответствует [Третьяк, 1983; Третьяк и др., 1987; Третьяк и др., 1989; Третьяк, Вигилянская, 1994], но согласуется с результатами [Tsatskin et al., 2001, 1998]. Однако, каким методом магнитной чистки и на какой аппаратуре получены результаты, авторы [Dodonov et al., 2006] не указывают. Несмотря на одинаковую трактовку местоположения границы Матуяма-Брюнес, есть различия в стратиграфическом расчленении толщ в работе [Dodonov et al., 2006], с одной стороны, и в [Tsatskin et al., 1998; Tsatskin et al., 2001; Gendler et al., 2006] – с другой. В последних верхняя погребенная почва сопоставляется с брянским и мезинским комплексами, а нижезалегающая – с роменской, каменной и инжавинской почвами. Под ними на стыке между двумя мощными горизонтами лесса указана воронская почва. А в [Dodonov et al., 2006] верхнюю почву сопоставляют только с брянским, а нижезалегающую – с мезинским комплексами. Соответственно, под ними – инжавинская почва [Гожик, 2013].

Детальные исследования верхней части разреза Роксоланы с целью получения информации о тонкой структуре древнего магнитного поля (эпизоды, экскурсы, палеомагнитные вариации) были проведены коллективом авторов Института физики Земли РАН [Шаронова и др., 2004; Пилипенко и др., 2005]. На верхних 20 м разреза, охватывающих, по мнению авторов, последние примерно 300 тыс. лет, были выделены две аномальные зоны, которые были соответственно соотнесены к экскурсам Моно и Блейк (около 30 и 100 тыс. лет назад). Кроме того, резкое изменение направления вектора остаточной намагниченности в нижней части бугского леса было проинтерпретировано как экскурс Ямайка, который датируется приблизительно 220 тыс. лет назад.

Такие противоречивые результаты разных групп авторов можно объяснить сложностью выделения первичной компоненты намагниченности, величина сигнала которой зачастую сопоставима с пороговой чувствительностью даже современной магнитометрической аппаратуры, а также чрезвычайно пестрым составом магнитной фракции,



**Рис. 1.** Результаты палеомагнитного изучения разреза Роксоланы. Справа приведена граница Матуяма-Брунес:

(1) – по нашим данным; (2) – по данным [Tsatskin et al., 1998; Dodonov et al., 2006]; (3) – по сводной магнитостратиграфической шкале Украины [Третяк, Вигилянская, 1994]; (4) – по существующим представлениям на основе исследований других разрезов юга Украины [Бахмутов и др., 2005; Гожик, 2013]

**Fig. 1.** Results of palaeomagnetic study of Roxolany section. Position of Matuyama-Brunhes boundary (right) according to:

(1) – our data; (2) – data of [Tsatskin et al., 1998; Dodonov et al., 2006]; (3) – summary magnetostratigraphic scheme of Ukraine [Третяк, Вигилянская, 1994]; (4) – modern point of view based on studies of other sections in the south of Ukraine [Бахмутов и др., 2005; Гожик, 2013]



включающей как аллотигенные, так и аутигенные магнитные минералы. Результаты петромагнитных и магнитно-минералогических исследований приведены в [Evans, Heller, 2003; Шаронова и др., 2004; Пилипенко и др., 2005; Gendler et al., 2006], причем в [Gendler et al., 2006] указано, что степень педогенеза в разрезе Роксоланы существенно выше, чем в других разрезах Украины.

Для цели наших исследований важными являются выводы приведенных работ о том, что в лессах обнаружено присутствие терригенных псевдооднородных частиц магнетита, маггемита и местами гематита. Такие зерна являются потенциальными кандидатами для формирования седиментационной (постседиментационной) намагниченности в породах, что может быть весомым аргументом в пользу возможности выделения первичной компоненты намагниченности. В почвах (насыщенных зернами феррит-монтмориллонита, гетита, ферригидрита и гематита [Gendler et al., 2006]) формируется химическая намагниченность, тесно связанная с глинистыми минералами, и магнитные характеристики почв обусловлены минералами железа в основном биохомогенного происхождения. То есть в отношении палеомагнитной информативности лессы выглядят более предпочтительными, чем почвы.

Анализ методик выделения первичной компоненты намагниченности, применяемых в указанных работах, указывает на следующее. В работе [Третьяк, Вигилянская, 1994] результаты представлены после массовой чистки коллекции переменным магнитным полем (одно-два значения поля в диапазоне 20-30 мТл) и температурой (250-300 °С). При этом пилотная коллекция была размагничена достаточно детально, но ни одной диаграммы Зийдервельда (а это необходимый элемент современных палеомагнитных определений) не приведено.

Для выделения характеристической компоненты намагниченности в работах [Шаронова и др., 2004; Пилипенко и др., 2005] применена процедура массовой температурной чистки до температур 200, 250, 300 и 350 °С. Для пилотной коллекции образцов было выполнено детальное терморазмаг-

ничивание, а компонентный анализ результатов показал, что естественная остаточная намагниченность (ЕОН) лессов и почв включает две компоненты – вязкую, которая достигает 80-90% и удаляется при нагреве до 150 °С, и характеристическую, которая приближается к нулю на диаграммах Зийдервельда в интервале температур 150-550 °С и, по мнению авторов, является первичной [Шаронова и др., 2004].

В работах [Tsatskin et al., 1998; Tsatskin et al., 2001; Gendler et al., 2006] представлены магнитные параметры и изменения угловых компонент после магнитной чистки вдоль всего разреза, на основании чего и выделено местоположение границы Матуяма-Брюнес. Измерения были выполнены на высокочувствительном SQUID-магнитометре. Но ни одной диаграммы Зийдервельда в этих работах не приведено (хотя для нескольких образцов есть примеры в [Du Pasquier, 1999; Sartori, 2000]), что не позволяет оценить степень достоверности выделения обратной полярности на «хвостах» диаграмм.

### **Магнитные характеристики лессово-почвенной формации разреза Роксоланы**

Разрез Роксоланы (4610' N; 3027' S) расположен на берегу Днестровского лимана на запад от с. Роксоланы Овидиопольского района Одесской области и является одним из наиболее представительных обнажений серии лессовых пород Причерноморской впадины. Террасовый комплекс представлен аллювием VII (по оценкам других авторов – VIII) террасы р. Днестр, залегающим с размывом на понтических отложениях. Перекрывающая эти отложения почти 50-метровая толща лессов и лессовидных суглинков с комплексом ископаемых почв была в свое время детально стратифицирована палеопедологическим, термолюминесцентным и другими методами: она характеризуется собственно плейстоценовый этап четвертичного периода. Детальное геологическое описание разреза, которым мы руководствовались при отборе образцов, приведено в [Богуцкий та ін., 2013].

В пяти расчистках, охватывающих всю толщу разреза, было отобрано 127 штудфов и 203 мини-кернов, из которых изготовлены

стандартные образцы для палеомагнитных исследований (кубики с ребром 20 мм и цилиндры диаметром 25 мм). На сегодня изучена пилотная коллекция из 140 образцов, охватывающих все горизонты почв и лесов. Величины скалярных магнитных параметров хорошо согласуются с результатами предыдущих исследований [Tsatskin et al., 2001; Evans, Heller, 2003; Gendler et al., 2006], указывая на высокие значения в почвах, что обусловлено формированием минералов железа при химически контролируемых педогенетических процессах.

Вариации величины магнитной восприимчивости (МВ) и ЕОН хорошо видны на рис. 1. Почвы характеризуют намного более высокие, по сравнению с лессами, значения МВ, достигающие  $900 \cdot 10^{-6}$  ед. СИ в почвах витачевского и завадовского горизонтов. В лессах бугского, днепровского и орельского горизонтов, а также в супесях (песках) нижней части разреза величины МВ минимальны ( $70 \cdot 10^{-6}$  ед. СИ). Значения ЕОН максимальны в почвах (до 35 мА/м в витачевском и завадовском горизонтах) и минимальны (на два порядка ниже) в лессах и песках аллювия.

Для некоторых горизонтов почв (завадовский, мартоношский) характерно плавное увеличение МВ и ЕОН от подошвы вверх и резкое уменьшение в кровле при переходе от почв к вышележающим лесам. Такое поведение МВ и ЕОН типично для лессово-почвенной формации исследуемого региона [Evans, Heller, 2003; Бахмутов и др., 2005]. Высокие значения МВ в почвах обусловлены образованием и накоплением минералов железа в ходе педогенеза и биоминерализации [Gendler et al., 2006].

Измерения величин склонения и наклона ЕОН образцов показывают среднее направление ( $D_{avg} = 356$ ,  $I_{avg} = 72$ ), близкое к направлению современного геомагнитного поля в районе работ. Поскольку, учитывая результаты предыдущих палеомагнитных исследований, следует ожидать, что вязкая компонента намагниченности вносит основной (до 90-95%) вклад в ЕОН исследуемых пород, для определения направления первичной ЕОН информативными могут быть только результаты после детальной магнитной чистки образцов.

## **Результаты магнитной чистки и определение границы Матуяма-Брюнес**

В наших исследованиях мы сосредоточили усилия на выделении характеристической компоненты намагниченности (ChRM) по результатам детального размагничивания образцов температурой и переменным магнитным полем. Измерения остаточной намагниченности в процессе магнитных чисток выполнены на магнитометре JR-6, размещенном в немагнитной комнате MMLFC. Контрольные образцы измерены на магнитометре 2G-SQUID с приставкой для размагничивания переменным магнитным полем Института геофизики Польской академии наук. Особое внимание уделено тщательности выполнения всей процедуры магнитных чисток с максимальным учетом всех факторов, влияющих на точность измерений, прежде всего на минимизацию (исключение) эффектов подмагничивания. Итоговые результаты по измерениям в обеих лабораториях хорошо согласуются между собой и позволяют уверенно выделять сигнал на «хвостах» диаграмм Зийдверельда при малых значениях остаточной намагниченности порядка  $n \cdot 10^{-2}$  мА/м.

Результаты размагничивания проанализированы методом главных компонент по программе Remasoft 3.0. Для всех образцов выполнена температурная чистка (в печи MMTD80) до 300-350 °С (с шагом 30 °С и контролем изменения МВ после каждой ступени нагрева), а для образцов-дублей – размагничивание переменным магнитным полем (на размагничивающей установке LDA-3A) при 12-15 степенях размагничивания до поля 100 мТл.

В результате на большей части образцов выделено две компоненты намагниченности: вязкая (составляет до 85-95 и 60-80% от первоначальной величины намагниченности соответственно для почв и лесов) и высокотемпературная (характеристическая, ChRM). Вязкая компонента удаляется при нагревах до 210-240 °С, ChRM-компонента выделяется в диапазоне температур 270-300 °С, при более высоких температурах во многих образцах повышается МВ (в результате новообразования минералов железа) либо образцы механически разрушаются.

К воздействию переменного магнитного поля (Н-чистка) лессы более стабильны, чем почвы, но соответствующие параметры стабильности для разных горизонтов почв различаются. После удаления вязкой компоненты в почвах (при воздействии поля 20-30 мТл) величина сигнала достигала в среднем 3-5% от первоначального. Для лессов после удаления вязкой компоненты (поля 20-40 мТл) величина магнитного момента составляла в среднем от 10 до 30% от первоначального. Таким образом, «высокоэрцитивная» компонента остаточной намагниченности может рассматриваться как первичная после определения ее природы и оценки возраста ее формирования.

Для всех подвергшихся магнитной чистке образцов рассчитаны направления ChRM-компоненты методом компонентного анализа. Для некоторых образцов ортогональные проекции (диаграммы Зийдервельда) при размагничивании в высоких полях не идут к началу координат – в таких случаях направление рассчитывалось с привязкой к началу координат.

Поскольку для каждого уровня были получены результаты размагничивания по нескольким образцам, у нас была возможность проведения объективного контроля (дополнительных измерений образцов-дублей) для случаев, когда по каким-либо причинам отдельные образцы на некоторых ступенях размагничивания показывали аномальные значения. Особое внимание было уделено зоне от 30,0 до 54,5 м, где на уровне 34,0 м по данным [Tsatskin et al., 1998; Tsatskin et al., 2001] ожидалась смена полярности геомагнитного поля на границе Матуяма-Брюнес.

На рис. 2 приведены результаты размагничивания для нескольких типичных образцов из нижней части разреза. Показаны стереографические проекции изменения направления вектора остаточной намагниченности в процессе размагничивания (полые (залитые) круги – проекции векторов на верхнюю (нижнюю) полусферу в проекции Ламберта), нормированные кривые размагничивания ЕОН ( $J/J_{max}$ ), диаграммы Зийдервельда (залитые и полые круги – проекции соответственно на горизонтальную и вертикальную плоскости), изменение

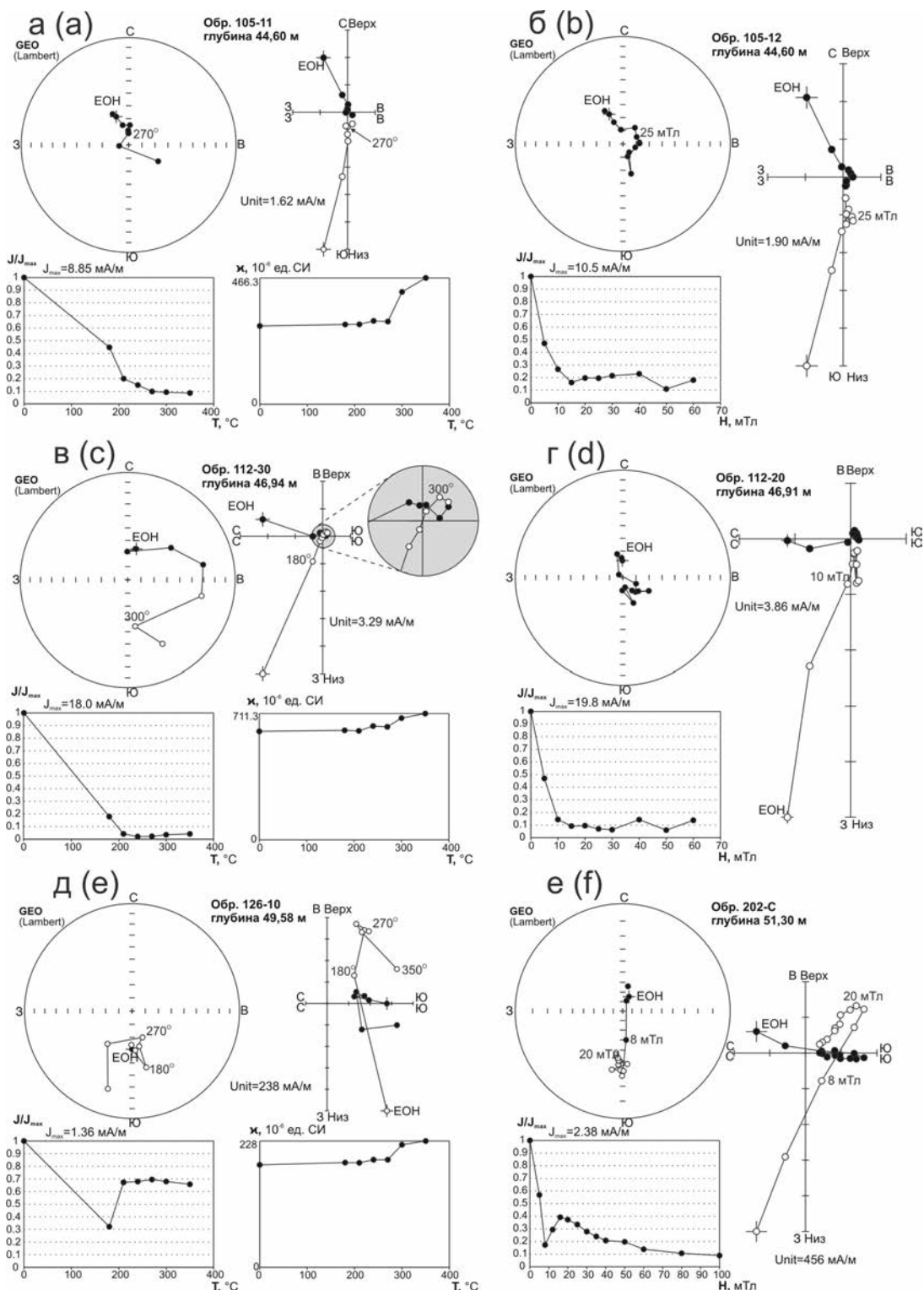
МВ ( $K$ ) в процессе нагревов. Цифрами обозначены номера образцов и глубина отбора. Для обр. 112-30 представлено увеличение траектории на «хвосте» диаграммы Зийдервельда.

Анализ показал, что по результатам Т-чистки ChRM-компонента выделялась более надежно, чем по результатам размагничивания переменным магнитным полем. Например, для завадовской почвы как по результатам Н-чистки, так и Т-чистки (соответственно рис. 2, а и 2, б) направление ChRM-компоненты указывает на прямую полярность, для мартоношской почвы при температуре выше 270 °С выделяется обратная полярность (рис. 2, в), в то время по результатам Н-чистки определяется прямая полярность (рис. 2, г). В приазовском горизонте, представленном песком, супесью и супесчаным лессом, по результатам обеих чисток четко выделяется ChRM-компонента обратной намагниченности (рис. 2, д, е).

Расчет направления ChRM-компоненты (склонения  $D_0$  и наклонения  $I_0$ ) выполнен для каждого образца. На рис. 1 вынесены результаты по размагничиванию образцов температурой на 74 уровнях (темные точки) и переменным магнитным полем на 57 уровнях (серые точки). На всех образцах были определены параметры анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ), которые указывают на преобладание плоскостного типа анизотропии с минимальными осями эллипсоидов, перпендикулярными к плоскости напластования, что характерно для седиментационной намагниченности [Бахмутов, Главацкий, 2013]. Поскольку в некоторых горизонтах присутствуют кротовины, во избежание ошибок вследствие механических нарушений пород, помимо визуального контроля, анализировались параметры АМВ. Аномальные значения последних определены на девяти образцах, которые были исключены из интерпретации.

На рис. 1 представлены величины склонения и наклонения ChRM-компоненты, рассчитанной по результатам компонентного анализа после Т- и Н-чистки. В правой части рис. 1 приведена дискриминантная функция, расчет которой исполнен по алгоритму в [Мап, 2008] и которая позволяет более точно выделить зоны прямой и обратной





**Рис. 2.** Примеры ступенчатого размагничивания температурой (слева) и переменным магнитным полем (справа) типичных образцов почв из заводовского (а, б) и мартоношского (в, г) горизонтов, а также песков приазовского горизонта (д, е)

**Fig. 2.** Examples of stepwise thermal (left) and alternating field demagnetization (right) of typical soil specimens from Zavodovka (a, b) and Martonosha (c, d) horizons, and sand specimens from Priazovsk horizon (e, f)

полярности. Эта процедура выполнена по результатам Т-чистки (как более информативной).

В правой части рис. 1 приведен сводный палеомагнитный разрез. По результатам Т-чистки граница Матуяма-Брюнес определяется нами на стыке лубенского и мартоношского горизонтов на глубине 46,6 м. Ниже все образцы (за исключением одного на глубине 50,0 м) показывают обратную полярность ChRM-компоненты. По результатам Н-чистки границу Матуяма-Брюнес следует проводить ниже, на глубине 49,5 м на уровне верхней части приазовского горизонта. То есть на участке 46,6-49,5 м результаты Т- и Н-чистки, в отличие от остальной части разреза, не согласуются между собой. Также не совпадают результаты на уровне 42-43 м в верхней части завадовского горизонта, где три образца после Н-чистки показывают близкую к обратной полярность ChRM-компоненты, в то время как после Т-чистки обратная полярность выделяется только на одном образце. Соответствующая этому уровню зона обратной полярности также выделена на палеомагнитном разрезе, но для ее интерпретации недостаточно данных.

Разное местоположение границы Матуяма-Брюнес по результатам Н- и Т-чистки может быть объяснено образованием аутигенных магнитных минералов биохемогенного происхождения в процессе педогенеза, характеризующихся разной палеомагнитной стабильностью к воздействию переменного магнитного поля и температуры. Окончательный ответ может быть получен после дополнительных магнитно-минералогических исследований. Тем не менее, отдавая предпочтение результатам Т-чистки, границу Матуяма-Брюнес в разрезе Роксоланы мы определяем на глубине 46,6 м, которая соответствует почве PK<sub>9</sub> по [Tsatskin et al., 2001], а по Стратиграфической схеме четвертичных отложений Украины [Гожик, 2013] – между почвами лубенского и мартоношского горизонтов.

## Выводы

1. Результаты палеомагнитных исследований разреза Роксоланы указывают на принципиальные расхождения магнито-стратиграфических построений разных ав-

торов, основанных на определении местоположения границы Матуяма-Брюнес (показано в правой части рис. 1). По нашему мнению, это связано со сложностью выделения ChRM-компоненты намагниченности даже при измерениях на современной магнитометрической аппаратуре (из-за ее малой величины, зачастую составляющей первые проценты от ЕОН), существенным вкладом суперпарамагнитной фракции в намагниченность пород (обусловленной, очевидно, подмагничиванием образцов в процессе измерений) и с пестрым составом магнитной фракции, представленной набором аутигенных магнитных минералов (с которыми, вероятно, связано формирование химической намагниченности в породах).

2. Оценка палеомагнитной стабильности пород указывает на лессы как на более предпочтительный объект для выделения ChRM-компоненты намагниченности. В пользу того, что она является первичной, свидетельствует ее выделение разными методами магнитной чистки, присутствие в породе терригенных псевдооднородных зерен магнетита, маггемита и гематита – потенциальных «носителей» первичной седиментационной (постседиментационной) намагниченности, а также результаты по измерениям АМВ, которые характерны для седиментационной намагниченности.

3. Согласно нашим результатам по разрезу Роксоланы граница Матуяма-Брюнес проходит на глубине 46,6 м, на стыке погребенных почв лубенского и мартоношского горизонтов. В целом, это согласуется с современными представлениями о стратиграфии четвертичных толщ юга Украины [Гожик, 2013] и опровергает данные, по которым граница Матуяма-Брюнес находится на глубине около 34 м в лессах выше кайдакского горизонта (PK<sub>7</sub>) [Tsatskin et al., 1998; Tsatskin et al., 2001; Dodonov et al., 2006].

4. Оценивая палеомагнитную информативность лессово-почвенной формации разреза Роксоланы, мы считаем, что шансы на объективное выделение каких-либо элементов тонкой структуры геомагнитного поля (эпизодов, экскурсов и т.п.) чрезвычайно малы.

## Список литературы / References

1. Бахмутов В., Главацкий Д. Палеомагнитные исследования разреза Роксоланы: обзор предыдущих работ и новые предварительные результаты. В кн.: *Лесовий покрив Північного Причорномор'я*. Люблін: KARTPOL s.c. Lublin, 2013. С. 72-83.  
*Bakhmutov V., Hlavatskyi D., 2013. Palaeomagnetic studies of Roxolany section: review of previous works and new preliminary results. In: Loess-covering of the North Black Sea Region. Lublin: KARTPOL s.c. Lublin, p. 72-83 (in Russian).*
2. Бахмутов В.Г., Мокряк И.Н., Скарбовийчук Т.В., Якухно В.И. Результаты палеомагнитных исследований разреза дунайских террас и проблемы магнитостратиграфии плейстоцена Западного Причерноморья. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 6. С. 980-991.  
*Bakhmutov V.G., Mokriak I.N., Skarboviychuk T.V., Yakukhno V.I., 2005. Results of palaeomagnetic studies of Danube terraces sections and problems of Pleistocene magnetostratigraphy of the west Black Sea region. Geofizicheskiy zhurnal, vol. 25, № 6, p. 980-991 (in Russian).*
3. Богущкий А., Ланчонт М., Гожик П., Комар М. Лесовий розріз Роксолани: розташування, історія досліджень, характеристика відкладів. В кн.: *Лесовий покрив Північного Причорномор'я*. Люблін: KARTPOL s.c. Lublin, 2013. С. 47-58.  
*Woguski A., Lanczont M., Gozhik P., Komar M., 2013. Loess Roxolany section: location, history of studies, characteristic of deposits. In: Loess-covering of the North Black Sea Region. Lublin: KARTPOL s.c. Lublin, p. 47-58 (in Ukrainian).*
4. Веклич М.Ф., Сиренко Н.А., Матвишина Ж.Н. Палеогеографические этапы и детальное стратиграфическое расчленение плейстоцена Украины. Киев: Наук. думка, 1984. 32 с.  
*Veklich M.F., Sirenko N.A., Matviyshyna Z.M. Pleistocene palaeogeographic stages and detail stratigraphic disjunction of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 1984. 32 p. (in Russian).*
5. Гожик П. До питання вивчення розрізу Роксолани. В кн.: *Лесовий покрив Північного Причорномор'я*. Люблін: KARTPOL s.c. Lublin, 2013. С. 17-33.  
*Gozhik P., 2013. Study questions of Roxolany section. In: Loess-covering of the North Black Sea Region. Lublin: KARTPOL s.c. Lublin, p. 17-33 (in Ukrainian).*
6. Пилипенко О.В., Шаронова З.В., Трубихин В.М., Диденко А.Н. Тонкая структура и эволюция геомагнитного поля 75-10 тыс. лет тому назад на примере лёссово-почвенного разреза Роксоланы (Украина). *Физика Земли*. 2005. № 1. С. 66-73.  
*Pilipenko O.V., Sharonova Z.V., Trubikhin V.M., Didenko A.N., 2005. Fine structure and evolution of the geomagnetic field recorded in the Roxolany (Ukraine) loess-soil section 75–10 ka. Fizika Zemli, № 1, p. 66-73 (in Russian).*
7. Третьяк А.Н. Естественная остаточная намагниченность и проблема палеомагнитной стратификации осадочных толщ. Киев: Наук. думка, 1983. 256 с.  
*Tretyak A.N. Remanent magnetization and the problem of paleomagnetic stratigraphy in sedimentary sequences. Kiev: Naukova Dumka, 1983. 254 p. (in Russian).*
8. Третьяк А.Н., Вигилянская Л.И. Магнитостратиграфическая шкала плейстоцена Украины. *Геофиз. журн.* 1994. Т. 16, № 2. С. 3-14.  
*Tretyak A.N., Vigilyanskaya L.I., 1994. Pleistocene magnetostratigraphic scale of Ukraine. Geofizicheskiy zhurnal, vol. 16, № 2, p. 3-14 (in Russian).*
9. Третьяк А.Н., Вигилянская Л.И., Макаренко В.Н., Дудкин В.П. Тонкая структура геомагнитного поля в позднем кайнозое. Киев: Наук. думка, 1989. 156 с.  
*Tretyak A.N., Vigilyanskaya L.I., Makarenko V.N., Dudkin V.P. Fine structure of the geomagnetic field in the late Cenozoic. Kiev: Naukova Dumka, 1989. 156 p. (in Russian).*
10. Третьяк А.Н., Шевченко А.И., Дудкин В.П., Вигилянская Л.И. Палеомагнитная стратиграфия опорных разрезов позднего кайнозоя юга Украины. Киев: Ин-т геол. наук АН УССР, 1987. 50 с.  
*Tretyak A.N., Shevchenko A.I., Dudkin V.P., Vigilyanskaya L.I. Palaeomagnetic stratigraphy of the late Cenozoic key sections in the south of Ukraine. Kiev: Institut Geologicheskikh Nauk AN USSR, 1987. 50 p. (in Russian).*
11. Шаронова З.В., Пилипенко О.В., Трубихин В.М., Диденко А.Н., Фейн А.Г. Восстановление геомагнитного поля по палеомагнитным записям в лёссово-почвенном разрезе Роксоланы (р. Днестр, Украина) за последние 75 000 лет. *Физика Земли*. 2004. № 1. С. 4-13.  
*Sharonova Z.V., Pilipenko O.V., Trubikhin V.M., Didenko A.N., Feyn A.G., 2004. Reconstruction of the geomagnetic field over the last 75000 years from paleomagnetic records in the Roxolany loess-soil section (the Dniester river, Ukraine). Fizika Zemli, № 1, p. 4-13 (in Russian).*
12. Dodonov A.E., Zhou L.P., Markova A.K., Tche-palyga A.L., Trubikhin V.M., Aleksandrovski A.L., Simakova A.N., 2006. Middle-Upper Pleistocene bio-climatic and magnetic records of the northern Black Sea coastal area. *Quaternary International*, vol. 149, p. 44-54.

Dodonov A.E., Zhou L.P., Markova A.K., Tchepalyga A.L., Trubikhin V.M., Aleksandrovski A.L., Simakova A.N., 2006. Middle-Upper Pleistocene bio-climatic and magnetic records of the northern Black Sea coastal area. *Quaternary International*, vol. 149, p. 44-54 (in English).

13. Du Pasquier J. Environmental paleomagnetic study of the loess/paleosol sequence from Roxolany (Ukraine). *Diploma Thesis*. Z rich, 1999, 59 p.

Du Pasquier J. Environmental paleomagnetic study of the loess/paleosol sequence from Roxolany (Ukraine). *Diploma Thesis*. Z rich, 1999, 59 p. (in English).

14. Evans M., Heller F. Environmental magnetism. Academic Press, 2003. P. 69-74.

Evans M., Heller F. Environmental magnetism. Academic Press, 2003. P. 69-74 (in English).

15. Gendler T.S., Heller F., Tsatskin A., Spassov S., Du Pasquier J., Faustov S.S., 2006. Roxolany and Novaya Etuliya – key sections in the western Black Sea loess area: Magnetostratigraphy, rock magnetism, and paleopedology. *Quaternary International*, vol. 152-153, p. 78-93.

Gendler T.S., Heller F., Tsatskin A., Spassov S., Du Pasquier J., Faustov S.S., 2006. Roxolany and Novaya Etuliya – key sections in the western Black Sea loess area: Magnetostratigraphy, rock magnetism, and paleopedology. *Quaternary International*, vol. 152-153, p. 78-93 (in English).

16. Man O., 2008. On the identification of magnetostratigraphic polarity zones. *Studia Geophysica at Geodaetica*, vol. 52, p. 173-186.

Man O., 2008. On the identification of magnetostratigraphic polarity zones. *Studia Geophysica at Geodaetica*, vol. 52, p. 173-186 (in English).

17. Nawrocki J., Bakhmutov V., Bogucki A., Dolecki L., 1999. The paleo- and petromagnetic record in the Polish and Ukrainian loess-paleosol sequences. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 24, № 9, p. 773-777.

Nawrocki J., Bakhmutov V., Bogucki A., Dolecki L., 1999. The paleo- and petromagnetic record in the

Polish and Ukrainian loess-paleosol sequences. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 24, № 9, p. 773-777 (in English).

18. Sartori M. The Quaternary climate in loess sediments: Evidence from rock and mineral magnetic and geochemical analysis. *Doctor of Natural Sciences Thesis*. Z rich, 2000, 231 p.

Sartori M. The Quaternary climate in loess sediments: Evidence from rock and mineral magnetic and geochemical analysis. *Doctor of Natural Sciences Thesis*. Z rich, 2000, 231 p. (in English).

19. Tsatskin A., Heller F., Gendler T.S., Virina E.I., Spassov S., Du Pasquier J., Hus J., Hailwood E.A., Bagin V.I., Faustov S.S., 2001. New scheme of terrestrial paleoclimate evolution during the last 1.5 Ma in the western Black Sea region: integration of soil studies and loess magmatism. *Phys. Chem. Earth (A)*, vol. 26, № 11-12, p. 911-916.

Tsatskin A., Heller F., Gendler T.S., Virina E.I., Spassov S., Du Pasquier J., Hus J., Hailwood E.A., Bagin V.I., Faustov S.S., 2001. New scheme of terrestrial paleoclimate evolution during the last 1.5 Ma in the western Black Sea region: integration of soil studies and loess magmatism. *Phys. Chem. Earth (A)*, vol. 26, № 11-12, p. 911-916 (in English).

20. Tsatskin A., Heller F., Hailwood E.A., Gendler T.S., Hus J., Montgomery P., Sartori M., Virina E.I., 1998. Pedosedimentary division, rock magnetism and chronology of the loess/paleosol sequence at Roxolany (Ukraine). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 143, p. 111-133.

Tsatskin A., Heller F., Hailwood E.A., Gendler T.S., Hus J., Montgomery P., Sartori M., Virina E.I., 1998. Pedosedimentary division, rock magnetism and chronology of the loess/paleosol sequence at Roxolany (Ukraine). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 143, p. 111-133 (in English).

Статья поступила  
12.05.2014