

**ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СПБФ ИЗМИРАН****Е. Г. Гуськова**, **Э. С. Горшков**

Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук (СПБФ ИЗМИРАН)

Представлены результаты коррекции локации и положения (зоны) дигрессий геомагнитного поля за период с 1990 г. по наше время. Представленные результаты палеомагнитных исследований целого ряда образцов и отложений из археологических памятников (Костенки-14, Костенки-16) позволили определить дигрессию Готенберга и определить её возраст.

*Ключевые слова:* палеомагнетизм, геомагнитное поле, дигрессия Готенберга.

Палеомагнитные исследования археологических памятников и реконструкция геофизической обстановки в периоды изменения положения геомагнитного полюса — одно из основных направлений научной деятельности лаборатории магнитных свойств СПБФ ИЗМИРАН.

Основной задачей при проведении работ являлось выявление и уточнение положений (зон) экскурсов геомагнитного поля и оценка их возраста путём проведения палеомагнитных исследований целого ряда образцов и отложений многослойных археологических памятников и сопоставления полученных результатов с известными литературными данными.

Исследования данной проблемы стали более целенаправленными и успешными, когда в 1990 г. Валдайской (Тверской) экспедицией ИИМК РАН на северном берегу озера Волго близ д. Ланино были открыты и исследованы стоянки Подол III/1, Подол III/2, Баранова гора [Синицына и др., 2005], культурные слои которых частично сохранились небольшими участками. Наиболее древние отложения, связанные с периодом бёллинга и дриаса среднего, зафиксированы только на одном памятнике Баранова гора.

В 1996 г. на стоянке было заложено три шурфа. В отложениях шурфа № 1 зафиксированы отложения дриаса среднего. Результатом стало принятие положения об успешном опыте датирования отложений, вмещающих археологические материалы, на основании спорово-пыльцевого и палеомагнитного методов анализа [Гуськова и др., 2005].

В дальнейшем, для решения задач геодинамики Балтийского щита в позднем архее и раннем протерозое, нами были проведены палеомагнитные исследования образцов сиенитов и санукиитоидов массивов Хижъярви и Нюк (Центрально-Карельский домен Карельского мегаблока) и санукиитоидов Туломского массива Кольского мегаблока. Показано, что наиболее древняя компонента намагниченности, предположительно позднеархейская,

---

**Гуськова** Елена Григорьевна — руководитель группы, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, sgez06@mail.ru

**Горшков** Эдуард Степанович — заведующий лабораторией, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

сохранилась лишь в одной из трёх исследованных интрузий санукитоидов — Хижъярви. Полученное положение позднеархейского палеополюса для санукитоидных интрузий на данном этапе исследований может быть использовано для геодинамических реконструкций в позднем архее (2,7–2,6 млрд лет) лишь в совокупности с данными, полученными для позднеархейских базитовых интрузий и даек.

Раннепротерозойская компонента намагниченности выделена во всех трёх изученных массивах, расположенных в различных блоковых структурах Балтийского щита — Центрально-Кольском и Центрально-Карельском доменах и совпадает с положением палеополюса 2,45 млрд лет. Эти результаты свидетельствуют о том, что на этапе 2,45 млрд лет Карельский и Кольский домены находились в составе единого континента и не испытывали существенных раздвижений, которые могли бы привести к разрыву щита.

В продолжение работ по изучению поведения геомагнитного поля в голоцене проведены палеомагнитные исследования коллекции ориентированных образцов, отобранных в отложениях палеопочв археологической стоянки Баранова гора в Тверской области ( $\varphi = 56,9^\circ \text{ N}$ ,  $\lambda = 33,2^\circ \text{ E}$ ). Полученные палеомагнитные характеристики свидетельствуют о том, что возраст культурного слоя памятника может быть оценён как аллерёд, т. е. 12–13 тыс. лет назад, поскольку поведение виртуального палеополюса (ВПП) отмечает экскурс Гётенборг, продолжительность которого примерно 200 лет. Сравнение с результатами палеомагнитных исследований, проведённых нами ранее на материале археологической стоянки Подол, а также с палинологическими данными спорово-пыльцевого анализа, подтверждает этот вывод.

Впервые палеомагнитные исследования отложений памятника Костёнки-14 (Маркина Гора) проводились нами в 2000 г. Основная задача состояла в том, чтобы оценить возможность проявления экскурсов геомагнитного поля во временном интервале до 40 000 лет, где, согласно магнитохроностратиграфической шкале, могли быть отмечены экскурсы Каргаполово, Моно и Гётенбург [Поспелова, 2004]. В соответствии со стратиграфией памятника, корреляцией геологических отложений и имеющимися радиоуглеродными датами [Синицын, 2002] образцы без перерыва отбирались по вертикальному профилю восточной стенки и представляли собой кубики довольно значительных размеров ( $5 \times 5 \times 5 \text{ см}$ ) из-за сыпучести материала. Начиная с образца № 52, стратиграфия разреза восстанавливалась по южной стенке. Всего было отобрано и измерено 117 образцов.

Измерения магнитных характеристик образцов памятника Костёнки-14 проводились на астатическом магнитометре МАЛ-036 в лаборатории магнитных свойств СПбФ ИЗМИРАН в пос. Воейково Ленинградской обл. в 15 км от Санкт-Петербурга, защищённой от городских помех. Обработка полученных данных проводилась по общепринятой методике [Палеомагнитология, 1982; Enkin, 1994]. Предварительные результаты опубликованы в статье [Герник, Гуськова, 2002], где представлены графики распределения значений палеомагнитных характеристик по всему разрезу. Значения палеомагнитных характеристик — магнитной восприимчивости  $K$  и естественной остаточной намагниченности  $J_n$  — отражают литологический состав разреза, хотя и осреднённый из-за большого объёма образ-

цов: отмечаются слой современного чернозёма, гумусовая толща, пепловый слой, обожжённая линза из горизонта очагов. Наиболее однородным по палеомагнитным характеристикам участок разреза представлен суглинками и погребённой почвой.

Значения магнитной восприимчивости  $K$  изменяются в пределах  $(2...100) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ, естественной остаточной намагниченности  $J_n$  — в пределах  $(3...50) \cdot 10^{-4}$  А/м. Повторные измерения более 10 % образцов показали, что погрешность измерений не превышает 15 % по величине  $J_n$ ,  $K$  и  $10^\circ$  по направлению  $J_n$ .

**Таблица 1.** Средние направления  $J_n$  и координаты виртуальных палеомагнитных полюсов для отложения Костёнки-14 (Маркина Гора,  $\varphi = 51,5^\circ$  N,  $\lambda = 39^\circ$  E)

N	$N_{\text{слоя}}$	n	D	I	$\alpha_{95}$	$\Phi$	$\Lambda$	P
1	1a	4	360	29	03	54	219	N
2	1b	5	056	73	27	58	094	N
3	02	9	000	72	15	84	041	N
4	03	7	306	63	12	54	320	N
5	04	3	335	73	25	74	343	N
6	05	4	312	52	10	50	300	N
7	06	3	323	57	16	61	294	N
8	7_8	3	335	56	14	67	279	N
9	09	4	308	62	22	55	316	N
10	10a	6	341	47	5	63	257	N
11	10b	3	355	82	6	67	35	N
12	11a	4	347	51	4	68	249	N
13	11b	2	269	57	33	28	335	N
14	12a	3	297	48	11	39	309	N
15	12b	2	199	65	22	10	26	N
16	13a	3	2	55	5	74	214	N
17	13b	2	272	70	10	40	348	N
18	14_15a	4	167	79	13	31	44	N
19	14_15b	2	269	42	21	18	325	N
20	16	4	322	47	21	54	284	N
21	17_18	3	27	73	17	73	95	N
22	19	8	7	74	11	81	63	N
23	20_21	3	19	61	8	74	159	N
24	22	3	339	70	16	77	326	N

В табл. 1:  $N_{\text{слоя}}$  — номер слоя;  $n$  — число образцов в слое;  $D$ ,  $I$  — склонение и наклонение среднего вектора;  $\alpha_{95}$  — радиус круга доверия для  $p \leq 0,05^\circ$ ;  $\Phi$ ,  $\Lambda$  — широта и долгота виртуального палеополюса;  $P$  — полярность вектора  $J_n$ .

Чтобы изучить поведение ВПП по всему разрезу, была составлена табл. 1, где значения магнитных характеристик распределены послойно; за основу приняты данные приложения 2 из работы [Синицын, 2002], в котором представлена корреляция геологических отложений слоёв, уровня отбора палеомагнитных и палинологических образцов и радиоуглеродных дат. В таблицу включены значения магнитных характеристик (средние по двум измерениям на магнитометре МАЛ-036) с учётом литологии (поэтому появились слои *a* и *b*) и координаты соответствующих виртуальных полюсов  $\Phi$  и  $\Lambda$ .

Анализ распределения средних значений  $J_n$ , позволяет заключить, что максимум распределения — в интервале  $270...0^\circ$ , среднее значение направления  $J_n$  для  $n = 24$  составляет  $D = 327,2^\circ$ ,  $I = 67,5^\circ$ ,  $\alpha_{95} = 8,2^\circ$  (здесь  $n = 24$  относится к числу слоёв, по которым распределено 94 образца). Распределение координат ВПП: ВПП на стереопроекции позволяет определить три положения — 13, 15 и 19 (см. табл. 1), когда ВПП спускается ниже  $30^\circ$  с. ш. (что соответствует слоям 116, 126, 14–156). Такое уменьшение координаты  $\Phi$  может быть признаком возможного экскурса геомагнитного поля [Мёрнер и др., 2001]. Но при таком осреднении палеомагнитных данных полярность вектора  $J_n$  по всем слоям остаётся положительной, т. е. никак не отражается образец № 85, показавший по углу наклона  $I$  отрицательное значение ( $-30^\circ$  [Герник, Гуськова, 2002]).

В табл. 2 приведены значения координат ВПП (значения угловых характеристик вектора  $J_n$  — углов склонения  $D$  и наклона  $I$  по двум измерениям [Герник, Гуськова, 2002] — и координаты ВПП  $\Phi$  и  $\Lambda$ ) для образцов № 100–67. Траектория ВПП условно разбита на три участка: первый — образцы № 100–88, второй — № 88–81 (зона экскурса Каргаполово) [Герник, Гуськова, 2002; Enkin, 1994], третий — образцы № 81–67.

**Таблица 2.** Координаты ВПП для разреза Костёнки-14 для образцов № 100–67

N	$N_{обр}$	$\Phi$	$\Lambda$	$N_{обр}$	$D_1$	$I_1$	$D_2$	$I_2$	$\Phi$	$\Lambda$	$N_{обр}$	$\Phi$	$\Lambda$
1	88		312	81	314	45	288	52	36	318	67	80	219
2	89	55	91	82	352	28	343	37	57	248	68	81	261
3	90	56	122	82-1	0	75	0	81	69	39	69	83	219
4	91	69	334	83	25	55	40	65	64	122	70	34	1
5	92	67	284	84	88	81	153	83	39	47	71	-29	46
6	93	78	308	85	62	-30	69	-29	0	154	72	32	359
7	94	72	39	86	96	78	56	78	59	86	73	35	25
8	95	81	210	87	0	71	0	75	80	39	74	49	17
9	96	63	122	88	289	46	299	54	43	312	75	52	39
10	97	69	219	—	—	—	—	—	—	—	76	14	27
11	98	66	53	—	—	—	—	—	—	—	77	15	330
12	99	76	48	—	—	—	—	—	—	—	78	26	332
13	100	45	308	—	—	—	—	—	—	—	79	70	291
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80	39	309
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	81	36	318

По образцам Костёнки-14 (5×5×5 см) на первом участке заметно группирование координат ВПП в районе Канады и Гренландии и переход к району Северного Ледовитого океана, затем на втором участке (зона экскурса Каргаполово) — петлю, спускающуюся к Тихому океану (образцы № 87–81), а на третьем — вторую петлю в районе Атлантического океана (образцы № 81–78).

При более подробном рассмотрении траектории движения ВПП в районе возможного экскурса (т. е. для образцов № 88–81) можно заметить, что полюс со средних широт западного полушария (образец 88) через высокие широты восточного полушария (образцы 87, 86) спускается практически к нулевой широте  $\Phi$  при долготе  $\Lambda$ , равной  $154^\circ$  E (образец 85) и тем же путём возвращается обратно (образец 81). Продолжительность экскурса Каргаполово оценивается в ~5000 лет, «возраст» — 45 тыс. лет.

После изучения угловых характеристик  $D$  и  $I$  очерчена зона экскурса в разрезе и получены траектории ВПП по 50 образцам, отобраным в разные годы. Идентификация этого экскурса как Каргаполово подтверждается и хронологическими данными для слоя вулканического пепла № 15, который расположен приблизительно на 0,5 м выше слоя № 18 по разрезу; возраст слоя № 15 даётся как 40 000 лет назад [Герник, Гуськова, 2002]. До пеплового слоя, т. е. до глубины от 5 до 2 м, идентифицировано девять спорово-пыльцевых комплексов, возраст — ранне-средний Валдай (49–34 тыс. лет назад), что совпадает с оценкой «возраста» экскурса Каргаполово и по палеомагнитным данным [Спиридонова, 2002]. Для возрастного интервала 45 000 лет назад направления движения траектории виртуальных полюсов выявляет наличие второго этапа экскурса Каргаполово. Впервые для отложений этой стоянки идентифицированы экскурсии геомагнитного поля Моно и Гётенбург, что может внести коррективы в определение возраста культурных слоёв разреза Костёнки-14 при сравнительном анализе древнего ископаемого инвентаря. Полученные результаты подтверждены данными палинологических исследований и имеющимися в литературе данными для других разрезов Русской Равнины.

В 2001 г. для уточнения положения экскурса геомагнитного поля в разрезе отбирался дополнительно параллельный профиль из 10 образцов больших размеров (так как сыпучесть материала сохраняется) по следующей схеме: образцы № 5, 4, 3, 2 — на уровне образца № 86, затем № 1 — на уровне образца № 85 (как идёт погребённая почва), затем № A15–A11 — над образцом № 85. Дополнительный отбор образцов по профилю подтверждает траекторию ВПП, хотя и на разных её участках (напомним, что все построения приведены для большого объёма образцов и без «магнитной чистки»).

Затем в 2006 г. повторно отбирался параллельный профиль из семи образцов в стеклянных ампулах следующим образом: 7А, 6А — на уровне № 86, образцы 5А, 4А на уровне № 85 и образцы 2А, 1А — на уровне № 84, т. е. в масштабе это выглядело так, что на три образца объёма ~5×5×5 см (т. е. 15 см) отбирались семь образцов в стеклянных ампулах, диаметр которых ~2 см (т. е. 14 см). После измерений эти образцы нагревались до  $120^\circ\text{C}$  и измерялись вновь. В данном случае измерения магнитных характеристик проводились в лаборатории магнитостратиграфии и палеомагнитных реконструкций отдела стратиграфии нефтегазоносных территорий России

Всероссийского нефтяного научно-исследовательского геологоразведочного института (ВНИГРИ). Измерения  $J_n$  велись на рокгенераторах JR-4 и JR-5 (Чехия), а магнитной восприимчивости  $K$  — на измерителе магнитной восприимчивости KLY-2 (Чехия). Термочистка проводилась на термоустановке TD-48 (США). Можно отметить общее уменьшение вектора  $J_n$  примерно на 40 % и изменение угловых характеристик для образцов № 7 и 4, а также снижение координаты ВПП до  $\Phi = -5^\circ$  S для образца № 6, но в целом особенности траектории ВПП сохраняются.

Проведено сравнение полученных результатов по траектории движения ВПП для некоторых отложений других памятников, где проводились палеомагнитные исследования. Так, в 1999–2000 гг. нами проводились палеомагнитные исследования образцов осадков памятника Шлях, расположенного в Волгоградской области,  $\varphi = 50^\circ$  N,  $\lambda = 44^\circ$  E [Нехорошев и др., 2003]. Образцы отбирались в специальные ампулы из зачисток разных слоёв разреза, расположенных на расстояниях до 80 м друг от друга; всего было отобрано и измерено свыше 700 образцов. При измерениях проводилась только временная чистка, когда после двухнедельной выдержки в земном геомагнитном поле образцы на две недели помещались в поле противоположного направления и таким образом оценивалось влияние вторичной вязкой намагничённости — не более 9 % по величине и 10 % по углам вектора  $J_n$ . Экскурс Каргаполово отмечен по 20 образцам зачисток 15 и 19.

В работе [Поспелова и др., 1998] приведены результаты палеомагнитных исследований разреза Янгиюль, Узбекистан,  $\varphi = 40^\circ$  N,  $\lambda = 69^\circ$  E; образцы в виде кубиков объёмом  $8 \text{ см}^3$  нагревались до  $600^\circ$  C. Весь разрез глубиной свыше 12 м разбивался на 13 участков в соответствии с направлением палеомагнитного поля; на участках 3–5 отмечался экскурс Каргаполово. Было показано, что перед экскурсом виртуальные палеомагнитные полюсы группировались вблизи современного геомагнитного поля в районе Канады и Гренландии, переходя перед экскурсом в район Северного Ледовитого океана. В начале экскурсии Каргаполово направление движения ВПП резко изменялось, образуя две петли, спускающиеся до Индийского океана, затем по Тихому океану — к Северной Америке. В промежутках между петлями ВПП группировались там же, где и до экскурсии, но в низких широтах, что является одним из признаков экскурсии. На 5-м участке наблюдался большой разброс ВПП вплоть до низких отрицательных значений широты  $\Phi$ .

В работе [Кочегура и др., 1994] приведены результаты палеомагнитного исследования осадков Каповой пещеры, Урал ( $\varphi = 55^\circ$  N,  $\lambda = 55^\circ$  E). Из трёх колонок-шурфов на расстоянии 10 м друг от друга отбирались образцы в виде кубиков объёмом  $8 \text{ см}^3$ ; нагрев до  $120\text{...}220^\circ$  C практически не изменял направление вектора  $J_n$ . По палеомагнитным данным и по схеме корреляции отложений колонок в нижней части разреза отмечен экскурс Каргаполово.

Подобие траектории ВПП для отложений четырёх памятников — Костёнки-14, Шлях, Янгиюль, Урал (Капова пещера) — трудно не отметить, наблюдается и уменьшение широты виртуального палеомагнитного полюса  $\Phi$  вплоть до отрицательных значений в диапазоне долгот  $\Lambda = (30\text{...}120)^\circ$  E и возвращение к стационарному геомагнитному полю в высоких широтах.



Некоторое различие в поведении траектории ВПП несомненно следует отнести за счёт методики «магнитной чистки» образцов в каждом случае.

Начиная с 2011 г. проводились сравнительные палеомагнитные исследования ориентированных образцов археологических памятников Костёнки-14 (Маркина гора) и Костёнки-16 (Углянка), находящихся в Воронежской области. Совместное рассмотрение палеомагнитных и археологических данных для образцов отложений палеолитических стоянок Костёнки-14 и Костёнки 16 позволило обоснованно выявить экскурс Гётеборг и, в соответствии с магнитостратиграфической шкалой, определить возраст в пределах 13 000–12 350 лет ВР.

Отметим, что, не смотря на доказательность палеомагнитного вывода об обнаружении экскурсов Каргаполово и Моно на археологической стоянке Костёнки-14, остаются нюансы, учёт которых позволил бы усилить степень взаимосогласованности выводов по совокупности палеомагнитных и археологических данных. Это имеет особое значение для дальнейших совместных исследований. С этой целью в последнее время произведён повторный отбор 33 образцов (ампул) со стоянки Костёнки-14 (Маркина гора), изучением которых мы и занимаемся в настоящее время.

## ЛИТЕРАТУРА

- [Герник, Гуськова, 2002] *Герник В. В., Гуськова Е. Г.* Палеомагнитные характеристики отложений разреза ст. Костёнки-14 (Маркина Гора) // Костёнки в контексте палеолита Евразии. Особенности развития верхнего палеолита Восточной Европы: тр. Костёнковско-Борщёвской археологической экспедиции ИИМК РАН. СПб., 2002. Вып. 1. С. 247–249.
- [Гуськова и др., 2005] *Гуськова Е. Г., Распопов О. М., Иосифиди А. Г., Симицына Г. В., Симицын А. А.* Палеомагнитные исследования отложений многослойной стоянки Подол III/1 на озере Волго в Тверской области // Тверской археологич. сб. 2005. Вып. 6.
- [Кочегура и др., 1994] *Кочегура В. В., Добрецова Ю. Г., Ляхницкий Ю. С.* Изучение тонкой структуры геомагнитного поля по осадкам Каповой пещеры // Физика Земли. 1994. № 9. С. 51–57.
- [Мёрнер и др., 2001] *Мёрнер Н. А., Петрова Г. Н., Пилипенко О. В., Распопов О. М., Трубихин В. М.* Появление экскурсов на фоне изменения магнитного поля Земли // Физика Земли. 2001. № 10. С. 24–32.
- [Нехорошев и др., 2003] *Нехорошев П. Е., Вишняцкий Л. Б., Гуськова Е. Г., Мусатов Ю. Е., Сапелко Т. В.* Результаты естественнонаучного изучения палеолитической стоянки Шлях // Нижневолжский археологический вестник. 2003. Вып. 6. С. 9–25.
- [Палеомагнитология, 1982] Палеомагнитология / Храмов А. Н., Гончаров Г. И., Комиссарова Р. А., Писаревский С. А., Погарская И. А., Ржевский Ю. С., Родионов В. П., Слауцитайс И. П. Л.: Недра, 1982. 312 с.
- [Поспелова, 2004] *Поспелова Г. А.* Геомагнитные экскурсы // Краткая история и современное состояние геомагнитных исследований в Институте физики Земли РАН. 2004. С. 44–55.
- [Поспелова и др., 1998] *Поспелова Г. А., Петрова Г. Н., Шаронова З. В.* Геомагнитное поле во время и вблизи экскурсов, записанных в разрезе Янгиюль (Узбекистан) // Физика Земли. 1998. № 5. С. 65–79.

- [Синицын, 2002] *Синицын А. А.* Нижние культурные слои Костёнок 14 (Маркина Гора) (раскопки 1998–2001 гг.) // Костёнки в контексте палеолита Евразии. Особенности развития верхнего палеолита Восточной Европы: тр. Костёнковско-Борщёвской археологической экспедиции ИИМК РАН. СПб., 2002. Вып. 1. С. 219–236.
- [Синицына и др., 2005] *Синицына Г. В., Лаврушин Ю. А., Спиридонова Е. А.* Археологические материалы в позднеледниковых отложениях на северном берегу озера Волго в Тверской области // Квартер-2005: Материалы 4-го Всерос. совещания по изучению четвертичного периода: тез. докл. Сыктывкар, Республика Коми, 23–26 авг. 2005. С. 400–402.
- [Спиридонова, 2002] *Спиридонова Е. А.* Палинологическое обследование возраста отложений стратиграфической колонки стоянки Костёнки 14 (Маркина Гора) // Костёнки в контексте палеолита Евразии. Особенности развития верхнего палеолита Восточной Европы: тр. Костёнковско-Борщёвской археологической экспедиции ИИМК РАН. СПб., 2002. Вып. 1. С. 237–246.
- [Enkin, 1994] *Enkin R. J.* A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data / Pacific Geoscience Centre, Survey Canada. Sidney. 1994. 16 p.

## PALEOMAGNETIC STUDIES IN SPbF IZMIRAN

**E. G. Guskova** , **E. S. Gorshkov**

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of Russian Academy of Sciences (SPbF IZMIRAN)

For the age from 1990 until now, results of correction of location and positions (zones) of digression of geomagnetic field are presented. Results of paleomagnetic studies of a whole range of samples and deposits from multi-layer archeological monuments (Kostyonki-14, Kostyonki-16) allowed detecting Gothenburg digression and calculating its age.

*Keywords:* paleomagnetism, geomagnetic field, Gothenburg digression.

**Guskova** Elena Grigorievna — teamleiter, doctor of physical and mathematical sciences, senior scientist, srez06@mail.ru

**Gorshkov** Eduard Stepanovich — head of laboratory, PhD, senior scientist