

УДК 550.384:561

DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-8-39-48

**ПЕТРОМАГНИТНЫЕ ИНДИКАТОРЫ КЛИМАТА В ГЕОЛОГИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ ДОЛИНЫ РЕКИ АНУЙ (АЛТАЙСКАЯ ПРЕДГОРНАЯ РАВНИНА)**

**PETRO-MAGNETIC CLIMATE INDICATORS IN THE GEOLOGICAL SECTION OF THE ANUI RIVER VALLEY (PREDALTAIAN PLAIN)**



*Л. Г. Смолянина,*  
Институт геологии и  
минералогии СО РАН  
им. В. С. Соболева,  
г. Новосибирск  
*smol@igm.nsc.ru*



*В. С. Зыкина,*  
Институт геологии и  
минералогии СО РАН  
им. В. С. Соболева,  
г. Новосибирск  
*zykina@igm.nsc.ru*



*И. А. Пронина,*  
Институт геологии и  
минералогии СО РАН  
им. В. С. Соболева,  
г. Новосибирск  
*pronina\_i@igm.nsc.ru*

*L. Smolyanova,*  
Institute of Geology and  
Mineralogy SB RAS named after  
V. Sobolev, Novosibirsk

*V. Zykina,*  
Institute of Geology and  
Mineralogy SB RAS named after  
V. Sobolev, Novosibirsk

*I. Pronina,*  
Institute of Geology and  
Mineralogy SB RAS named  
after V. Sobolev, Novosibirsk

Рассмотрены петромагнитные индикаторы климата в геологическом разрезе долины р. Ануй (у пос. Петровское). Стратиграфические данные, полученные при изучении разреза, позволили выделить субаэральную и субаквальную толщи. Отмечено, что первая соответствует верхней части лесово-почвенной последовательности Западной Сибири и включает два педокомплекса и четыре горизонта лессов, сформированных во время позднего и конца среднего плейстоцена. Представлена динамика изменения магнитных характеристик разреза, зависящих от климатических условий региона. Получены новые данные по петромагнитным свойствам отложений. Исследовались магнитная восприимчивость, частотно-зависимая магнитная восприимчивость, естественная остаточная намагниченность, остаточная намагниченность насыщения, идеальная намагниченность и соотношения этих параметров. Зафиксирована высокая активность почвенных биохимических процессов, сопровождающихся образованием тонкодисперсных суперпармагнитных и однодоменных магнитных минералов, во время теплых и влажных периодов. Установлено, что эти процессы более чувствительны к влажности климата, чем к температуре. Результаты показали, что ветровая активность в холодные сухие периоды, влияющая на количество крупнозернистого материала магнитной фракции, была относительно небольшой. Полученные детальные результаты петромагнитного анализа позволили отнести механизм записи палеоклиматического сигнала в магнитных свойствах лессов и почв данного разреза Предалтайской равнины к «китайскому» типу

**Ключевые слова:** индикаторы палеоклимата; геологический разрез; петромагнетизм; магнитная восприимчивость; намагниченность; магнитное зерно; лесово-почвенная последовательность; климат; педокомплекс; палеореконструкция

The petromagnetic indicators of the climate in the geological section of the valley of the river Anuy (near the village of Petropavlovskoye) are considered. The stratigraphic data, obtained in the study of the section, have made it possible to separate subaerial and subaqueous sequences in it. It is noted that the first corresponds to the upper

part of the loess-soil sequence of Western Siberia and includes two pedocomplexes and four horizons of loesses, formed during the late and late Middle Pleistocene. The dynamics of the change in the magnetic characteristics of the section, depending on the climatic conditions of the region, is presented. New data have been obtained on the petromagnetic properties of the deposits. The magnetic susceptibility, frequency-dependent magnetic susceptibility, natural residual magnetization, residual saturation magnetization, ideal magnetization, and the ratios of these parameters have been investigated. A high activity of soil biochemical processes, accompanied by the formation of fine-dispersed superparamagnetic and single-domain magnetic minerals, was recorded during warm and humid periods. It is established that these processes are more sensitive to the humidity of the climate than to the temperature. The results showed that the wind activity in cold dry periods, affecting the amount of coarse-grained material of the magnetic fraction, was relatively small. The obtained detailed results of the petromagnetic analysis have allowed to classify the mechanism of recording the paleoclimatic signal in the magnetic properties of loesses and soils of this section of the Predaltaian plain to the “Chinese” type

**Key words:** indicators of paleoclimate; geological cross-section; petromagnetism; magnetic susceptibility; magnetization; magnetic grain; loess-soil sequence; climate; pedocomplex; paleoreconstruction

---

**Введение.** Среди континентальных отложений особое место занимают лесово-почвенные. Они наиболее полно отражают изменения природной среды и климата. Детальные климатические реконструкции требуют комплексного изучения с привлечением результатов стратиграфии, палеонтологии, палинологии, различных хронологических методов, в том числе петромагнитного изучения разрезов. Магнитные свойства лесово-почвенных отложений хранят информацию о циклических изменениях климата, которые происходили в геологическом прошлом нашей планеты. Актуальность изучения петромагнитных характеристик для более достоверной реконструкции палеоклимата и природных условий региона на протяжении всей истории накопления осадков обусловлена глобальными и региональными изменениями климата, которые определяют механизмы формирования магнитных свойств отложений.

Магнетизм отложений может формироваться в основном двумя способами, в зависимости от климатических условий. Если тепло и влажно, то создаются предпосылки к биохимическому образованию тонкодисперсных магнитных минералов, таких как магнетит и маггемит с размерами зерен 0,001...0,5 мк. Во время холодных сухих климатических периодов накопление осадков происходит в основном за счет ветров, которые привносят магнитные частицы относительно крупных размеров (> 0,5 мк).

Этим механизмы образования магнитной фракции в осадках не исчерпываются. Одной из задач исследования магнитных свойств лесово-почвенных последовательностей является выявление более тонких различий в петромагнитно-климатических зависимостях, а также накопление базы данных для более точного и достоверного районирования и реконструкции палеоклимата.

Лесово-почвенные последовательности, в том числе разрезы Западной Сибири, исследовались, например, В. Г. Бахмутовым, Д. В. Главацким, В. С. Зыкиной, А. Ю. Казанским, О. Б. Кузьминой, Г. Г. Матасовой, Т. Anwar, J. Chen, M. E. Evans, X. Сио и др. [2–14]. В статье представлены результаты петромагнитного исследования геологического разреза в обрыве левого берега р. Ашуй, на северо-восточной окраине пос. Петропавловское, в верхней части Колыванского увала Алтайской предгорной равнины (N 52°05'069", E 084°08'030", H 220 м).

Вскрыты субаэральные и субаквальные отложения общей мощностью 24 м от современной поверхности до уреза воды. Отобраны ориентированные образцы из 47 стратиграфических уровней с шагом 0,5 м, а также 328 неориентированных образцов с шагом 0,05 м в субаэральных и 0,1 м в субаквальных отложениях.

Лабораторные исследования проводились по стандартной методике, приня-

той в практике палеомагнитного анализа. Для измерений использовались приборы института геологии и минералогии (г. Новосибирск): двухскоростной магнитометр JR-6A, генератор переменного магнитного поля LDA-3A (производство чешской фирмы *AGICO*), система для измерения магнитной восприимчивости MS2 (Bartington, Великобритания), терморазмагничиватель TD-48 (США), а также генератор постоянного магнитного поля института нефтегазовой геологии и геофизики (г. Новосибирск).

*Строение разреза и магнитные характеристики отложений.* В исследуемом разрезе под современным черноземом выделены следующие слои верхнего плейстоцена (рис. 1а): баганский лесс (bg) мощностью 1,0...1,8 м; ельцовский лесс (el) мощностью 1,8...3,1 м; искитимский педокомплекс ( $is_1-is_2$ ) мощностью 2,5 м, представленный двумя ископаемыми почвами, разделенными слоем лессовидного суглинка толщиной 0,7 м; тулинский лесс (tl) (мощность неравномерная 0,4...1,0 м); бердский педокомплекс ( $br_1-br_2$ ), представленный двумя ископаемыми почвами, разделенными слоем лессовидного суглинка толщиной 0,7 м (общая мощность примерно 3,5 м); сузунский лесс (sz) (мощность – 3,0 м). Нижняя часть разреза – субаквальные отложения, представленные озёрными суглинками и речным аллювием (мощность – 11,7 м).

Для анализа использовались следующие магнитные характеристики: магнитная восприимчивость вещества ( $\chi$ ), естественная остаточная намагниченность (*NRM*), остаточная намагниченность насыщения (*SIRM*), идеальная намагниченность (*ARM*), частотно-зависимая магнитная восприимчивость (*FD*), а также соотношения  $\chi/SIRM$ ,  $\chi/ARM$  и  $SIRM/ARM$ .

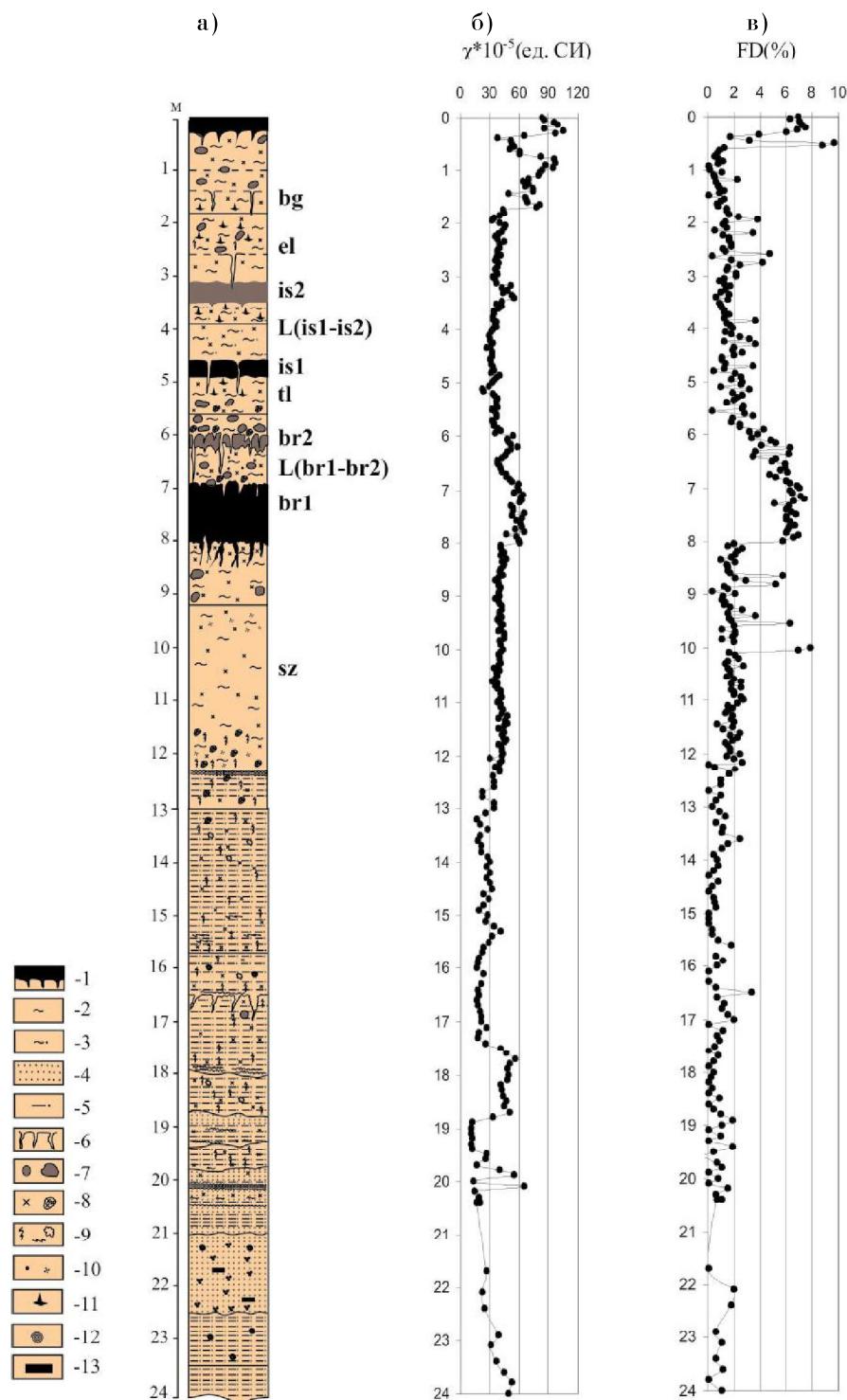
Магнитная восприимчивость отложений колеблется в пределах  $0,12 \cdot 10^{-5} \dots 15,7 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ на объем  $8 \text{ см}^3$ . Параметр *FD* вычислялся по формуле  $FD = 100 * (\chi_f - \chi_{hf}) / \chi_f$ , где  $\chi_f$  – магнитная восприимчивость при частоте измерений 460 Гц;

$\chi_{hf}$  – при частоте 4600 Гц.

Величина *FD* отражает наличие в породе ферромагнетиков в суперпарамагнитном состоянии, которые образуются, как правило, во время биохимических реакций в почвах [1].

График магнитной восприимчивости  $\chi(h)$  (рис. 1б), где  $h$  – глубина отбора, в целом совпадает по основным трендам роста-спада с графиком *FD(h)* (рис. 1в). Однако существуют и некоторые расхождения. Так, наблюдается снижение от 0,15 до 0,95 м, а затем –резкое увеличение  $\chi$  от  $37,3 \cdot 10^{-5}$  до  $96,4 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. На графике частотно-зависимой магнитной восприимчивости в том же промежутке (0,15...0,25 м) наблюдается снижение *FD* с 7,12 до 1,60 %. В дальнейшем тренды обоих графиков примерно совпадают до глубины 17,3 м. Ниже этой отметки наблюдаются области с повышенной магнитной восприимчивостью, но значения *FD* при этом минимальны.

Резкое снижение магнитной восприимчивости от  $64,2$  до  $37,3 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ наблюдается в промежутке 0,3...0,4 м, при переходе к баганскому лессу (bg). В промежутке 3,25...3,35 м, что соответствует верхней искитимской почве ( $is_2$ ),  $\chi$  увеличивается от  $32,7 \cdot 10^{-5}$  до  $50,4 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Минимальное значение  $\chi=21,7 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ приходится на точку 5,1 м. Это примерно соответствует нижней границе гумусового горизонта нижней искитимской почвы ( $is_1$ ). Постепенное увеличение значений магнитной восприимчивости на уровне  $6,45 \dots 6,95$  м ( $37,2 \cdot 10^{-5} \dots 57,2 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ) соотносится с горизонтом L( $br_1-br_2$ ). В сузунском лессе (sz)  $\chi$  меняется в пределах  $32,2 \cdot 10^{-5} \dots 29,9 \cdot 10^{-5}$ , что несколько меньше, а в некоторых точках и значительно меньше, чем в ископаемых почвах. В области субаквальных отложений на общем фоне низких значений  $\chi$  выделяется интервал 17,4...18,8 м со стабильно высокой магнитной восприимчивостью порядка  $50 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Ниже наблюдается область скачкообразных изменений  $\chi$  на уровне 19,7...20,2 м. В алевритах у уреза воды значения  $\chi$  вновь повышаются.



**Рис. 1. Геологический разрез лессово-почвенных отложений у пос. Петропавловское:** а) литологическое строение разреза: 1 – гумусовый горизонт почвы; 2 – суглинок; 3 – суглиник опесчаненный; 4 – песок; 5 – алеврит опесчаненный; 6 – трещины усыхания; 7 – норы землероев; 8 – карбонатные новообразования и конкреции; 9 – ожелезнение; 10 – марганцевые дробовины и крап; 11 – гипс; 12 – раковины моллюсков; 13 – остатки млекопитающих; б) изменение магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) с глубиной; в) изменение параметра FD / Fig. 1. The geological cross-section of loess-soil deposits near the Petropavlovskoe village: a) lithological structure of the cross-section: 1 – humus horizon of soil; 2 – loam; 3 – sandy loam; 4 – sand; 5 – sandy siltstone; 6 – shrinkage cracks; 7 – burrows of burrowing animals; 8 – carbonate growths and nodules; 9 – ferritization; 10 – manganese particles; 11 – dupsum; 12 – clamshells; 13 – remains of mammals; b) change in magnetic susceptibility ( $\chi$ ) with depth; c) change the FD parameter

Частотно-зависимая магнитная восприимчивость (*FD*) меняется в пределах 0,1...9,61 %. После относительно высоких (6,0...7,12 %) значений, характерных для современной почвы, показатели снижаются до 0,8...2,1 % (не считая двух единичных выбросов до 4,2 %), вплоть до 4,7...5,0 м, что соответствует примерно нижней границе верхней искитимской почвы (*is*<sub>2</sub>). Затем в тулинском лессе (*tl*) начинается постепенное увеличение *FD* и достигает 7,0 %,

выделяя бердский педокомплекс (br). В интервале 8...12 м, который захватывает толщу сузунского лёсса (*sz*), *FD* составляет 1,8...2,2 %. Далее до уреза воды значения *FD* находятся в пределах 0,2...2,1 %.

На ориентированных образцах изменился более полный ансамбль петромагнитных характеристик (табл. 1). На рис. 2 показано качественное распределение этих параметров по разрезу.

Таблица 1 / Table 1

Петромагнитные характеристики отложений разреза /  
Petromagnetic characteristics of sediments of the cross-section

Слой / Stratum	$\chi \cdot 10^{-5}$ (SI)	NRM (A/m) /	SIRM (A/m)	ARM (A/m)	FD, %	$\chi/SIRM \cdot 10^{-5}$	$\chi/ARM \cdot 10^{-5}$	SIRM/ARM	
Субаэральные отложения / Subaerial deposits	bg	80	0,017	10,4	0,128	0	7,69	625	81,3
	el	44	0,023	6,2	0,118	1,6	7,10	373	52,5
	<i>is</i> <sub>2</sub>	50	0,026	6,9	0,113	2,1	7,25	442	61,1
	L( <i>is</i> <sub>1</sub> - <i>is</i> <sub>2</sub> )	35	0,026	5,1	0,117	1,0	6,86	299	43,6
	<i>is</i> <sub>1</sub>	52	0,034	6,6	0,203	2,4	7,88	256	32,5
	<i>tl</i>	39	0,019	5,1	0,132	2,0	7,65	295	38,6
	<i>br</i> <sub>2</sub>	47	0,014	6,0	0,171	6,0	7,83	275	35,1
	L( <i>br</i> <sub>1</sub> - <i>br</i> <sub>2</sub> )	46	0,007	6,8	0,217	5,2	6,76	212	31,3
	<i>br</i> <sub>1</sub>	58	0,030	6,7	0,283	7,2	8,66	205	23,7
		39	0,015	7,0	0,127	1,5	5,57	307	55,1
	<i>sz</i>	44	0,013	7,9	0,134	1,4	5,57	328	59,0
		15	0,005	2,4	0,024	0,7	6,25	625	100,0
Субаквальные отложения / Subaquatic deposits		17	0,005	2,5	0,021	1,8	6,80	810	119,0
		40	0,007	3,5	0,046	0,5	11,40	870	76,1
		14	0,006	1,2	0,024	1,4	11,70	583	50

Показания магнитной восприимчивости  $\chi$  и остаточной намагниченности насыщения *SIRM* указывают на количество магнитной фракции в породе. Корреляция между этими величинами велика, и в данном случае коэффициент корреляции  $C=0,91$ . Поведение идеальной намагниченности *ARM* отличается от этих двух характеристик и имеет выраженные пики на глубинах 4,9 и 7,6 м; т. е. в почвенных горизонтах *is*<sub>1</sub> и *br*<sub>1</sub> присутствует значительное количество однодоменных магнитных зерен. Эти почвы разреза наиболее развиты и хорошо структурированы, чего нельзя сказать о более поздних вторых почвах

искитимского и бердского педокомплексов. Величины соотношений  $\chi/SIRM$ ,  $\chi/ARM$  и *SIRM/ARM* пропорциональны размерам магнитных зерен. Наиболее крупнозернистая магнитная фракция характеризует субаквальные отложения. В оглеенном горизонте в нижней части разреза наблюдается спад значений  $\chi/ARM$  и *SIRM/ARM* в отличие от возрастания соотношения  $\chi/SIRM$ . В процессе оглеения в первую очередь уничтожаются мелкие однодоменные и суперпарамагнитные зерна [8], что ведет к возрастанию среднего размера зерна магнитной фракции.

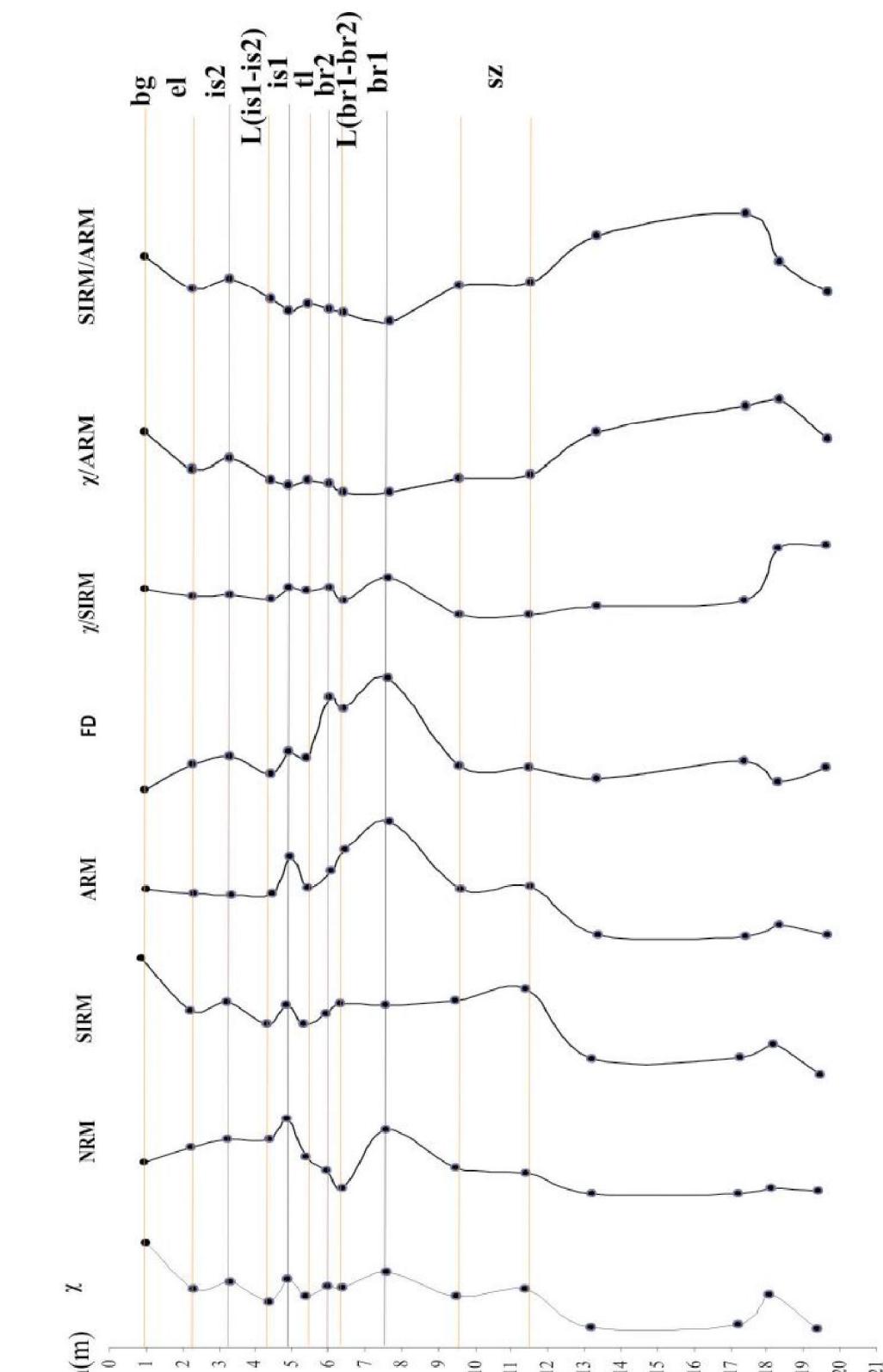


Рис. 2. Изменение петромагнитных характеристик по разрезу /  
Fig. 2. Changes in the petromagnetic characteristics with depth of the cross-section

**Обсуждение результатов исследования.** Структура верхнеплейстоценовой лёссово-почвенной последовательности южной части Западной Сибири показывает периодичность условий почвообразования и лёссонакопления, связанных с изменением влажности и температуры. Она состоит из трех горизонтов лёссов (баганский, ельцовский и тулинский) и двух педокомплексов (искитимский и бердский).

Баганский лёсс выделен в составе сартанского горизонта и соответствует второй половине изотопно-кислородной стадии МИС-2. В стратиграфической схеме субаэральных отложений Западной Сибири [4. С. 78] под ним располагается суминская почва, которая в изученном разрезе отсутствует, поэтому баганский лёсс лежит непосредственно на ельцовском лёссе. Ельцовский лёсс формировался в первую половину сартанского оледенения, лежит на образованиях каргинского интерстадиала (МИС-3), представленных нижней и верхней искитимской почвами. Тулинский лёсс соответствует МИС-4 и перекрыт отложениями искитимского педокомплекса (МИС-3). Ниже находится бердский педокомплекс, коррелируемый со стадией МИС-5с,е, сформировавшийся на сузунском лёссе (МИС-6).

Результаты петромагнитного анализа позволяют отнести механизм записи палеоклиматического сигнала в магнитных свойствах лессов и почв данного разреза Предалтайской равнины к «китайскому» типу, который характеризуется повышением магнитной восприимчивости в почвах за счет биохимического образования тонкодисперсных магнитных минералов во время теплых влажных периодов [9;

10; 13]. С другой стороны, ветровая активность во время образования лессов в холодные сухие эпохи была не слишком активна, вследствие чего магнитная восприимчивость в лессах по сравнению с почвами снижена. Исключение составляют аллювиальные отложения нижней части разреза, где крупнозернистая фракция, по всей видимости, принесена рекой. Наличие в почвенных горизонтах суперпарамагнитных и однодоменных магнитных зерен подтверждается повышением параметра  $FD$ , что особенно видно в горизонтах бердского педокомплекса. Рассмотрение характеристик  $SIRM$ ,  $ARM$  и соотношений  $\chi/SIRM$ ,  $\chi/ARM$  и  $SIRM/ARM$  позволяет провести более подробную климатическую дифференциацию почв. Так, кривая изменения идеальной намагниченности  $ARM$ , в отличие от остаточной намагниченности насыщения  $SIRM$ , имеет два выраженных пика, которые сопровождаются снижением значений  $\chi/ARM$  и  $SIRM/ARM$  (рис. 2). Эти точки приходятся на первые (нижние) почвы педокомплексов. Что касается нижней бердской почвы, то интенсивность педогенеза, во время которого образуются тонкодисперсные магнитные материалы, не вызывает сомнений. Этому способствуют высокая среднегодовая температура и большое количество осадков (табл. 2) [4]. Остальные три почвы образовывались в примерно одинаковых климатических условиях, но первая искитимская почва характеризуется повышенным годовым количеством осадков, что находит отражение в петромагнитных параметрах. Можно сделать предположение, что биохимические процессы в почвах более чувствительны к влажности климата, чем к температуре.

Таблица 2 / Table 2

Климатические характеристики почв разреза / Climatic characteristics of the cross-section soils

Почва / Soil	Изотопно-кислородная стадия / Isotope-oxygen stage	Среднегодовая температура, °C / Annual average temperature, °C	Количество осадков, мм/год / Amount of precipitation, mm/year
is <sub>2</sub>	3	0	300
is <sub>1</sub>	3	0	400
br <sub>2</sub>	5c	0	300
br <sub>1</sub>	5e	4	> 600

**Заключение.** Стратиграфические данные, полученные при изучении разреза по р. Ануй у пос. Петропавловское, позволили выделить две толщи – субаэральную и субаквальную. Субаэральная толща, соответствующая верхней части лёссово-почвенной последовательности Западной Сибири [4], включающая два педокомплекса (МИС-3 и МИС-5с,е) и четыре горизонта лессов (МИС-2,4,6), сформировалась во время позднего и конца среднего плейстоцена. Детальные петромагнитные исследования позволили отнести механизм записи палеоклиматического сигнала в магнитных свойствах лессов и почв разреза Алтайской предгорной равнины к «китайскому» типу.

Для теплых и влажных климатических условий, во время образования почв, зафиксирована высокая активность биохимических процессов, которые сопровождались образованием тонкодисперсных суперпарамагнитных и однодоменных магнитных зерен, причем активность биохимических процессов в большей степени зависела от влажности климата. В холодные сухие периоды, связанные с образованием лессов, ветровая активность была недостаточной для привноса в осадок большого количества крупнозернистых магнитных частиц. В лессах зафиксированы более низкие, чем в почвах, значения концентрационно зависимых магнитных характеристик.

### Список литературы

---

1. Бабанин В. Ф., Трухин В. И., Карпачевский Л. О., Иванов А. В., Морозов В. В. Магнетизм почв. Ярославль: ЯГТУ, 1995. 223 с.
2. Бахмутов В. Г., Казанский А. Ю., Матасова Г. Г., Главацкий Д. В. Петромагнетизм и магнитостратиграфия лессово-почвенных серий Украины (разрезы Роксоланы, Боянычи и Коршев) // Физика Земли. 2017. № 6. С. 65–86.
3. Главацкий Д. В., Кузина Д. М., Герасименко Н. П., Бахмутов В. Г. Петромагнетизм и палеомагнетизм четвертичных лессово-почвенных отложений разреза Вязовок (приднепровская низменность) // Геофизический журнал. 2016. Т. 38, № 6. С. 186–193.
4. Зыкина В. С., Зыкин В. С. Лессово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене. Новосибирск: Гео, 2012. 477 с.
5. Зыкин В. С., Зыкина В. С., Смолянинова Л. Г., Рудая Н. А., Форонова И. В., Маликов Д. Г. Новые данные по стратиграфии четвертичных отложений предгорий северо-западного Алтая (долина реки Песчаной) // Археология, этнография и антропология Евразии. 2017. Т. 45, № 3. С. 3–16.
6. Казанский А. Ю., Матасова Г. Г., Щетников А. А., Филипов И. А., Чегис В. В. Гистерезисные характеристики субаэральных отложений Прибайкалья // Физика Земли. 2017. № 5. С. 173–184.
7. Кузьмина О. Б., Гибиденко З. Н., Хазин Л. Б., Хазина И. В. Новые данные по стратиграфии (палиноморфы, остракоды, палеомагнетизм) континентальных кайнозойских отложений Ишимской равнины, Западная Сибирь // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2017. Т. 25, № 3. С. 109–128.
8. Матасова Г. Г. Магнетизм позднеплейстоценовых лессово-почвенных отложений сибирской субаэральной формации: дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Новосибирск, 2006. 276 с.
9. Anwar T., Kravchinsky V. A., Zhang R. Magneto and cyclostratigraphy in the red clay sequence: new age model and paleoclimatic implication for the Eastern Chinese loess plateau // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2015. Vol. 120. No. 10. P. 6758–6770.
10. Chen J., Liu X., Kravchinsky V. A. Response of the high-resolution Chinese loess grane size record to the 50°N integrated winter insolation during the last 500,000 years // Geophysical Research Letters. 2014. Vol. 41. No. 17. P. 6244–6251.
11. Chen J., Liu X., Lü B., Kravchinsky V. A., Chen Q. Post-depositional forcing of magnetic susceptibility variations at Kurlak section, Siberia // Quaternary International. 2016. Vol. 418. P. 2–9.
12. Evans M. E., Rutter N. W., Catto N. Teleconnection between the Siberian loess record and North Atl. antic, Heinrich events // Magnetoclimatology: Geology. 2003. Vol. 31. No. 6. P. 537–540.
13. Guo X., Liu X., Lü B., Li P., Guo H., Liu Z., Ma M., Chen Q. The magnetic mechanism of paleosol S5 in the Baol section of the Southern Chinese loess plateau // Quaternary International. 2013. Vol. 306. P. 129–136.
14. Jensen B. J. L., Froese D. G., Evans M. E., Kravchinsky V. A. 150,000 years of loess accumulation in Central Alaska // Quaternary Science Reviews. 2016. Vol. 135. P. 1–23.

## References

---

1. Babanin V. F., Trukhin V. I., Karpachevsky L. O., Ivanov A. V., Morozov V. V. *Magnetizm pochv* (Soil magnetism). Yaroslavl: YGTU, 1995. 223 p.
2. Bakhmutov V. G., Kazansky A. Yu., Matasova G. G., Glavatsky D. V. *Fizika Zemli* (Earth Physics), 2017, no. 6, pp. 65–86.
3. Glavatsky D. V., Kuzina D. M., Gerasimenko N. P., Bakhmutov V. G. *Geofizicheskiy zhurnal* (Geophysical Journal), 2016, vol. 38, no. 6, pp. 186–193.
4. Zytkina V. S., Zykin V. S. *Lessovo-pochvennaya posledovatelnost i evolyutsiya prirodnoy sredy i klimata Zapadnoy Sibiri v pleystotsene* (Loess-soil sequence and evolution of the natural environment and climate of Western Siberia in the Pleistocene). Novosibirsk: Geo, 2012. 477 p.
5. Zykin V. S., Zytkina V. S., Smolyaninova L. G., Rudaya N. A., Foronova I. V., Malikov D. G. *Arheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii* (Archaeologists, ethnography and anthropology of Eurasia), 2017, vol. 45, no. 3, pp. 3–16.
6. Kazansky A. Yu., Matasova G. G., Schetnikov A. A., Filinov I. A., Chegis V. V. *Fizika Zemli* (Physics of the Earth), 2017, no. 5, pp. 173–184.
7. Kuzmina O. B., Gnibidenko Z. N., Khazin L. B., Khazina I. V. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya* (Stratigraphy. Geological correlation), 2017, vol. 25, no. 3, pp. 109–128.
8. Matasova G. G. *Magnetizm pozdnepleystotsenovyh lessovo-pochvennyh otlozheniy sibirskoy subaerhalnoy formatsii: dis. ... d-ra geol.-miner. nauk* (Magnetism of Late Pleistocene Loess-Soil Sediments of the Siberian Subaerial Formation: dis. ... dr. geol.-miner. sciences). Novosibirsk, 2006. 276 p.
9. Anwar T., Kravchinsky V. A., Zhang R. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (Journal of Geophysical Research: Solid Earth), 2015, vol. 120, no. 10, pp. 6758–6770.
10. Chen J., Liu X., Kravchinsky V. A. *Geophysical Research Letters* (Geophysical Research Letters), 2014, vol. 41, no. 17, pp. 6244–6251.
11. Chen J., Liu X., Lü B., Kravchinsky V. A., Chen Q. *Quaternary International* (Quaternary International), 2016, vol. 418, pp. 2–9.
12. Evans M. E., Rutter N. W., Catto N. *Magnetoclimatology: Geology* (Magnetoclimatology: Geology), 2003, vol. 31, no. 6, pp. 537–540.
13. Guo X., Liu X., Lü B., Li P., Guo H., Liu Z., Ma M., Chen Q. *Quaternary International* (Quaternary International), 2013, vol. 306, pp. 129–136.
14. Jensen B. J. L., Froese D. G., Evans M. E., Kravchinsky V. A. *Quaternary Science Reviews* (Quaternary Science Reviews), 2016, vol. 135, pp. 1–23.

## Коротко об авторах

---

**Смоляниова Любовь Геннадьевна**, канд. техн. наук, научный сотрудник, Институт геологии и минералогии СО РАН им. В. С. Соболева, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: палеомагнетизм, петромагнетизм, магнитостратиграфия, статистический анализ  
smol@igm.nsc.ru, lsmol@yandex.ru

**Зыкина Валентина Семеновна**, д-р геол.-минер. наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии и минералогии СО РАН им. В. С. Соболева, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: стратиграфия, палеонедология  
zykina@igm.nsc.ru

**Пронина Ирина Анатольевна**, инженер, Институт геологии и минералогии СО РАН им. В. С. Соболева, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: почвоведение, петромагнетизм  
pronina\_i@igm.nsc.ru

**Briefly about the authors**

---

**Lyubov Smolyaninova**, candidate of technical sciences, research scientist, Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences named after V. Sobolev, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: paleomagnetism, petromagnetism, magnetostratigraphy, statistical analysis

**Valentina Zykina**, doctor of geological and mineralogical sciences, leading research scientist, Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences named after V. Sobolev, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: stratigraphy, paleopedology

**Irina Pronina**, engineer, Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences named after V. Sobolev, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: soil science, petromagnetism

---

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ — проект 16-05-00371А,  
государственного задания — проект № 0330-2016-0017.

---

**Образец цитирования**

---

Смолянинова Л. Г., Зыкина В. С., Пронина И. А. Петромагнитные индикаторы климата в геологическом разрезе долины реки Ануя (Алтайская предгорная равнина) // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2018. Т. 24. № 8. С. 39–48. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-8-39-48.

*Smolyaninova L., Zykina V., Pronina I. Petro-magnetic climate indicators in the geological section of the Anui river valley (predaltaian plain) // Transbaikal State University Journal, 2018, vol. 24, no. 8, pp. 39–48. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-8-39-48.*

Статья поступила в редакцию: 17.04.2018 г.  
Статья принята к публикации: 05.10.2018 г.

