

# ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ПАЛЕОПОЧВ КУРГАННОЙ ГРУППЫ «АВИЛОВ» КАК ОТРАЖЕНИЕ ДИНАМИКИ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РУССКОЙ РАВНИНЫ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ ГОЛОЦЕНА

Т. В. Татьяначенко, Т. В. Алексеева

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН*

*Поступила в редакцию 28 февраля 2012 г.*

**Аннотация.** Рассмотрены базовые свойства, минеральный и химический составы илстой фракции и валовых образцов, магнитная восприимчивость, содержание и характеристика органического вещества современной каштановой почвы и палеопочв позднего голоцена, расположенных на территории Волгоградской области (курганная группа «Авиллов»). Изучение илстой фракции показало наличие в почвах процессов преобразования минеральной массы (иллитизация смектитов и разрушение (сохранение) хлоритов), откликающихся на изменение климатических условий. По валовому химическому составу почв выявлены геохимические коэффициенты, достоверно отвечающие климатическим условиям формирования почв (величине атмосферных осадков): CIA ( $R^2 = 0.73$ ),  $Al_2O_3 / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$  ( $R^2 = 0.75$ ), Rb/Sr ( $R^2 = 0.67$ ). Наличие скрытокристаллической формы Mg-кальцита в горизонтах A1 и B1 некоторых погребенных почв свидетельствует о жарких и аридных климатических условиях их формирования.

**Ключевые слова:** палеопочвы археологических памятников, поздний голоцен, минеральный состав почв, химический состав почв, органическое вещество, палеоклимат.

**Abstract.** The objectives of this study were the modern chestnut soil and late Holocene paleosoils buried under archaeological monuments ("kurgans"), located on the territory of the Volgograd region (kurgan "Avilov"). The following properties have been studied: basic soil properties, clay mineralogy, chemical composition, magnetic susceptibility, content and properties of organic matter of clay fractions and bulk soils. The study of the mineralogical composition of clay fraction showed the presence of mineral mass transformation processes which take place in upper 40 cm of soil profiles and reflect the changes of climatic conditions. The illitization of smectites, destruction of chlorites under humid climate and their preservation under arid are the most significant. It has been found that the geochemical indices CIA,  $Al_2O_3 / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$ , Rb/Sr are the most sensitive to dynamics of climate. FTIR-spectra of the clay fraction showed the formation of cryptocrystalline Mg-calcite in A1 and B1-hor of soil, buried 4000 yr BP (profile D-510) caused, by our opinion, by hot and arid climate conditions.

**Key words:** paleosoils of archaeological monuments, late Holocene, soil mineralogy, soil chemistry, organic matter, paleoclimate

## Введение

Комплексное изучение почв, погребенных под археологическими памятниками (курганами) на территории степной зоны Нижнего Поволжья с применением почвенно-археологического, радиоуглеродного, микробиологического, геофизических и химических методов для реконструкции условий образования почв в прошлые исторические эпохи проводится различными авторами, начиная с 1990-х годов [1–11 и др.]. Ими установлена зависимость свойств разновозрастных почв от пространственно-временной изменчивости условий

почвообразования на изученной территории за последние 6000 лет.

Нами привлечен комплекс методов для изучения минерального и химического составов, содержания и свойств органического вещества этих палеопочв для получения геохимических и минеральных индикаторов палеоклимата.

Объектом изучения была курганная группа «Авиллов». Район исследования относится к зоне сухих степей (Волгоградская область, Иловлинский район) и приурочен к южной части Приволжской возвышенности. Естественный растительный покров представлен белопопынно-злаковой и белопопынно-ромашниково-злаковой ассоциациями. Климат района исследований умеренно-континент-

тальный. Среднегодовое количество осадков 350 мм/год. В современном почвенном покрове территории преобладают каштановые солонцеватые засоленные почвы.

Палеопочвенное изучение курганов осуществлялось сотрудниками Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (Пушино): В.А. Демкиным, Т.С. Демкиной, Т.Э. Хомутовой, А.В. Борисовым, М.В. Ельцовым, Н.Н. Каширской, А.О. Алексеевым, Т.В. Алексеевой, П.И. Калинин и др. [12–17]. Исследованный педохроноряд включает палеопочвы, сформированные на данной территории ~5100 (разрез Д-538), ~4900 (разрез Д-534), ~4000 (разрез Д-510), ~1900 (разрез Д-503), ~1750 (разрез Д-509), ~700 лет назад (разрез Д-504) и современную каштановую почву (разрез Д-505). Время создания курганных насыпей было определено методом археологического датирования. Среди палеопочв преобладают каштановые солонцеватые почвы в различной степени засоленные. Исключением является палеопочва, погребенная 4000 лет назад (л.н.) (разрез Д-510), которая относится к каштановидной карбонатной несолонцеватой почве. Почвы сформированы на покровных лёссовидных суглинках ( $Q_{III}$ ), которые подстилаются мелкозернистыми песками аллювиального происхождения.

Целью данной работы было выявление роли климата (степени его увлажненности) в формировании минерального и химического составов погребенных под курганными насыпями разновозрастных почв. Изучение содержания и свойств органического вещества (ОВ) в валовых образцах и илстой фракции палеопочв направлено на выявление связей между потерями ОВ, климатом и временем погребения почвы. Исследованы физико-химические свойства современной каштановой почвы и палеопочв (гранулометрический состав, рН среды, содержание карбонатов, гипса); минеральный состав илстой фракции, химический состав валовых образцов и их илстой фракции; величина магнитной восприимчивости ( $\chi$ ), содержание и свойства ОВ.

### **Методика эксперимента**

Илстая фракция почв (< 2 мкм) была выделена методом отмучивания. Предварительно навеску почвы обрабатывали 10 % раствором  $H_2O_2$  для удаления органического вещества. Минеральный состав определен на основе метода рентгеновской дифрактометрии (ДРОН-3, Си-излучение, Ni-фильтр). Изучены монокатионные формы илстой

фракции (Mg, K, Li), насыщенные этиленгликолем, прокаленные до 350 и 550 °С. Количественную оценку содержания групп глинистых минералов проводили по методике Бискайя [18].

В последнее время при проведении палеореконокструкций природной среды стал применяться геохимический метод исследований. Его суть заключается в использовании геохимических коэффициентов, которые рассчитываются по отношениям макро- и микроэлементов [19]. Измерения их концентраций в почвах осуществлялись на аппарате «Spectroscan МАКС–GV» методом рентген-флуоресцентного анализа. Возможность использования метода геохимических коэффициентов для проведения палеореконокструкций природной среды показана в работах [16; 17; 20; 21]. На основании этих публикаций мы остановились на коэффициентах, наиболее чувствительных к изменениям увлажненности климата:  $CIA = 100[Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)]$  [22; 23],  $Al_2O_3/(CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$  [24], Ba/Sr [25], Rb/Sr [26]. Величины  $\chi$  почв определены с использованием оборудования Kappabridge KLY-2.

Органическое вещество почв и органо-минеральных комплексов (илстой фракции) изучено традиционным для почвоведения методом И.В. Тюрина [27], с применением CNS-анализатора (Elementar Vario EL III), методов масс-спектрометрии и Фурье-ИК спектроскопии. Исследования ИК-спектров горизонтов А1 и В1 валовых образцов и илстой фракции почв проводились на приборе Nicolet 6700 FT-IR в диапазоне 4000–400  $cm^{-1}$  (техника KBr). Препараты для съемки готовились путем измельчения 1 мг пробы и 199 мг KBr до состояния пудры и дальнейшего прессования твёрдых проб в таблетки. Статистическая обработка комплекса полученных экспериментальных данных проводилась с помощью программы Statsoft Statistica 6.

### **Результаты и их обсуждение**

#### *Основные свойства изученных почв*

Почвы исследуемого хроноряда характеризуются щелочной реакцией среды. Величина рН изменяется в пределах от 7.3 до 9.0. Отмечается некоторое увеличение значений в нижней части профилей. Содержание органического углерода в горизонтах А1 изученных почв составляет 0.59–2.01 % (табл. 1).

Для всех изученных почв содержание карбонатов ( $CaCO_3$ ) по профилю колеблется в пределах от 0.1 до 18.4 %. При этом их количество в карбонатных горизонтах (В2са) достигает 7.6–16.9 %. Не-

Таблица 1  
Основные свойства изученных почв курганной группы «Авилов»

№ п/п	Гори-зонт	Глубина, см	pH	Сорг, %	СаСО <sub>3</sub> , %	СаСО <sub>4</sub> , %	Содержание частиц (мм) в %		ил В / ил А	СДП*	СИ**	χ, 10 <sup>-8</sup> м <sup>3</sup> кг <sup>-1</sup>
							< 0,001	< 0,01				
Разрез Д-505, современная каштановая слабосолонцеватая солончаковая почва												
1	А1	0-10	7,3	2,01	0,1	0	12,0	69	1,87	10,4	30,2	38
2	В1	10-26	7,6	1,65	0,2	0	22,4	60				44
3	В са	26-36	8,6	0,79	6,7	0	26,7	54				29
4	ВС	36-82	9,0	0,43	18,4	0,3	26,8	51				13
5	ВССа	82-130	8,3	12,3	0,3	0,3	27,5	54				15
6	С	130-160	8,1	9,5	1,9	0	14,0	68				16
Разрез Д-504, каштановая остаточносолонцеватая глубокозасоленная почва (700 л.н.)												
7	А1	0-12	8,6	1,07	0,1	0,1	13,9	65	1,92	12,8	31,5	74
8	В1	12-32	7,8	1,10	0,2	0,2	26,7	56				68
9	В2	32-47	8,4	0,80	12,4	0,3	30,6	48				25
10	ВССа	47-86	8,6	0,29	15,4	0,1	30,0	52				15
11	С	86-90	8,4	8,0	0,2	0,2	23,2	66				13
Разрез Д-509, каштановая среднесолонцеватая солончаковая почва (1750 л.н.)												
12	А1	0-10	8,7	0,99	4,9	0,8	21,0	63	1,35	7,4	15,0	46
13	В1	10-29	8,4	1,24	2,4	6,6	28,4	56				45
14	В2	29-40	8,7	0,90	14,2	2,6	28,0	53				22
15	ВССа	40-83	8,8	0,36	16,5	2,1	32,0	51				17
16	С	83-124	8,9	11,3	1,8	1,8	26,2	60				16
17	С.г	124-174	8,7	7,6	7,1	0	18,2	64				17
Разрез Д-503, каштановая слабосолонцеватая солончаковая почва (1900 л.н.)												
18	А1	0-13	8,1	1,14	0	0	19,0	57	1,38	7,3	16,1	76
19	В1	13-32	7,6	1,20	0,4	1,7	26,3	61				52
20	В2	32-46	7,8	0,90	8,0	3,6	27,3	57				19
21	ВССа	46-99	8,3	0,35	9,3	0,5	28,8	54				14
22	С	99-127	8,1	4,9	0,7	0,7	24,4	66				12
23	С.г	127-182	8,1	4,9	11,0	11,0	18,2	64				12
Разрез Д-510, каштановидная карбонатная несолонцеватая солончаковая почва (4000 л.н.)												
24	А1	0-12	8,3	0,73	4,9	1,8	22,4	64	1,00	0	0	34
25	В1	12-29	8,2	0,40	7,8	1,8	22,5	60				30
26	В2	29-44	8,5	0,42	13,8	0,9	26,0	56				19
27	ВССа	44-71	8,4	0,31	7,6	0,7	26,0	59				15
28	С.г	71-146	8,3	13,6	11,4	11,4	22,3	60				14
Разрез Д-534, каштановая слабосолонцеватая солончаковая почва (4900 л.н.)												
29	А1	0-9	8,3	0,87	3,1	0,6	13,3	65	1,89	11,8	30,7	46
30	В1	9-30	8,5	0,31	2,8	0,2	25,1	59				47
31	В2са	30-49	8,5	0,15	12,8	0,3	26,2	66				17
32	ВССа	49-75	8,5	0,33	14,3	0,1	22,8	60				16
33	С	75-115	8,7	12,6	0,3	0,3	26,4	58				15
34	С.г	115-209	8,4	9,3	2,7	2,7	17,9	66				16
Разрез Д-538, каштановая слабосолонцеватая солончаковая почва (5100 л.н.)												
35	А1	0-9	8,3	0,59	2,4	0,2	14,4	70	1,77	11,1	27,8	58
36	В1	9-30	8,2	0,31	2,6	0,0	25,5	61				55
37	В2са	30-54	8,5	0,15	14,7	0,3	27,2	57				17
38	ВССа	54-85	8,6	0,29	16,9	0,0	28,0	59				14
39	С	85-129	8,8	10,5	0,1	0,1	19,5	66				14

\* Степень дифференцированности профиля: содержание фракции < 0,001 мм в гор. В – содержание фракции < 0,001 мм в гор. А

\*\* Степень иллювированности профиля: (содержание фракции < 0,001 мм в гор. В – содержание фракции < 0,001 мм в гор. А) / (содержание фракции < 0,001 мм в гор. В + содержание фракции < 0,001 мм в гор. А) × 100 %.

которые почвы вскипают с поверхности. Максимальное содержание  $\text{CaCO}_3$  в гор. А1 и В1 наблюдается для почв, погребенных 4000 и 1750 л.н., где достигает 7.8 %.

Содержание гипса ( $\text{CaSO}_4$ ) в почвах колеблется от 0.1 до 11.4 %. Максимальное его количество в горизонте аккумуляции (С s g) достигает 11.4 % и характерно для почвы, погребенной 4000 л.н. Значительно обеднены  $\text{CaSO}_4$  почвы, погребенные 5100, 4900, 700 л.н. и фоновая каштановая почва. Здесь его содержание составляет 0.1–2.7 %.

Данные гранулометрического состава показали, что практически для всех изученных почв характерна текстурная дифференциация профиля, проявляющаяся в увеличении содержания фракции физической глины в гор. В1 почвенных профилей. Помимо морфологически-выраженной солонцеватости о развитии солонцового процесса свидетельствуют следующие текстурные признаки (критерии) солонцеватости: величина отношения содержания фракции  $< 0.001$  мм в гор. В1 к гор. А1 (ил В/ил А); степень дифференцированности профиля (СДП, содержание фракции  $< 0.001$  мм в гор. В – содержание фракции  $< 0.001$  мм в гор. А) [28]; степень иллювируемости профиля (СИ, содержа-

ние фракции 0.001 мм в гор. В – содержание фракции  $< 0.001$  мм в гор. А) / (сод. фракции  $< 0.001$  мм в гор. В + сод. фракции  $< 0.001$  мм в гор. А)  $\times 100$  % [28] (табл. 1). Полученные данные свидетельствуют о сходной степени солонцеватости почв, погребенных 5100, 4900, 700 лет назад и современной почвы. В этом случае величины варьируют в следующих пределах: ил В/ил А от 1.77 до 1.92, СДП от 10.4 до 12.8, СИ от 27.8 до 31.5. При этом максимумы параметров отмечаются для почвы средневековья. Менее выражены показатели солонцеватости в почвах, погребенных 1900 и 1750 лет – ил В/ил А от 1.35 до 1.38, СДП от 7.3 до 7.4, СИ от 15.0 до 16.1. Для почвы, погребенной 4000 л.н., признаков солонцеватости не обнаружено.

#### Магнитная восприимчивость почв

Профиль магнитной восприимчивости изученных почв представляет собой кривую аккумулятивного характера. Согласно графику (рис. 1) наиболее заметные изменения величины  $\chi$  характерны для верхних 40 см почвенных профилей. Прирост величины  $\chi$  относительно материнской породы здесь варьирует от 30 до  $76 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$ .

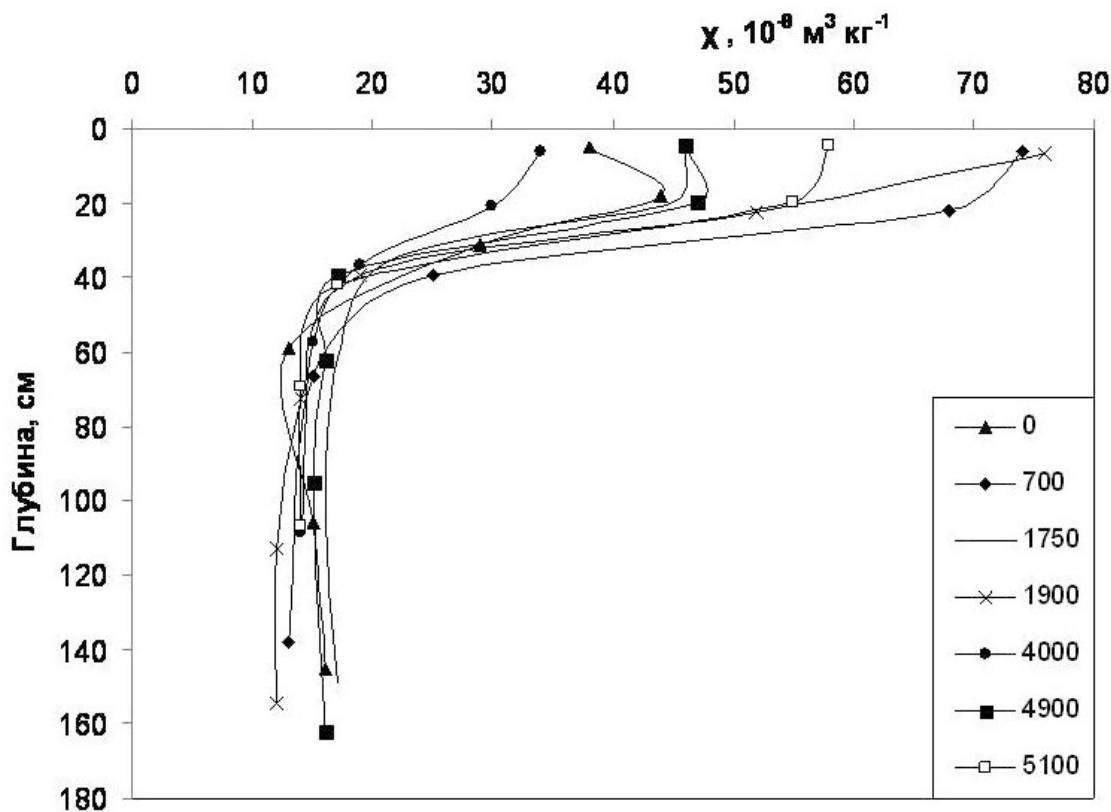


Рис. 1. Распределение величины магнитной восприимчивости по профилям изученных палеопочв

На основании ранее полученных зависимостей величины прироста магнитной восприимчивости от количества атмосферных осадков [29–32] был рассчитан уровень атмосферной увлажненности на исследуемой территории, который составил 330–420 мм/год. При этом наименьшее количество осадков характерно для почвы, погребенной 4000 л.н. (около 330 мм/год). Максимальная степень увлаж-

ненности отмечается для почв, погребенных 5100, 1900 л.н. и почвы средневековья (400–420 мм/год) (рис. 2). В дальнейшем полученные параметры были использованы для интерпретации процессов преобразования минеральной массы почв в связи с вариациями климатических условий в позднем голоцене.

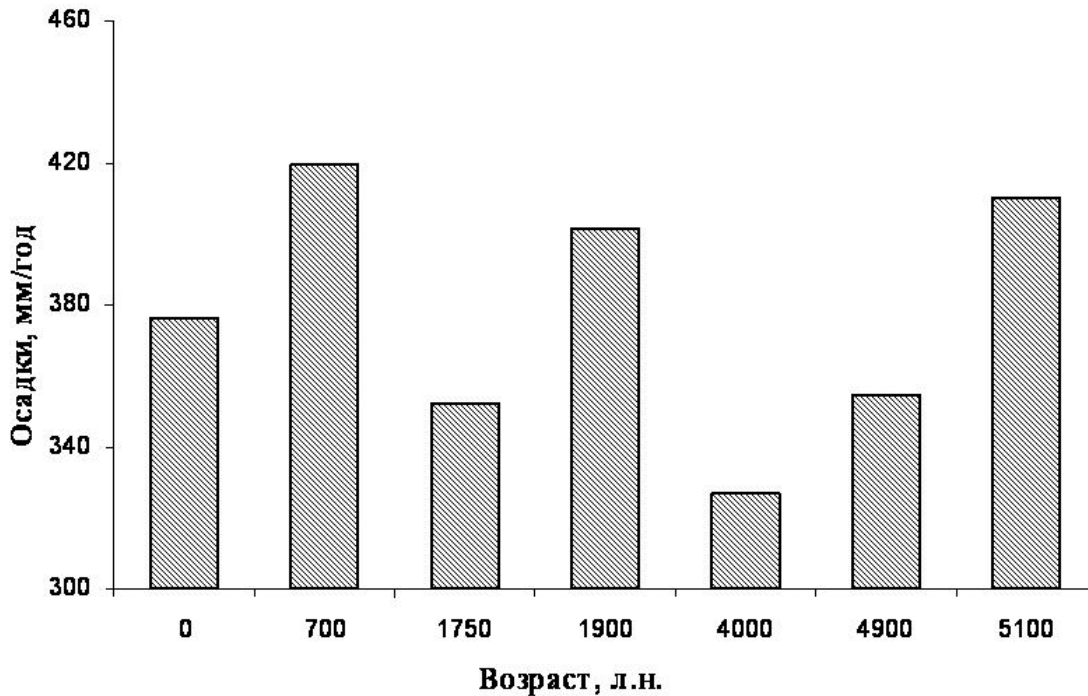


Рис. 2. Количественные реконструкции атмосферной увлажненности по магнитным свойствам палеопочв для различных временных этапов

#### Минеральный состав илистой фракции почв

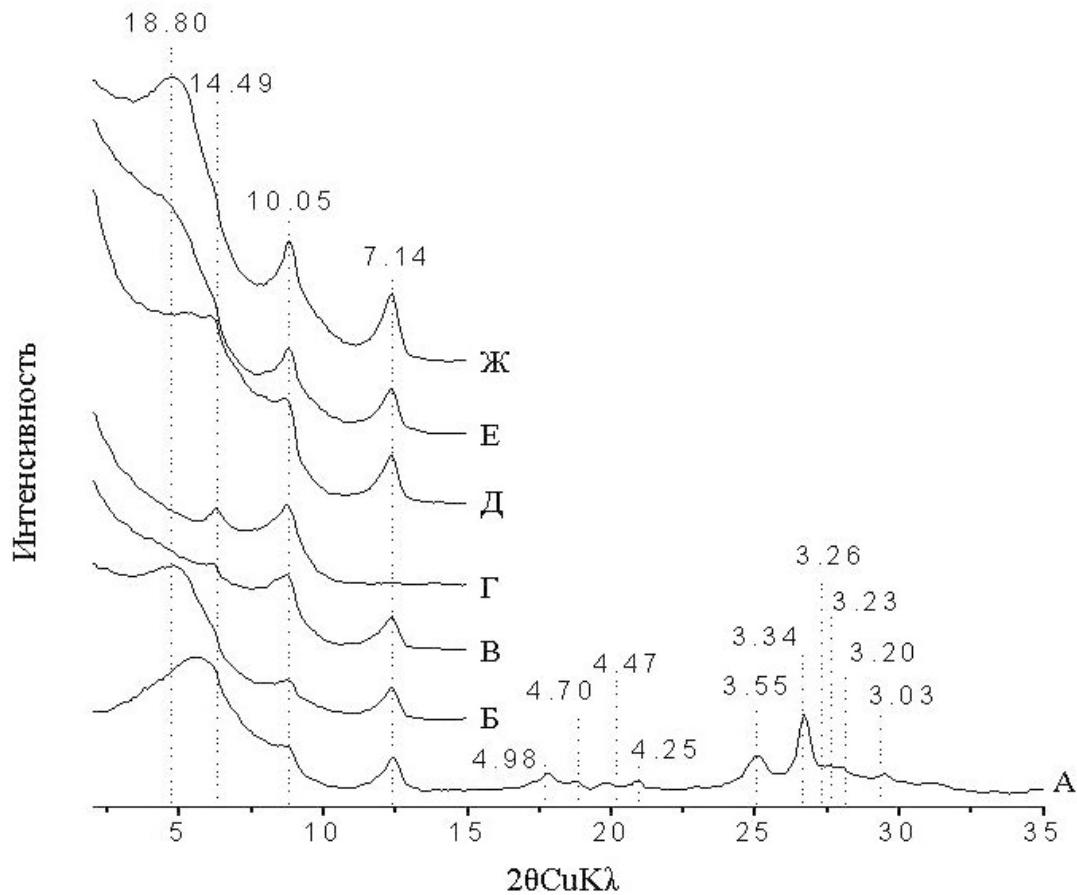
Рентген-дифрактограммы илистой фракции почвообразующей породы (разрез Д-505, современная почва) приведены на рис. 3. В минеральном составе илистой фракции покровного лёссовидного суглинка ( $Q_{III}$ ) преобладающей фазой является смектит, содержание которого достигает 50 % и более. Результаты К-теста (насыщение  $K^+$ , далее насыщение этиленгликолем) показали, что смектиты в К-форме частично сохраняют свою способность к набуханию, что свидетельствует о смешанной природе этого минерала. Результаты Li-теста ( $T = 250^\circ C$ ,  $t = 12$  часов, насыщение этиленгликолем) показали, что исходный базальный рефлекс смектита ( $d = 14.49 \text{ \AA}$ ) реагирует на насыщение этиленгликолем после прокаливания до  $250^\circ$  и смещается к  $18.80 \text{ \AA}$ . Второй по значимости фазой является диоктаэдрическая гидрослюда (33–36 %).

В составе илистой фракции также диагностируются каолинит и хлорит (12–20 %), карбонаты (кальцит), полевые шпаты, кварц (табл. 2).

В ходе изучения илистой фракции гор. А1 и В1 разновозрастных палеопочв (рис. 4) выявлено, что в профилях почв смектитовая фаза представлена смешанослойным иллит-смектитом, его содержание убывает к гор. А1, где составляет от 30 до 51 %, тогда как содержание гидрослюды возрастает в том же направлении и изменяется в пределах от 35 до 50 %. Для почв, имеющих признаки солонцеватости (погребенных 5100, 4900, 700 лет назад и современной почвы), наибольшее содержание смектитовой фазы отмечается в гор. В1 – 67 %. Максимально процессы преобразования минеральной массы почв затрагивают верхние 30 см профиля, в том числе и процесс разрушения хлоритовой фазы. Для почв, формирующихся в условиях наиболее

Таблица 2  
Количественное содержание групп глинистых минералов и значения геохимических коэффициентов выветривания

Гори-зонт	Глубина, см	Количественное содержание групп глинистых минералов					Значения геохимических коэффициентов						
		сметит, %	сметит (в почве)	слюда, %	слюда (в почве)	каолинит + хлорит, %	каолинит + хлорит, каоил + хлор (в почве)	CIA	Rb/Sr		Ba/Sr		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / (CaO + MgO + K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O)
									вал	ил	вал	ил	
Разрез Д-505, современная каштановая слабоосолонцеватая глубоководнокаштановая почва													
A1	0-10	30	4	50	6	19	2	66	0.62	1.50	2.69	7.34	1.41
B1	10-26	60	13	26	6	14	3	66	0.56	0.94	2.75	5.48	1.36
B <sub>2</sub> ca	26-36	43	12	41	11	16	4	29	0.28	0.49	2.00	3.96	0.31
BC	36-82	48	13	33	9	20	5	25	0.25	0.31	1.83	2.88	0.26
BCca	82-130	52	14	28	8	20	6	35	0.28	0.46	1.90	3.25	0.42
C	130-160	53	7	35	5	12	2	36	0.21	0.52	1.54	3.29	0.42
Разрез Д-504, каштановая остаточно-солонцеватая глубоководнокаштановая почва (700 л.н.)													
A1	0-12	49	7	41	6	10	1	66	0.55	1.24	2.25	5.15	1.39
B1	12-32	61	16	30	8	10	3	66	0.56	1.12	2.86	5.76	1.35
B2	32-47	64	20	21	6	15	4	29	0.36	0.55	2.25	3.26	0.32
BCca	47-86	61	18	24	7	16	5	26	0.30	0.41	1.89	2.57	0.27
C	86-90	49	11	36	8	15	3	37	0.35	0.64	2.15	3.24	0.45
Разрез Д-509, каштановая среднесолонцеватая солончакватая почва (1750 л.н.)													
A1	0-10	49	10	38	8	12	3	50	0.48	0.98	2.39	4.53	0.75
B1	10-29	67	19	21	6	13	4	58	0.44	1.03	2.33	6.10	0.99
B2	29-40	58	16	21	6	21	6	32	0.27	0.54	1.78	4.19	0.36
BCca	40-83	49	16	34	11	17	6	25	0.26	0.37	1.77	3.37	0.27
C	83-124	46	12	34	9	19	5	32	0.22	0.53	1.54	3.32	0.36
C, s, г	124-174	52	0	35	0	13	0	39	0.20	0.76	1.32	4.62	0.49
Разрез Д-503, каштановая слабоосолонцеватая глубоководнокаштановая почва (1900 л.н.)													
A1	0-13	44	8	44	8	11	2	65	0.51	1.52	2.50	7.18	1.33
B1	13-32	67	18	20	5	13	3	57	0.50	1.13	2.23	6.13	0.97
B2	32-46	54	15	27	7	18	5	27	0.28	0.51	1.89	3.66	0.29
B <sub>2</sub> ca	46-99	61	17	24	7	15	4	26	0.27	0.33	1.88	2.92	0.27
C	99-127	53	13	29	7	18	4	35	0.33	0.53	2.05	3.41	0.42
C, г	127-182	51	9	33	6	15	3	31	0.23	0.74	1.59	4.04	0.34
Разрез Д-510, каштановидная карбонатная почва (4000 л.н.)													
A1	0-12	51	11	32	7	17	4	44	0.37	1.09	2.11	5.85	0.59
B1	12-29	51	11	31	7	18	4	40	0.33	0.66	2.05	4.39	0.51
B2	29-44	57	15	26	7	17	4	29	0.23	0.49	1.77	3.65	0.32
BCca	44-71	46	12	35	9	19	5	28	0.24	0.36	1.73	3.38	0.30
C, s, г	71-146	46	10	34	8	20	4	31	0.21	0.74	1.48	4.77	0.35
Разрез Д-534, каштановая слабоосолонцеватая солончакватая почва (4900 л.н.)													
A1	0-9	44	6	39	5	18	2	61	0.49	1.28	2.48	4.70	1.12
B1	9-30	55	14	32	8	14	3	65	0.42	1.26	2.02	5.86	1.36
B <sub>2</sub> ca	30-49	55	15	28	7	17	4	33	0.28	0.56	1.90	3.70	0.38
BCca	49-75	33	8	45	10	22	5	27	0.26	0.37	1.83	3.04	0.29
C	75-115	54	14	28	7	18	5	34	0.25	0.42	1.84	3.62	0.39
C, г	115-209	49	9	33	6	19	3	37	0.28	0.64	1.75	4.12	0.44
Разрез Д-538, каштановая слабоосолонцеватая глубоководнокаштановая почва (5100 л.н.)													
A1	0-9	49	7	35	5	15	2	65	0.51	1.97	2.20	6.71	1.37
B1	9-30	61	15	25	6	15	4	70	0.49	0.89	2.27	4.15	1.66
B <sub>2</sub> ca	30-54	53	14	29	6	18	5	29	0.30	0.44	1.90	3.20	0.32
BCca	54-85	50	14	32	9	18	5	29	0.24	0.39	1.66	2.77	0.32
C	85-129	49	10	34	7	16	3	34	0.28	0.55	1.93	3.39	0.40



**Рис. 3.** Рентген-дифрактограммы илистой фракции (< 2 мкм) почвообразующей породы разреза Д-505 (82–130 см): А – насыщенные Mg воздушно-сухие образцы; Б – насыщенные этиленгликолем; В – прокаленные до 350 °С; Г – прокаленные до 550 °С; Д – насыщенные К; Е – насыщенные К и этиленгликолем; Ж – насыщенные Li, прокаленные до 250 °С и насыщенные этиленгликолем. Значения величин межплоскостных расстояний (d) даны в ангстремах (Å)

аридного климата – 4000 и 1750 л.н. – характерно сохранение хлоритов в пределах всего профиля, включая и гор. А1.

Согласно пересчету содержания основных групп глинистых минералов на почву (с учетом содержания ила) для всех почв, имеющих признаки солонцеватости, характерно увеличение содержания смектитов в гор. В1 относительно гор. А1 более, чем в два раза. При этом содержание гидрослюды в верхних двух горизонтах одинаковое (табл. 2). Исключением является почва, погребенная 4000 л.н., где минеральный состав гор. А1 и гор. В1 идентичен.

На рис. 6 приведены ИК-спектры илистой фракции гор. А1 и В1 почв. На спектрах помимо преобладающих полос поглощения, отнесенных к силикатам, выявлена полоса поглощения в области 1435 см<sup>-1</sup>, которая относится к карбонатам (кальциту). Следует отметить, что интенсивность этой

полосы для изученных почв различна. Менее выражен этот пик для современной каштановой почвы и почвы средневековья. Существенное поглощение в пределах этой области отмечается для почвы, погребенной 4000 л.н. (аридные условия образования, 330 мм/год). Здесь наблюдается значительно увеличение пика 1435 см<sup>-1</sup> для гор. В1 илистой фракции почвы, а также превышение его интенсивности в гор. А1 относительно гор. А1 вышеописанных почв. Отсутствие следов тонкодисперсных карбонатов (кальцита) на рентгендифрактограммах при изучении минералогического состава илистой фракции этих почв свидетельствует о его скрытокристаллической (колломорфной) природе. Стоит отметить, что полосы поглощения в данной области спектра (1434–1437 см<sup>-1</sup>) характерны для высокомагнезиальных разновидностей кальцита.

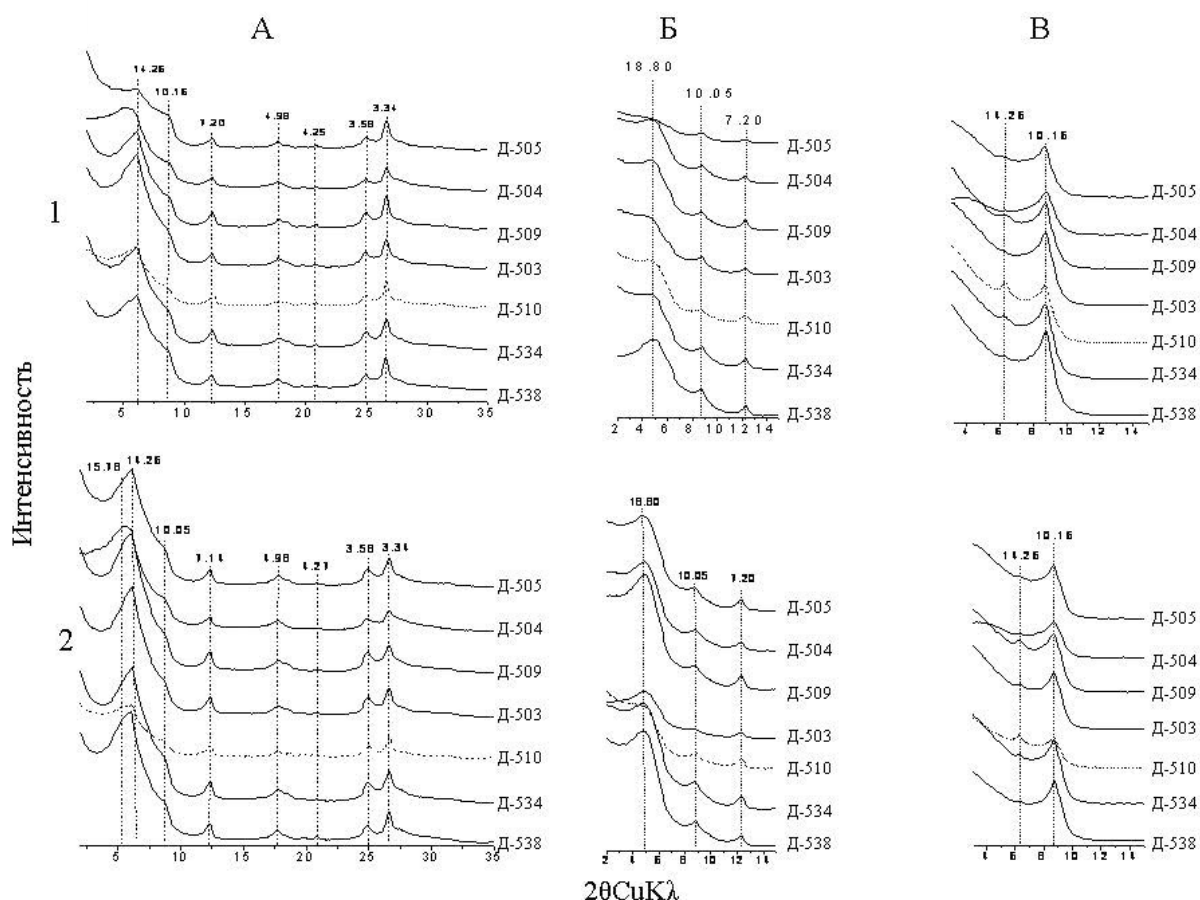


Рис. 4. Рентген-диффрактограммы илистой фракции (< 2 мкм) разновозрастных палеопочв курганной группы «Авилов»: А – насыщенные Mg воздушно-сухие образцы, Б – насыщенные этиленгликолем, В – прокаленные до 550 °С; 1 – горизонты А, 2 – горизонты В

#### Химический состав почв

На основании выполненных измерений были рассчитаны показатели ряда геохимических коэффициентов:  $CIA = 100 \cdot [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)]$ ,  $Al_2O_3 / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$ , Rb/Sr, Ba/Sr (табл. 2). Выбор данных отношений обусловлен их чувствительностью к процессам преобразования минералогического состава степных почв [16; 17; 33–35]. Значения CIA для валовых образцов почв изменяются в пределах от 25 до 70, Rb/Sr – от 0.20 до 0.62,  $Al_2O_3 / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$  от 0.26 до 1.41 (см. табл. 2). Во всех случаях максимальные величины индексов отмечаются для горизонтов А1 почв влажных климатических эпох, погребенных 5100, 1900, 700 лет назад и современной каштановой почвы. Для них значения CIA варьируют от 55 до 65, Rb/Sr – от 0.51 до 0.62,  $Al_2O_3 / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$  – от 1.33 до 1.41. Минимальные значения характерны для почв аридных условий формирования (погребенных 4000 и

1750 л.н.) – CIA – от 44 до 50, Rb/Sr – от 0.37 до 0.48,  $Al_2O_3 / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$  – от 0.59 до 0.75.

В случае илистой фракции были рассмотрены два геохимических индекса – Rb/Sr и Ba/Sr. Значения коэффициента Rb/Sr для изученных почв находятся в интервале от 0.31 до 1.97. При этом максимальные значения отмечаются для гор. А1 почв влажных климатических эпох (погребенных 5100, 1900 лет назад и современной почвы) и составляют 1.50–1.97. Минимальные значения характерны для почв, погребенных 4000 и 1750 л.н. – 0.98–1.09. Для почвообразующей породы значение Rb/Sr составляет от 0.46 до 0.74. При изучении коэффициента Ba/Sr повышенные значения наблюдаются как для А1, так и для В1 горизонтов почв и изменяются в пределах от 2.57 до 7.34. Максимумы, как и в случае коэффициента Rb/Sr, характерны для гор. А1 почв, формировавшихся под влиянием гумидных условий (от 6.71 до 7.34). Для



почвообразующей породы величины данного коэффициента находятся в интервале 3.24–4.77. В целом значения геохимических коэффициентов для илистой фракции выше, чем для валовых образцов. В обоих случаях наибольшие значения коэффициентов характерны для верхних двух горизонтов почв.

Значения геохимических коэффициентов выветривания  $SiA$  и  $Al_2O_3 / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$  для гор. А1 валовых образцов почв демонстрируют прямую зависимость с вычисленным по магнитным данным среднегодовым количеством атмосферных осадков ( $R^2 = 0.74-0.75$ ). Для гор. В1 почв подобная зависимость отмечается для коэффициента  $Rb/Sr$ , но она менее выражена ( $R^2 = 0.67$ ). Для илистой фракции почв заметных корреляций с величиной атмосферных осадков не обнаружено.

### Органическое вещество почв

Содержание и свойства органического вещества (ОВ) в гор. А1 разновозрастных палеопочв представлено на рис. 5. Количество органического углерода (Сорг) в валовом образце современной почвы составляет 2.01 %, N – 0.17 %, Сорг в илистой фракции – 2.89 %, N – 0.37 %. Для валовых образцов погребенных почв характерна тенденция постепенного уменьшения содержания Сорг от 1.14 до 0.59 %, N от 0.08 до 0.05 %.

Илистые фракции всех изученных почв обогащены органическим углеродом и азотом по сравнению с валовыми образцами. В случае илистой фракции максимум значений Сорг отмечается для современной почвы и почвы, формировавшейся в условиях засушливого климата (4000 л.н.). Здесь они достигают 2.74–2.89 %.

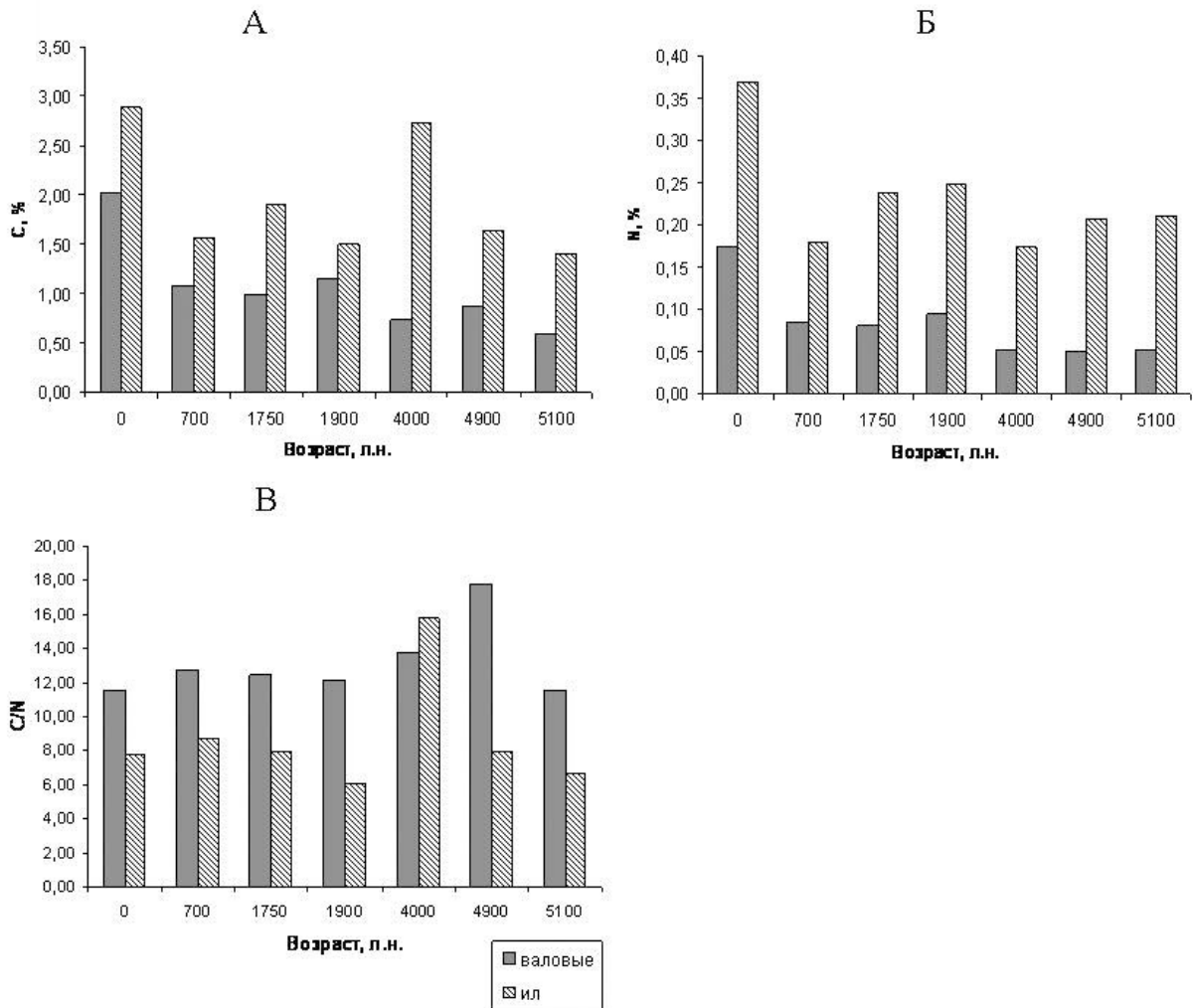
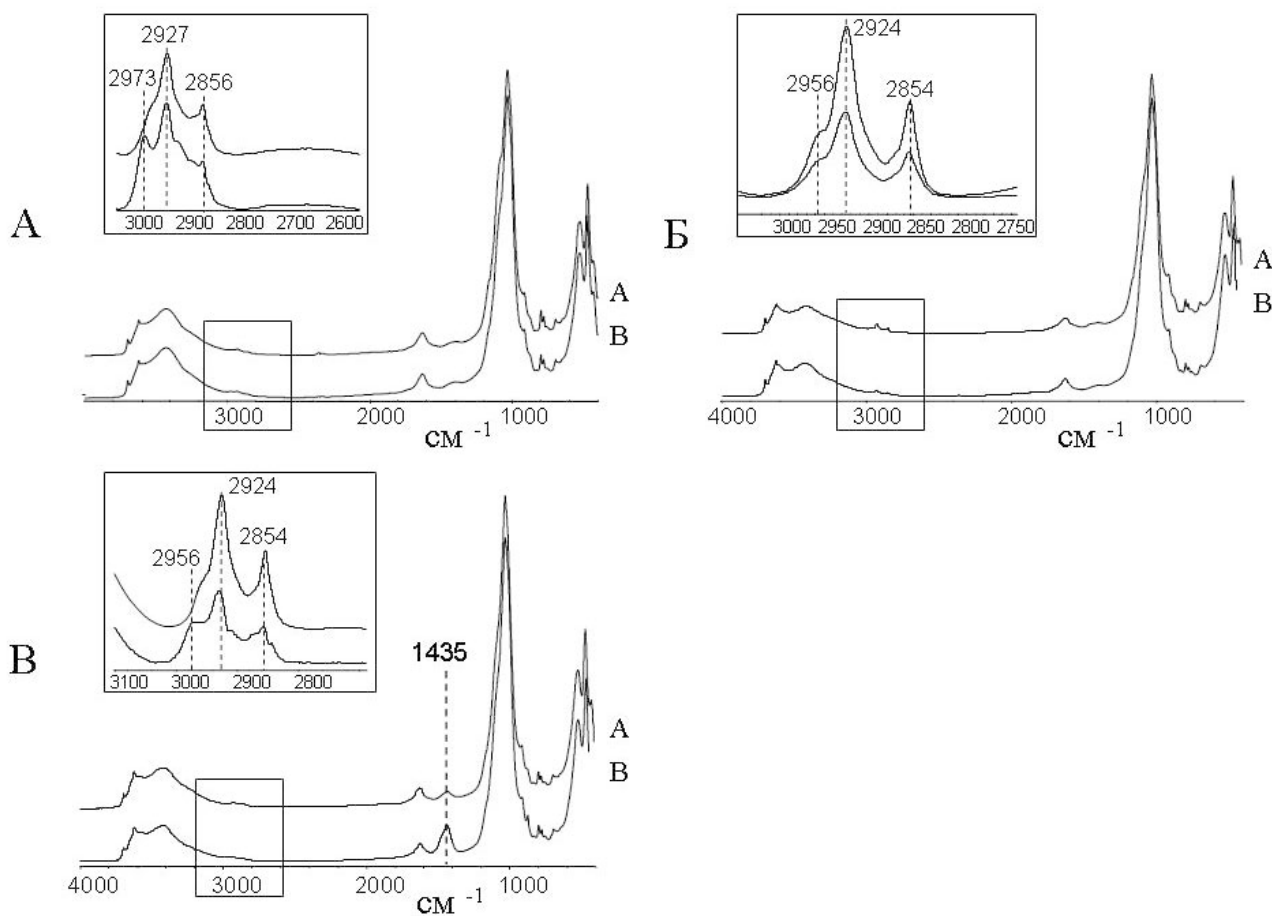


Рис. 5. Характеристика органического вещества горизонтов А валовых образцов и илистой фракции палеопочв курганной группы «Авилов»: А – содержание органического С, Б – содержание N, В – отношение содержания С к N



**Рис. 6.** Инфракрасные спектры илстой фракции (< 2 мкм) почв для А и В горизонтов: А – современная каштановая почва (разрез Д-505); Б – почва, погребенная 700 л.н. (разрез Д-504); В – почва, погребенная 4000 л.н. (разрез Д-510)

Величина отношения C/N для гор. А1 валовых образцов почв колеблется от 12 до 18, для илстых фракций данное отношение, как правило, ниже – от 6 до 16. Для почвы, погребенной 4000 л.н., величины отношения C/N для валового образца и илстой фракции практически равны (14–16). Сохранность ОВ в этой почве, где содержание Сорг сравнимо с таковым для современной почвы, мы объясняем засушливыми условиями формирования данной почвы и, как следствие, снижением степени микробиологической деструкции ОВ.

Проведенная статистическая обработка полученных результатов показала, что потери ОВ валовых образцов (Сорг и N) в большей степени коррелируют со временем, прошедшим с момента погребения ( $R^2(\text{Сорг}) = 0.81$ ,  $R^2(\text{N}) = 0.83$ ). При этом наиболее заметные потери ОВ отмечаются в первые 700 лет, прошедших с момента погребения. Поведение Сорг в составе илстой фракции погребенных почв в большей степени определяется степенью увлажненности (климатом) ( $R^2(\text{Сорг}) = 0.61$ ).

На рис. 6 представлены ИК-спектры илстой фракции для гор. А1 и В1 современной каштановой почвы, почвы средневековой, сформированной в условиях наибольшей увлажненности климата (420 мм/год) и наиболее аридной почвы, погребенной 4000 л.н. (330 мм/год). Полосы поглощения в области 3000–2800  $\text{см}^{-1}$  соответствуют валентным колебаниям С–Н связей, которые в данном случае характеризуют гумусовые вещества (ГВ) – гуминовые кислоты (ГК) и фульвокислоты (ФК) [36].

Для образцов из гор. А1 изученных почв в данной области отмечаются слабые полосы поглощения в пределах 2924–2927  $\text{см}^{-1}$  и 2854–2856  $\text{см}^{-1}$  (валентные колебания алифатических  $\text{CH}_2$ -групп). Для образцов из гор. В1 почв в данном интервале спектра дополнительно проявляется пик в области 2956–2973  $\text{см}^{-1}$ , который отнесен к  $\text{CH}_3$ -группе, что свидетельствует в пользу фульвокислотной природы гумуса в гор В1. Отличие ИК-спектров илстой фракции гор. А1 и В1, по нашему мнению, связано

с большей подвижностью фульвокислот и их преимущественным выносом из гор. А1 [36; 37].

### Заключение

Сравнительное изучение погребенных почв с применением комплекса минералогических и геохимических методов показало, что минеральный состав илистой фракции палеопочв хорошо отражает климатические изменения, которые имели место на изученной территории во второй половине голоцена. В частности, для почв, формирование которых отвечает гумидным условиям (погребенных 5100, 1900, 700 л.н. и современной каштановой почвы) характерны следующие процессы преобразования минералогического состава: иллитизация смектитов и, как следствие, увеличение содержания слюдяистой составляющей, разрушение хлоритовой фазы в гор. А1, обогащение гор. В1 почвенных профилей смектитовой фазой. В почвах, формировавшихся под влиянием аридных условий (погребенных 4000 и 1750 л.н.) процесс иллитизации выражен слабее, но отмечается сохранение хлоритов в пределах всего почвенного профиля.

При изучении химического состава валовых образцов почв были выявлены геохимические коэффициенты, наиболее достоверно отвечающие климатическим условиям формирования почв (величине атмосферных осадков): CIA ( $R^2 = 0.73$ ),  $Al_2O_3 / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$  ( $R^2 = 0.75$ ), Rb/Sr ( $R^2 = 0.67$ ).

Изучение состава и характеристик органического вещества показало, что потери Сорг и N валовых образцов почв коррелируют со временем, прошедшим с момента погребения почвы, поведение Сорг в составе илистой фракции определяется степенью увлажненности. ОВ илистых фракций горизонтов В1 изученных имеет более алифатическую природу (обогащено фульвокислотами).

Полученные нами данные по минеральному и химическому составам погребенных почв позднего голоцена позволяют существенно дополнить имевшуюся ранее информацию. Например, В.А. Демкиным и др. [14] было показано, что почва, погребенная 4000 л.н. не имеет аналогов в современном почвенном покрове и была диагностирована этими авторами как каштановидная карбонатная несолонцеватая солончаковатая почва, сформированная в условиях аридного климата.

Проведенные исследования этой почвы показали, что для нее характерны следующие особенности: отсутствие признаков текстурной диффе-

ренциации (значение ил В/ил А составляет 1.00, показатели СДП и СИ равны нулю), минимальная величина  $\chi$  (30–34) в верхних 40 см, сохранение хлоритов в пределах всего профиля, равномерное распределение смектитовой фазы в гор. А1 и В1, высокое содержание карбонатов (4.9–7.8 %) и гипса (1.8 %) начиная с поверхности, повышенное содержание колломорфной формы Mg-кальцита в верхних двух горизонтах, низкие и минимальные для изученного ряда почв значения геохимических коэффициентов CIA, Rb/Sr,  $Al_2O_3 / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$ , близость величин отношения C/N для валового образца и илистой фракции гор. А1. Результаты количественных реконструкций величины атмосферных осадков по данным магнитной восприимчивости показали, что эта почва сформировалась в наиболее аридных условиях для изученного ряда почв (величина атмосферных осадков составляла 330 мм/год). Наличие в горизонтах А1 и В1 этой почвы скрытокристаллической формы Mg-кальцита свидетельствует о том, что климатические условия были не только засушливыми, но и жаркими.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 11-04-01507*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский А. Л. Эволюция почв Восточно-Европейской равнины в голоцене / А. Л. Александровский. – М.: Наука, 1983. – 150 с.
2. Алексеев А. О. Магнитная восприимчивость почв как показатель направленности и скорости развития степных ландшафтов в голоцене / А. О. Алексеев, Я. Г. Рысков // Естественная и антропогенная эволюция почв. – Пушкино, 1988. – С. 16–20.
3. Алексеев А. О. Состояние соединений железа в почвах степных ландшафтов: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. О. Алексеев. – М., 1992. – 17 с.
4. Губин С. В. Диагенез почв зоны сухих степей, погребенных под искусственными насыпями / С. В. Губин // Почвоведение. – 1984. – № 6. – С. 5–13.
5. Демкин В. А. О скорости и направленности почвообразовательного процесса в зоне сухих степей в голоцене / В. А. Демкин, А. В. Лукашов // Почвоведение. – 1987. – № 6. – С. 5–14.
6. Демкин В. А. Почвы сухих и пустынных степей Восточной Европы в древности и средневековье: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / В. А. Демкин. – М., 1993. – 48 с.
7. Демкин В. А. Пространственно-временные закономерности развития солонцового процесса в почвах сухих и пустынных степей / В. А. Демкин // Почвоведение. – 1995. – № 5. – С. 533–540.
8. Демкина Т. С. Изменение гумусного состояния почв сухих и пустынных степей за историческое время /

- Т. С. Демкина, В. А. Демкин // Почвоведение. – 1994. – № 9. – С. 5–11.
9. Иванов И. В. Методы изучения эволюции и возраста почв / И. В. Иванов, А. Л. Александровский. – Пушкино : ОНТИ НЦБИ РАН, 1984. – 54 с.
10. Иванов И. В. Эволюция почв степной зоны в голоцене / И. В. Иванов. – М. : Наука, 1992. – 144 с.
11. Иванов И. В. Почвоведение и археология / И. В. Иванов, В. А. Демкин // Почвоведение. – 1999. – № 1. – С. 106–113.
12. Демкин В. А. Развитие почв Нижнего Поволжья за историческое время / В. А. Демкин [и др.] // Почвоведение. – 2004. – № 12. – С. 1486–1497.
13. Борисов А. В. Развитие почв пустынно-степной зоны Волго-Донского междуречья за последние 5000 лет : автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. В. Борисов. – М., 2002. – 17 с.
14. Демкин В. А. Палеопочвенные исследования курганов в долине р. Иловля (Приволжская возвышенность) / В. А. Демкин [и др.] // Почвоведение. – 2008. – № 2. – С. 133–145.
15. Ельцов М. В. Эволюция почв сухостепной зоны Приволжской возвышенности за последние 50 веков : автореф. дис. ... канд. биол. наук / М. В. Ельцов. – М., 2007. – 23 с.
16. Калинин П. И. Геохимические характеристики погребенных голоценовых почв степей Приволжской возвышенности / П. И. Калинин, А. О. Алексеев // Вестник ВГУ. Серия: География, геоэкология. – 2008. – № 1. – С. 9–15.
17. Калинин П. И. Лёссово-почвенные комплексы плейстоцена и палеопочвы голоцена юго-востока Русской равнины : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / П. И. Калинин. – Воронеж, 2009. – 24 с.
18. Biscaye P. E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans / P. E. Biscaye // Geological Soc. America Bull. – 1965. – V. 76. – P. 803–832.
19. Лёссово-почвенные комплексы плейстоцена и палеопочвы голоцена юго-востока русской равнины / П. И. Калинин [и др.] : труды НИИ Геологии Воронеж. гос. ун-та. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2009. – 152 с.
20. Алексеева Т. В. Физико-химические и минералогические признаки солонцового процесса в почвах нижнего Поволжья в позднем голоцене / Т. В. Алексеева [и др.] // Почвоведение. – 2010. – № 10. – С. 1171–1189.
21. Калинин П. И. Геохимическая характеристика лёссово-почвенных комплексов Терско-Кумской равнины и Азово-Кубанской низменности / П. И. Калинин, А. О. Алексеев // Почвоведение. – 2011. – № 12. – С. 1436–1454.
22. Елизарова Т. Н. Современные и реликтовые свойства почв лесостепных ландшафтов Западной Сибири / Т. Н. Елизарова [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 2005. – № 5. – С. 871–883.
23. Nesbitt H. W. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites / H. W. Nesbitt, G. M. Young // Nature. – 1982. – V. 299. – P. 1523–1534.
24. Retallack G. J. Soils of the Past: an Introduction to Paleopedology / G. J. Retallack. – Oxford : Blackwell, 2001. – 600 p.
25. Retallack G. J. Soils and Global Change in the Carbon Cycle over Geological Time / G. J. Retallack // Treatise On Geochemistry. – 2003. – P. 581–605.
26. Salminen, R. Geochemical Atlas of Europe / R. Salminen [et al.]. – 2005. – Part 1. – 525 p.
27. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 490 с.
28. Хитров Н. Б. Диагностика солонцовых горизонтов / Н. Б. Хитров // Почвоведение. – 1984. – № 3. – С. 31–43.
29. Алексеев А. О. Магнитные свойства и минералогия соединений железа степных почв / А. О. Алексеев, Т. В. Алексеева, Б. А. Махер // Почвоведение. – 2003. – № 1. – С. 62–74.
30. Maher B. A. Climate dependence of soil magnetism across the Russian steppe: significance for use of soil magnetism as a palaeoclimatic proxy / B. A. Maher, A. O. Alekseev, T. V. Alekseeva // Quaternary Science Reviews. – 2002. – V. 21. – P. 1571–1576.
31. Maher B. A. Magnetic mineralogy of soils across the Russian steppe: climatic dependence of pedogenic magnetite formation / B. A. Maher, A. O. Alekseev, T. V. Alekseeva // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2003. – V. 201. – P. 321–341.
32. Alekseeva T. V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried paleosols / T. V. Alekseeva [et al.] // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2007. – V. 249. – P. 103–127.
33. Татьяначенко Т. В. Минералогический состав разновозрастных палеопочв, его связь с изменением климата на территории юго-востока Русской равнины во второй половине голоцена / Т. В. Татьяначенко, Т. В. Алексеева // Почвы в условиях природных и антропогенных стрессов : мат-лы Всероссийской научной конференции «XIV Докучаевские молодежные чтения». – СПб., 2011. – С. 89–91.
34. Татьяначенко Т. В. Особенности минералогического и химического составов палеопочв курганной группы «Калмыкия» (Ергенинская возвышенность) и их связь с динамикой климата во второй половине голоцена / Т. В. Татьяначенко, Т. В. Алексеева // Глины, глинистые минералы и слоистые материалы : мат-лы I Российского рабочего совещания. – М., 2011. – С. 127–128.
35. Tatyanchenko T. V. Clay mineralogy, geochemistry, and organic matter of Late Holocene buried soils as paleoclimate proxies / T. V. Tatyanchenko., T. V. Alekseeva,

P. I. Kalinin // Euroclay 2011 : мат-лы международной Европейской конференции. – Анталия, 2011. – С. 266.

36. Орлов Д. С. Инфракрасные спектры почв и почвенных компонентов / Д. С. Орлов, Н. Н. Осипова. – М. : Изд-во МГУ, 1988. – 89 с.

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН*

*Т. В. Татьянченко, аспирант лаборатории геохимии и минералогии почв*

*Тел. (007) 4967 31-81-78*

*tatyanchenko63@gmail.com*

*Т. В. Алексеева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии и минералогии почв*

*Тел. (007) 4967 31-81-47*

*alekseeva@issp.serpukhov.su*

37. Травникова Л. С. Факторы, регулирующие распределение органического вещества по фракциям < 5 мкм в почвах солонцового комплекса Калмыкии / Л. С. Травникова, Н. А. Титова // Почвоведение. – 1978. – № 11. – С. 109–121.

*Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science Russian Academy of Sciences*

*T. V. Tatianchenko, PhD student, laboratory of geochemistry and mineralogy of soil*

*Тел. (007) 4967 31-81-78*

*tatyanchenko63@gmail.com*

*T. V. Alekseeva, PhD, senior scientist, laboratory of geochemistry and mineralogy of soil*

*Тел. (007) 4967 31-81-47*

*alekseeva@issp.serpukhov.su*