
ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ НА ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЁМА ОБЫКНОВЕННОГО В УСЛОВИЯХ КАМЕННОЙ СТЕПИ

**Александра Михайловна Саинчук
Константин Егорович Стекольников**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Наиболее характерным признаком чернозёмов является хорошо развитый органофильный профиль, характеризующийся интенсивной темной окраской, высоким содержанием и запасами гумуса фульватно-гуматного или гуматного типа. Благодаря этому чернозёмы отличаются высоким уровнем потенциального плодородия, заметно превосходящим уровень плодородия почв других типов. Однако показатели эффективного плодородия пахотных чернозёмов часто довольно низкие, поскольку в результате длительного экстенсивного использования в сельском хозяйстве их органическая часть претерпела заметную трансформацию, преимущественно дегумификационного характера. Поэтому в последнее время большое внимание уделяется агроэкологической оценке антропогенной эволюции чернозёмов. Преобразование степного ландшафта в лесостепной за счёт посадки лесных полос кардинально изменило гидрологический режим территории. Избыточное увлажнение территории обусловило развитие декарбонизации почвенного профиля чернозёма обыкновенного и его эволюцию в типичный и выщелоченный. Результатом трансформации карбонатно-кальциевой системы стало существенное преобразование гранулометрического состава. Приводятся оригинальные экспериментальные данные, характеризующие общие закономерности структурных изменений гумусовых веществ чернозёмов под влиянием деятельности человека. Выявлено влияние антропогенной эволюции на трансформацию карбонатно-кальциевой системы и гранулометрический состав чернозёма обыкновенного. Более существенные изменения в пахотных чернозёмах произошли с содержанием и запасами гумуса. Наблюдается активная дегумификация обыкновенного чернозёма, сопровождающаяся расширением соотношения $C_{\text{гф}}:C_{\text{фк}}$, с возрастанием роли гуматов кальция и негидролизуемого остатка в формировании гумуса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидроморфизм, карбонатно-кальциевая система, антропогенная эволюция чернозёма обыкновенного, декарбонизация, гранулометрический состав, гидроморфизм.

IMPACT OF ANTHROPOGENIC EVOLUTION ON POTENTIAL FERTILITY OF ORDINARY CHERNOZEM IN THE STONE STEPPE

**Aleksandra M. Sainchuk
Konstantin E. Stekolnikov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The most specific feature of chernozems is a well-developed organic profile characterized by intense dark color, and high content and reserves of humus of fulvate-humate or humate type. Due to this fact chernozems are distinguished by a high level of potential fertility, which significantly exceeds the level of fertility of other soil types. However, the values of effective fertility parameters of arable chernozems are often quite low, since their organic component has undergone a noticeable transformation (mainly of a degradation nature) as a result of long-term extensive use in agriculture. Therefore, in recent years much attention has been paid to the agroecological assessment of anthropogenic evolution of chernozems. The transformation of steppe landscape into forest-steppe due to forest belt planting has radically changed the hydrological regime of the territory. Excessive moisture in this territory caused the development of soil profile decalcification of ordinary chernozem and its evolution into typical and leached chernozem. The transformation of carbonate-calcium system resulted in a significant transformation of granulometric composition. The authors present the original experimental data that characterize the general patterns of structural changes in humic substances in chernozems under the influence of anthropogenesis. The authors have also revealed the impact of anthropogenic evolution on the transformation of carbonate-calcium system and granulometric composition of ordinary chernozem. More significant changes in arable chernozems concerned the content and reserves of humus. An active dehumification of ordinary chernozem is observed together with the expansion of the $C_{\text{bh}}:C_{\text{fa}}$ ratio with an increasing role of calcium humates and non-hydrolyzable residue in the formation of humus.

KEYWORDS: hydromorphism, carbonate-calcium system, anthropogenic evolution of ordinary chernozem, decalcification, granulometric composition.

Принято считать, что хозяйственная деятельность человека негативно влияет на окружающую среду, ведёт к деградации естественных экосистем и их замене искусственными, не обладающими необходимыми функциями жизнеобеспечения. Подобное природопользование таит в себе угрозу социально-экологического кризиса. И всё чаще звучат призывы к его разумному ограничению. Неслучайно многие авторы предлагают избрать новую стратегию, например внедрять технологии, имитирующие природные процессы. Не менее популярны требования сохранять экосистемы нетронутыми. Однако специалисты по-разному понимают, что такое естественные экосистемы. Не вполне ясно, насколько они отличаются от измененных людьми, каковы реальные механизмы их функционирования.

Современная степная экосистема – это природная совокупность живых и косных компонентов, сформированная в условиях аридного климата при абсолютном господстве травяных форм растений с участием кустарничков, полукустарничков и степных кустарников. Доминирование трав – необходимый атрибут степной экосистемы.

В своё время В.В. Докучаевым была сформулирована идея устойчивости агроландшафта: соотношение пашня : лес : вода. По мнению В.В. Докучаева, общая площадь лесов должна составлять не менее 10–20%, ширина лесных полос – 20, 100 и более метров, а площадь полей – 7–20 га. Эта программа была воплощена в жизнь в Каменной степи. Облесённость современной территории достигла 8,9%. В условиях степи создан лесостепной ландшафт. Вряд ли сам В.В. Докучаев предвидел последствия такого облесения. В условиях степи в среднем не менее 60% талых вод в сумме с атмосферными осадками весной уходит боковым стоком по склону по неоттаявшей поверхности пахотных почв, к тому же у них хуже водопроницаемость вследствие их уплотнения в процессе сельскохозяйственного использования. На весеннюю влагозарядку почв пашни остается около 40% поступающей воды (в лесу – около 70%) [1].

Под влиянием лесных полос изменяются морфология, состав и свойства почв. Изменение условий почвообразования под влиянием лесных полос проявляется в формировании периодически промывного типа водного режима, свойственного условиям лесостепи. Следствием повышения гидроморфизма территории является трансформация карбонатно-кальциевой системы и органофилия изучаемых почв, что и обуславливает эволюцию чернозёма обыкновенного [7, с. 145], т. е. она имеет ярко выраженный антропогенный характер.

Почвенный покров Каменной степи изучен недостаточно [7, с. 142]. Это касается эволюции почв, обусловленной прежде всего антропогенным фактором – уровнем облесения территории. Первые исследования влияния лесных полос на почвы выполнил Б.П. Ахтырцев [2]. Этим вопросом занимались и другие исследователи, которые приходили иногда к прямо противоположным заключениям [3, с. 80; 4, с. 115]. Проблемы остаются и требуют решения.

Цель исследований – выявить влияние антропогенной эволюции на трансформацию карбонатно-кальциевой системы и гранулометрический состав чернозёма обыкновенного в условиях Каменной степи.

Объект и методы исследования. Объектом исследования является чернозём обыкновенный стационара А.Ф. Витера, заложенного в 1968 г. в трёхкратной повторности [6]. В течение последних 25–30 лет опытный участок использовался в полевом севообороте без применения удобрений.

Территория Каменной степи представляет собой изборождённую пологими балками и неоформленными степными западинами слабоволнистую равнину. Нередки здесь и ветвистые овраги, местами глубоко врезанные в толщу подпочвенных пород. На недренированных, представленных равными плакорными участками элементами рельефа встречаются многочисленные блюдцеобразные понижения, западинки, небольшие

бугорки и всхолмления зоогенной природы, вызывающие неравномерное распределение атмосферных осадков на поверхности почв, особенно при весеннем таянии снега и летом при интенсивных ливневых дождях. Создавая лесостепной ландшафт в степной зоне, В.В. Докучаев вряд ли мог предвидеть те изменения почвенного покрова, которые неизбежно должны были проявиться согласно им же открытым законам почвообразования.

Методы исследований

В ходе проведения исследований определяли:

- гранулометрический состав – по Качинскому;
- рН, рСа – потенциметрически в насыщенных водой пастах;
- $C_{\text{карб}}$ и $C_{\text{орг}}$ – на анализаторе Vario max CNS;
- известковый потенциал расчётным методом.

Результаты и их обсуждение

Системной работы за более чем вековой период исследований почв Каменной степи не проводилось. Отсутствует и база данных по почвам и почвенному покрову. Первые почвенные изыскания в Каменной степи были выполнены Н.М. Сибирцевым и К.Д. Глинкой под руководством В.В. Докучаева. Материалы исследований практически недоступны исследователям. Об уровне изученности почв в смежных областях можно судить по работам земледелов, которые мы вынуждены использовать для характеристики исходного состояния объекта исследований (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика почвы опытного участка (по Витеру, 1974)

Слой, см	рН _{КС1}	Гумус %	Н	S	V, %
			мг-экв/100 г почвы		
0–10	6,83	8,60	1,03	56,20	98
10–20	6,86	8,58	1,12	56,28	98
20–30	7,02	8,54	0,93	58,08	98
30–40	7,14	6,45	0,56	76,86	99
0–40	6,96	8,04	0,91	61,84	98

К сожалению, земледелы даже не задумывались, на каких почвах они выполняют свои исследования. В диссертации А.Ф. Витера [6] отсутствуют данные о типе почвы, на которой был заложен опыт. На территории НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева преобладали чернозёмы обыкновенные. Это подтверждается и данными таблицы 1. На это указывает высокое содержание гумуса в верхней части гумусового горизонта, особенно низкая величина гидролитической кислотности и очень высокая величина рН солевой вытяжки. При таких значениях рН солевой вытяжки почва должна вскипать в пределах пахотного слоя, что вполне вероятно для чернозёма обыкновенного, сформировавшегося на лёссе, почвообразующей породе, содержащей в своём составе до 40% карбонатов. О высокой исходной карбонатности свидетельствует и очень высокая сумма обменных оснований, тем более что она возрастает по мере углубления, что несколько противоестественно, так как содержание гумуса уже в слое 30–40 см резко (более чем на 2%) снижается, несмотря на то что эти показатели тесно связаны.

Исследованиями Н.Б. Хитрова [9, с. 905] выявлены существенные изменения морфологии всех почв Каменной степи, обусловленные усилением гидроморфизма территории. Таким образом, в исходном состоянии, 50 лет назад, почва участка относилась к чернозёмам обыкновенным. Все автоморфные почвы Каменной степи эволюционировали вследствие усиления гидроморфизма территории. Основной причиной является высокий уровень лесистости изучаемой территории. Происходит формирование несвойственных для степных условий агроландшафтов и трансформация почв автоморфного ряда в гидроморфные. Это подтверждается и данными собственных исследований, результаты

которых приведены в таблицах 2–3 и на рисунках 1–3. Считаем, что для чернозёмов, как это было показано ранее [10, с. 9–10], декальцирование является своеобразным пусковым механизмом деградации и/или эволюции. Мы понимаем, что наши данные не совсем корректно сравнивать с данными таблицы 1, но это вынужденный приём за неимением достоверных данных по исходному состоянию почвы стационара. Тем не менее основания для выявления эволюционного тренда у нас есть. Для определения процесса трансформации карбонатно – кальциевой системы нами определены параметры состояния карбонатно-кальциевой системы. Данные приведены в таблице 2.

Таблица 2. Состояние карбонатно-кальциевой системы изучаемых почв

№ разреза	Слой, см	pH	pCa	K _{изв}	C _{карб} , %	C _{орг} , %
3	0–12	6,86	3,23	5,25	0,08	4,33
	12–22	6,76	2,94	5,29	0,08	4,58
	22–33	6,93	3,14	5,36	0,08	3,23
	33–66	7,14	2,94	5,67	0,08	1,93
	66–82	7,87	2,95	6,40	8,27	1,31
	82–121	7,81	2,52	6,55	11,34	0,79
	121–140	7,88	2,72	6,52	10,49	0,63
5	0–10	6,33	2,96	4,85	0,16	4,79
	10–37	6,40	3,15	4,83	0,16	4,44
	37–59	6,93	3,01	5,43	0,16	4,31
	59–74	6,98	2,76	5,60	0,16	3,24
	74–109	7,73	3,07	6,20	7,26	1,76
	109–133	7,31	3,55	5,54	10,90	0,88

Считаем, что профиль изучаемой почвы подвержен активному процессу декальцирования. Прежде всего отметим низкую величину pH в пределах верхней части органо-профиля – 6,86 и 6,33. По параметрам, предложенным Г.М. Туминым [8, с. 920], она оценивается как слабокислая (5,6–6,9). О дефиците свободных катионов кальция свидетельствует и величина pCa, которая варьирует в пределах органо-профиля 3,23–2,95 и 3,15–2,76 соответственно в разрезах 3 и 5, а о низкой прочности связи их с минеральной матрицей можно судить по величине известкового потенциала, возрастающего вниз по профилю. В органо-профиле изучаемой почвы мало карбонатов, их содержание варьирует в пределах 0,08–8,27% (разрез 3) и 0,16–7,26% (разрез 5). При этом именно на нижней границе органо-профиля отмечается резкое повышение содержания карбонатов, что совершенно нетипично для чернозёма обыкновенного, но зато соответствует характеру их распределения по профилю в чернозёме типичном. Распределение их по профилю почвы элювиально-иллювиальное, что свидетельствует о развитии процесса декальцирования. Подтверждением этого вывода являются формы выделения видимых карбонатов, вместо типичной для обыкновенного чернозёма белоглазки мы наблюдаем псевдомицелий, а белоглазка приобретает диффузную форму. Только на глубине свыше 100–110 см встречается относительно плотная белоглазка.

Трансформация карбонатно-кальциевой системы чернозёма обуславливает все почвенные процессы [10, с. 9–10], в том числе и процессы деструкции минеральной матрицы. Процесс затрагивает даже относительно стабильные крупные фракции – песок и крупную пыль. Нами это было в своё время выявлено [7, с. 9–10] и показано, что декальцирование профиля обуславливает глубокую трансформацию минеральной матрицы, которая проявляется в изменении содержания гранулометрических фракций. Наличие подобного процесса в изучаемых почвах подтверждается данными гранулометрического анализа (табл. 3) на примере разрезов 3 и 5. Выбор этих разрезов

обусловлен примерно одинаковой глубиной залегания карбонатов – ниже границы органо-профиля, т. е. одинаковой степенью выщелоченности и одинаковой физико-химической обстановкой, в т. ч. величиной рН и известкового потенциала. Но эти разрезы весьма существенно различаются по содержанию лёссовой фракции (0,01–0,05 мм), что и определило их выбор для анализа.

Данные гранулометрического состава позволяют понять процессы, протекающие в почве, так и в целом генезис почв. Ведь важно знать не только содержание отдельных гранулометрических фракций, но и характер их распределения и степень дифференциации профиля. Для выявления эволюционных процессов в профиле изучаемых почв нами были рассчитаны коэффициенты элювиирования тонкодисперсных фракций по формуле

$$Kэ = a/v,$$

где $Kэ$ – коэффициент элювиирования;

a – содержание ила (или любой другой фракции) в горизонте А, %;

v – содержание ила (или любой другой фракции) в горизонте С, %.

При $Kэ < 1$ имеет место элювиирование фракции, а при $Kэ > 1$ она аккумулируется. Нами выполнены расчёты для тонкой пыли и ила по отношению к горизонту С. Качество глины ($K_{гл}$) показывает долю ила в физической глине и может быть выражено в процентах или долях единицы. Оценка идентична $Kэ$ (табл. 3).

Таблица 3. Гранулометрический состав разрезов 3 и 5

№ разреза	Слой, см	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	< 0,01	Кэ1	Кэ2	К _{гл}	Гранулометрический состав
3	0–12	0,92	4,48	33,98	14,76	26,44	19,42	60,62	1,05	0,54	0,82	Легко глинистый
	12–22	1,22	0,10	37,08	12,02	37,36	12,22	61,60	1,48	0,34	0,84	–"–
	22–33	0,48	2,46	42,24	11,66	21,96	21,20	54,82	0,87	0,56	0,74	–//–
	33–66	1,41	4,29	35,28	11,90	22,06	25,06	59,02	0,87	0,70	0,80	–//–
	66–82	0,81	4,03	29,96	10,72	23,04	32,44	66,20	0,91	0,90	0,90	Средне глинистый
	82–121	0,29	5,07	25,58	8,24	25,62	35,24	69,10	1,01	0,98	0,94	–//–
	121–140	0,36	4,20	22,84	12,52	25,24	35,84	73,60	–	–	–	–//–
5	0–10	0,48	3,60	24,74	12,21	17,17	42,00	71,38	1,81	0,90	1,05	Средне глинистый
	10–37	1,16	16,48	9,56	14,70	19,92	38,18	72,80	2,10	0,82	1,07	–//–
	37–59	1,41	16,76	9,05	20,77	14,59	37,42	72,78	1,54	0,80	1,07	–//–
	59–74	1,34	21,18	6,56	17,35	11,85	41,72	70,92	1,25	0,89	1,04	–//–
	74–109	0,96	20,28	2,44	17,80	14,00	44,52	77,32	1,48	0,95	1,14	–//–
	109–133	1,68	26,14	4,13	11,84	9,46	46,75	68,05	–	–	–	–//–

Примечание: Кэ1 – коэффициент элювиирования тонкой пыли; Кэ2 – коэффициент элювиирования ила; К_{гл} – качество физической глины.

По результатам анализа гранулометрического состава изучаемые почвы по единой шкале, предложенной в работе В.И. Кирюшина [5, с. 50], являются легко- и средне-глинистыми. Вниз по профилю гранулометрический состав утяжеляется. Сравнение результатов гранулометрического состава разрезов 3 и 5 выявляет существенные различия как по содержанию гранулометрических фракций, так и по характеру их распределения по профилю. Наиболее существенны они для фракций крупной и тонкой пыли и ила (рис. 1).

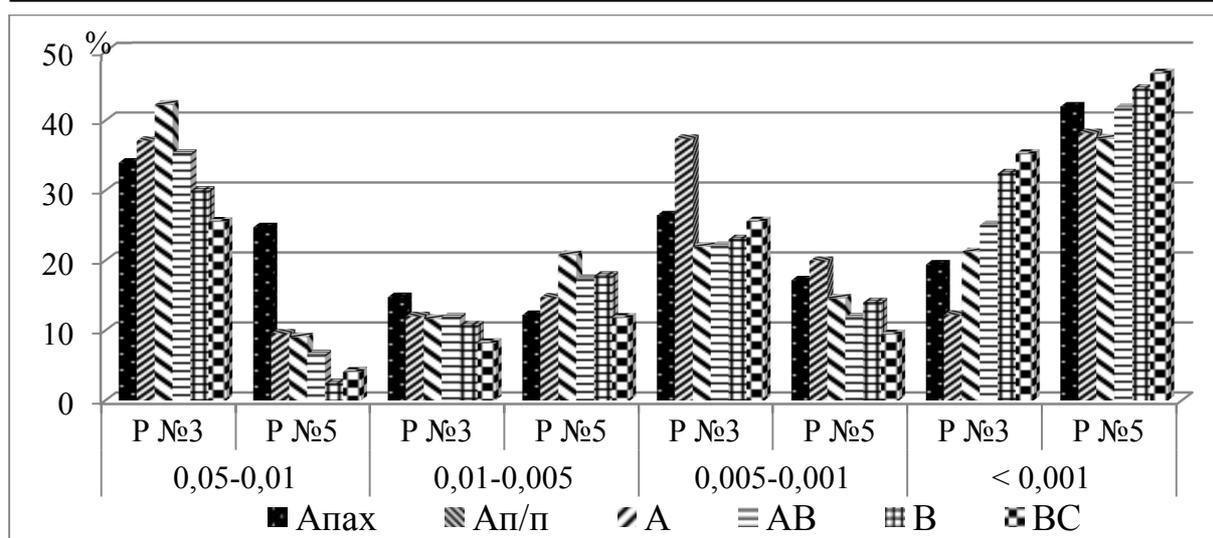


Рис. 1. Содержание и характер распределения гранулометрических фракций по профилю разрезов 3 и 5

Так, в разрезе 3 содержание крупной пыли по профилю изменяется от 33,98 в пахотном слое до 42,24 в горизонте А и снижается до 22,84% в горизонте ВС. Характер распределения – модальный. Содержание этой фракции в разрезе 5 существенно ниже и изменяется по профилю от 24,74 в пахотном слое до 2,44% в горизонте С, а характер распределения по профилю – элювиально-иллювиальный. Наибольший интерес представляет содержание и характер распределения по профилю фракции ила. Если в разрезе 3 наблюдается увеличение содержания ила с глубиной в 1,8 раза, то в разрезе 5 его содержание существенно выше, а характер распределения по профилю элювиально-иллювиальный. Характер изменений этих величин наглядно представлен на рисунке 2.

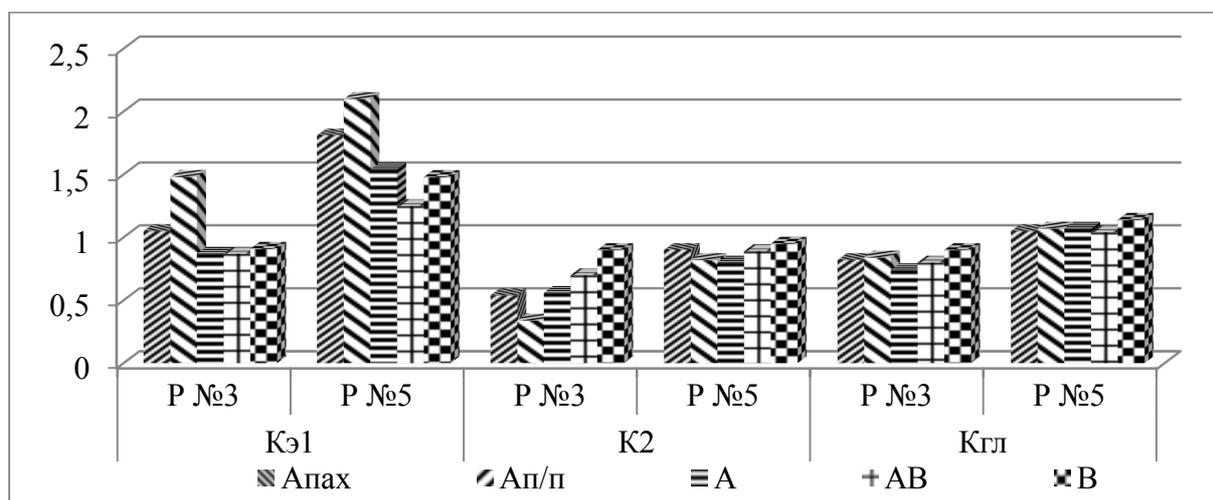


Рис. 2. Изменение величин Kэ1 (коэффициент элювирования тонкой пыли), Kэ2 (коэффициент элювирования ила), Kгп (качество физической глины по профилю)

Величина коэффициента элювирования тонкой пыли (Kэ1) в разрезе 3 существенно ниже, чем в разрезе 5. И если аккумуляция фракции тонкой пыли в разрезе 3 наблюдается только в горизонте Ап/п, то в разрезе 5 – по всему профилю. Однако характер изменения величины Kэ1 в изучаемых разрезах одинаковый – элювиально-иллювиальный. Несколько иная закономерность наблюдается в изменении величины коэффициента элювирования ила (Kэ2). В разрезах 3 и 5 она заметно ниже единицы,

что указывает на элювиирование профиля по илу, однако этот процесс более выражен в разрезе 3. Снижение содержания ила по всему профилю разреза 3 – 1,5- или 2-кратное по сравнению с его содержанием в разрезе 5. Развивается процесс активного обезиливания средней части профиля. По сравнению с величиной $K_{Э1}$ характер изменения величины $K_{Э2}$ в изучаемых разрезах одинаковый – элювиальный.

Существенные различия наблюдаются и по величине качества глины ($K_{Гл}$). Судя по величине $K_{Гл}$, в разрезе 3 наблюдается устойчивое снижение доли ила в физической глине, а в разрезе 5 развивается процесс аккумуляции его по всему профилю. Характер изменения величины $K_{Гл}$ по профилю в разрезах 3 и 5 одинаков и соответствует элювиально-иллювиальному типу.

Считаем, что между процессами деструкции и элювиирования гранулометрических фракций и содержанием карбонатов существует корреляционная связь, что подтверждается определением коэффициентов корреляции. Данные расчётов коэффициентов корреляции представлены на рисунке 3.

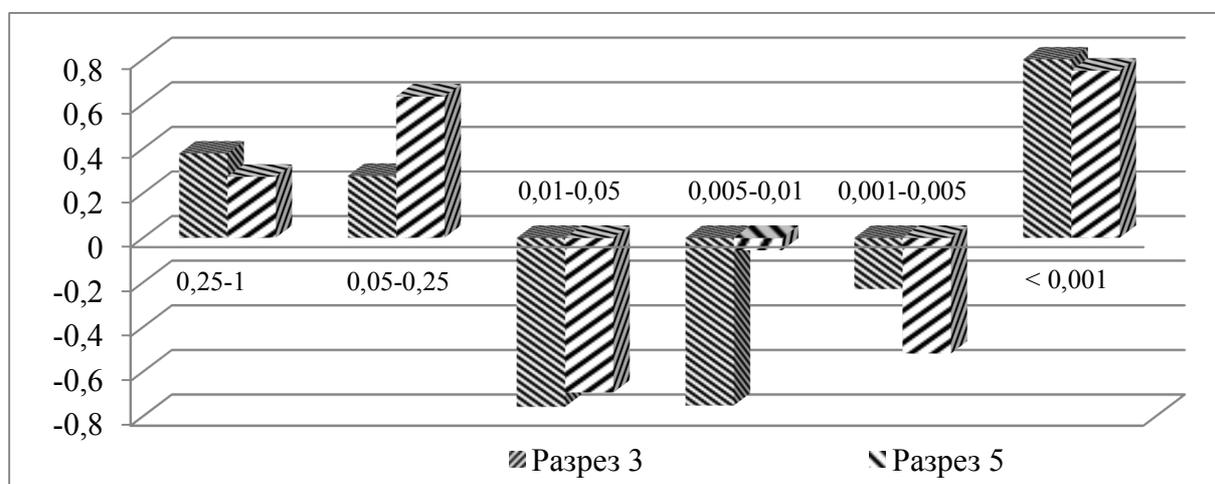


Рис.3. Коэффициенты корреляции содержания углерода карбонатов с содержанием гранулометрических фракций

Установлена слабая связь содержания карбонатов с содержанием фракции среднего песка, слабая (разрез 3) и средняя (разрез 5) – с содержанием мелкого песка. Связь содержания карбонатов с содержанием фракции крупной пыли – тесная отрицательная, с содержанием средней пыли – тесная отрицательная в разрезе 3, а в разрезе 5 она отсутствует. Связь содержания карбонатов с содержанием фракции тонкой пыли слабая отрицательная в разрезе 3 и средняя отрицательная в разрезе 5, а с содержанием ила тесная.

Установлено, что усиление гидроморфизма изучаемой территории обуславливает процесс декарбонирования профиля чернозёма обыкновенного, следствием которого является деструкция гранулометрических фракций, обезиливание органофилия и оглинивание нижней части профиля.

Библиографический список

1. Адрихин П.Г. Изменение почв под влиянием лесных полос в Каменной степи / П.Г. Адрихин // Преобразование природы в Каменной степи. – Москва : Россельхозиздат, 1970. – С. 78–88.
2. Ахтырцев Б.П. Почвы и их изменение под влиянием лесных полос : монография / Б.П. Ахтырцев // Каменная степь: лесоаграрные ландшафты. – Воронеж : Изд-во Воронежского государственного университета, 1992. – С. 94–115.
3. Витер А.Ф. Обработка почвы в сочетании с применением удобрений в условиях Центрально-Чернозёмной зоны : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / А.Ф. Витер. – Воронеж, 1975. – 20 с.
4. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь / В.В. Докучаев. – Москва ; Ленинград : Сельхозгиз, 1936. – 116 с.
5. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение : учебник / В.И. Кирюшин. – Санкт-Петербург : КВАДРО, 2013. – 678 с.
6. Орлов Д.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, М.С. Розанова // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 918–926.
7. Стекольников К.Е. Карбонатно-кальциевый режим и гумусовое состояние чернозёмов лесостепи ЦЧЗ : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 03.02.13 / К.Е. Стекольников. – Воронеж, 2011. – 48 с.
8. Тумин Г.М. Влияние лесных полос на почву в Каменной степи / Г.М. Тумин. – Воронеж : Коммуна, 1930. – 40 с.
9. Хитров Н.Б. Подход к ретроспективной оценке изменения состояния почв во времени / Н.Б. Хитров // Почвоведение. – 2008. – № 8. – С. 899–912.
10. Хренова Н.В. Спектральная характеристика гумусовых кислот чернозёма обыкновенного Каменной степи / Н.В. Хренова, К.Е. Стекольников // Вестник студенческого научного общества. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 59–62.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Александра Михайловна Саинчук – аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrohimi@agronomy.vsau.ru.

Константин Егорович Стекольников – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrohimi@agronomy.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 21.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Aleksandra M. Sainchuk, Postgraduate Student, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrohimi@ag.vsau.ru.

Konstantin E. Stekolnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrohimi@ag.vsau.ru.

Received November 21, 2020

Accepted after revision December 26, 2020