

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 631.417.2:631.445

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

© 2006 г. О.С. Безуглова¹, Д.Г. Невидомская²

Рассмотрены процессы почвообразования чернозема обыкновенного карбонатного в условиях техногенных ландшафтов территорий действующих и рекультивированных полигонов твердых бытовых отходов (ТБО). Внимание акцентируется на изменениях условий гумификации в техногенно-преобразованных почвах полигонов ТБО, определяющих направление трансформации органического вещества и характер его отдельных компонентов.

Общеизвестно, что так называемые полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) и свалки стали неизбежными спутниками любых поселений городского типа и причиной резкого ухудшения экологического состояния природной среды прилегающих к ним селитебных территорий. В крупных городах, не говоря уже о мегаполисах, воздействие скопления огромных количеств ТБО вблизи мест массового проживания людей на их здоровье и комфортабельность жизни давно уже стало острой и труднорешаемой проблемой. Достаточно вспомнить, что в Российской Федерации более 95% ТБО продолжают вывозить на свалки, площади которых только расширяются от года к году, причем к санкционированным местам сброса ТБО повсеместно присоединяются еще и несанкционированные. Образование и функционирование полигонов ТБО производит значительное негативное воздействие на все компоненты биосферы, но если их влияние на атмосферу и гидросферу уже ряд лет привлекает внимание экологов, то работ, посвященных воздействию ТБО на почвы, явно недостаточно.

Процесс деградации почвенного покрова происходит прежде всего под воздействием веществ и материалов, поступающих на территорию полигонов ТБО в составе отходов. Это могут быть сугубо бытовые и/или промышленно-хозяйственные отходы. При этом отходы оказывают как механическое (захламление), так и химическое воздействие в результате разложения и

выщелачивания токсичных веществ, входящих в состав отходов и представляющих серьезную опасность для загрязнения почвы, атмосферы и грунтовых вод смежных территорий. Происходят значительные трансформации, сопровождающиеся ухудшением физического и биологического состояния почвенного покрова, а также снижением (потерей) плодородия почв [1]. В итоге из сельскохозяйственного оборота, из состава площадей, вполне пригодных для целей жилищного технического строительства, изымаются значительные земельные участки под полигоны захоронения ТБО. Ростовская область в этом отношении не является исключением.

Для таких техногенных объектов представляет особый интерес рассмотреть процессы почвообразования, механизмы саморегулирования и реставрации почвенной системы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район проведения исследований находится на территории Нижнего Дона, в пределах степной зоны Приазовско-Предкавказской почвенной провинции черноземов обыкновенных теплых, кратковременно промерзающих южно-европейской фации, представленной пологоувалистой равниной высотой над уровнем моря от 0,05 до 250 м. Исторически сложившееся наименование этого подтипа – чернозем североприазовский.

Для изучения генезиса черноземных почв техногенных ландшафтов – полигонов ТБО были выбраны два полигона ТБО в городе Ростове-

¹ Ростовский государственный университет, Ростов-на-Дону.

² Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону.

на-Дону: действующий полигон ТБО “Западный” и законсервированная свалка “Северная”, а также два действующих полигона ТБО городов-спутников Ростова: г. Аксая – полигон ТБО “Аксацкий” и г. Батайска – полигон ТБО “Батайский”. Было заложено 14 разрезов и прикопок, при этом выбор мест закладки профилей обуславливался их расположением относительно основных ландшафтно-геохимических зон, местоположением по формам рельефа, учитывалась также удаленность от “тела” свалки.

Диагностику техногенно-преобразованных почв проводили с использованием номенклатуры “Классификации и диагностики почв России” [2] и пособия “Антропогенные почвы” [3]. Закладка почвенных разрезов проводилась осенью 2000 г. и летом 2003 г. Метеорологические условия в годы проведения исследований характеризовались среднестатистическими показателями. Для изучения трансформации почв территорий полигонов ТБО был выбран метод сопоставления. Он заключается в сравнении почвенных характеристик целинных (старозалежных) и пахотных аналогов. В нашем случае в качестве эталона сравнения выступила целинная зональная почва, а фона – пахотная почва. Целинная почва – чернозем обыкновенный карбонатный на лессовидной глине государственного памятника местного значения с режимом заповедника “Персиановская степь” Октябрьского района Ростовской области.

Общее содержание гумуса в почве определяли по Тюрину в модификации Симачова [4]; качественный фракционно-групповой состав гумуса – по схеме И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [5]. Для более полного изучения трансформации органического вещества почв техногенно-измененных ландшафтов были выделены препараты гуминовых кислот [6]. Элементный анализ выделенных препаратов был выполнен на С,Н,N-анализаторе фирмы “Perkin Elmer”, модель 2400. Определение остатка проводили весовым методом (прокаливанием навески в токе кислорода и последующим взвешиванием остатка). Содержание кислорода рассчитывали по разности между массой беззольной безводной навески и суммарным содержанием С,Н,N. Макроморфологическое изучение осуществлялось непосредственно в полевых условиях, где определяли характер неоднородности почвенной массы. Исследования на микроморфологическом уровне проводили в прозрачных шлифах ненарушенного сложения, приготовленных на

основе отечественных полиэфирных смол без проваривания в канифоли [7], в диапазоне увеличений от 27 до 57 с помощью поляризационного микроскопа Polam-113.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На начальных этапах организации полигонов ТБО доминирует техногенный процесс почвообразования, определяющий состояние и характер почвенного покрова. Значительный вклад в преобразование и дифференциацию почвенной толщи вносят состав и характер вмещающих и привнесенных грунтов, загрязнения антропогенными включениями в результате захламления и делювиального сноса материала с антропогенного аккумулятивного неорельефа в виде “тела” свалки.

Антропогенная деятельность на полигонах ТБО нарушает динамическое соотношение фазового состава почвы, что неизменно приводит к изменениям большого спектра почвенных свойств. Органическое вещество почв, представленное специфическими почвенными соединениями – гумусовыми кислотами, также подвергается трансформациям.

Совокупное воздействие процессов гидроморфизма, антропогенной турбации почвенно-грунтового материала, техногенного переуплотнения, загрязнения способствует миграции соединений железа и марганца, нарушению карбонатно-кальциевой системы, развитию явлений слитизации, оглеения, осолонцевания и т.д. [8]. Это в свою очередь не может не повлиять на общее содержание гумуса и его качество, а также на структуру гумусовых компонентов.

Для североприазовских черноземов характерно постепенное уменьшение содержания гумуса вниз по профилю с максимумом в верхней части гумусово-аккумулятивной толщи с колебаниями от 4,4 до 7,6% [9]. Данные представления наглядно демонстрируются в целинном черноземе (табл. 1), где содержание гумуса в дерновом горизонте составляет 6,4% ($C_{общ.}$ 3,7%), постепенно уменьшаясь от 6,4 до 1,4% ($C_{общ.}$ от 3,7 до 0,8%) на глубине 100 см. Микростроение характеризуется биогенной агрегированностью и губчатым сложением почвенной массы; присутствуют внутриагрегатные и межагрегатные поры-трещины, в которых располагаются многочисленные органические остатки разной степени трансформации. Органическое вещество находится в скоагулированном состоянии (рис. 1а). Пахотный аналог характеризуется тем, что в результате сельскохозяйственного исполь-

Таблица 1. Фракционно-групповой состав гумуса целинного, пахотного чернозема и почв полигонов ТБО (в % от $C_{\text{общ.}}$ почвы)

Горизонт	Граница горизонта, см	C _{общ.} , %	C _{ТК}			ΣC _{ТК}	C _{ФК}			ΣC _{ФК}	C _{ТК} + C _{ФК}	C _{п.} C _{ФК}	Гумин (=НО)	E, мг/мл	
			1	2	3		1а	1	2						3
Разрез 000. Целина. Чернозем обыкновенный карбонатный мощный среднегумусный легкоглинистый на карбонатной лессовидной глине															
Ad	0-19	3,7	1,4	20,3	4,9	26,6	1,6	0,3	7,8	4,6	14,3	40,8	1,9	59,2	38,0
A	19-59	2,6	1,5	23,8	5,0	30,3	1,5	0,4	10,5	6,2	18,5	48,9	1,6	51,1	31,3
AB	59-70	1,2	1,7	12,5	7,5	21,7	0,5	-	10,3	10,0	20,8	42,5	1,0	57,5	2,0
B1	70-92	0,8	1,3	7,0	8,0	16,3	1,3	-	11,2	12,5	23,8	41,3	0,7	60,0	1,8
Bca	92-110	0,5	2,0	10,0	14,0	26,0	2,0	-	22,0	16,0	40,0	66,0	0,7	34,0	1,7
BCsa	110-185	0,4	-	10,0	15,0	25,0	2,8	-	21,9	17,8	42,5	67,5	0,6	32,5	1,5
Csa	185-190	0,3	-	11,0	16,7	27,7	5,3	-	25,5	21,7	52,3	80,0	0,5	20,0	1,5
Разрез 03/02. Пашня. Чернозем обыкновенный карбонатный мощный малогумусный тяжелоуглинистый на тяжелом лессовидном суглинке															
Апах	0-28	2,5	1,2	28,0	9,2	38,4	2,8	1,2	9,2	5,6	18,8	57,2	2,0	42,8	34,6
Ап/п	28-45	1,2	2,5	30,0	14,2	46,7	5,0	1,7	12,5	10,0	29,2	75,8	1,6	24,2	25,7
B1	45-60	1,0	2,0	23,0	15,0	40,0	5,0	3,0	16,0	12,0	36,0	76,0	1,1	24,0	9,5
B2	60-90	0,9	2,2	12,2	16,7	31,1	4,4	3,3	13,3	14,4	35,6	66,7	0,9	33,3	2,2
BC	90-105	0,4	2,5	10,0	15,0	27,5	7,5	7,5	12,5	20,0	47,5	75,0	0,6	25,0	1,8
Полигон ТБО "ЗАПАДНЫЙ"															
Разрез 001. Техно-чернозем гидрометаморфизированный насыщенный карбонатсодержащий															
TGua	0-10	1,0	2,0	5,0	15,0	22,0	4,0	1,0	6,0	34,0	45,0	67,0	0,5	33,0	0,6
[A]ca	10-38	2,3	0,9	16,9	10,0	27,8	3,0	1,3	5,2	11,7	21,2	49,0	1,3	51,0	21,6
ABca	38-75	2,1	0,5	5,2	7,1	12,8	5,7	0,5	13,8	18,6	38,6	51,4	0,3	48,6	15,2
Bca	75-96	1,0	1,0	3,0	17,0	21,0	7,0	1,0	5,0	33,0	46,0	67,0	0,5	33,0	0,6
Свалка "СЕВЕРНАЯ"															
Разрез 006. Техно-чернозем насыщенный карбонатсодержащий турбированный															
TGd	0-6	5,3	0,8	3,9	8,7	13,4	2,3	6,2	-	2,6	11,1	24,5	1,2	75,5	0
TGua	6-16	3,3	1,2	6,9	8,5	16,7	4,9	4,6	-	7,6	16,9	33,6	1,0	66,4	0
[A]ca	16-55	2,7	1,1	27,4	6,9	37,0	6,7	-	10,4	5,6	22,6	59,3	1,6	40,7	28,6
[AB]ca	55-95	1,4	1,3	30,0	8,3	39,6	4,2	0,8	12,1	7,1	24,2	63,8	1,6	36,2	30,9
Прикопка 008. Целозем гумусовый глееватый подстилаемый бытовыми отходами															
TGdu-Ca-Fe	0-6	0,9	3,3	13,3	21,1	37,8	8,9	-	16,7	6,7	32,2	70,0	1,2	30,0	1,1
Полигон ТБО "АКСАЙСКИЙ"															
Разрез 03/1. Технозем черноземовидный гидрометаморфизированный насыщенный карбонатсодержащий глубоководноурбированный															
TG11↑Ca	0-10	1,2	-	14,2	7,5	21,7	5,0	-	4,2	24,2	33,3	55,0	0,7	45,0	1,1
TG21↑U-Ca	10-35	1,2	-	7,5	11,7	19,2	2,5	0,8	9,2	20,8	33,3	52,5	0,6	47,5	1,6
TG31↑(e)U-Ca-Fe	35-60	1,0	-	11,0	13,0	24,0	2,0	1,0	11,0	22,0	36,0	60,0	0,7	40,0	1,3
TG41↑(e)U-Ca-Fe	60-85	0,4	2,5	10,0	12,5	25,0	7,5	-	10,0	20,0	42,5	67,5	0,6	32,5	7,9
[A](g)Ca-Fe	85-дно	1,0	2,0	23,0	14,0	39,0	6,0	-	9,0	20,0	35,0	74,0	1,1	26,0	19,9

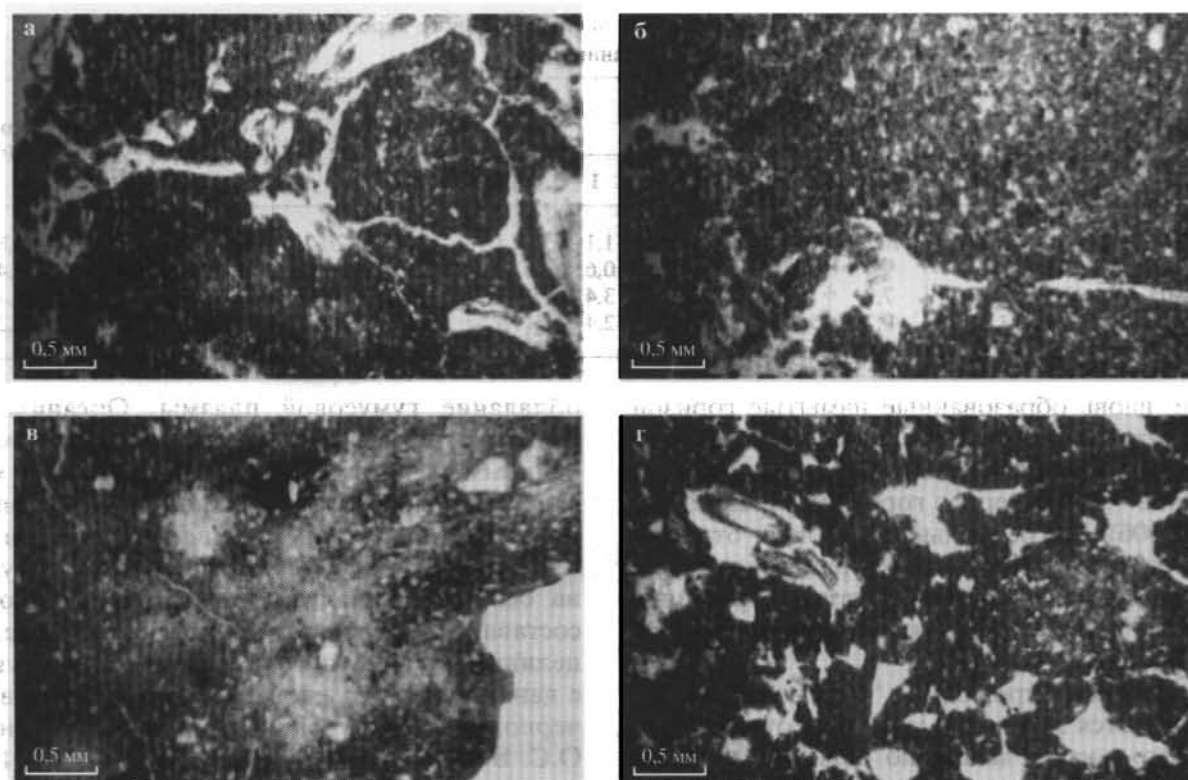


Рис. 1. Микроморфологическое строение целинного, пахотного, техногенного и погребенного горизонтов: а – глинисто-гумусовая плазма и зоогенная структура гумусово-аккумулятивного целинного чернозема (разрез 000, горизонт Ad 0–19 см, N II); б – консолидированное микросложение глинистой плазмы пахотного горизонта (разрез 03/2, горизонт A_{пах.} 0–28 см, N II); в – техногенная структура, иллюстрирующая мозаичный характер микрофрагментов с гумусовой, железистой и карбонатной плазмой (разрез 001, горизонт TG_{гуса} 0–10 см, N II); г – глинисто-гумусовая плазма погребенного горизонта с сохранившимися анатомическое строение растительными остатками в порах-трещинах (разрез 006, горизонт [A]са 16–55 см, N II)

зования верхний дерновый горизонт трансформируется в пахотный слой. При этом уничтожается естественная растительность, которая в первую очередь обеспечивает равновесие гумусной системы. Прогрессирующие процессы минерализации органического вещества, обусловленные притоком дополнительного количества кислорода и отчуждением с урожаем синтезированной за вегетационный период фитомассы, приводят к снижению в пахотном слое содержания общего гумуса до 4,3% ($C_{\text{общ.}}$ 2,5%) (табл. 1).

Микростроение пахотной почвы характеризуется большей консолидированностью массы, чем у целинной почвы, так как при распашке биогенная агрегированность, губчатость частично утрачиваются, сменяясь блоковой структурой (рис. 1б).

Данные по содержанию гумуса в техногенно-преобразованных почвах ландшафтов полигонов ТБО довольно пестрые. Выявляются две направленности, которые непосредственно влияют

на разброс значений в содержании гумуса по профилям техногенных почв: 1) богатство органическим веществом того субстрата, который участвует в образовании техногенных горизонтов – TG; 2) наличие погребенных горизонтов, которые обособляются в профилях техногенных почв. Эти особенности в первую очередь проявляются на уровне морфологии, определяя тем самым мозаичный характер микрофрагментов в составе плазмы техногенно-нарушенных почв, с преимущественно гумусовыми, железистыми и карбонатными участками (рис. 1в). Наличие “тела” свалки, как следствия рекультивационных работ, приводит к формированию аккумулятивного антропогенного ландшафта, смыву с бортов “тела” свалки на смежные подчиненные ландшафты материала гетерогенного характера – смеси материала реплантанта (здесь: материал желто-бурой глины, который использовался для захоронения ТБО) и отходов. В результате в микропонижениях профиль черноземных почв состоит из четко различающихся

Таблица 2. Фракционно-групповой состав гумуса чернозема обыкновенного карбонатного (североприазовского), целина (по данным [12])

Горизонт, граница, см	$C_{гк}$			$\Sigma C_{гк}$	$C_{фк}$				$\Sigma C_{фк}$	$C_{гк} + C_{фк}$	$\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$	Гумин (=НО)
	1	2	3		1а	1	2	3				
Ad 0–35	0,9	22,9	14,7	38,5	1,0	1,1	12,1	6,5	20,7	59,2	1,9	40,8
AB 35–70	1,2	24,1	9,4	34,7	2,1	0,6	13,3	5,9	21,9	56,6	1,6	43,4
B 70–105	2,2	27,1	7,2	34,5	3,1	3,4	16,2	7,4	30,1	64,6	1,2	35,4
BC 105–120	2,1	18,5	9,7	30,0	0,9	2,4	19,1	8,1	30,5	60,8	1,0	39,2

частей: вновь образованные намытые горизонты, содержащие большое количество антропогенных включений на всех уровнях исследования и нижние – погребенные горизонты (разрез 007, разрез 006). Погребенные горизонты отличается выраженная зоогенная структура с преимущественно гумусовой плазмой, остатками растений, мелкими хорошо оформленными агрегатами (рис. 1г).

На законсервированной “Северной” свалке локализуются залежные участки, которые в силу своего расположения по рельефу (повышения) не несут в своем профиле отпечатки техногенных трансформаций, но они сохранили все черты прошлого сельскохозяйственного использования. При этом на залежных участках (разрез 005) по сравнению с пахотным участком (разрез 03/2) наблюдается некоторое повышение гумусированности почвенных горизонтов, что даже сближает залежь с целинным черноземом.

На территориях полигонов ТБО изначально формируются особые фитогенотипы, отличные от флористического состава целины. Преобладающей жизненной формой в растительных сообществах свалки являются терофиты. Большинство однолетников – типичные представители рудеральной растительности: марь белая (*Chenopodium album* L.), различные виды лебеды (род *Atriplex* L.), щирицы (род *Amaranthus* L.), пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris* L.), дурнишник игольчатый (*Xanthium spinosum* L.), дескуракия Софии (*Descurainia Sophia* L.) и т.д.

Данная рудеральная растительность очень быстро осваивает техногенно-нарушенные территории, выступая ведущим фактором, способствующим восстановлению исходных, естественных почв, так как в почву ежегодно поступает созданная за вегетационный период биомасса. Ведь именно дерновый процесс в первую очередь определяет регенерацию нарушенных территорий полигонов ТБО, и примером тому являются почвы законсервированной “Северной” свалки, где на микроуровне приоритетным становится пре-

обладание гумусовой плазмы. Органическое вещество, согласно его качеству, придает минеральным частицам субстрата гидрофобный характер, что снижает возможность смачивания и уменьшает опасность разрушения агрегатов [10].

Исследование качественного состава гумуса на основании анализа фракционно-группового состава гумуса показало, что наши данные, для целинного и пахотного черноземов, согласуются с данными по исследованию североприазовских черноземов, полученными ранее. По данным О.С. Безугловой [11] и Н.В. Горяиновой [12], в верхних горизонтах черноземов обыкновенных (североприазовских) отношение $C_{гк}:C_{фк}$, определяющее степень гумификации, составляет на целине – 1,9, а на пашне 1,6–2,0 (табл. 2). Аналогичные результаты были получены нами при анализе целинного и пахотного черноземов (табл. 1).

В составе гумуса данных почв гуминовые кислоты преобладают над фульвокислотами в верхних горизонтах, а вниз по почвенному профилю соотношение меняется в сторону увеличения фульвокислот. Целинная и пахотная почвы характеризуются фульватно-гуматным типом гумуса. При этом отмечается, что отношение $C_{гк}:C_{фк}$ становится меньше единицы в гумусово-метаморфическом горизонте В, где проходит граница изменений в основных фазовых компонентах вторичных минералов и появляются карбонаты. Явление иллитизации (преобладание группы гидрослюдов с доминированием минерала иллита), характерное для верхних горизонтов чернозема [13], сменяется в горизонте В увеличением лабильных структур (минералы монтмориллонитовой группы), что диагностировано нами ранее при исследовании минералогического состава [14]. В работе В.С. Крыщенко и О.С. Безугловой [15] отмечено, что более интенсивная трансформация гидрослюдов в горизонте В стимулируется благоприятными водно-тепловыми свойствами почвы на этой глубине по сравнению с условиями выше- и нижележащих горизонтов.

Данное явление находит отражение и в распределении значений фракций ГК-2 и ГК-3 по профилям почв; гуминовые кислоты, предположительно связанные с Са (ГК-2), доминируют в верхних горизонтах (12,5–23,8%), тогда как в нижних горизонтах начинают преобладать гуминовые кислоты, связанные с устойчивыми комплексами Fe и Al и глинистыми минералами (ГК-3), доля которых увеличивается с 4,9 до 16,7%. Содержание свободных и связанных с полуторными окислами гуминовых кислот (ГК-1) и свободных фульвокислот (ФК-1а) в исследуемых почвах небольшое (табл. 1), что согласуется с данными Н.В. Горяиновой (табл. 2). Обращают на себя внимание достаточно высокие значения гумина (негидролизуемого остатка).

По данным М.М. Кононовой [16] и Д.С. Орлова [17, 18], в состав гумина, кроме гуминовых кислот, прочно связанных с минеральной частью почвы, входят полуразложившиеся растительные остатки разной степени гумификации, потерявшие форму и анатомическое строение, обладающие явно выраженными свойствами гидрофильных коллоидов (детрит). Можно предположить, что именно эта часть органического вещества является источником новообразованного (“молодого”) гумуса.

Качественный состав техногенных почв непосредственно определяется теми воздействиями, которые были перечислены в начале статьи, и в общих чертах повторяет характер распределения валового содержания гумуса по профилю. Отношения $C_{гк}:C_{фк}$ обнаруживают сильный разброс от 0,3 до 1,6 (табл. 1) и соответственно тип гумуса изменяется от фульватного до гуматного. При этом отмечено увеличение доли подвижных фракций ФК-1а и ФК-1. Имеется направленность в потере фракций ГК-2 и ФК-2, связанных с обменным кальцием. В то же время для некоторых почв отмечено увеличение содержания фракций ГК-3 и ФК-3 (разрез 001, 03/1, прикопка 008).

Причины данных видоизменений носят комплексный характер. Турбированный насыпной карбонатный почвенно-грунтовый материал, формирующий техногенные горизонты, обладает незначительным потенциальным плодородием, что сказывается на значениях отношений $C_{гк}:C_{фк}$, особенно в почвах “Западного” и “Аксайского” полигонов ТБО.

Оценка оптической плотности (E , мг/мл), определенная у фракции ГК-2 исследованных почв, выявила, что более молодые в химическом отношении макромолекулы ГК техногенных горизонтов оптически менее плотны и отличаются

от ГК горизонтов зрелых фоновых почв, а также от погребенных горизонтов (табл. 1). Характеризуя особенности строения молекул ГК, величины их оптических плотностей зависят от соотношения углерода, входящего в состав ядра молекул ГК, и углерода периферических цепочек. E -величины техногенных горизонтов свидетельствуют о незначительной сконденсированности ядра ГК и преобладании в молекулах доли разветвленных структур, практически не обладающих светопоглощением.

На фоне подтопления, локально возникающего на полигонах ТБО в техногенных почвах, окислительно-восстановительная обстановка смещается в сторону восстановительных реакций. Органическое вещество непосредственно участвует в окислительно-восстановительных реакциях и воздействует чисто химическим путем, обладая довольно сильно выраженной восстановительной способностью [19]. Снижение окислительно-восстановительного потенциала приводит к тому, что сами гумусовые вещества начинают испытывать трансформации в сторону преимущественного образования гумусовых веществ фульватно-кислотной природы, увеличивается предельная концентрация R_2O_3 , при которой комплексные соединения становятся лабильными, что в техногенно-преобразованных почвах морфологически отражается в проявлении цементации почвенной массы свободными гидроокислами. Состав катионов поглощенного комплекса техногенных почв в свою очередь также влияет на подвижность соединений гуминовых кислот. Достаточно высокая доля магния и натрия в составе поглощенных оснований [8] способствует образованию подвижных, обладающих гидрофильностью гуматов магния и натрия.

Особенности минеральной почвенной фазы техногенных почв определяют создание прочной связи между высокодисперсными формами гумуса и глинистыми минералами, которая возникает в результате валентных связей органического вещества с поверхностью глинистых частиц. Ее появлению благоприятствует избыточное увлажнение.

На полигонах ТБО в профилях техногенно-нарушенных почв (разрезы 006, 007, 03/1) мы диагностировали погребенные горизонты, которые прежде всего характеризуются увеличением отношения $C_{гк}:C_{фк}$ по сравнению с верхними техногенными горизонтами. Распределение основных фракций гумусовых кислот согласуется с таковыми в верхних горизонтах целинного и пахотного черноземов, так как увеличивается

Таблица 3. Элементный состав гуминовых кислот и степень их окисленности в целинной и техногенно-измененных почвах

Горизонт	Граница горизонта, см	Содержание элементов, ат. %				Атомные отношения				ω
		C	H	O	N	H:C	O:C	(H:C) испр.	C:N	
Разрез 000. Целина. Чернозем обыкновенный карбонатный мощный среднегумусный легкоглинистый на карбонатной лессовидной глине										
AD	0-19	37,85	37,89	21,46	2,80	1,00	0,57	1,76	13,55	+0,13
A	19-59	36,92	37,76	22,69	2,63	1,03	0,61	1,85	14,35	+0,21
Полигон ТБО "ЗАПАДНЫЙ"										
Разрез 001. Техно-чернозем гидротермально-метаморфизованный насыщенный карбонатсодержащий										
AB	38-75	38,06	35,80	23,56	2,58	0,94	0,62	1,77	14,75	+0,30
Свалка "СЕВЕРНАЯ"										
Разрез 005. Залежь. Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на тяжелом лессовидном суглинке										
Ad	0-15	34,01	39,86	22,96	3,19	1,17	0,67	2,07	10,80	+0,18
Астаропах	15-32	35,21	38,08	23,45	3,26	1,08	0,67	1,97	10,85	+0,25
Bl	50-70	37,44	36,70	24,47	2,80	0,98	0,66	1,86	13,37	+0,33
Разрез 006. Техно-чернозем насыщенный карбонатсодержащий турбированный										
TGd	0-6	26,85	39,81	31,52	1,83	1,48	1,17	3,06	14,67	+0,87
[A]ca	16-55	36,78	37,05	24,03	2,15	1,01	0,65	1,88	17,11	+0,30
Разрез 007. Технозем черноземовидный дерново-намытый насыщенный карбонатсодержащий глубоко-турбированный										
TGd↓↑ _{Ca-Fe}	0-8	33,28	39,06	25,21	2,46	1,17	0,76	2,20	13,53	+0,34
TGI↓↑ _{U-Ca}	8-16	33,23	36,97	27,26	2,54	1,11	0,82	2,21	13,08	+0,53
[A]ca	42-65	34,50	37,29	25,83	2,38	1,08	0,75	2,09	14,50	+0,42
Прикопка 008. Пелозем гумусовый глееватый подстилаемый бытовыми отходами										
TGd _{U-Ca-Fe}	0-6	34,12	44,52	18,84	2,54	1,30	0,55	2,05	13,43	-0,20

доля фракции ГК-2 и ФК-2 и уменьшается содержание фракций ГК-3 и ФК-3.

На "Северной" свалке (разрез 006, техно-чернозем насыщенный карбонатсодержащий турбированный) обнаруживается явление, когда при достаточно высоких значениях $C_{\text{общ.}}$ (3,3–5,3%) в техногенных горизонтах величины $C_{\text{ГК}}:C_{\text{ФК}}$ составляют 1,0–1,2, тогда как в ниже лежащих погребенных горизонтах при меньших значениях $C_{\text{общ.}}$ (2,4–2,7%) отношение $C_{\text{ГК}}:C_{\text{ФК}}$ составляет 1,6. По основным группам гумусовых кислот получены низкие значения ($\Sigma C_{\text{ГК}}$ – 13,4–16,7%, $\Sigma C_{\text{ФК}}$ – 11,1–16,9%), для погребенных горизонтов доли этих групп гумуса значительно выше ($\Sigma C_{\text{ГК}}$ – 37,0–39,6%, $\Sigma C_{\text{ФК}}$ – 22,6–24,2%). Возможно, это связано с поступлением бытовых отходов, загрязненных нефтепродуктами.

Из полученных результатов, представленных в табл. 3, следует, что элементный состав ГК це-

линой и техногенно-нарушенных почв неодинаков. Практически везде наблюдается преобладание водорода над углеродом, причем отношение H:C заметно увеличивается (1,11–1,48) в горизонтах TG, образованных за счет техногенных напластований, что свидетельствует о максимальном вкладе ненасыщенных фрагментов в структуру их ГК по сравнению с горизонтами целинной почвы, залежи, погребенными и ненарушенными горизонтами (0,94–1,08).

Достаточно высокие значения соотношения O:C, характерные для ГК некоторых техногенных горизонтов, указывают на повышенное содержание в этих препаратах кислородсодержащих функциональных групп. Содержание кислорода в исследуемых препаратах ГК различно. Рассчитанные соотношения H:C и O:C являются косвенными характеристиками соответственно ненасыщенности и окисленности молекул ГК.

Как следует из многих литературных источников [11, 20, 21 и т.д.], соотношение Н:С является довольно показательным косвенным индикатором для характеристики содержания ароматических фрагментов в структуре ГК.

Углерод ГК распределяется по профилям техногенных почв таким образом, что максимальные значения обуглероженности (34,01–38,06%) наблюдаются в погребенных и ненарушенных горизонтах, которые приближаются к значениям углерода ГК гумусово-аккумулятивного горизонта целинного чернозема (36,92–37,85%).

Содержание кислорода в исследуемых препаратах ГК неоднородно. Наиболее окисленными являются ГК техногенных горизонтов (25,21–31,52%) техно-чернозема насыщенного карбонатсодержащего турбированного (разрез 006) и отчасти технозема черноземовидного дерново-намытого насыщенного карбонатсодержащего глубокотурбированного (разрез 007). Это подтверждается расчетом показателя ω – степени окисленности ГК (по Д.С. Орлову [21]), который составляет от +0,34 до +0,87. Эталонное значение степени окисленности ГК черноземов, вычисленное Д.С. Орловым, составляет +0,13, что точно соответствует значению степени окисленности дернового горизонта контрольной целинной почвы. Аномально высокие значения показателя ω свидетельствуют об активном процессе гумификации в насыпных и намытых горизонтах, чему способствует поступление растительных остатков, а также веществ, “смываемых” с бортов “тела” свалки и аккумулирующихся в микро- и мезопонижениях.

Особенный интерес представляет препарат ГК прикопки 008, заложенной на пелоземе гумусовом глееватом, подстилаемом бытовыми отходами. Пелозем, являющийся примитивной почвой, образовался на рекультивированной части “тела” свалки, он представляет иллюстрацию процесса первичного почвообразования. Исходя из полученных значений степени окисленности, которая в данной почве имеет отрицательный знак (–0,20), содержания кислорода – 18,84% и избытка водорода – 44,52% (табл. 3), можно сделать вывод о восстановленном характере почвенного материала данного препарата ГК. Но явное отсутствие источников увлажнения в формирующемся “профиле” новообразованной почвы исключено уже самим возвышающимся положением “тела” свалки. Проявление восстанавливающего эффекта обусловлено биохимической средой, формирующейся внутри “тела”

свалки и воздействующей на свойства реплантанта. В результате биохимических превращений органической составляющей “тела” свалки с участием специфических групп микроорганизмов и их метаболитов образуются агрессивные продукты реакций – летучие жирные кислоты, а также водород [22].

Наряду с углеродом, кислородом и водородом в состав молекул ГК входит азот, являясь обязательным минорным элементом. При этом основная часть азота ГК входит в состав карбасных циклических форм, и меньшая находится в периферических структурах [17, 21]. Согласно полученным данным наибольшее содержание азота отмечено для залежи (2,80–3,26%) и целины (2,63–2,80%), это вполне объясняется тем, что в верхние горизонты данных почв непрерывно поступало значительное количество растительных остатков, служащих источником азота, и в процессе гумификации он “захватывался” ГК [11]. Это может указывать на то, что в более зрелых, конденсированных макромолекулах ГК данных почв азот сосредоточен в составе циклических соединений развитой части ядра. В техногенных почвах содержание азота характеризуется несколько меньшими величинами – от 1,83 до 2,54%, что может быть связано с меньшим количеством и качеством растительных остатков, а молодость и химическая “незрелость” макромолекул ГК предполагает доминирование периферических цепочек в составе молекулы ГК, где азотсодержащие группы представлены в меньшей степени.

О характере химических процессов, влияющих на формирование ГК, можно судить по диаграмме Ван Кревелена (рис. 2).

Для ГК целинного чернозема, погребенных и ненарушенных горизонтов технопочв выражены процессы дегидратации, деметилирования и декарбоксилирования.

Для препаратов ГК техногенных горизонтов (разрез 006) трансформация идет в сторону окисления, гидрогенизации, карбоксилирования и метилирования, что свидетельствует о возрастании алифатических цепочек в построении молекул ГК. В препарате ГК из пелозема гумусового глееватого, подстилаемого бытовыми отходами, направление изменений, происходящих с органическим веществом, смещено в сторону процессов восстановления и метилирования, что также указывает на нарастание периферической части ГК (рис. 2).

Некоторые особенности строения молекул ГК иллюстрирует показатель зольности препара-

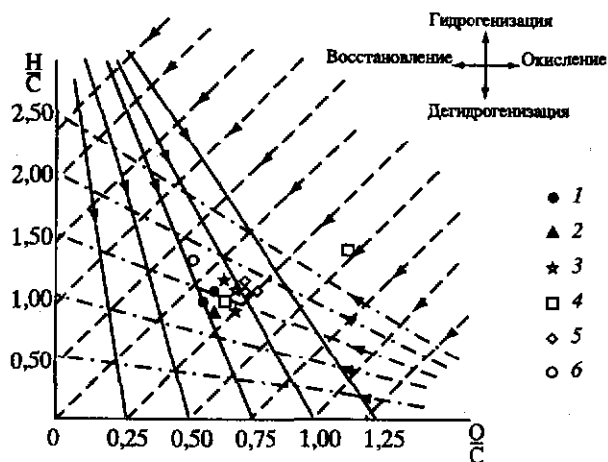


Рис. 2. Диаграмма атомных отношений $H:C - O:C$ гуминовых кислот: 1 – целина. Чернозем обыкновенный карбонатный мощный среднегумусный легкоглинистый на карбонатной лессовидной глине; 2 – техно-чернозем гидротаморфизированный насыщенный карбонатсодержащий; 3 – залежь. Чернозем обыкновенный карбонатный средне-мощный малогумусный тяжелосуглинистый на тяжелом лессовидном суглинке; 4 – техно-чернозем насыщенный карбонатсодержащий турбированный; 5 – технозем черноземовидный дерново-намытый насыщенный карбонатсодержащий глубокотурбированный; 6 – пелозем гумусовый глееватый подстилаемый бытовыми отходами. Отмечены направления: деметилирования (сплошная стрелка), дегидратации (штриховая стрелка) и декарбоксилирования (штрих-пунктирная стрелка)

ратов. Так как все препараты получены в одинаковых условиях, то высокие значения зольности препаратов ГК техногенных горизонтов от 6,15% до 32,58% свидетельствуют о высокой комплексобразующей способности ГК, что обусловлено более развитой периферической частью молекул. Для сравнения: зольность препаратов ГК целины находится в пределах 4,67–5,03%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В черноземной зоне на территории рекультивированной свалки ТБО в верхних горизонтах техногенно-нарушенных почв первичная рудеральная растительность способствует возобновлению дернового процесса, где довольно быстро (за 7–10 лет) начинают формироваться достаточно хорошо оструктуренные дерновые горизонты, морфологические характеристики которых уже можно сравнивать с таковыми целинного и пахотного черноземов.

В почвах техногенных ландшафтов наблюдается изменение их гумусного состояния: содержание гумуса может как снижаться, так и увели-

чиваться в зависимости от обогащенности органическим веществом погребенных горизонтов, а также природы субстрата, который участвует в образовании техногенных горизонтов. Увеличение лабильных форм гумуса сопровождается цементацией почвенной массы свободными R_2O_3 ; гидрофильности гумуса способствует образование подвижных гуматов Mg и Na . Техногенное переувлажнение определяет создание прочной связи между высокодисперсными формами гумуса и глинистыми минералами, что увеличивает долю фракций ГК-3 и ФК-3.

В качестве особенностей элементного состава ГК техногенно-измененных почв можно отметить следующие: меньшая обуглероженность гумуса, увеличение отношения $H:C$, увеличение степени окисленности, высокая зольность ГК техногенных горизонтов по сравнению с ГК гумусово-аккумулятивного горизонта целинной черноземной почвы, а также погребенных и нарушенных горизонтов; химическая “незрелость” ГК новообразованных техногенных горизонтов, представляющих собой смесь неоднородного почвенно-грунтового материала, как исходных почвенных горизонтов, так и насыпных привнесенных, переотложенных грунтов, формирующих техногенные слои различной мощности с различными включениями и ксенобиотическими веществами, перекрывающими исходные зональные почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почва, город, экология / Под ред. Г.В. Добровольского. М.: Фонд “За экономическую грамотность”, 1997. 320 с.
2. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: Уч. пос. / Под ред. Г.В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
4. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
5. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
6. Орлов Д.С., Гришина Л.А., Ерошicheва Н.Л. Практикум по биохимии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1969. 160 с.
7. Каздым А.А., Седов С.Н. Методика изготовления прозрачных почвенных шлифов // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. 1998. № 5. С. 146–149.
8. Невидомская Д.Г. Особенности генезиса черноземных почв техногенных ландшафтов (полигонов

- ТБО) Нижнего Дона: Дис...канд. биол. наук. Ростов н/Д., 2005. 168 с.
9. Гаврилюк Ф.Я. Черноземы Западного Предкавказья. Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1955. 148 с.
 10. Kozak J., Nemecek J., Boruvka L., Valla M. Anthrosols developed on reclaimed dumpsites // Proceedings International Workshop Bratislava "Soil anthropization VI". Bratislava, 2001. P. 60–63.
 11. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России. Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. 228 с.
 12. Горяинова Н.В. Гумусное состояние черноземов юга Европейской России: Дис... канд. биол. наук. М., 1995. С. 59–75.
 13. Соколова Т.А. Закономерности профильного распределения высокодисперсных минералов в различных типах почв. М.: Изд-во МГУ, 1985. 86 с.
 14. Bezuglova O., Nevidomskaya D., Morozov I., Privalenko V. The clay minerals transformation in soil surrounding the landfills' territories // Int. Conf. on Soils of Urban. Indus. Traf. and Mining. Suitma, France, 2003.
 15. Крыщенко В.С., Безуглова О.С. О взаимосвязи минерального и органического вещества в черноземах Ростовской области // Научные основы рационального использования и повышения плодородия почв. Ростов н/Д: Изд-во Ростовского университета, 1978. С. 38–41.
 16. Кононова М.М. Проблемы почвенного гумуса и современные задачи его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 62–67.
 17. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М.: Изд-во МГУ, 1974. 331 с.
 18. Орлов Д.С. Химия почв: Учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 376 с.
 19. Николаева С.А., Еремина А.М. Окислительно-восстановительное состояние периодически переувлажняемых черноземных почв // Почвоведение. 2005. № 3. С. 328–336.
 20. Гречищева Н.Ю. Взаимодействие гумусовых кислот с полиядерными ароматическими углеводородами: химические и токсикологические аспекты: Автореф. дис... канд. хим. наук. М., 2000. 29 с.
 21. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
 22. Вавилин В.А., Локишина Л.Я., Ножевникова А.Н., Калужный С.В. Свалка как возбудимая среда // Природа. 2003. № 5. С. 37–45.

SOIL FORMATION IN TECHNOGENIC LANDSCAPES OF SOLID MUNICIPAL WASTES GROUNDS (FOLLOWING THE EXAMPLE OF THE ROSTOV REGION)

O.S. Bezuglova, D.G. Nevidomskaya

The ordinary carbonized chernozem formation processes in the conditions of the man-caused landscapes on active and reclaimed landfills of solid municipal waste territories were considered. Attention was paid to changes of the humification conditions of man-transformed soils of the solid municipal wastes landfills, defining the transformations direction of organic material and nature of it's separate components.

REFERENCES

1. Dobrovolskiy G.V. (Ed.). 1997. *Pochva, gorod, ekologiya*. [Soil, city, ecology]. Moscow, The Fund "For economic literacy": 320 p. (In Russian).
2. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. 2004. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii*. [Classification and diagnosis of soil Russia]. Smolensk, "Oykumena" Publ.: 342 p. (In Russian).
3. Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokof'eva T.V. 2003. *Antropogennye pochvy: genezis, geografiya, rekul'tivatsiya: Uchebnoe posobie*. [Anthropogenic soils: genesis, geography, reclamation: Textbook]. (Ed. G.V. Dobrovolskiy). Smolensk, "Oykumena" Publ.: 268 p. (In Russian).
4. Arinushkina E.V. 1970. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv*. [Guidance on chemical analysis of soil]. Moscow, Moscow State University Publ.: 487 p. (In Russian).
5. *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv*. [Agrochemical research methods of soil]. 1975. Moscow, Nauka Publ.: 656 p. (In Russian).
6. Orlov D.S., Grishina L.A., Eroshicheva N.L. 1969. *Praktikum po biokhimmii gumusa*. [Practical work on biochemistry of humus]. Moscow, Moscow State University Publ.: 160 p. (In Russian).
7. Kazdym A.A., Sedov S.N. 1998. [The method of manufacture of transparent thin sections of soil]. *Izv. vuzov. Ser. Geologiya i razvedka*. (5): 146–149. (In Russian).
8. Nevidomskaya D.G. 2005. *Osobennosti genezisa chernozemnykh pochv tekhnogennykh landshaftov (poligonov TBO) Nizhnego Dona. Dis. ... kand. biol. nauk*. [Features of the genesis of chernozems man-made landscapes (solid waste landfills) Lower Don. PhD Thesis]. Rostov-on-Don: 168 p. (In Russian).
9. Gavriluk F.Ya. 1955. *Chernozemy Zapadnogo Predkavkaz'ya*. [Chernozem of the Western Caucasus]. Kharkov, Kharkov University: 148 p. (In Russian).
10. Kozak J., Nemecek J., Boruvka L., Valla M. 2001. Anthrosols developed on reclaimed dumpsites. In: *Proceedings International Workshop Bratislava "Soil anthropization VI"*. Bratislava: 60–63.
11. Bezuglova O.S. 2001. *Gumusnoe sostoyanie pochv yuga Rossii*. [Humus soil conditions of southern Russia]. Rostov-on-Don, North-Caucasian Scientific Center of Higher School Publishers: 228 p. (In Russian).
12. Goryainova N.V. 1995. *Gumusnoe sostoyanie chernozemov yuga Evropeyskoy Rossii: Dis... kand. biol. nauk*. [Humus condition of chernozems southern European Russia. PhD Thesis]. Moscow: 59–75. (In Russian).
13. Sokolova T.A. 1985. *Zakonomernosti profil'nogo raspredeleniya vysokodispersnykh mineralov v razlichnykh tipakh pochv*. [Laws of profile distribution highly dispersed minerals in different types of soil]. Moscow, Moscow State University Publ.: 86 p. (In Russian).
14. Bezuglova O., Nevidomskaya D., Morozov I., Privalenko V. 2003. The clay minerals transformation in soil surrounding the landfills' territories. In: *Int. Conf. on Soils of Urban. Indus. Traf. and Mining*. Suitma, France.
15. Kryshchenko V.S., Bezuglova O.S. 1978. [On the relationship between mineral and organic matter in the black earth of the Rostov region]. *Nauchnye osnovy ratsional'nogo ispol'zovaniya i povysheniya plodorodiya pochv*. [Scientific basis for the rational use and improve soil fertility]. Rostov-on-Don, Rostov State University Publ.: 38–41. (In Russian).
16. Kononova M.M. 1951. *Problemy pochvennogo gumusa i sovremennye zadachi ego izucheniya*. [Problems of soil humus and modern tasks of its study]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ.: 62–67. (In Russian).
17. Orlov D.S. 1974. *Gumusovye kisloty pochv*. [Humic acid soils]. Moscow, State University Publ.: 331 p. (In Russian).
18. Orlov D.S. 1985. *Khimiya pochv. Uchebnik*. [Soil Chemistry. Textbook]. Moscow, State University Publ.: 376 p. (In Russian).
19. Nikolaeva S.A., Eremina A.M. 2005. [The redox state of periodically waterlogged chernozem soils]. *Pochvovedenie*. (3): 328–336. (In Russian).

20. Grechishcheva N.Yu. 2000. *Vzaimodeystvie gumusovykh kislot s poliyadernymi aromaticeskimi uglevodorodami: khimicheskie i toksikologicheskie aspekty. Avtoref. dis. ... kand. khim. nauk.* [Interaction of humic acids with polynuclear aromatic hydrocarbons: chemical and toxicological aspects. PhD Thesis Abstract]. Moscow: 29 p. (In Russian).
21. Orlov D.S. 1990. *Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii.* [Humic acid soils and the general theory of humification]. Moscow, State University Publ.: 325 p. (In Russian).
22. Vavilin V.A., Lokshina L.Ya., Nozhevnikova A.N., Kalyuzhnyy S.V. 2003. *Svalka kak vozbudimaya sreda.* [The dump as an excitable medium]. *Priroda.* (5): 37–45. (In Russian).