

УДК 631.47:631.421.3

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ГЕНЕЗИС
ПОЧВ ЮРЬЕВ-ПОЛЬСКОГО ОПОЛЯ
НА ПРИМЕРЕ ОАО «УЧХОЗ ДРУЖБА»**

И.М. ЯШИН, И.И. ВАСЕНЕВ, Р.А. АТЕНБЕКОВ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Изучены генезис и физико-химические свойства почв Юрьев-Польского ополя на примере ОАО «Учебно-опытное хозяйство «Дружба» (Ярославская область). На основе результатов полевого картирования и физико-химического анализа образцов почв нескольких экологических катен впервые изучены почвы с двучленным сложением профилей, когда в пределах первого метра супеси (и легкие суглинки) резко сменяются тяжелыми суглинками. Выявление на пашне таких профилей затруднено из-за нарушенности верхних генетических горизонтов и требует известных навыков, а также сведений о гранулометрическом составе почв по горизонтам.

Обосновываются экологические аспекты гумусообразования и водной миграции органических веществ. Установлено, что в лесных и аграрных экосистемах ОАО «Учхоз Дружба» распространены преимущественно подзолистые и дерново-подзолистые почвы, а по понижениям рельефа – дерновые, часто оглеенные и с мощным горизонтом A_1 , 32–39 см.

Охарактеризован фракционно-групповой состав гумуса лесных (фон) и аграрных почв ОАО «Учхоз Дружба». В еловом лесу состав гумуса гуматно-фульватный, а среди фракций в группе фульвокислот преобладает наиболее химически активная фракция 1а. На сенокосах, в горизонте A_1 , отмечено преобладание группы гуминовых веществ, а среди них фракции 1 – бурых гуминовых кислот. С помощью метода сорбционных лизиметров изучен состав водорастворимых органических веществ (ВОВ с кислотными свойствами) почв ельников и сенокосов. Отмечено, что из лесной подстилки больше мигрирует индивидуальных органических веществ (ИОВ) – низкомолекулярных органических кислот и полифенолов. В лесных почвах масштаб миграции больше, чем в почвах аграрных экосистем за счет большей массы растительного опада. Выявлен небольшой масштаб нисходящей водной миграции соединений Fe, которые мигрируют, в частности, и в форме устойчивых Fe-органических комплексов – в лесу 58,7–64,8% от общей диагностированной массы Fe. Почвы фоновых (лесных) и сенокосных фаций ОАО «Учхоз Дружба» отличаются низким валовым содержанием тяжелых металлов и микроэлементов – ниже санитарно-гигиенических нормативов ПДК. Поэтому производимая продукция экологически безопасная.

Ключевые слова: генезис почв, биогенная кислотность, почвы, эрозия, водная миграция, сорбционные лизиметры, экологические риски, состав гумусовых веществ, тяжелые металлы и микроэлементы.

Введение

В прошлом веке почвы Ополья с мощным гумусовым горизонтом называли «Юрьевский чернозем» [8, 9]. В настоящее время имеющаяся базовая информация по географии и почвам региона опирается на результаты исследований специалистов Тимирязевской академии, Почвенного института имени В.В. Докучаева, Владимирского университета и др. Специалисты выделяют здесь серые лесные, дерново-подзолистые и дерновые почвы. Однако единства взглядов, например, на генезис почв пока не выработано. Экологического мониторинга на стационарных площадках почти не проводилось, недостаточно полно охарактеризовано состояние и риски в агроландшафтах ОАО «Учебно-опытное хозяйство «Дружба». Указанным вопросам и посвящена настоящая статья.

Объекты исследований

Стационарные площадки в агроландшафтах ОАО «Учхоз «Дружба» были заложены в пяти катенах, включавших от двух до четырех разрезов (рис. 1):

- 1-я катена – на эрозионном склоне увала, у пруда д. Михалево (разрезы 1–4);
- 2-я катена – у карьера, на сенокосе недалеко от д. Дубки (разрезы 1я–4я);
- 3-я катена – на плакоре, недалеко от д. Михалево, на сенокосе (разрезы 5 и 6);
- 4-я катена – в понижении (пашня), у поворота шоссе на д. Кабанское (разрез 6я);
- 5-я катена – на плакоре, сенокос у конторы (разрез 16я).

В качестве фона выбран ельник сложный ОАО «Учхоз «Дружба» (рис. 1, в). Почвенные разрезы закладывали в катене: плакор, склон и подошва склона.

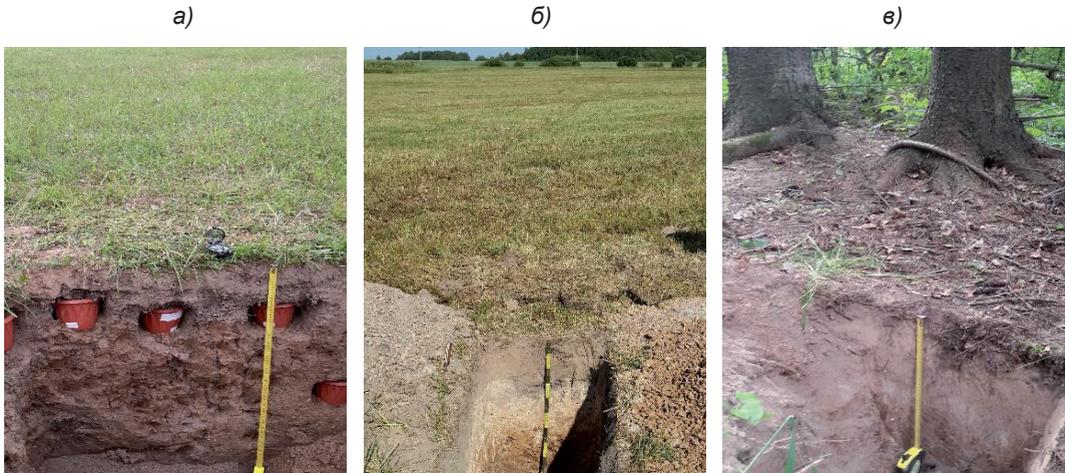


Рис. 1. Разрезы экологических катен в ОАО «Учхоз «Дружба»: а – профиль разреза 5 на сенокосе у д. Михалево (вблизи шоссе) с установленными сорбционными лизиметрами; б – профиль разреза 6 на том же сенокосе, что и разрез 5, но в западине; в – профиль дерново-подзола контактно-осветленного на двучленах в еловом лесу – разрез 10 (фото И.М. Яшина, 2015 г.)

Методы исследований

В качестве полевых методов применяли маршрутные исследования, стационарный и метод сорбционных лизиметров [7, 8], а также лабораторные физико-химические методы анализа почв. Индексы почв даны согласно работе [4].

Результаты и их обсуждение

В первую очередь необходимо рассмотреть морфологию почв некоторых стационарных площадок. Это связано с тем, что при генетической характеристике почв исследователи не всегда предоставляют подобную информацию. Кроме того, вместо цветных фото приводят схемы профилей: доказательная база генезиса почв по их морфологии, как важнейшего этапа их полевой диагностики, к сожалению, становится неполной [1, 9]. Ниже представлены морфологические признаки почв почвенно-экологической катены у д. Михалево; для почв разрезов 5 и 6 выполнен гранулометрический анализ.

Разрез 5 (рис. 1, а, табл. 1). Заложен на плакоре увала, на скошенном сенокосе, в 420 м к северо-востоку от д. Михалево и в 80 м к северу от шоссе. Абсолютная отметка местности: 217 м над уровнем моря. Координаты: N 56°41'46.7304"; E 39°8'20.7132". На поверхности почвы много микрозападин.

Т а б л и ц а 1

Строение профиля почв разреза 5

Горизонт	Глубина, см	Характеристика горизонта почвенного слоя
A _д	0–2 (2)	Слабо развитая дернина из живых корней: локально куртинки растений, много детрита и растительных остатков
A ₁	2–20 (18)	Свежий, серый, легкосуглинистый, комковато-плитчато-пылеватый, среднеуплотненный, корни растений, переход резкий по цвету и белесым затекам
EL/B	20–24 (локально)	Свежий, палево-белесоватый, легкосуглинистый, комковато-плитчатый, слабоуплотненный, переход языковатый
B ₁	24–53 (29)	Свежий, палевый с почти черными длинными затеками водорастворимых органических веществ (признаки водной миграции веществ), среднесуглинистый, очень плотный, ореховато-призматический, по граням педов темно-серые и буроватые примазки, переход резкий по вскипанию от раствора 10% HCL с 53 см
B _{2Ca}	53–79 (26)	Влажный, светло-палевый, среднесуглинистый, комковато-призматический, очень плотный, мелкая дресва и округлый щебень CaCO ₃ , от 10% HCL бурно вскипает дресва и мелкозем при его подсыхании, локально темно-серые затеки
B _{3Ca}	79–115 (36)	Сырой, светло-палевый, тяжелосуглинистый, комковатый, очень плотный, много дресвы CaCO ₃ , от 10% HCL бурно вскипает дресва и мелкозем уже без его подсыхания, переход постепенный по влажности
BC _{Caг}	115–141 (26)	Мокрый (через 0,5 ч в разрезе появляется вода), буровато-палевый, тяжелосуглинистый, плотный, липкий, комковатый, ожелезнение выявляется при подсыхании мелкозема в форме диффузионных примазок Fe–Mn на педлах. От 10% HCL бурно вскипает дресва и мелкозем почвы

Растительность окультуренного сенокоса представлена тимopheевкой луговой, ежой сборной, овсяницей луговой, костром безостым и клевером луговым (локально). Верхние горизонты почвы антропогенно эродированы за счет отсыпки грунта для полотна дороги при ее строительстве, поэтому карбонаты кальция залегают в профиле близко к поверхности.

Тип почвы дерново-слабоподзолистый остаточного-карбонатный грунтово-глееватый легкосуглинистый на лессовидных карбонатных суглинках.

Разрез 5 в этом месте заложен специально с целью проследить влияние CaCO_3 на водную миграцию органических соединений в почве, ее свойства и эволюцию.

Разрез 6 (рис. 1, б, табл. 2). Расположен в 85 м к северу (прямо к лесу) от разреза 5. Нижняя треть очень пологого склона увала северной экспозиции. Абсолютная отметка местности 215 м над уровнем моря. Сенокос окультуренный (скошен).

Растительность: тимopheевка луговая, ежа сборная, овсяница луговая, костер безостый, клевер луговой. Состояние поверхности почвы: ярко выражен микрорельеф в виде потяжин и ложбинок стока, сглаженные бугорки; дернина верхних горизонтов почв (по ложбинам) локально заочкачена; после дождя на поверхности образовались лужи.

Тип почвы дерново-подзолистый контактно-осветленный легкосуглинистый на двучленных отложениях.

Т а б л и ц а 2

Строение профиля почв разреза 6

Горизонт	Глубина, см	Характеристика горизонта почвенного слоя
A _d	0–2 (2)	Дернина из живых корней: плотная, локально куртинки растений, много детрита и растительных остатков, рядом кротовины, переход резкий, заметны мелкие угольки
A ₁	2–26 (24)	Свежий, серый, легкосуглинистый, комковато-пылеватый, плотный, корни растений, много ходов червей и копролитов на глубине 8–12 см, мелкозем локально перемешан грызунами (кротовины на поверхности почвы), переход резкий по цвету
EL _g	26–41 (15)	Свежий, интенсивно белесый в сухом состоянии, супесчаный, слабо уплотненный, пластинчатый, по граням педов темно-серые и буроватые примазки, много Fe–Mn мелких конкреций, диффузионно размываемых примазок, но они локальные (поэтому мазок в полевом дневнике палево-белесоватый), переход языковатый
EL/B _g	41–61 (20)	Влажный, белесо-палевый, среднесуглинистый, мелко глыбистый с плитчатыми педами, очень плотный, дресва мелкая и щебень, но от 10% HCL не вскипает, локально по граням структурных отдельностей четкие темно-серые и бурые затеки и примазки, переход постепенный
B _{1g}	61–95 (34)	Сырой, палевый, тяжелосуглинистый, мелко глыбистый, очень плотный и вязкий, от 10% HCL не вскипает, по граням педов буро-серые примазки, много мелких Fe–Mn конкреций (оглеение по всему горизонту ярко выражено, возможно, раньше это был глеевый горизонт), переход постепенный
BC _g	95–141 (46)	Мокрый (с 141 см сочится вода), буровато-палевый с четким сизоватым оттенком, тяжелосуглинистый, липкий, комковато-мелкоглыбистый, ожелезнение выявляется при подсыхании мелкозема в форме диффузионно размываемых пятен и примазок на педах. От 10% HCL не вскипает

Таблица 3

**Гранулометрический состав почв ОАО «Учхоз «Дружба»
(отбор проб почвы проведен 05.07.2014 г.)**

Горизонт, глубина отбора образцов, см	Размер частиц мелкозема (мм) и их содержание (%) (метод пипетки, по Н.А. Качинскому)							
	1,0–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01	>0,01
Разрез 1. Подошва склона увала на сенокосе (рядом с прудом). Почва: дерново-слабоподзолистая намытая среднесуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках								
A _{max} 0–22	0,6	23,4	39,9	10,7	11,0	14,4	36,2	63,8
A ₁ 22–28	0,7	13,3	53,1	11,0	10,2	11,6	32,8	67,2
A ₁ 22–31 (2-я повт.)	0,6	29,0	38,1	9,7	11,2	11,3	32,3	67,7
EL/B 38–48	0,2	8,5	43,1	7,7	9,2	31,4	43,8	51,7
B ₁ 59–69	0,4	11,3	40,3	9,3	10,1	28,7	48,1	51,9
A ₁ ^{пор} 69–75	0,3	8,0	44,5	7,7	12,0	27,6	47,3	52,7
A ₁ ^{пор} 69–75 (2-я повт.)	0,2	9,5	42,3	9,8	7,2	31,0	48,0	52,0
B ₂ 80–90	0,2	7,8	46,8	8,7	10,9	25,6	45,3	54,7
BC 90–100	0,4	11,9	42,0	8,1	14,9	22,8	45,8	54,2
Разрез 6. Западина на сенокосе недалеко от д. Михалево (малый пруд). Почва: дерново-подзолистая контактно-осветленная легкосуглинистая на двучленных отложениях								
A ₁ 9–19	2,2	13,6	57,6	12,0	8,7	6,0	26,7	73,3
EL 28–38	3,0	27,9	50,3	9,8	3,9	5,1	18,8	81,2
EL/B 46–56	0,6	18,0	35,4	15,9	8,1	22,1	46,0	54,0
B _{1g} 80–90	0,9	12,7	39,7	8,9	9,7	28,0	46,7	53,3

Морфология почвы разреза 6 под сенокосом характеризуется присутствием яркого белесого горизонта, указывающего на проявление в почве западины глее- и подзолообразования; в профиле также отмечена резкая смена гранулометрического состава – от легкого в горизонте A₁ к тяжелому суглинку в горизонте B_{1g} (табл. 3). В трансформированной дерново-подзолистой почве (разрез 5), в результате отсыпки грунта при строительстве автодороги, карбонаты кальция приблизились на глубину 20–23 см, что затормаживает оподзоливание ввиду усреднения органических кислот катионами кальция. Профиль разреза 1 имеет почти однородный гранулометрический состав – на глубине 38 см средние суглинки сменяются тяжелыми.

В лесных экосистемах Юрьев-Польского ополья (на плакорах и склонах холмов и увалов) распространены подзолистые и дерново-подзолистые почвы на двучленных отложениях и завалуненной морене (рис. 1, в); по понижениям встречаются болотно-подзолистые почвы с очень мощными подзолистым и глеевым горизонтами [1, 9]. При сведении леса подзолистый горизонт трансформируется, смешиваясь с лесной подстилкой и маломощным горизонтом A₁ лесной почвы. Впоследствии подзолистый процесс не затухает совсем, а устремляется под горизонт A_{max}.

Рассмотрим агрохимические свойства почв ОАО «Учхоз «Дружба» на примере первой «эрозийной» катены (табл. 4). Дерново-слабоподзолистая намытая почва (разрез 1), приуроченная к подошве склона, отличается очень мощным горизонтом

Таблица 4

**Агрехимические свойства почв катен ОАО «Учхоз «Дружба»
(отбор проб почвы 05.07.2014 г.)**

Горизонт и глубина отбора образцов, см	рНКС1	Органическое вещество, по Тюрину, %	Мг-экв на 100 г почвы			Подвижные формы, мг/кг	
			Hг	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺
Первый стационарный склоновый участок у пруда, недалеко от д. Михалево (разрезы 1–4)							
Разрез 1. Подошва склона увала на сенокосе (рядом с базисом эрозии). Почва: дерново-слабоподзолистая намытая среднесуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках							
A _{пах} 0–22	5,1	1,8	2,3	12,6	4,4	238	122
A ₁ 22–28	5,4	1,7	2,0	10,2	3,0	140	105
A ₁ 22–31 (2-я повт.)	5,3	2,5	2,3	12,7	3,1	195	140
EL/B 38–48	5,0	0,8	2,2	14,5	5,4	62	149
B ₁ 59–69	5,3	1,2	1,8	13,6	5,2	225	212
A ₁ ^{пор} 69–75	5,3	1,0	1,8	14,0	5,5	179	213
A ₁ ^{пор} 69–75 (2-я повт.)	5,3	1,0	1,8	14,4	5,6	165	197
B ₂ 80–90	5,7	0,7	1,2	14,1	5,4	286	235
BC 90–100	6,7	0,6	0,5	16,3	5,5	206	205
Разрез 2. У лесополосы (западина на склоне). Почва: дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая грунтово-глееватая на бескарбонатных покровных суглинках							
A ₁ 10–20	5,4	1,9	2,3	10,7	2,4	128	149
EL/B 40–50	4,8	0,8	2,7	13,9	4,8	62	130
B ₁ 75–85	4,0	0,9	4,2	13,1	5,8	52	113
BC 90–100	4,1	0,8	3,8	13,8	6,4	110	119
Разрез 3. Сенокос (склон увала; в экспозиции). Почва: дерново-сильноподзолистая грунтово-глееватая легкосуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках							
A _{пах} 0–22	4,8	2,7	3,7	9,7	2,1	113	77
A ₁ 23–32	5,0	1,8	2,5	8,9	1,8	110	68
EL 31–40	4,9	1,3	2,1	9,0	2,2	143	104
EL/B 50–60	4,7	0,7	2,5	14,0	4,7	100	103
B ₁ 70–80	5,1	0,8	2,2	16,3	5,9	83	105
Разрез 4. Плакорный участок на склоне. Почва: дерново-слабоподзолистая среднесмытая среднесуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках							
A _{пах} 0–22	5,3	1,6	2,2	10,4	2,4	251	525
B ₁ 24–34	4,7	0,8	2,6	9,5	2,3	238	1164
B ₂ 43–53	4,1	0,7	3,6	10,6	2,9	292	783
BC 71–81	4,8	0,6	1,9	14,0	4,7	304	138
Второй стационарный участок на сенокосе недалеко от шоссе и небольшого пруда (разрезы 5 и 6)							
Разрез 5. Плакор увала (сенокос рядом с шоссе у д. Михалево). Почва: дерново-слабоподзолистая остаточо-карбонатная легкосуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках							
A ₁ 2–12	4,5	2,4	4,4	11,0	3,7	50	113
B ₁ 23–33	4,3	0,8	3,6	13,9	5,3	119	121

Горизонт и глубина отбора образцов, см	рНКС1	Органическое вещество, по Тюрину, %	Мг-экв на 100 г почвы			Подвижные формы, мг/кг	
			Hг	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ² PO ⁴⁻	K ⁺
B _{2Ca} 43–53	6,4	0,6	0,8	15,5	4,9	141	58
B _{3Ca} 88–98	6,7	0,5	0,4	16,6	5,3	63	50
BC _{Ca} 125–135	6,9	0,9	0,4	17,6	5,5	62	50
Разрез 6. Западина на сенокосе недалеко от д. Михалево (малый пруд). Почва: дерново-подзолистая контактно-осветленная легкосуглинистая на двучленных отложениях							
A ₁ 9–19	4,6	2,8	5,5	7,9	1,4	52	41
EL 28–38	4,5	2,7	4,2	5,9	1,0	132	25
EL/B 46–56	4,0	1,1	4,5	8,8	3,4	118	56
B _{1q} 80–90	5,2	2,1	3,3	14,9	6,0	66	99

A₁, слабокислой реакцией среды по всему профилю (рН варьируется в пределах 5,1–5,3 и лишь на глубине 80–100 см увеличивается до 5,7–6,7). Органическое вещество характеризуется заметной подвижностью в осенне-весенний период: на это указывает невысокое содержание общего C_{орг} и его почти равномерное перераспределение по почвенному профилю (и затеки водорастворимых органических веществ в профиле), хотя корни растений проникают только на глубину до 21 см. В проведенном модельном лабораторном опыте водой в динамике из образца почвы, взятого из гор. A_{нах}, выщелачивалось за сутки 15–18% C_{орг} от общего C_{орг}.

Водный раствор 0,1н. шавелевой кислоты был заметно активнее: десорбция составила около 23–25% C_{орг} от общего углерода в почвенном образце. Причем вытесненные из почвы оксалат-ионами компоненты водорастворимых органических веществ (ВОВ) проявили стимулирующее действие на растения люпина в модельном опыте. Гидролитическая кислотность по изученным профилям почв агроэкосистем, как правило, невысокая (исключение составляют разрезы 5 и 6, где она равна 4,4–5,5 мг-экв./100 г почвы). Кислотность благоприятствует мобильности органического вещества дерново-подзолистых почв. Содержание доступных форм фосфорной кислоты в дерново-подзолистых почвах тесно связано с кислотностью почв: аналоги со слабокислой реакцией (разрез 1) характеризуются повышенным содержанием мобильных фосфатов. При оглеении и усилении кислотности до рН менее 5,0 наблюдается дефицит в почвах анионов фосфорной кислоты вследствие формирования труднорастворимых осадков AlPO₄↓, FePO₄↓. При близком залегании к поверхности почв CaCO₃ (разрез 5) содержание доступных форм фосфатов также заметно уменьшается в связи с образованием их труднорастворимых форм Ca₃(PO₄)₂↓. В этих условиях катионы кальция являются конкурентами ионам калия при их поступлении в растения [3, 5].

Особого внимания заслуживает оценка кислотности в разрезе 5. Здесь, при близком залегании к поверхности почвы CaCO₃ (от 10% HCl бурно вскипают как дресва и плохо окатанный щебень, так и почвенный мелкозем, что очень важно) верхние генетические горизонты данной почвы имеют сильноокислую реакцию среды (рН 4,3–4,5). Пока не ясно, почему нижние горизонты, содержащие CaCO₃, не компенсируют в почвенно-поглощающем комплексе горизонта A₁ высокое содержание ионов водорода и алюминия. Предположительно, это связано с одной из главных почвенно-экологических особенностей ландшафтов южной тайги – активной внутривнутрипрофильной

**Физико-химические свойства почвы лесной экосистемы
ОАО «Учхоз «Дружба» Юрьев-Польского ополья
(отбор проб 10.07.2015 г.)**

Горизонт и глубина отбора образцов, см	pH _{KCl}	Нг	Поглощенные основания		Содержание частиц почвы менее 0,01 мм, %	Сорг по Тюрину, %	Подвижные формы, мг/кг	
			Ca ²⁺	Mg ²⁺			H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺
			г мг·экв./100 г					
Разрез 10. Лес: ельник сложный на плакоре. Почва: дерново-подзолистая контактно-осветленная супесчаная на двучленных отложениях								
A ₁ 1–9	4,0±0,3		16,4±1,4		5,4±1,3	1,5±0,8	14,7	1,8±0,2
E _{hg} 9–17	4,3±0,2		8,7±1,2		1,3±0,4	0,8±0,2	11,5	0,9±0,3
B _{th} 17–27	4,6±0,1		3,9±1,4		0,5±0,1	0,9±0,2	18,7	1,4±0,1
E _{lg} 45–55	4,7±0,2		2,1±0,2		1,1±0,2	0,9±0,2	34,3	0,4±0,2
B _{2g} 67–77	3,8±0,3		3,5±0,4		1,7±0,3	0,4±0,3	42,8	0,3±0,0

миграцией ВОВ с кислотными и комплексообразующими свойствами. В условиях низкого содержания в почвах таежных экосистем гумусовых веществ и элементов питания биота сформировала эффективный биогенный механизм адаптации к весьма суровым условиям существования – это механизм назван авторами данной статьи как «биогенная кислотность – кислотность экосистемы, а не только почвы» [2, 7]. Поэтому векторы восходящей миграции ионов кальция из горизонта B_{2Ca} за счет гидротермического градиента и вертикального нисходящего потока ионов водорода (в форме органических кислот из дернины и гумусового горизонта при промывном водном режиме) оказываются по масштабу неравнозначными: заметно преобладает миграция кислотных компонентов ВОВ и органоминеральных комплексных соединений вглубь почвы.

Лесная почва в ельнике сложном диагностирована как дерново-подзолистая контактно-осветленная супесчаная на двучленных отложениях (табл. 5). Она отличается высокой кислотностью, низким содержанием гумусовых веществ и двучленным сложением профиля. Известно, например, что почвы с двучленным сложением на территории Европейского Севера имеют в пределах первого метра резкое изменение гранулометрического состава: супеси и легкие суглинки в профиле сменяются средними и тяжелыми суглинками (через градацию) [8].

При освоении таежных (лесных) почв под пашню биогенное кислотообразование, которое было задано таежной древесной растительностью и плесневыми грибами-кислотообразователями (как важный фактор функционирования и адаптации таежной биоты), не исчезает, а принимает иные формы. В почвах агроэкосистем Юрьев-Польского ополья ведущую роль в биогенном кислотообразовании играют плесневые грибы и, в меньшей степени, бактерии. Процесс оглеения по западинам становится ведущим наряду с кислотным гидролизом минералов и слабым выщелачиванием веществ, поскольку коллоиды вызывают кольматаж порового пространства нижних горизонтов [1, 10].

Установлено мозаичное содержание доступных форм фосфора и калия (весьма неравномерное) по профилям почв и в пространстве [8]. Это связано как с генезисом почв, так и с экономическими трудностями 1990-х годов: агрономическая служба

**Валовое содержание тяжелых металлов и микроэлементов
в почвах ОАО «Учхоз «Дружба» Юрьев-Польского ополья, мг/кг**

Отбор образцов, см	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Разрез 10. Лес: ельник сложный на плакоре (отбор проб 10.07.2015 г.)					
A ₁ 1–9	0,06±0,01	14,6±1,8	32,0±8,8	3,1±0,3	1,9±0,4
E _n 9–17	0,03±0,01	8,8±1,1	24,1±5,4	0,9±0,1	3,8±0,9
B _{ггп} 17–27	0,12±0,02	15,4±1,5	33,6±9,7	4,6±0,9	5,5±1,3
E _{лг} 45–55	0,15±0,02	6,7±0,3	22,0±5,1	2,7±0,4	9,7±1,5
B _{2г} 67–77	0,17±0,04	9,8±0,7	25,3±7,3	5,1±1,3	8,4±1,2
Разрез 6. Западина на сенокосе (отбор проб 10.07.2015 г.)					
A ₁ 9–19	0,11±0,01	24,8±3,2	28,9±4,1	7,6±0,6	6,9±0,8
EL 28–38	0,14±0,02	13,1±2,1	31,4±4,3	2,4±0,2	4,8±0,3
EL/B 46–56	0,12±0,03	8,5±1,7	23,2±2,9	8,7±0,4	10,3±1,1
B _{1г} 80–90	0,19±0,04	18,4±2,5	30,7±3,8	4,9±0,2	8,3±0,5

ОАО «Учхоз «Дружба» удобрения давно не применяла (склад разрушен), почвенно-агрохимические материалы и карты не обновлялись. Сведения о почвах и экологических рисках в работе использовались недостаточно.

Валовое содержание тяжелых металлов (ТМ) и микроэлементов в фоновых лесных почвах Юрьев-Польского ополья не превышает значений ПДК (табл. 6).

Загрязнение почв ТМ в будущем возможно за счет их восходящей пленочно-капиллярной миграции из почвообразующих пород [2]. Окультуренные дерново-подзолистые почвы встречаются в ОАО «Учхоз «Дружба» небольшими контурами и чаще вблизи населенных пунктов – Дубки, Михалево и Алексино. Такие почвы имеют весьма благоприятные агроэкологические свойства, низкую кислотность и высокое содержание доступных форм элементов питания в верхних горизонтах (табл. 4). Однако окультуривание почвы (внесение извести, удобрений в предыдущие 50–60 лет) затрагивает только верхние горизонты почв, с глубиной химические свойства сравнительно слабо изменяются в сравнении с почвами лесных экосистем: резко увеличивается кислотность и существенно уменьшается содержание доступных форм фосфатов в нижних иллювиальных слоях В₁ (см. табл. 5). При картировании почв стационарных площадок установлено, что по западинам распространены дерновые суглинистые почвы разной степени оглеения с очень мощным гумусовым горизонтом. Они являются наиболее плодородными. При изучении морфологии почв нужно учитывать экологию ландшафтов, процессы почвообразования и состав гумусовых веществ. Установлено, что лимитирующими экологическими факторами у высокобонитетных дерновых почв являются близкое залегание грунтовых вод, оглеение нижних слоев профиля, масштабная мобилизация в раствор ВОВ с кислотными свойствами, избыток закисных форм Fe, Mn, способствующих осаждению фосфатов. Гумусовые горизонты дерновых почв (разрез 6) имеют низкую кислотность, хорошо обеспечены доступными формами фосфатов (360 мг/кг) и обменно поглощенного калия (250 мг/кг). Глеевые горизонты отличаются среднекислой реакцией (рН 4,8) и очень низким содержанием доступных фосфатов (30 мг/кг) в связи с их осаждением на минералах в форме осадков фосфатов алюминия и железа.

Таблица 7

**Фракционн-групповой состав гумусовых веществ почв лесных
и аграрных экосистем ОАО «Учхоз «Дружба»**

Горизонт и глубина отбора образца, см	С _{общ.} по Тюрину, %	С _{орг.} фракций гуминовых ве- ществ, % от С _{общ.}				С _{орг.} фракций фульвосоединений, % от С _{общ.}				
		1	2	3	сумма	1а	1	2	3	сумма
Разрез 10. Лес: ельник сложный. Почва: дерново-подзолистая контактно-осветленная супесчаная на двучленах (отбор проб почвы 07.07.2015 г.)										
A ₁ 1–9	1,4±0,9	9,2	3,8	4,1	17,1	18,9	13,5	11,9	3,1	47,4
E _{hg} 9–17	0,5±0,7	8,7	5,7	2,4	16,8	20,5	12,2	10,4	1,2	44,3
B _{тп} 17–27	1,8±0,5	8,1	4,9	2,7	15,7	21,7	15,4	11,7	0,6	49,4
Разрез 6. Сенокос. Почва: дерново-подзолистая контактно-осветленная легкосуглинистая на двучленных отложениях (отбор проб почвы 07.07.2015 г.)										
A ₁ 9–19	2,6±0,5	12,7	16,3	9,8	38,8	10,1	7,5	4,9	2,2	24,7
E _{hg} 28–38	0,9±0,2	9,6	11,7	5,9	27,2	18,4	10,1	8,3	0,2	37,0
EL/Bg 46–56	1,4±0,6	9,3	8,8	6,4	24,5	24,1	11,0	10,1	0,4	45,6

В этих почвах активизируются процессы денитрификации, водной миграции ВОВ, появляются закисные формы Fe²⁺ и Mn²⁺, ухудшаются физические свойства, отмечается высокое содержание обменного Al³⁺, токсичного для растений, а из газов – CH₄↑ и H₂S↑ [1, 8, 12]. Двучленность почв в ОАО «Учхоз «Дружба» обычно нарушена по причине природной и антропогенной эрозии.

При недостатке ионов Ca²⁺ в составе гумуса лесных почв горизонта A₁ заметно больше фульвосоединений (ФС) в сравнении с гуминовыми компонентами – 47,4 и 17,1% (табл. 7). В подзолистом и иллювиальном горизонтах подобное соотношение почти не изменяется из-за дефицита катионов кальция и больших масс ВОВ. Это и обуславливает высокую кислотность лесных почв [2]. При этом количество самой агрессивной фракции 1а в составе ФС оказывается преобладающей, по-видимому, ввиду дефицита ионов Ca²⁺ в профилях почв.

Состав гумуса почв аграрных экосистем Юрьев-Польского ополья отражает особенности ландшафтов. Только в верхнем горизонте A1 разреза 6 установлено заметное преобладание гуминовых веществ над группой фульвосоединений: 38,8 против 24,7%. В нижних горизонтах в составе гумуса, как и в лесных почвах, доминируют фульвосоединения. Таким образом, при окультуривании лесных почв таежной зоны радикально изменяются свойства только самого верхнего (гумусово-аккумулятивного) горизонта.

Оподзоливание под пахотным горизонтом дерново-подзолистых почв, по-видимому, связано с процессом хроматографии (сорбция-десорбция ВОВ и их фракционирование при водной миграции) на минералах и гумусовых веществах горизонтов A_{пах} и A₁ при промывном водном режиме. Допускается, что при водной миграции органоминеральных солей гетерополярного типа и их сорбции почвенными коллоидами горизонта A₁ происходит распад солей и ионообменное поглощение высвободившихся катионов. Подробно механизм реакций обсуждается в работе [7]. Свободные от катионов органические кислоты осуществляют гидролиз минералов на глубине их

наибольшего формирования и активности – глубже горизонтов $A_{\text{пах}}$ и A_1 . Наряду с фульвокислотами дополнительным источником органических кислот могут быть продукты жизнедеятельности плесневых грибов (микотоксины, алифатические органические кислоты, антибиотики), накапливающиеся в «плужной подошве» горизонта $A_{\text{пах}}$ при оглеении и дефиците свободного кислорода. При этом агротехнические приемы и травосеяние не устраняют данную проблему полностью: оподзоливание устремляется еще глубже $A_{\text{пах}}$ даже в очень мощных (окультуренных пахотных слоях) [2, 8].

Т а б л и ц а 8

Форма и масштаб нисходящей водной миграции соединений Fe и ВОВ в почвах лесных и аграрных экосистем ОАО «Учхоз «Дружба»

Горизонт и глубина закладки колонок, см	$C_{\text{орг. ВОВ}}$, г/м ² за 1 год				% ионов Fe ³⁺ , прочно связанных с ВОВ в комплексы	Масштаб нисходящей миграции Fe-ВОВ комплексов, мг/м ²	Градиент барьера миграции (G) $C_{\text{орг. ВОВ}}$, г/м ³ год ⁻¹
	общий масштаб водной миграции (уголь и Al ₂ O ₃)	в водо-ацетоновом элюате с угля (ИОВ)	в аммонийном элюате с угля (ФК)	по сорбции катионитом КУ-2			
Разрез 10. Лес: ельник сложный. Почва: дерново-подзолистая контактно-осветленная супесчаная на двучленных отложениях. Экспозиция: 22.06.2014–25.06.2015 г.							
$A_0(O) - 1$	14,2±5,1	8,0±1,3	4,1±1,9	2,1±0,9	61,1±4,3	324±11	Н/о
$E_h - 14$	9,6±2,2	5,1±1,7	2,5±1,4	2,0±1,4	58,7±3,7	129±11	35,4
$B_{\text{гг}} - 39$	3,4±1,8	1,0±0,2	2,1±0,4	0,3±0,1	64,8±1,4	91±14	24,8
Разрез 2. Луг разнотравный (около балки на склоне). Почва: дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на покровных суглинках. Экспозиция: 22.06.2014–26.06.2015 г.							
$A_1 - 10$	6,1±0,7	Н/о	4,7±0,7	1,4±0,5	42,7±5,9	429±121	Н/о
$EL/B - 45$	10,5±1,4	Н/о	9,4±1,4	1,1±0,3	58,4±7,6	749±78	-12,6

Лизиметрические опыты (табл. 8), выполненные в 2014–2015 гг., показали, что из лесной подстилки почв таежных (лесных) экосистем в почвенный раствор мобилизуются компоненты ВОВ, в составе которых больше диагностировано индивидуальных органических веществ (ИОВ – низкомолекулярных органических кислот и полифенолов). В лесных почвах масштаб миграции больше, чем в почвах аграрных экосистем. После миграции и прохождения низкомолекулярных фракций ВОВ через сорбционные барьеры в их составе достоверно увеличивалась масса химически активных фульвокислот (ФК). В молекулярных структурах ФК всегда обнаруживаются Fe-органические комплексные соединения [2, 13]. Не исключено, что экологические функции мобильных ВОВ и ФК проявляются в качестве биогенных «аккумуляторов» и переносчиков генетической информации экосистем по трофическим цепям. Вынос Fe-органических комплексных соединений более активно протекает в освоенных дерново-слабоподзолистых почвах, на склонах увалов, в сравнении с лесными (фоновыми) дерново-подзолами, залегающими на плакорах моренных холмов и увалов.

Выводы

1. Впервые выполнена сопряженная эколого-геохимическая оценка почв лесных и аграрных экосистем ОАО «Учхоз «Дружба» Юрьев-Польского ополья за пери-

од 2014–2017 гг. Морфологические признаки изученных почв указывают на их приуроченность к дерново-подзолам контактно-осветленным на двучленах (в еловых лесах), дерновым почвам западин и дерново-подзолистым склоновым аналогам, в той или иной мере эродированным (смыто-намытым).

2. При окультуривании подзолистых и дерново-подзолистых почв Ополья мощный гумусовый горизонт создается с помощью известкования, травосеяния, внесения удобрений в течение 50–60 лет.

3. Установлено, что агрохимические свойства дерново-подзолистых почв сенокосов и пашни ОАО «Учхоз «Дружба» свидетельствуют об их ненасыщенности основаниями и кислой реакции среды. Даже при близком залегании к поверхности CaCO_3 высокая кислотность верхних горизонтов (у разреза 5) сохраняется (рН 4,3–4,5), очевидно, за счет масштабной мобилизации и водной миграции ВОВ с кислотными свойствами. Лесные подзолы также имеют высокую кислотность, низкое содержание доступных форм фосфора и калия.

4. Содержание органического вещества в дерново-подзолистых почвах учхоза низкое (0,7–2,8% $C_{\text{орг}}$), состав гумуса гуматно-фульватный при дефиците ионов Ca^{2+} , отмечается его элювиально-аккумулятивное распределение по профилю и заметная миграционная активность. Масштаб водной миграции ВОВ более интенсивно выражен в лесных супесчаных подзолах в сравнении с дерново-подзолистыми почвами агроэкосистем: вынос $C_{\text{орг}}$ из горизонта A_0 достигает $14,2 \pm 5,1 \text{ г/м}^2$ за 1 год, а из гумусового горизонта $A_1 - 6,1 \pm 0,7 \text{ г/м}^2$, очевидно, вследствие сорбции ВОВ минералами. Наряду с водной миграцией ВОВ наблюдается миграция Fe-органических комплексных соединений. Причем масштаб их выноса несколько выше в дерново-подзолистых почвах сенокосов на склоне, по-видимому, за счет боковой (латеральной) миграции – от 429 ± 121 до $749 \pm 78 \text{ мг/м}^2$.

5. Валовое содержание тяжелых металлов и микроэлементов в лесных и аграрных экосистемах в настоящее время низкое – не превышает значений ПДК. Поэтому аграрная продукция экологически безопасная.

6. Впервые выявлены и охарактеризованы лимитирующие экологические факторы в агроландшафтах почв ОАО «Учхоз «Дружба» – плужная подошва, активный вынос ВОВ с кислотными свойствами, повышенная кислотность, гуматно-фульватный состав гумусовых веществ, а также использование «чистых паров», активизирующих дегумификацию и смытость пахотных слоев почв в агроландшафтах. Часто горизонт $A_{\text{пах}}$ залегает на плотном палевого цвета иллювиальном горизонте.

7. Дальнейшее сохранение плодородия почв и улучшение экологического состояния аграрных экосистем Юрьев-Польского ополья неразрывно связано с регулированием выше указанных экологических рисков на основе сведений о ландшафтно-геохимической обстановке, обновления крупномасштабных почвенно-агроэкологических карт, проведения локального экологического мониторинга почвенного покрова и производимой продукции – сена, зернофуража, силоса и т. д.

Библиографический список

1. Зайдельман Ф.Р. Теория образования светлых кислых элювиальных горизонтов почв и ее прикладные аспекты. М.: КРАСАНД, 2010. 248 с.

2. Кауричев И.С., Яшин И.М. Влияние идей А.А. Роде на формирование гипотез о генезисе подзолистых почв таежной зоны // Почвоведение. 1996. № 5. С. 552–563.

3. Кауричев И.С., Яшин И.М., Черников В.А. Эколого-биогеохимические закономерности гумусообразования в почвах таежных ландшафтов // Известия ТСХА. 1997. Вып. 1. С. 63–82.

4. Классификация и диагностика почв России / под ред. Г.В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

5. Седых В.А., Савич В.И. Агроэкологическая оценка почвообразовательных процессов. М.: ВНИИА, 2014. 400 с.

6. Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005. 309 с.

7. Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. М.: РГАУ-МСХА, 2013. 183 с.

8. Яшин И.М., Постников Д.А., Таллер Е.Б. Экологическое состояние и генезис почв учхоза «Дружба» Ярославской области // Доклады ТСХА. 2011. Ч. 1. С. 335–339.

9. Яшин И.М., Кашанский А.Д. Ландшафтно-геохимическая диагностика и генезис почв Европейского Севера России. М.: РГАУ-МСХА, 2015. 202 с.

10. Blume H.-P. Handbuch des Bodenschutzes: Bodenökologie und -belastung Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 1992. 794 p.

11. Eckelmann W. Soil Information for Germany. 2004.

12. Hintermaier-Erhard G., Zech W. Wörterbuch der Bodenkunde – Systematik, Genese, Eigenschaften, Ökologie und Verbreitung von Boden. Stuttgart, 1997. 338 p.

13. Stahr K., Kandeler E., Herrmann L., Streck T. Bodenkunde und Standortlehre (Grundwissen Bachelor). Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 2008. 318 p.

ECOLOGICAL ASSESSMENT AND GENESIS OF SOIL TYPES IN YURYEV-POLSKY HIGH PLAINS AS ILLUSTRATED BY «DRUZHBA» FARM ENTERPRISE EXPERIENCE

I.M. YASHIN, I.I. VASENEV, R.A. ATENBEKOV

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

The authors have studied the genesis and physical and chemical properties of Yuryev-Polsky high plains soils Open Joint Stock Company «Druzhba» farm enterprise experience (Yaroslavl region).

Basing on the results of field mapping and physical and chemical analysis of soil samples of several ecological catens in 2014–2017, the authors studied for the first time soils with a two-membered addition of profiles when within the first meter, sandy loam (and light loam) are sharply replaced by heavy loam. Identification of such profiles in the plowland conditions is difficult due to the disruption of the upper genetic horizons, so it requires certain skills, as well as information on the granulometric composition of soils in a horizontal aspect.

The authors provide grounds for ecological aspects of humus formation and water migration of organic substances. It has been established that in the forest and agrarian ecosystems of «Druzhba» farm enterprise, podzolic and sod-podzolic soils are main soil types, and sod soils that are often gleyed and have a strong A1 horizon of 32–39 cm are typical for depressed reliefs.

The fractional-and-group humus composition of forest (background) and cultivated soils of «Druzhba» farm enterprise has been characterized as well. In the spruce forest, the composition of humus is human-fulvate, and the most chemically active 1a fraction prevails in the group of fulvic

acids. On hayfields in the A1 horizon, a predominance of a group of humic substances has been noted, and among them there are fractions 1 – of brown humic acids. With a method of lysimeter sorption, the authors have studied the composition of water-soluble organic substances (WSOS with acid properties) of spruce and hayfield soils. It has been noted that a larger amount of individual organic substances (IOS) – low molecular organic acids and polyphenols - migrate from forest litter. In forest soils, the scale of migration is greater than in soils of agrarian ecosystems due to a greater mass of plant litter. A small scale of descending water migration of Fe compounds has been also revealed, which migrate, in particular, in the form of stable Fe-organic complexes - in the forest 58,7–64,8% of the total diagnosed mass of Fe. The soils of the background (forest) and haymaking facies of «Druzhba» farm enterprise are characterized by a low total content of heavy metals and trace elements – within the sanitary and hygienic standards of maximum permissible concentration (MPC). Therefore, the products of the considered farm enterprise are ecologically pure.

Key words: soil genesis, biogenic acidity, soils, erosion, water migration, sorption lysimeters, ecological risks, composition of humic substances, heavy metals and microelements.

References

1. Zaidelman F.R. Teoriya obrazovaniya svetlykh kislykh elyuvial'nykh gorizontov pochv I yeye prikladnyye aspekty [Theory of light acid sedentary soil horizons formation and its application]. M.: KRASAND, 2010. 248 p.
2. Kaurichev I.S., Yashin I.M. Vliyaniye idey A.A. Rode na formirovaniye gipotez o genezise podzolistykh pochv tayozhnoy zony [Influence of A.A. Rode's ideas on sod-podzol taiga soils genesis hypothesis] // Soil science. 1996. Vol. 5. P. 552–563.
3. Kaurichev I.S., Yashin I.M., Chernikov V.A. Ekologo-biogeokhimicheskiye zakonomernosti gumusoobrazovaniya v pochvakh tayezhnykh landshaftov [Ecological and biochemical principles of humus formation in taiga soils] // Izvestiia TSKhA. 1997. Vol. 1. P. 63–82.
4. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of soils in Russia] / ed. by G.V. Dobrovolskiy. Smolensk: Oikumena, 2004. 342 p.
5. Sedykh V.A., Savich V.I. Agroekologicheskaya otsenka pochvoobrazovatelnykh protsessov [Agroecological estimation of soil formation processes]. M.: VNIAA, 2014. 400 p.
6. Tishkov A.A. Biosfernyye funktsii prirodnykh ekosistem Rossii [Biospheric functions of Russian natural ecosystems]. M.: Nauka, 2005. 309 p.
7. Yashin I.M. Monitoring protsessov migratsii i transformatsii veshchestv v pochvakh [Monitoring of soil compounds migration and transformation processes. Study guide]. M.: RGAU-MSKhA, 2013. 183 p.
8. Yashin I.M., Postnikov D.A., Taller E.B. Ekologicheskoye sostoyaniye i genezis pochv uchkhoza “Druzhba” Yaroslavskoy oblasti [Ecological state and soil genesis of OAO “Druzhba” in Yaroslavl region] // Doklady TSKhA. 2011. P. 1. P. 335–339.
9. Yashin I.M., Kashanskii A.D. Landshaftno-geokhimicheskaya diagnostika i genezis pochv Yevropeyskogo Severa Rossii. Monografiya [Landscape and geochemical diagnostics and genesis of soil in European North of Russia]. M.: RGAU-MSKhA. 2015. 202 p.
10. Blume H.-P. Handbuch des Bodenschutzes: Bodenökologie und -belastung Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 1992. 794 p.
11. Eckelmann W. Soil Information for Germany. 2004.
12. Hintermaier-Erhard G., Zech W. Wörterbuch der Bodenkunde – Systematic, Genese, Eigenschaften, Ökologie und Verbreitung von Boden. Stuttgart, 1997. 338 p.
13. Stahr K., Kandeler E., Herrmann L., Streck T. Bodenkunde und Standortlehre (Grundwissen Bachelor). Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 2008. 318 p.

Яшин Иван Михайлович – д. б. н., проф. кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; (499) 977-04-86; e-mail: ivan.yashin2012@gmail.com).

Васенев Иван Иванович – д. б. н., проф., зав. кафедрой экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; (499) 977-04-86; e-mail: vasenev@timacad.ru).

Атенбеков Рамиз Ажибекович – соискатель кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; (499) 977-04-86; e-mail: enter59@mail.ru).

Ivan M. Yashin – DSc (Bio), Professor of the Ecology Department, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevstaya str., 49; +7 (499) 977-04-86; e-mail: ivan.yashin2012@gmail.com).

Ivan I. Vasenev – DSc (Bio), Professor, Head of the Ecology Department, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevstaya str., 49; +7 (499) 977-04-86; e-mail: vasenev@timacad.ru).

Ramiz A. Atenbekov – external PhD seeker of the Ecology Department, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevstaya str., 49; +7 (499) 977-04-86; e-mail: enter59@mail.ru).