

ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.5 + 574.4

ПОЧВЕННО-ЗООЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АГРОЭКОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

© 2014 А.Б. Александрова, Т.А. Гордиенко, Д.Н. Сабанцев, В.В. Маланин

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань

Поступила в редакцию 30.04.2014

В статье приводится характеристика физико-химических свойств почв и почвенной мезофауны, обитающей в различных биотопах в условиях ландшафтно-адаптивной системы земледелия. Выявлены статистически значимые различия физико-химических свойств и численности таксономических групп почвенной мезофауны по типам биотопов. Многомерный анализ показал, что наибольший вклад в дискриминацию вносят рН водной вытяжки, содержание ила, сумма обменных оснований, содержание физического песка, азот общий, фосфор валовый, гумус и малочисленные таксоны почвенной мезофауны (чешуекрылые, литобииды, сенокосцы, клопы, стафилины, навозники). Установлено увеличение видового разнообразия и численности мезопедобионтов в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия. Физико-химические свойства почв приближаются к таковым незеродированных агросерых лесных почв.

Ключевые слова: *адаптивно-ландшафтное земледелие, серые лесные почвы, почвенная мезофауна, трофическая структура, видовое разнообразие*

В настоящее время актуальной проблемой ресурсо- и энергосбережения, сохранения окружающей среды и биоразнообразия как в России, так и за рубежом является внедрение адаптивно-ландшафтных систем земледелия, базирующихся на использовании неисчерпаемых и воспроизводимых природой естественных ресурсов [1, 15, 28-34]. Исследования, посвященные влиянию адаптивно-ландшафтного земледелия на почвы и их биоразнообразию, имеют одностороннюю направленность: сельскохозяйственную или зоологическую [12-13, 16, 18, 19, 22, 23]. Недостаточно внимания уделяется взаимосвязи почв и почвенной биоты, тогда как физико-химические свойства и плодородие почв находятся в тесной зависимости от состава почвенной мезофауны [24, 25]. Понимание процессов формирования устойчивых агроэкосистем, специфики изменчивости агроландшафтных комплексов и их динамики в ходе антропогенной трансформации

невозможно без рассмотрения свойств почв в совокупности с особенностями структуры мезопедобионтов.

Цель работы: изучение почвенно-зоологических особенностей агроэкосистемы в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия.

Объекты и методы исследования. Объектами изучения были серые лесные почвы и почвенная мезофауна заказника «Чулпан» Высокогорского района Республики Татарстан (55°59'–56°05' с.ш., 48°55'–49°08' в.д.). Заказник представляет собой пример защиты почв от эрозии и противоэрозионной организации территории благодаря внедрению на его территории в 1969 г. адаптивно-ландшафтной системы земледелия [20, 21]. Площадь заказника составляет 6054,4 гектара на землях сельскохозяйственного назначения и иных категорий без изъятия у собственников и арендаторов земельных участков. Большая площадь территории занята сельхозугодиями, перемежающимися лесополосами, овражно-балочными системами и лесными колками. Древесный состав лесополос представлен березой, лиственницей, сосной, елью. До внедрения контурно-мелиоративного земледелия в почвенном покрове территории преобладали смытые серые лесные почвы. В геоморфологическом плане территория заказника представлена склоновыми формами рельефа [11].

Александрова Асель Биляловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии. E-mail: adabl@mail.ru

Гордиенко Татьяна Александровна, научный сотрудник лаборатории биомониторинга. E-mail: t.a.korch@rambler.ru

Сабанцев Дмитрий Николаевич, научный сотрудник лаборатории биомониторинга. E-mail: sabantsev.ipen@gmail.com

Маланин Виталий Викторович, научный сотрудник лаборатории биогеохимии. E-mail: wizzle13@yandex.ru

Изучение видового разнообразия и численности основных групп почвенной мезофауны проводили методом раскопки и ручной разборки проб почв [17]. Образцы почв на глубину 0-20 см отбирали на месте отбора почвенной мезофауны в шести биогеоценозах (биотопах): на пашне, в поле с многолетними травами, на костречово-разнотравном лугу, в лесополосах хвойных (сосновые и лиственничные), в лесополосах лиственных (березовые) и в широколиственном лесу. В 77 почвенных образцах определяли гранулометрический состав по [3], рН водной вытяжки по [7], содержание гумуса по [9], азот общий по [5], фосфор валовый по [6], сумму обменных оснований (Σ Ca+Mg) по [8], емкость катионного обмена (ЕКО) по [4]. Математическую обработку данных проводили с помощью стандартных пакетов программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 8.0 [26]. Поскольку полученные в ходе проверки данные физико-химических свойств почв и численности почвенной мезофауны по тестам Колмогорова-Смирнова, Лилиефорда, Шапиро-Уилкса не описывались законом нормального распределения, то последующий анализ проводился непараметрическими методами. Оценку достоверности различий определяли по критерию Манна-Уитни, взаимосвязь между переменными – коэффициентом корреляции Спирмена. Многомерный анализ включал дискриминантный анализ с вычислением лямбды Уилкса и расстояния Махаланобиса.

Результаты и их обсуждение. Изучение почв заказника «Чулпан», развивающихся под разными биогеоценозами в условиях склонового рельефа выявило различие их гранулометрического состава (ГМС) и физико-химических свойств (табл. 1, табл. 2). ГМС почв исследованных биогеоценозов варьирует

от среднесуглинистого до легкоглинистого (табл. 1). Почвы пашни, лиственных лесополос, широколиственного леса характеризуются как тяжелосуглинистые, под многолетними травами – легкоглинистые, лугом и хвойными лесополосами – среднесуглинистые. Отмечены широкие пределы варьирования (min-max) содержания физической глины (< 0,01 мм) в почвах исследуемых биогеоценозов, обусловленные проявлением процессов водной эрозии различной интенсивности на склоновых формах рельефа. Сравнение содержания физической глины в почвах пашни выявило статистически значимое отличие от таковой почв под многолетними травами, лугом, хвойными лесополосами ($p < 0,05$). Несмотря на то, что в настоящее время смыв почв в заказнике снижен до безопасных величин [16], на пашне в условиях склонового рельефа естественные процессы эрозии продолжают. Почвы пашни содержат больше илистой фракции (< 0,001 мм) по сравнению с аналогичными по ГМС почвами широколиственного леса и лиственных лесополос ($p < 0,05$), что связано с проявлением смыва верхнего горизонта и включением в процессы почвообразования нижележащих, более тяжелых по ГМС горизонтов. Высокое содержание физической глины (55,5%) и ила (35,9%) в почве под многолетними травами наглядно демонстрирует их противоэрозионную роль как механического барьера, задерживающего перемещающиеся с потоком воды тонкодисперсные частицы с пашни. Содержание физической глины в почвах, развивающихся под хвойными и широколиственными лесополосами, лугом и широколиственным лесом попадает в диапазон, характерный для представителей незерозированных агросерых лесных почв в Республике Татарстан [2].

Таблица 1. Описательная статистика гранулометрического состава почв заказника «Чулпан» под различными биогеоценозами

Статистические показатели	Биогеоценозы					
	1 (n = 15)	2 (n = 16)	3 (n = 5)	4 (n = 10)	5 (n = 20)	6 (n = 11)
1	2	3	4	5	6	7
содержание фракции размером 1,0 – 0,25 мм, %						
$M \pm m$	$0,2 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,05$	$0,1 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,05$
min-max	0,1–0,2	0,1–0,5	0,1–0,2	0,1–0,2	0,1–0,4	0,1–0,3
CV, %	17,6	42,0	10,1	35,2	36,6	14,0
содержание фракции размером 0,25 – 0,05 мм, %						
$M \pm m$	$11,4 \pm 1,1$	$9,0 \pm 0,7$	$24,1 \pm 0,2$	$12,7 \pm 0,6$	$11,7 \pm 0,5$	$10,5 \pm 0,8$
min-max	7,5–17,7	4,0–12,3	23,6–24,6	10,6–15,0	8,4–15,6	7,8–15,2
CV, %	35,8	32,7	1,9	15,7	20,3	25,0
содержание фракции размером 0,05 – 0,01 мм, %						
$M \pm m$	$40,5 \pm 2,7$	$35,1 \pm 1,1$	$41,4 \pm 0,3$	$53,9 \pm 3,2$	$46,2 \pm 2,2$	$48,6 \pm 2,0$
min-max	30,8–55,3	28,2–40,6	40,4–42,4	43,4–63,8	32,4–59,3	35,4–54,9
CV, %	26,3	12,8	1,8	18,6	21,6	13,8
содержание фракции размером 0,01 – 0,005 мм, %						
$M \pm m$	$9,5 \pm 0,6$	$8,9 \pm 0,6$	$4,8 \pm 0,3$	$7,9 \pm 0,4$	$10,0 \pm 0,5$	$12,1 \pm 1,1$
min-max	6,7–12,6	5,5–11,8	3,9–5,6	6,0–9,9	6,9–13,7	7,9–20,6
CV, %	23,4	23,4	12,8	14,2	21,4	30,2

Продолжение таблицы 2						
1	2	3	4	5	6	7
содержание фракции размером 0,005 – 0,001 мм, %						
$\bar{M} \pm m$	$13,1 \pm 1,0$	$10,7 \pm 0,7$	$10,0 \pm 0,5$	$6,8 \pm 0,6$	$10,3 \pm 0,5$	$10,0 \pm 0,8$
min–max	7,1–16,7	4,7–13,2	8,3–11,2	4,8–9,5	6,8–14,0	7,2–14,9
CV, %	28,4	24,7	11,0	28,5	21,0	28,1
содержание фракции размером < 0,001 мм, %						
$\bar{M} \pm m$	$25,3 \pm 2,1$	$35,9 \pm 1,6$	$19,6 \pm 0,3$	$18,6 \pm 2,9$	$21,6 \pm 2,0$	$18,7 \pm 0,8$
min–max	16,2–36,4	28,7–49,4	19,1–20,9	9,3–28,1	8,7–30,8	16,4–25,0
CV, %	32,7	17,8	3,8	49,8	40,8	14,3
сумма фракций < 0,01 мм, %						
$\bar{M} \pm m$	$47,9 \pm 2,4$	$55,5 \pm 1,8$	$34,4 \pm 0,2$	$33,3 \pm 3,8$	$41,8 \pm 2,7$	$40,8 \pm 1,3$
min–max	36,7–59,6	47,2–65,6	33,9–34,9	21,4–45,4	26,0–57,2	36,6–49,1
CV, %	19,8	13,2	1,3	36,0	28,7	10,6

Примечание: \bar{M} – среднее, m – ошибка среднего, min – минимум, max – максимум, CV, % – коэффициент вариации, n – количество образцов); 1 – пашня, 2 – многолетние травы, 3 – луг, 4 – лесополосы хвойные, 5 – лесополосы лиственные; 6 – лес широколиственный

Исследование физико-химических свойств почв показало, что pH водной вытяжки почв, формирующихся под широколиственным лесом, хвойными и лиственными лесополосами, слабнокислый, а почв пашни, под многолетними травами и лугом – близкий к нейтральному (табл. 2). Применение на пашне наиболее распространенного мелиоративного приема (известкования) приводит к уменьшению значений водородного показателя и сдвигу реакции среды почв в сторону нейтральной или слабощелочной. Значения pH водной вытяжки и гидролитической кислотности почв (Нг), развивающихся под хвойными и лиственными лесополосами, близки с таковыми широколиственного леса, что приближает их к естественным серым лесным почвам [2]. Среднее содержание гумуса (2,2%) в исследуемых биогеоценозах находится в пределах значений, характерных для пахотных серых лесных почв.

Содержание валовых форм азота и фосфора характеризует потенциальное плодородие почв. Отмечается высокое содержание валового азота и пониженное валового фосфора. Существенное влияние на поведение питательных веществ в агроландшафтах оказывает ЕКО и $\Sigma \text{Ca}+\text{Mg}$. Они влияют на характер взаимодействия, как удобрений, так и техногенных загрязнителей с почвой. ЕКО в почвах обусловлено природой глинистых минералов, содержанием органических и минеральных коллоидов и окислительно-восстановительными условиями. Чем больше ЕКО и $\Sigma \text{Ca}+\text{Mg}$, тем лучше почва удерживает элементы питания растений, поступающие в нее, в состоянии обменного поглощения. ЕКО и $\Sigma \text{Ca}+\text{Mg}$ коррелируют с содержанием ила ($r=0,84$ и $r=0,84$ соответственно) и глины ($r=0,81$ и $r=0,83$ соответственно).

Таблица 2. Описательная статистика физико-химических свойств почв заказника «Чулпан» под различными биогеоценозами

Статистические показатели	Физико-химические свойства биогеоценозов					
	1 (n = 15)	2 (n = 16)	3 (n = 5)	4 (n = 10)	5 (n = 20)	6 (n = 11)
1	2	3	4	5	6	7
pH водный						
$\bar{M} \pm m$	$6,8 \pm 0,1$	$6,5 \pm 0,1$	$6,2 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,1$	$5,7 \pm 0,1$	$5,5 \pm 0,1$
min–max	6,1–7,6	6,0–7,7	5,7–6,6	5,4–6,0	5,3–6,2	5,0–6,2
CV, %	6,3	6,3	6,2	3,8	5,1	6,6
Нг, мг·экв/100г						
$\bar{M} \pm m$	$1,1 \pm 0,2$	$3,2 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,3$	$5,8 \pm 0,6$
min–max	0,3–2,5	0,3–4,5	2,1–3,7	3,7–5,7	2,8–7,1	3,0–8,5
CV, %	62,1	33,6	23,0	18,1	24,7	34,1
гумус, %						
$\bar{M} \pm m$	$2,2 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,1$	$1,9 \pm 0,2$	$2,4 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,3$
min–max	1,2–2,9	1,2–3,2	1,1–1,6	0,3–2,4	0,2–4,1	0,3–3,1
CV, %	26,4	24,9	15,1	31,8	47,2	45,0
N, %						
$\bar{M} \pm m$	$0,13 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,0$	$0,16 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$	$0,11 \pm 0,01$	$0,11 \pm 0,01$
min–max	0,09–0,26	0,06–0,14	0,15–0,17	0,07–0,09	0,05–0,19	0,09–0,13
CV, %	33,1	26,8	3,2	13,4	48,6	12,0

Продолжение таблицы 2						
1	2	3	4	5	6	7
P ₂ O ₅ , %						
<u>M ± m</u>	<u>0,09±0,01</u>	<u>0,08±0,01</u>	<u>0,04±0,00</u>	<u>0,08±0,01</u>	<u>0,08±0,01</u>	<u>0,07±0,01</u>
min-max	0,06–0,11	0,07–0,09	0,03–0,04	0,07–0,09	0,06–0,10	0,05–0,09
CV, %	20,3	7,2	15,9	9,1	13,9	22,8
Σ Ca+Mg, мг·экв/100 г						
<u>M ± m</u>	<u>27,3±2,3</u>	<u>28,8±1,9</u>	<u>18,2±0,2</u>	<u>19,6±1,0</u>	<u>19,8±1,7</u>	<u>21,1±1,8</u>
min-max	16,8–40,7	20,6–42,7	17,3–18,7	16,2–24,6	9,0–30,8	14,8–28,2
CV, %	33,2	25,9	3,0	15,8	38,2	28,7
ЕКО, мг·экв/100г						
<u>M ± m</u>	<u>28,5±2,3</u>	<u>32,0±1,7</u>	<u>21,1±0,2</u>	<u>24,2±0,8</u>	<u>24,2±1,7</u>	<u>26,8±2,4</u>
min-max	18,6–41,5	24,2–43,0	20,5–21,7	20,5–28,7	12,2–36,0	17,8–35,7
CV, %	30,9	20,7	2,1	10,6	31,2	29,6

Примечание: M – среднее, m – ошибка среднего, min – минимум, max – максимум, CV, % – коэффициент вариации, n – количество образцов; 1 – пашня, 2 – многолетние травы, 3 – луг, 4 – лесополосы хвойные, 5 – лесополосы лиственные; 6 – лес широколиственный

Изучение таксономической структуры почвенной мезофауны выявило наличие в органо-генном горизонте почв представителей 6 классов, 11 отрядов, 16 семейств: дождевые черви (*Lumbricidae*), моллюски (*Gastropoda*), пауки (*Aranea*), сенокосцы (*Opilionidae*), многоножки литобииды (*Lithobiidae*), геофилиды (*Geophilidae*) и кивсяки (*Diplopoda*), уховертки (*Dermoptera*), стафилиниды (*Staphylinidae*), жуужелицы (*Carabidae*), карапузики (*Histeridae*), мертвоеды (*Silphidae*), хрущи (*Melolanthinae*), навозники (*Geotrupinae*), мягкотелки (*Cantharidae*, larvae), коровки (*Coccinellidae*), листоеды (*Chrysomelidae*), долгоносики (*Curculionidae*), щелкуны (*Elaeteridae*, larvae), двукрылые (*Diptera*, larvae), перепончатокрылых (*Hymenoptera*, larvae), чешуекрылые (*Lepidoptera*, larvae), полужесткокрылые (*Hemiptera*). Среди таксонов беспозвоночных высокий уровень численности характерен для дождевых червей (25,6–65,4%), многоножек (0,5–32,3%) и насекомых (22,7–38,6%), среди которых преобладают щелкуны (1,3–21,1%), жуужелицы (1,3–15,1%), долгоносики (0,4–16,0%) и двукрылые (0,4–5,8%). Общая численность почвенной

мезофауны по биотопам варьирует от 81,1 до 296,1 экз./м² (табл. 3). Наибольшая плотность населения педобионтов отмечена на лугу, наименьшая – в широколиственном лесу. В целом, в агроценозе (пашня, многолетние травы, лесополосы) заказника «Чулпан» обилие почвенных беспозвоночных по сравнению с таковым прилегающих территорий высокое [10, 27], что согласуется с данными Т.А. Ильиной [14].

Трофическая структура почвенных беспозвоночных представлена главным образом сапрофагами, меньше фитофагами и хищниками (рис. 1, табл. 3). Доля смешанной группы по типу питания незначительна и не превышает 5,5%. Наибольшая доля сапротрофного компонента отмечена в местообитании в большей степени подверженному антропогенному воздействию – пашне (72,6%), наименьшая их доля в широколиственном лесу (32,3%). В последнем возрастает роль хищников и в меньшей степени фитофагов в сообществе педобионтов. На многолетних травах по сравнению с пашней уменьшается доля сапрофагов и возрастает фитофагов.

Таблица 3. Описательная статистика численности основных представителей и трофических групп почвенной мезофауны заказника «Чулпан» под различными биогеоценозами, экз./м²

Статистические показатели	Биогеоценозы					
	1 (n = 15)	2 (n = 16)	3 (n = 5)	4 (n = 10)	5 (n = 20)	6 (n = 11)
1	2	3	4	5	6	7
дождевые черви (<i>Lumbricidae</i>)						
<u>M ± m</u>	<u>62,9±11,4</u>	<u>91,2±23,1</u>	<u>190,4±49,0</u>	<u>75,2±21,8</u>	<u>80,2±18,1</u>	<u>20,7±6,7</u>
min-max	8–140	24–392	72–328	8–208	44–232	0–68
CV, %	70,3	101,3	57,5	91,5	101,1	107,4
кивьяки (<i>Diplopoda</i>)						
<u>M ± m</u>	<u>9,3±2,1</u>	<u>9,5±3,1</u>	н/о	н/о	<u>0,2±0,0</u>	н/о
min-max	0–28	0–44			0–4	
CV, %	89,7	131,3			447,2	
геофилиды (<i>Geophilidae</i>)						
<u>M ± m</u>	<u>4,0±1,3</u>	<u>15,2±2,4</u>	<u>1,6±1,6</u>	<u>9,6±3,4</u>	<u>9,2±1,9</u>	<u>14,5±6,3</u>
min-max	0–16	0–40	0–8	0–32	0–24	0–68
CV, %	130,9	62,9	223,6	111,5	93,7	144,5

Продолжение таблицы 3						
1	2	3	4	5	6	7
литобииды (<i>Lithobiidae</i>)						
$\bar{M} \pm m$	<u>1,3±0,6</u>	<u>0,5±0,3</u>	н/о	<u>0,8±0,8</u>	<u>2,2±1,4</u>	<u>11,6±2,4</u>
min-max	0-8	0-4		0-8	0-28	0-28
CV, %	185,1	273,33		316,2	291,8	69,5
насекомые (<i>Insecta</i>)						
$\bar{M} \pm m$	<u>23,2±3,8</u>	<u>70,7±10,4</u>	<u>97,7±23,5</u>	<u>28,4±5,5</u>	<u>29,6±6,8</u>	<u>31,2±5,4</u>
min-max	8-56	16-164	48-184	12-52	4-132	12-72
CV, %	63,5	58,7	53,8	60,6	103,3	57,2
жужелицы (<i>Carabidae</i>)						
$\bar{M} \pm m$	<u>15,5±3,1</u>	<u>12,8±3,3</u>	<u>12,8±5,3</u>	<u>1,6±1,2</u>	<u>3,0±1,0</u>	<u>3,0±1,2</u>
min-max	0-36	0-52	4-32	0-12	0-16	0-12
CV, %	77,5	104,5	92,2	241,5	155,2	138,7
стафилины (<i>Staphilinidae</i>)						
$\bar{M} \pm m$	<u>1,1±0,4</u>	<u>5,0±1,9</u>	<u>15,2±4,6</u>	<u>3,2±2,0</u>	<u>0,6±0,3</u>	<u>1,1±0,8</u>
min-max	0-4	0-16	4-32	0-20	0-4	0-8
CV, %	171,6	118,7	68,1	202,4	244,2	273,1
хрущи (<i>Melolanthinae</i>)						
$\bar{M} \pm m$	<u>0,8±0,6</u>	<u>0,5±0,3</u>	<u>3,2±3,2</u>	<u>0,4±0,4</u>	<u>5,2±4,6</u>	н/о
min-max	0-8	0-4	0-16	0-4	0-92	
CV, %	280,3	273,3	223,6	316,2	394,7	
щелкуны (<i>Elateridae</i>)						
$\bar{M} \pm m$	<u>1,3±0,5</u>	<u>9,3±2,4</u>	<u>26,4±10,9</u>	<u>10,0±2,8</u>	<u>8,8±2,7</u>	<u>17,1±4,4</u>
min-max	0-4	0-36	4-52	0-28	0-48	0-44
CV, %	146,4	103,2	92,0	90,1	138,8	844
долгоносики (<i>Curculionidae</i>)						
$\bar{M} \pm m$	<u>0,8±0,4</u>	<u>30,5±6,9</u>	<u>6,4±3,7</u>	<u>3,2±2,0</u>	<u>5,6±0,8</u>	<u>0,4±0,4</u>
min-max	0-4	0-92	0-20	0-20	0-16	0-4
CV, %	207,0	90,2	129,6	202,4	63,0	331,6
чешуекрылые (<i>Lepidoptera</i>)						
$\bar{M} \pm m$	<u>0,3±0,3</u>	<u>0,3±0,3</u>	<u>8,0±1,3</u>	<u>2,0±1,4</u>	<u>0,2±0,0</u>	<u>0,7±0,5</u>
min-max	0-4	0-4	4-12	0-12	12,2-36,0	0-4
CV, %	387,3	400,0	35,4	216,0	447,2	222,5
перепончатокрылые (<i>Hymenoptera</i>)						
$\bar{M} \pm m$	н/о	<u>0,5±0,3</u>	<u>1,6±1,6</u>	<u>0,4±0,4</u>	н/о	<u>1,1±0,8</u>
min-max		0-4	0-8	0-4		0-8
CV, %		273,2	223,6	316,2		237,1
двукрылые (<i>Diptera</i>)						
$\bar{M} \pm m$	<u>1,9±0,8</u>	<u>4,5±2,1</u>	<u>2,4±1,6</u>	н/о	<u>3,0±1,4</u>	<u>4,7±1,9</u>
min-max	0-8	0-32	0-8		0-28	0-20
CV, %	159,3	188,9	149,1		211,4	130,1
общая численность беспозвоночных						
$\bar{M} \pm m$	<u>102,1±14,1</u>	<u>191,5±30,3</u>	<u>296,1±69,1</u>	<u>118,8±25,6</u>	<u>122,6±22,0</u>	<u>81,1±8,9</u>
min-max	16-196	64-564	144-512	32-304	12-308	40-128
CV, %	53,3	63,2	52,2	68,3	80,2	36,3
сапрофаги						
$\bar{M} \pm m$	<u>74,1±13,1</u>	<u>105,5±22,6</u>	<u>193,6±49,2</u>	<u>75,2±21,8</u>	<u>83,8±18,1</u>	<u>26,2±6,7</u>
min-max	8-160	32-396	76-332	8-208	4-232	8-72
CV, %	68,6	85,5	56,8	91,6	96,7	84,6
фитофаги						
$\bar{M} \pm m$	<u>3,2±0,9</u>	<u>42,5±7,3</u>	<u>60,8±16,3</u>	<u>16,4±3,1</u>	<u>20,2±5,6</u>	<u>21,1±4,6</u>
min-max	0-12	4-104	24-112	8-36	4-112	0-48
CV, %	107,7	69,7	59,8	59,1	124,2	72,5
хищники						
$\bar{M} \pm m$	<u>23,2±4,4</u>	<u>38,5±6,1</u>	<u>37,6±8,9</u>	<u>20,4±4,8</u>	<u>16,4±3,2</u>	<u>31,3±8,7</u>
min-max	0-52	8-96	16-64	0-44	0-52	0-104
CV, %	73,8	63,3	53,0	74,2	86,7	92,6
смешанная группа						
$\bar{M} \pm m$	<u>1,6±0,8</u>	<u>5,0±1,7</u>	<u>4,0±1,3</u>	<u>6,4±2,7</u>	<u>2,2±0,6</u>	<u>2,5±1,1</u>
min-max	0-8	0-24	0-8	0-28	0-8	0-12
CV, %	184,2	132,3	70,7	135,6	124,8	145,3

Примечание: \bar{M} – среднее, m – ошибка среднего, min – минимум, max – максимум, CV, % – коэффициент вариации, n – количество образцов; \bar{M} – среднее, m – ошибка среднего, min – минимум, max – максимум, CV, % – коэффициент вариации, n – количество образцов; н/о – не обнаружено

Обнаружена положительная корреляционная зависимость ($p < 0,05$) обилия педобионтов от содержания в органогенном горизонте песка: насекомые ($r=0,28$), кивсяки ($r=0,36$), стафилины ($r=0,43$), щелкуны ($r=0,3$), чешуекрылые ($r=0,45$), долгоносики ($r=0,35$). Отмечена тенденция увеличения численности беспозвоночных в почвах с меньшим содержанием одной из фракций (0,01-0,005 мм) физической глины ($r = -0,36$) и содержанием валового фосфора ($r = -0,33$). Связь численности беспозвоночных с плодородием почв не обнаружена.

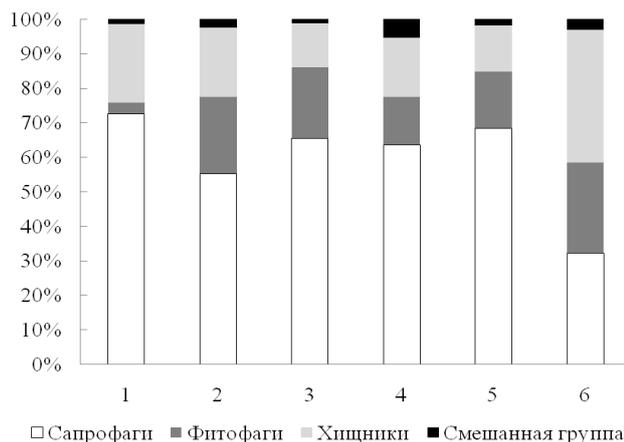


Рис. 1. Соотношение трофических групп почвенной мезофауны в различных типах биотопов: 1 – пашня, 2 – многолетние травы, 3 – луг, 4 – лесополосы хвойные, 5 – лесополосы лиственные, 6 – лес широколиственный)

Проведенный дискриминантный анализ позволил выявить статистически значимые различия (Wilks' Lambda: 0,00030, approx. $F(135,226)=7,0014$, $p < 0,0000$) физико-химических свойств почвы и численности таксономических групп почвенной мезофауны по типам биотопов (рис. 2). Наибольший вклад в дискриминацию вносят: рН водной вытяжки, содержание ила, сумма обменных оснований ($\Sigma Ca+Mg$), содержание физического песка, азот общий, фосфор валовый, гумус и малочисленные таксоны почвенной мезофауны (чешуекрылые, литобииды, сенокосцы, клопы, стафилины, навозники). Расстояние квадрата Махаланобиса (MD^2) в плоскости канонических дискриминантных функций (КДФ) максимально ($MD^2=116,82$, $p=0,00000$) между характеристиками почв с сообществами педобионтов пашни и луга, минимально ($MD^2=21,89318$, $p=0,000129$) – между таковыми показателями почв хвойной и лиственной лесополос. Также были выявлены статистически значимые различия (Wilks' Lambda: 0,40223, approx. $F(20,226)=3,5783$, $p < 0,0000$) в трофической структуре сообществ почвенной мезофауны по типам биотопов. Наибольший вклад в общую

дискриминацию вносят фитофаги (Wilks' Lambda 0,57, p-level 0,0002), вторые по значению – сапрофаги (Wilks' Lambda 0,51, p-level 0,0072), третьи по значению вклада – хищники (Wilks' Lambda 0,47, p-level 0,0444).

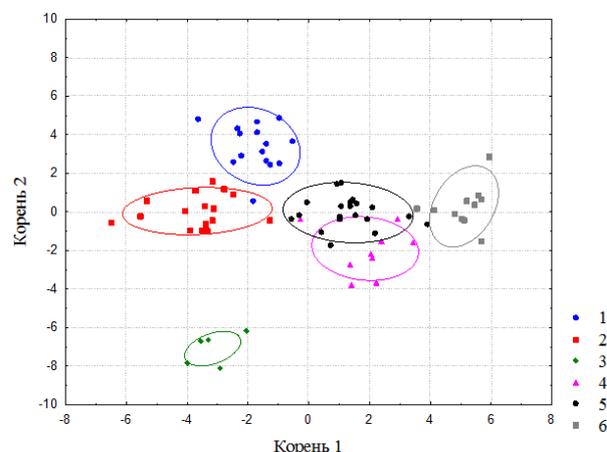


Рис. 2. Ординация физико-химических свойств почвы и сообществ почвенной мезофауны в разных типах биотопов: 1 – пашня, 2 – многолетние травы, 3 – луг, 4 – лесополосы хвойные, 5 – лесополосы лиственные, 6 – лес широколиственный) в плоскости двух дискриминантных осей

Выводы: установлено увеличение видового разнообразия и численности мезопедобионтов в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия. Физико-химические свойства почв близки к таковым незеродированных агросерых лесных почв. Актуальная кислотность почв, формирующихся под широколиственным лесом, хвойными и лиственными лесополосами слабокислая, а почв пашни, под многолетними травами и лугом – близкая к нейтральной. Содержание гумуса в исследуемых биогеоценозах находится в пределах его значений для пахотных серых лесных почв. Выявлена значимая положительная корреляция ($p < 0,05$) обилия педобионтов от содержания в органогенном горизонте песка: насекомые ($r=0,28$), кивсяки ($r=0,36$), стафилины ($r=0,43$), щелкуны ($r=0,3$), чешуекрылые ($r=0,45$), долгоносики ($r=0,35$). Отмечена тенденция увеличения численности беспозвоночных в почвах с меньшим содержанием одной из фракций физической глины (0,01-0,005 мм) ($r = -0,36$) и содержанием валового фосфора ($r = -0,33$).

Впервые проведен многомерный анализ различий физико-химических свойств почв и сообщества мезопедобионтов, обитающих в различных биотопах в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия. Дискриминантный анализ выявил статистически значимые различия физико-химических свойств и численности

таксономических групп почвенной мезофауны по типам биотопов. Наибольший вклад в дискриминацию вносят: рН водной вытяжки, содержание ила, сумма обменных оснований ($\Sigma \text{Ca}+\text{Mg}$), содержание физического песка, азот общий, фосфор валовый, гумус и малочисленные таксоны почвенной мезофауны (чешуекрылые, литобииды, сенокосцы, клопы, стафилины, навозники). Свойства почв и обилие педобионтов максимально различаются на пашне и лугу, минимально – в хвойной и лиственной лесополосах. Установлены статистически значимые различия в трофической структуре сообществ почвенной мезофауны по типам биотопов. Наибольший вклад в различие биотопов вносят фитофаги, далее по убыванию – сапрофаги и хищники.

Внедрение комплекса лесо-, луго- и гидромелиоративных мероприятий в пределах агроэкосистемы способствует формированию различных условий обитания, разнообразных лесных и луговых ассоциаций, что в свою очередь обуславливает высокое биоразнообразие и численность мезопедобионтов, а также улучшение свойств почв в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия.

Авторы выражают глубокую признательность Р.А. Суходольской за ценные советы и замечания в написании статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. Методическое руководство. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2005. 784 с.
2. Валеева, А.А. Серые лесные почвы Республики Татарстан / А.А. Валеева, А.Б. Александрова, Г.Ф. Копосов // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2011. Т. 153, кн. 2. С. 239-249.
3. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
4. ГОСТ 17.4.4.01-84. Охрана природы. Почвы. Методы определения емкости катионного обмена.
5. ГОСТ 26107-84. Почвы. Методы определения общего азота.
6. ГОСТ 26261-84. Почвы. Методы определения валового фосфора и валового калия.
7. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
8. ГОСТ 27821-88. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена.
9. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества.
10. Гордиенко, Т.А. Влияние статуса ООПТ на фауну и население почвенных беспозвоночных / Т.А. Гордиенко, Д.Н. Сабанцев, С.М. Шафигуллина // Проблемы сохранения биологического разнообразия Волжского бассейна и сопредельных территорий. Сборн. матер. I Всерос. конф. с межд. участием. – Чебоксары: Новое время, 2010. С. 57-58.
11. Государственный реестр ООПТ в РТ. Издание второе. – Казань: Идел-Пресс, 2007. 408 с.
12. Григорьян, Б.Р. Изменение биологических параметров почвенной экосистемы в агробиоценозах в условиях различных систем земледелия / Б.Р. Григорьян, Т.Г. Николаева, Л.М. Сунгатуллина // Георесурсы (научно-технический журнал). 2011. №2(38). С. 9-13.
13. Заикин, В. П. Адаптивное земледелие и некоторые его особенности в Волго-Вятском регионе // Научные основы адаптивного земледелия. – Чебоксары, 1998. С. 5-6.
14. Ильина, Т.А. Влияние контурно-мелиоративного земледелия на эрозионные процессы, плодородие почвы и урожайность зерновых культур в Чувашской Республике. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Чебоксары, 2000. 22 с.
15. Казаков, Г.И. Системы земледелия и агротехнологии возделывания полевых культур в Среднем Поволжье / Г.И. Казаков, В.А. Милоткин. – Самара: РИЦ СГСХА, 2010. 261 с.
16. Канеев, В.А. Оценка длительного влияния адаптивной системы земледелия на агрохимические параметры плодородия дерново-сильнопodzolistых почв и урожайность сельскохозяйственных культур в Среднем Предуралье. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Ижевск, 2009. 24 с.
17. Бызова, Ю.Б. Количественные методы в почвенной зоологии / Ю.Б. Бызова, М.С. Гиляров, В. Дугнер и др. – М.: Наука, 1987. 287 с.
18. Николаева, Т.Г. Экологическая характеристика долгоносикообразных жуков (Coleoptera, Curculionoidea) агроэкосистем при адаптивно-ландшафтном земледелии на севере лесостепи Приволжской возвышенности // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2012. Т. 154, кн. 2. С. 156-169.
19. Николаева, Т.Г. Сохранение биоразнообразия и почвенного плодородия – основа устойчивого развития органического сельского хозяйства / Т.Г. Николаева, Б.Р. Григорьян, Л.М. Сунгатуллина // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2011. Т. 153, кн. 1. С. 136-151.
20. Пухачев, А.П. Модель агроландшафтной системы земледелия для зоны Среднего Поволжья // Нива Татарстана. 2010. №1-2. С. 31.
21. Пухачев, А.П. Агроландшафтное обустройство деградированных земель, пути повышения их продуктивности и эрозионной устойчивости / А.П. Пухачев, Л.Ю. Пухачева // Агроэкологическая безопасность в условиях техногенеза. Часть 2. – Казань, 2006. С. 206-214.
22. Пухачева, Л.Ю. Улучшение естественных и создание сеянных травостоев на эродированных землях в Предкамье Республики Татарстан. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1999. 22 с.
23. Сабанцев, Д.Н. Личинки жуков-щелкунов в почвах охраняемых и хозяйственно освоенных территорий Республики Татарстан // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2013. Т. 155, кн. 3. С. 174-185.
24. Стриганова, Б.Р. Питание почвенных сапрофагов. – М.: Наука, 1980. 243 с.

25. Тунов, А.В. Метабиоз в почвенной системе: влияние дождевых червей на структуру и функционирование почвенной биоты. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М., 2007. 44 с.
26. Халафян, А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. Учебник. – М.: ООО Бином-Пресс, 2008. 512 с.
27. Шафигуллина, С.М. К изучению почвенной мезофауны в контурно-мелиоративном земледелии (на примере Государственного почвенного ландшафтного заказника «Чулпан» Республики Татарстан) / С.М. Шафигуллина, Т.А. Гордиенко // Труды Казанского отделения Русского энтомологического общества. Вып.1. – Казань: Экспресс-формат, 2008. С. 47-54.
28. Aavik, T. Quantifying the effect the organic farming, field boundary type and landscape structure on the vegetation of field boundaries / T. Aavik, J. Liira // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2010. V. 135, Is.3. P. 178-186.
29. Altieri, M.A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems // Agriculture, Ecosystems and Environment. 1999. No 74. P.19-31.
30. Burela, F. Differential response of selected taxa to landscape context and agricultural intensification / F. Burela, A. Butet, Y. Delettre, M. Pena // Landscape and Urban Planning. 2004. V. 67. Is.1-4. P. 195- 204.
31. Kleijn, D. Does conservation on farmland contribute to halting the biodiversity decline? / D. Kleijn, M. Rundlöf, J. Scheper et al. // Trends in Ecology & Evolution. 2011. No 26. P. 474-481.
32. Davari, M.R. Impact of agricultural practice on ecosystem services / M.R. Davari, J.C. Moola Ram, S. Kaushish Tewari // International journal of Agronomy and Plant Production. 2010. Vol. 1 (1). P. 11-23.
33. Maresch, W. Enhancing conservation on agricultural landscapes: A new direction for the Conservation Effects Assessment Project / W. Maresch, M.R. Walbridge, D. Kugler // Journal of Soil and Water Conservation. 2008. V. 63(6). No 6. P. 198A-203A.
34. Whittingham, M.J. The future of agri-environment schemes: biodiversity gains and ecosystem service delivery? // Journal of Applied Ecology 2011. V. 48. P. 509-513.

AGROECOSYSTEM SOIL AND ZOOLOGICAL FEATURES IN THE CONDITIONS OF ADAPTIVE AND LANDSCAPE AGRICULTURE

© 2014 A.B. Alexandrova, T.A. Gordienko, D.N. Sabantsev, V.V. Malanin

Institute of Ecological Problems and Subsoil Use of Academy of Sciences in Tatarstan Republic, Kazan

The characteristic of physical and chemical properties of soils and soil mesofauna living in various biotopes in the conditions of landscape and adaptive system of agriculture is provided in article. Statistically significant distinctions of physical and chemical properties and the number of taxonomical groups of soil mesofauna on types of biotopes are revealed. The multidimensional analysis showed that the greatest contribution to discrimination is made by pH water extract, by silt content, the sum of the exchange bases, by content of physical sand, common nitrogen, total phosphorus, humus and small taxons of soil mesofauna (*Lepidoptera*, *Lithobiidae*, *Opilionidae*, *Hemiptera*, *Staphylinidae*, *Geotrupinae*). The increase in specific diversity and number of mesopedobionts in the conditions of adaptive and landscape agriculture is established. Physical and chemical properties of soils were similar to that of non-eroded agrogrey forest soils.

Key words: adaptive and landscape agriculture, gray forest soils, soil mesofauna, trophic structure, specific diversity

Asel Alexandrova, Candidate of Biology, Senior Research Fellow at the Biogeochemistry Laboratory. E-mail: adabl@mail.ru

Tatiana Gordienko, Research Fellow at the Biomonitoring Laboratory. E-mail: t.a.korch@rambler.ru

Dmitriy Sabantsev, Research Fellow at the Biomonitoring Laboratory. E-mail: sabantsev.ipen@gmail.com

Vitaliy Malanin, Research Fellow at the Biogeochemistry Laboratory. E-mail: wizzle13@yandex.ru