УДК 631.46:592 doi: 10.15389/agrobiology.2021.1.199rus

ТЕХНОЛОГИЯ NO-TILL КАК ФАКТОР АКТИВНОСТИ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ*

О.В. КУТОВАЯ[1] ✉, Д.А. НИКИТИН[1], А.П. ГЕРАСЬКИНА[2]

Почвенная макро- и мезофауна чрезвычайно чувствительна к разным способам сельскохозяйственной обработки, поэтому почвенные беспозвоночные используются в качестве биоиндикаторов экологического состояния агроценозов. Поскольку макро- и мезофауна в значительной степени контролируют водный баланс почвы и участвуют в формировании гумуса, особенное внимание следует уделять им в засушливых регионах, в первую очередь в Черноземье. В настоящей работе впервые дана интегрированная оценка плотности населения и эколого-функционального разнообразия макро- и мезофауны чернозема обыкновенного в Ставропольском крае. Показана возможность использования этих групп беспозвоночных животных в качестве биоиндикаторов экологического состояния агроценозов. Доказано, что применение технологии no-till стимулирует активность и численность всех групп макро- и мезофауны. Цель работы — оценка численности и таксономического разнообразия эколого-функциональных групп макро- и мезофауны при различных технологиях обработки почвы (традиционная вспашка с оборотом пласта и no-till) в условиях внесения минеральных удобрений и без них на южных агрочерноземах Ставропольского края. Опыты по использованию технологии no-till на фоне применения или отсутствия минеральных удобрений проводили в 2012-2019 годах в опытном хозяйстве ФГБНУ Северо-Кавказского Федерального научного аграрного центра (Шпаковский р-н Ставропольского края). В 2019 году исследовали делянки полей с тремя типами учитываемых факторов: обработка почвы (вспашка с оборотом пласта и по технологии no-till); наличие/отсутствие удобрений; сельскохозяйственные культуры. Почва — чернозем обыкновенный среднемощный слабогумусированный тяжелосуглинистый на лессовидных карбонатных суглинках. В севообороте возделывали кукурузу (*Zea mays* L.) сорта Машук, сою (*Glycine max* L.) сорта Дуниза (до 2018 года), которая впоследствии была заменена горохом (*Pisum sativum* L.) сорта Фаэтон, озимую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Дея, подсолнечник (*Helianthus annuus* L.) сорта Баграт. Контролем служила необрабатываемая залежная почва вблизи опытных полей. Удобрения вносили при посеве в расчетных дозах (озимая пшеница — $N_{160}P_{90}K_{60}$, подсолнечник — $N_{72}P_{58}K_{32}$, кукуруза — $N_{80}P_{48}K_{48}$, соя или горох — $N_{60}P_{60}K_{60}$). Почвенную макрофауну учитывали методом раскопки площадок 25×25×30 см и ручного разбора почвенных проб. Почвенную мезофауну выделяли методом эклекторов из почвенного монолита и учитывали с помощью микроскопа «Биомед-5 ПР ЛЮМ» (Россия) при увеличении ×40. Среди макрофауны на всех полях наиболее многочисленны были многоножки (*Myriapoda*), имаго и личинки жесткокрылых (*Coleoptera*), пауки (*Araneae*) и дождевые черви (*Lumbricidae*). Среди дождевых червей доминировали *Aporrectodea caliginosa*, в то время как единичные экземпляры *A. rosea* были обнаружены только на залежи. Минимальную численность *A. caliginosa* (32 экз/м^2) отмечали под горохом и подсолнечником при традиционной обработке, максимальную — под кукурузой на делянках no-till и на вспаханных участках (соответственно 556 и 512 экз/м^2). В целом численность дождевых червей на полях no-till оказалась выше под всеми культурами (кроме подсолнечника) по сравнению со значениями на вспаханных делянках. Среди других групп почвенной макрофауны наиболее многочисленны были многоножки (до 1500 экз/м^2), а также пауки (до 500 экз/м^2) и жуки (до 500 экз/м^2). Единично встречались мокрицы (*Oniscidea*) и моллюски (*Gastropoda*). Плотность многоножек, пауков, жесткокрылых и дождевых червей для вариантов no-till всегда была выше, чем для вспаханных полей вне зависимости от вида сельскохозяйственной культуры. Внесение минеральных удобрений, как правило, сокращало численность и разнообразие представителей макрофауны. Среди мезофауны по численности и разнообразию преобладали клещи (*Acari*) и коллемболы (*Collembola*). Мезофауна полей no-till была таксономически более разнообразной, чем вспаханных делянок. Минимальная численность мезофауны выявлена под горохом и кукурузой, максимальная — под озимой пшеницей и подсолнечником. В целом на распределение почвенных беспозвоночных (макро- и мезофауны) значительное влияние оказывал способ обработки почвы, однако на показатели численности часто влияла и сельскохозяйственная культура. Применение удобрений снижало биоразнообразие макрофауны и уменьшало ее численность на всех делянках, независимо от способа обработки почвы.

* Исследования выполнены при поддержке проекта федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на тему «Глобальный климат и агроландшафты России: разработка системы оценки и управления рисками деградации Русских черноземов» (соглашение с Минобрнауки России № 075-15-2019-1689 от 6 декабря 2019 г., уникальный идентификатор проекта RFMEFI60419X0222).

Ключевые слова: нулевая обработка почвы, вспашка, черноземы, почвенные беспозвоночные, *Lumbricidae*, макрофауна, мезофауна, биоиндикация.

Интенсивное земледелие с применением традиционной обработки почвы (вспашки) зачастую приводит не только к потере плодородия (1, 2), но и к ухудшению экологического состояния агроценозов (3). В результате нерациональной хозяйственной деятельности происходит кардинальное изменение физических свойств почвы (2, 4) и, как следствие, гибель многих представителей геобионтной макро- и мезофауны, деятельность которых приносит пользу сельскому хозяйству (дополнительное рыхление, перемешивание и оструктуривание почвы, измельчение и гомогенизация растительных остатков, преобразование органического вещества, раскисление почвы, уничтожение фитопатогенных микроорганизмов) (5-7). Поскольку беспозвоночные в значительной степени контролируют водный баланс почв за счет образования ходов и перераспределения порового пространства (3), особенно внимательно следует отнестись к геобионтной фауне засушливых регионов, в первую очередь Черноземья. Необходимо помнить о том, что макро- и мезофауна непосредственно участвуют в формировании гумуса (8-10), и резкое снижение численности/отсутствие беспозвоночных-детритофагов может привести к неконтролируемой деградации земель (4-6). К сожалению, не все хозяйства понимают, что интенсификация земледелия должна быть не только экономически выгодной, но и экологически безопасной для окружающей среды (8). Однако часть хозяйств берет курс на экологизацию земледелия с минимальным механическим воздействием на почву, в частности на технологию нулевой обработки почвы (no-till) (11, 12).

Сведения о пользе или вреде как вспашки, так и no-till противоречивы и нуждаются в проверке (11). Поскольку геобионтные беспозвоночные наиболее быстро реагируют на сельскохозяйственную обработку почвы (5, 13, 14), требуется комплексное изучение численности и состава сообществ макро- и мезофауны для оценки последствий применения той или иной обработки почвы (6, 15, 16).

В настоящей работе впервые дана интегрированная оценка плотности населения и эколого-функционального разнообразия макро- (дождевые черви, пауки, жесткокрылые, многоножки, мокрицы, моллюски) и мезофауны (клещи, коллемболы, протуры, нематоды) чернозема обыкновенного в пределах опытного хозяйства, расположенного в Ставропольском крае. Показана возможность использования этих групп беспозвоночных животных в качестве биоиндикаторов экологического состояния агроценозов. Доказано, что применение технологии no-till стимулирует активность и численность всех групп макро- и мезофауны.

Цель работы — оценка численности и таксономического разнообразия эколого-функциональных групп макро- и мезофауны при различных технологиях обработки почвы (традиционная вспашка с оборотом пласта и no-till) в условиях внесения минеральных удобрений и без них на южных агрочерноземах Ставропольского края.

Методика. Опыты по использованию технологии no-till на фоне применения или отсутствия минеральных удобрений проводили в 2012-2019 годах в опытном хозяйстве ФГБНУ Северо-Кавказского Федерального научного аграрного центра (45°07′48″N 42°01′39″E, Шпаковский р-н, Ставропольский край). В 2019 году обследовали делянки полей с тремя типами учитываемых факторов: обработка почвы (вспашка с оборотом пласта

и по технологии no-till); наличие/отсутствие удобрений; сельскохозяйственные культуры (горох, кукуруза, подсолнечник, озимая пшеница). Площадь делянок — 300 м^2 (50×6 м), учетная — 90 м^2. Повторность полевого опыта 3-кратная.

Почва — чернозем обыкновенный среднемощный слабогумусированный тяжелосуглинистый на лессовидных карбонатных суглинках (17). Пахотный горизонт характеризовался сравнительно малым содержанием гумуса (3,87 %) и нитратного азота (11,9 мг/кг), средним содержанием лабильных форм фосфора (18,7 мг/кг по Мачигину) и обменного калия (245 мг/кг); pH 6,32. С увеличением глубины горизонта значения всех параметров снижались. Так, горизонт С, выделенный на глубине 126-175 см, содержал 0,65 % гумуса, 0,5 мг/кг $N\text{-}NO_3$, 3,4 мг/кг P_2O_5, 155 мг/кг K_2O; pH 8,3 (17). Обработку почв методом традиционной вспашки с оборотом пласта и по технологии no-till проводили в течение 8 лет.

В севообороте возделывали кукурузу (*Zea mays* L.) сорта Машук, сою (*Glycine max* L.) сорта Дуниза (до 2018 года), которая впоследствии была заменена горохом (*Pisum sativum* L.) сорта Фаэтон, озимую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Дея, подсолнечник (*Helianthus annuus* L.) сорта Баграт. Контролем служила необрабатываемая залежная почва вблизи опытных полей. Минеральные удобрения применяли в расчетных дозах (озимая пшеница — $N_{160}P_{90}K_{60}$, подсолнечник — $N_{72}P_{58}K_{32}$, кукуруза — $N_{80}P_{48}K_{48}$, соя или горох — $N_{60}P_{60}K_{60}$) с помощью сеялки при посеве.

Плотность почвы перед уборкой урожая в слое 0-10 см на полях с традиционной обработкой составляла 1,23 г/см^3, на полях с no-till — 1,24 г/см^3. Почвенную макрофауну учитывали методом раскопки площадок 25×25×30 см и ручного разбора почвенных проб послойно (0-10, 10-20 и 20-30 см) (13). До анализов образцы хранили в 96 % растворе этилового спирта. Видовую идентификацию дождевых червей проводили по K. Kasprzak (18), другие группы определяли до надвидовых таксонов (19).

Почвенную мезофауну выделяли методом эклекторов (13) из почвенного монолита (цилиндр объемом 101,1 см^3) верхнего слоя почвы до 5,1 см и учитывали с помощью микроскопа Биомед-5 ПР ЛЮМ («Биомед», Россия) при увеличении ×40.

Построение диаграмм выполняли в программе Microsoft Excel на основе расчета средних значений (*M*) и стандартных отклонений (±SD). Кластерный анализ проводили с помощью программного пакета Statistica 10 («StatSoft, Inc.», США). Для построения дендрограммы использовали метод Уорда (Ward's method), в основе которого лежат методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами.

Результаты. Среди почвенной макрофауны были обнаружены и учтены дождевые черви (сем. *Lumbricidae*), пауки (отр. *Araneae*), личинки и имаго жесткокрылых (отр. *Coleoptera*), многоножки (надкл. *Myriapoda*), мокрицы (подотр. *Oniscidea*) и моллюски (класс *Gastropoda*). Наиболее многочисленными были представители надкл. *Myriapoda*, отр. *Coleoptera* и *Araneae*, сем. *Lumbricidae*.

Таксономический состав дождевых червей на опытных делянках был представлен единственным видом, который относится к функциональной группе собственно-почвенных (эндогейных), — *A. caliginosa*. Только на залежи был обнаружен еще один эндогейный вид — *A. rosea* (рис. 1).

Минимальную численность *A. caliginosa* (32 экз/м^2) отмечали под горохом с удобрениями и подсолнечником без удобрений при традиционной обработке, максимальную — под кукурузой на делянках no-till и вспаханных

участках без удобрений (соответственно 556 и 512 экз/м^2). В целом численность дождевых червей на полях no-till была выше под всеми культурами (кроме подсолнечника) по сравнению со значениями для вспаханных делянок. На залежи она оказалась невысока (40 экз/м^2), однако только здесь был обнаружен *A. rosea*, относительное обилие которого достигало 40 %. Общая численность дождевых червей на полях Северо-Кавказского ФНАЦ по порядку значений соответствовала данным, полученным в других работах по степным агроландшафтам Центрального Предкавказья (13).

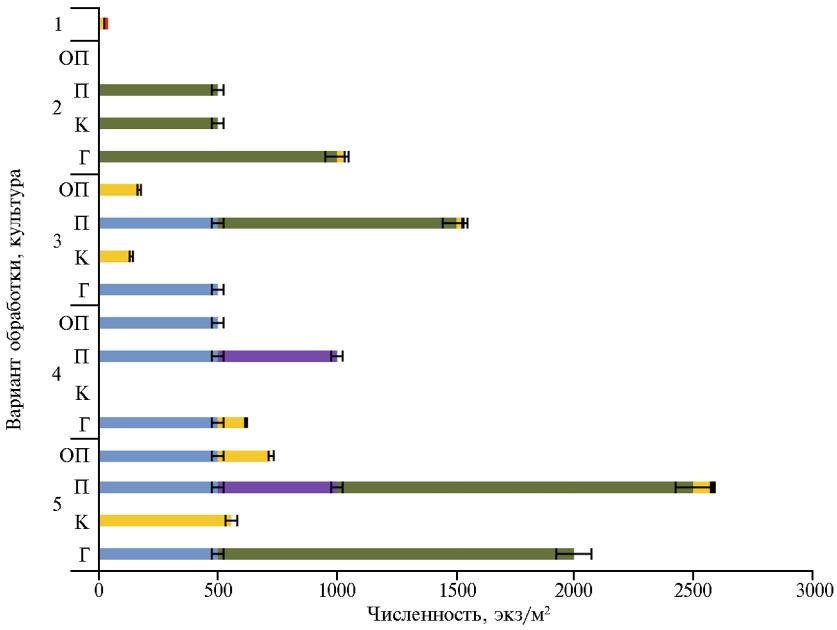

Рис. 1. Численность основных групп макрофауны в почве в зависимости от способа ее обработки (1 — залежь, 2 и 3 — вспашка, 4 и 5 — no-till)**, наличия** (2, 4)**/отсутствия** (3, 5) **удобрений и возделываемой сельскохозяйственной культуры:** ОП — озимая пшеница *Triticum aestivum* L. сорта Дея, П — подсолнечник *Helianthus annuus* L. сорта Баграт, К — кукуруза *Zea mays* L. сорта Машук, Г — горох *Pisum sativum* L. сорта Фаэтон; ■ — отр. *Coleoptera,* ■ — отр. *Araneae*, ■ — надкл. *Myriapoda*, ■ — *Aporrectodea caliginosa*, ■ — *A. rosea* (Шпаковский р-н, Ставропольский край, 2019 год).

Низкое разнообразие дождевых червей может объясняться двумя причинами. Во-первых, отбор образцов мы проводили в конце мая, когда влажность ставропольских почв относительно низка (20). Обычно численность и разнообразие беспозвоночных выше во влажных почвах (10). Во-вторых, хозяйственная деятельность (в частности, вспашка) снижает разнообразие и плотность популяций дождевых червей (5). Залежь, в свою очередь, постепенно переходит к естественному состоянию биогеоценозов, при котором разнообразие беспозвоночных выше, нежели на сельскохозяйственных полях (10, 21, 22).

В ряде случаев возделываемая сельскохозяйственная культура и внесение удобрений оказывали большее воздействие на численность червей, чем способ обработки почвы. Эта закономерность показана и в других зоологических работах (8, 10, 23). Большую численность дождевых червей на делянках no-till по сравнению со вспаханными полями можно объяснить меньшим механическим нарушением почвы и обилием растительных остатков, наличие которых способствует процветанию всех видов *Lumbricidae* (15, 23). При внесении удобрений как на вспаханных полях, так и на делянках no-till дождевые черви не были обнаружены под культурами

озимой пшеницы, кукурузы и подсолнечника. Хорошо известно, что внесение минеральных удобрений губительно влияет на почвенную макрофауну (24), в особенности на дождевых червей, поскольку их тело не защищено хитиновым или известковым покровом, как у большинства других групп беспозвоночных (25). Черви на полях с удобрениями были выявлены только на делянках гороха. Известно, что при включении в севооборот бобовых численность червей существенно возрастает (26). На полях без внесения удобрений в нашем исследовании люмбрициды *A. caliginosa* встречались практически на всех делянках под большей частью культур в обоих вариантах обработки почвы.

Доминирование одного собственно почвенного вида *A. caliginosa* — характерное явление для агроценозов (27-29). *A. caliginosa* в сравнении с другими видами дождевых червей обладает большей устойчивостью к засухе (27). Взрослые и ювенильные черви *A. caliginosa* способны переходить в состояние летней диапаузы: происходит защитная дегидратация тканей, утрата пубертатных валиков у взрослых особей, сами черви одиночно или совместно с другими особями свертываются в клубки для максимального сокращения потери влаги (30). Этот механизм устойчивости особенно актуален для территории Ставропольского края, где в весенне-летний сезон возможны периодические засухи (20).

Среди других групп почвенной макрофауны наиболее многочисленными были многоножки, пауки и жуки. Единично встречались мокрицы и моллюски.

Для полей no-till без удобрений была характерна максимальная численность и разнообразие макрофауны. Жуков обнаруживали во всех вариантах, кроме делянок кукурузы, в количестве до 500 экз/м^2, пауков (до 500 экз/м^2) — только на делянках подсолнечника (см. рис. 1). Обилие многоножек на делянках no-till без удобрений было максимальным (до 1500 экз/м^2), но их выявляли только под горохом и подсолнечником. Для полей no-till с удобрениями ситуация с популяциями жуков и пауков была такой же, как для делянок no-till без удобрений, однако многоножек мы не обнаружили (см. рис. 1).

На вспаханных полях без удобрений отмечали полное отсутствие пауков, присутствие жуков (до 500 экз/м^2) под подсолнечником и горохом и высокую численность многоножек (до 1000 экз/м^2) (см. рис. 1). Вспаханные поля с удобрениями характеризовались полным отсутствием всех представителей макрофауны, за исключением многоножек (до 500 экз/м^2) под кукурузой и подсолнечником (см. рис. 1).

Плотность населения жесткокрылых оказалась выше на полях no-till в сравнении со вспаханными полями, где они были многочисленны только на делянках гороха и подсолнечника при отсутствии удобрений, что может объясняться обилием растительной мульчи на полях no-till (31). По экологическим условиям эти поля становятся ближе к степным биогеоценозам: сохраняется подстилка (горизонт обитания для хищников и миксофагов) и растительные остатки (трофический ресурс для сапро-, фито- и миксофагов) (32).

Высокая плотность пауков (до 500 экз/м^2) была выявлена исключительно на полях с подсолнечником. Вероятно, биотопическая приуроченность этих облигатных хищников к подсолнечнику связана с обилием на таких делянках потенциальных жертв, в частности представителей жесткокрылых (33).

Многоножки в нашем исследовании — наиболее обильно встречав-

шаяся группа на полях no-till без внесения удобрений под культурами подсолнечника и гороха (до 1500 экз/м^2). Они также оставались единственной группой, которая заселяла поля с традиционной обработкой почвы и внесением удобрений. Поскольку надкласс многоножек представлен как сапрофагами (двупарноногие многоножки), так и хищниками (губоногие многоножки), их плотность зависит от качества и доступности пожнивных растительных остатков, а также наличия потенциальных жертв среди других беспозвоночных (34).

В целом, наименее благоприятными для жизнедеятельности почвенной макрофауны были озимая пшеница и кукуруза. При внесении удобрений в ряде случаев представители макрофауны под этими культурами не обнаруживались. Закономерно предположить, что пожнивные остатки злаков труднее разлагаются (в связи с более широким отношением углерода к азоту) в сравнении с бобовыми (горох и соя) и сложноцветными (подсолнечник), поэтому менее привлекательны для сапрофагов. Известно, что скорость разложения злаков и бобовых различается почти в 2 раза: за год пожнивная масса пшеницы уменьшается на 23,8 %, в то время как люцерны — на 45,5 % (35).

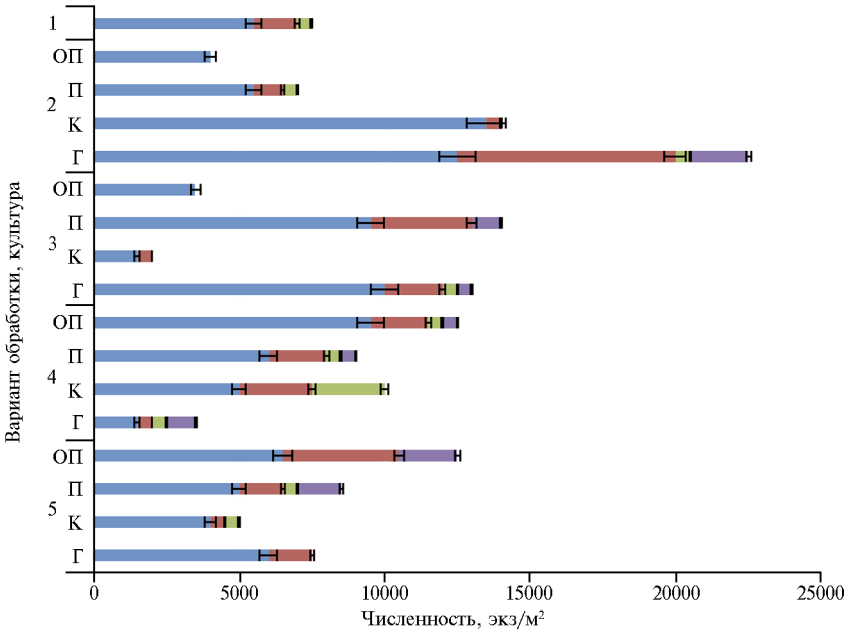

Рис. 2. Численность основных групп мезофауны в почве в зависимости от способа ее обработки (1 — залежь, 2 и 3 — вспашка, 4 и 5 — no-till)**, наличия** (2, 4)**/отсутствия** (3, 5) **удобрений и возделываемой сельскохозяйственной культуры:** ОП — озимая пшеница *Triticum aestivum* L. сорта Дея, П — подсолнечник *Helianthus annuus* L. сорта Баграт, К — кукуруза *Zea mays* L. сорта Машук, Г — горох *Pisum sativum* L. сорта Фаэтон; ■ — подкласс *Acari,* ■ — подкласс *Collembola*, ■ — тип *Nematoda*, ■ — отр. *Protura* (Шпаковский р-н, Ставропольский край, 2019 год).

Среди представителей мезофауны во всех исследованных образцах преобладали панцирные и гамазовые клещи (подкласс *Acari*) и коллемболы (подкласс *Collembola*) (рис. 2). Также были отмечены протуры (отр. *Protura*) и нематоды (тип *Nematoda*). Мезофауна полей no-till оказалась гораздо богаче (плотность суммарного населения 9,5×10^3 экз/м^2 и 12 морфотипов), чем вспаханных делянок (4,0×10^3 экз/м^2 и 7 морфотипов). Минимальная численность мезофауны была выявлена под горохом, максимальная — под озимой пшеницей.

Для полей no-till без удобрений минимальную численность (клещи до $4{,}0\times10^3$ экз/м^2, коллемболы и нематоды до 500 экз/м^2) и разнообразие мезофауны отмечали под кукурузой, а максимальную численность (клещи до $6{,}5\times10^3$ экз/м^2, коллемболы до $4{,}0\times10^3$ экз/м^2, нематоды до 500 экз/м^2, протуры до $2{,}0\times10^3$ экз/м^2) — под подсолнечником и озимой пшеницей (см. рис. 2). Протуры были выявлены исключительно под подсолнечником и озимой пшеницей, нематоды — под подсолнечником и кукурузой. Относительная доля коллембол последовательно увеличивалась в ряду в зависимости от культуры: кукуруза — подсолнечник — горох — залежь — озимая пшеница.

Для полей no-till с удобрениями минимальная численность мезофауны (клещи до $5{,}0\times10^3$ экз/м^2, коллемболы и нематоды до $2{,}5\times10^3$ экз/м^2) была установлена под кукурузой, максимальная — под озимой пшеницей (клещи до $9{,}5\times10^3$ экз/м^2, коллембол до $2{,}0\times10^3$ экз/м^2, нематод и протур до 500 экз/м^2) (см. рис. 2). Под всеми культурами наиболее многочисленны были клещи, далее следовали коллемболы, нематоды и протуры (последние отсутствовали только на полях кукурузы).

Для вспаханных полей без удобрений минимальная численность мезофауны отмечалась под кукурузой (клещи до $1{,}5\times10^3$ экз/м^2, коллемболы до 500 экз/м^2) и озимой пшеницей (клещи до $3{,}5\times10^3$ экз/м^2), максимальная — под горохом (клещи до $1{,}2\times10^4$ экз/м^2, коллемболы до $7{,}5\times10^3$ экз/м^2, нематоды до 500 экз/м^2, протуры до $2{,}0\times10^3$ экз/м^2) и подсолнечником (клещи до $9{,}5\times10^4$ экз/м^2, коллемболы до $3{,}5\times10^3$ экз/м^2, протуры до $1{,}0\times10^3$ экз/м^2) (см. рис. 2). Протуры встречались только под горохом и подсолнечником, нематоды — под горохом. Поля под пшеницей характеризовались наличием исключительно клещей. Доля коллембол составляла 33 % от общей численности мезофауны на полях гороха и кукурузы и 25 % — на полях подсолнечника.

Варианты вспаханных полей с удобрениями характеризовались наиболее таксономически бедным населением мезофауны. Численность и разнообразие мезофауны под пшеницей (клещи до $4{,}0\times10^3$ экз/м^2) были минимальными, под горохом (клещи до $1{,}25\times10^4$ экз/м^2, коллемболы до $7{,}5\times10^3$ экз/м^2, нематоды до 500 экз/м^2, протуры до $2{,}5\times10^3$ экз/м^2) — максимальными (см. рис. 2). На полях под пшеницей обнаруживали исключительно клещей. Протуры встречались только на полях с горохом, нематоды — с горохом и подсолнечником. Коллемболы были наиболее многочисленны на полях под горохом (до $7{,}5\times10^3$ экз/м^2).

Общая выявленная численность мезофауны на полях Северо-Кавказского ФНАЦ по порядку значений соответствовала другим данным по степным агроландшафтам Центрального Предкавказья (36). Доминирование клещей среди мезофауны исследованных почв было связано с применением метода эклекторов, разработанным преимущественно именно для учета орибатид (13).

Большая численность и богатство таксономического разнообразия мезофауны полей no-till по сравнению с пахотными делянками были вызваны в первую очередь обилием растительных остатков и отсутствием механической нагрузки на почву, губительно воздействующей на беспозвоночных (23). Минимальную численности мезофауны под горохом и максимальную под озимой пшеницей и кукурузой можно объяснить лучшим сохранением пожнивных остатков злаковых культур на поверхности почвы в связи с их более медленным разложением сапрофагами (как беспозвоночными, так и микроорганизмами) (35). В этом случае сохраняется

больший объем горизонта обитания мезофауны, в особенности подстилочной фауны — клещей и коллембол (37, 38). Также численность и разнообразие представителей мезофауны сокращало применение минеральных удобрений, что согласуются с результатами G. Prasanthi с соавт. (39).

Факт выявления наиболее полного спектра таксономических групп мезофауны для полей no-till без удобрений подтверждает данные других исследователей о том, что вспашка и обилие минеральных удобрений снижают население беспозвоночных в агроландшафтах (8, 23, 36). В то же время удобрения для вспаханных полей, по-видимому, становятся фактором, стимулирующим развитие отдельных групп почвенных беспозвоночных. Не исключено, что увеличение численности и разнообразия мезофауны в удобренных вспаханных полях связано со вспышками размножения микроорганизмов, на которых благотворно влияет избыток нитратов и фосфатов (14).

Коллемболы, как и клещи, — широко распространенная группа в почвах агроценозов. В нашем исследовании коллемболы населяли практически все делянки в относительно высокой численности. Высокая адаптивность коллембол к различным агротехническим приемам также была показана другими авторами на полях с разными способами обработки почвы: no-till, вспашка, применение/отсутствие удобрений (40).

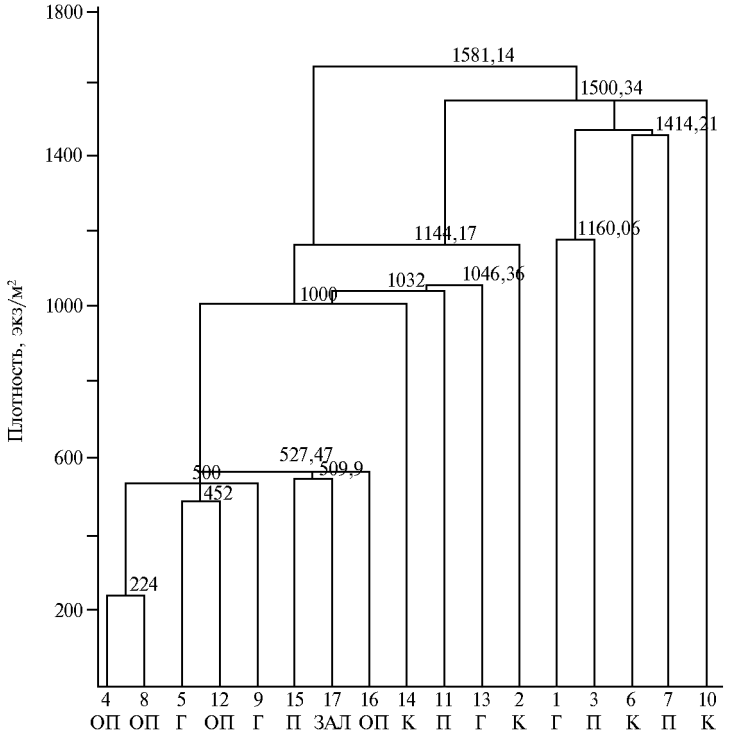

Рис. 3. Дендрограмма сходства делянок опытных полей по плотности макро- и мезофауны при разном способе обработки почвы, наличии/отсутствии удобрений и возделывании различных сельскохозяйственных культур на основе численности макро- и мезофауны: 1-4 — no-till без удобрений, 5-8 — no-till с внесением удобрений, 9-12 — вспашка без удобрений, 13-16 — вспашка с внесением удобрений, 17 — залежь; ОП — озимая пшеница *Triticum aestivum* L. сорта Дея, П — подсолнечник *Helianthus annuus* L. сорта Баграт, К — кукуруза *Zea mays* L. сорта Машук, Г — горох *Pisum sativum* L. сорта Фаэтон, ЗАЛ — залежь (Ward's method) (Шпаковский р-н, Ставропольский край, 2019 год).

Протуры — достаточно редкие представители почвенной фауны со специфической экологией (41). Значительная численность и относительное

обилие этой группы беспозвоночных практически на всех исследуемых полях можно объяснить хорошей порозностью почвы, поскольку сами протуры не обладают способностями к роющей деятельности и занимают воздушные пространства между агрегатами почвенных частиц и почвенными порами, создаваемыми крупными беспозвоночными. Ранее была показана положительная взаимосвязь между плотностью эндогейных червей в почве и плотностью протур (42).

При кластеризации делянок по плотности макро- и мезофауны (рис. 3) в отдельную группу объединились делянки, на которых проводилась вспашка с внесением удобрений (№№ 14, 15, 16). В эту группу также входил залежный участок (№ 17) со сходными показателями плотности макро- и мезофауны. Это могло быть связано с тем, что залежь имела небольшой возраст и ранее использовалась под пашню с внесением удобрений. В группу с наибольшей плотностью беспозвоночных входили делянки no-till как с внесением, так и без удобрений (№№ 1, 3 и 6, 7) для культур подсолнечника и гороха. Группу с наименьшим количеством беспозвоночных образовали удобренные делянки no-till с горохом и озимой пшеницей (№№ 5, 8), а также делянки пахотных полей без внесения удобрений с горохом и озимой пшеницей (№№ 9, 12). Кроме того, в эту группу входила делянка no-till без внесения удобрений с озимой пшеницей (№ 4). Следовательно, выращивание монокультуры пшеницы даже при использовании no-till технологии так же препятствовало развитию высокой численности беспозвоночных, как применение удобрений и вспашка. В целом на распределение почвенных беспозвоночных (макро- и мезофауны) большое влияние оказывал способ обработки почвы, однако на показатели численности часто влияла и выращиваемая сельскохозяйственная культура.

Таким образом, представлена интегрированная оценка плотности населения и таксономического разнообразия макро- и мезофауны агрочерноземов Шпаковского района Ставропольского края при разных способах обработки почвы, использовании удобрений и выращивании различных сельскохозяйственных культур. Показано, что энергосберегающая технология обработки почвы с использованием прямого посева (no-till) положительно влияла на биоразнообразие почвенной макро- и мезофауны с одновременным снижением доминирования отдельных групп, уменьшая риски вспышки развития вредных беспозвоночных. Численность исследованных групп макрофауны увеличивалась в 2,5 раза, повышалась численность дождевых червей, многоножек, пауков, жесткокрылых. Среди мезофауны наиболее многочисленны были клещи и коллемболы, наименее — протуры. Следовательно, эти группы почвенных беспозвоночных могут использоваться в качестве биоиндикаторов экологического состояния агроценозов. Использование минеральных удобрений действовало токсично на жизнедеятельность почвенной макрофауны: снижалось биоразнообразие и уменьшалась численность ее представителей на всех делянках, независимо от способа обработки почвы. Дождевые черви на делянках с применением удобрений отсутствовали, однако численность многоножек увеличивалась. Применение удобрений мало повлияло на почвенную мезофауну, ведущим фактором влияния на эту группу была культура севооборота. Максимальную численность всех представителей мезофауны зафиксировали под озимой пшеницей.

[1]*ФГБНУ ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева,*
119017 Россия, г. Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2,
e-mail: langobard@mail.ru ✉, dimnik90@mail.ru;

Поступила в редакцию 17 мая 2020 года

[2]*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,*
117485 Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14,
e-mail: angersgma@gmail.com

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [*Agricultural Biology*], 2021, V. 56, № 1, pp. 199-210

NO-TILL TECHNOLOGY AS A FACTOR OF ACTIVITY OF SOIL INVERTEBRATE IN AGRICULTURAL CHERNOZEMS OF STAVROPOL REGION

O.V. Kutovaya[1] ✉, *D.A. Nikitin*[1], *A.P. Geraskina*[2]

[1]*Dokuchaev Soil Science Institute,* 7/2, Pyzhyovskiy per., Moscow, 397463 Russia, e-mail langobard@mail.ru (✉ corresponding author), dimnik90@mail.ru;
[2]*Center for Forest Ecology and Productivity RAS,* 84/32 str. 14, ul. Profsoyuznaya, Moscow, 117485 Russia, e-mail angersgma@gmail.com
ORCID:
Kutovaya O.V. orcid.org/0000-0002-7977-2358 Geraskina A.P. orcid.org/0000-0002-8365-5787
Nikitin D.A. orcid.org/0000-0002-8533-6536
The authors declare no conflict of interests
Acknowledgements:
The research was carried out with the support of the project of the federal target program "Research and Development in Priority Areas of Development of the Scientific and Technological Complex of Russia for 2014-2020" (agreement with the Ministry of Education and Science of Russia No. 075-15-2019-1689 dated December 6, 2019, unique project identifier RFMEFI60419X0222).
Received May 17, 2020 doi: 10.15389/agrobiology.2021.1.199eng

Abstract

Soil macro- and mesofauna is highly sensitive to various methods of agricultural cultivation, therefore soil invertebrates are used as bioindicators of agrocenoses ecological condition. Since the macro- and mesofauna to a largely extent control the water balance of the soil and participate in the formation of humus, special attention should be paid to soil fauna in arid regions, primarily in the Cernozem Region. In this work, for the first time, an integrated estimation of the population density and ecological and functional diversity of macro- and mesofauna of Vorony-Calcic Chernozem in the Stavropol region is given. The possibility of using these groups of invertebrates as bioindicators of the ecological status of agrocenoses has been shown. It is proved that the use of no-till technology stimulates the activity and number of all groups of macro- and mesofauna. The purpose of the work is to estimate the numbers and taxonomic diversity of ecological and functional groups of macro- and mesofauna with various technologies of soil cultivation (traditional plowing and no-till) with and without mineral fertilizers on the agrochernozems of the Stavropol region. Experiments on research no-till technology were carried out in 2012-2019 in an experimental farm of the North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center (Shpakovsky district of the Stavropol region). In 2019 we studied plots of fields with three types of factors: tillage (plowing and no-till technology); presence/absence of fertilizers; agricultural crops. The soil is Vorony-Calcic Chernozem. Crop rotation: maize (*Zea mays* L.) variety Mashuk, soybean (*Glycine max* L.) variety Duniza (until 2018), which was replaced later by peas (*Pisum sativum* L.) variety Phaeton, winter wheat (*Triticum aestivum* L.) variety Deya, sunflower (*Helianthus annuus* L.) variety Bagrat. Deposit soil near the experimental fields served as a control. Fertilizers were applied at the time of sowing ($N_{160}P_{90}K_{60}$ for winter wheat, $N_{72}P_{58}K_{32}$ for sunflower, $N_{80}P_{48}K_{48}$ for corn, and $N_{60}P_{60}K_{60}$ for soybeans and peas). The soil macrofauna was registered by the method of excavation of areas 25×25×30 cm and manual analysis of soil samples. Soil mesofauna was isolated from the soil monolith by the method of eklectors, identified and counted using a microscope Biomed-5 PR LUM (Russia) at a magnification of ×40. Most abundant among the macrofauna were centipedes (*Myriapoda*), adults and larvae of coleopterans (*Coleoptera*), spiders (*Araneae*) and earthworms (*Lumbricidae*). *Aporrectodea caliginosa* dominated among earthworms, while single of *A. rosea* were found only in deposit lands. The minimum number of *A. caliginosa* (32 ind/m^2) was recorded under peas and sunflower with traditional plowing, the maximum — under corn on no-till plots and on plowed plots (556 and 512 ind/m^2, respectively). In general, the number of earthworms was higher in no-till fields under all crops (excluding sunflower) in comparison with plowed plots. Among other groups of soil macrofauna, the most numerous were centipedes (up to 1500 ind/m^2), as well as spiders (up to 500 ind/m^2) and beetles (up to 500 ind/m^2). Woodlice (*Oniscidea*) and molluscs (*Gastropoda*) were also encountered. The density of centipedes, spiders, coleoptera and earthworms was always higher for no-till options than for plowed fields, regardless of crop. The application of mineral fertilizers, as a rule, reduced the number and diversity of the macrofauna representatives. Among the mesofauna, ticks (*Acari*) and collembolans (*Collembola*) prevailed in terms of abundance and diversity. Mesofauna of no-till fields was taxonomically more diverse than plowed plots. The minimum number

of mesofauna representative was found under peas and corn, the maximum — under winter wheat and sunflower. In general, the distribution of soil invertebrates (macro- and mesofauna) was significantly influenced by the method of soil cultivation, however, the agricultural culture often influenced the abundance indicators. The use of fertilizers reduced the biodiversity of macrofauna and decreased its number in all plots, regardless of the method of soil cultivation.

Keywords: no-till, plowing, chernozems, soil invertebrates, *Lumbricidae*, macrofauna, mesofauna, bioindication.

REFERENCES

1. Tsiafouli M.A., Thébault E., Sgardelis S.P., De Ruiter P.C., Van Der Putten, W.H., Birkhofer K., Hemerik L., de Vries F.T., Bardgett R.D., Brady M.V., Bjornlund L., Jørgensen H.B., Christensen S., Hertefeldt T.D., Hotes S., Gera Hol W.H., Frouz J., Liiri M., Mortimer S.R., Setälä H., Tzanopoulos J., Uteseny K., Pižl V., Stary J., Wolters V., Hedlund K. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology*, 2015, 21(2): 973-985 (doi: 10.1111/gcb.12752).
2. Priya K.C., Mani I., Parray R.A. Long term effect of different tillage systems on soil physical properties and yield of wheat. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2019, 8(2): 2182-2185.
3. Pekrun C., El Titi A., Claupein W. Implications of soil tillage for crop and weed seeds. *In: Soil tillage in agroecosystems.* CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2002: 115-146.
4. Pelosi C., Pey B., Hedde M., Caro G., Capowiez Y., Guernion M., Peigné J., Piron D., Bertrand M., Cluzeau D. Reducing tillage in cultivated fields increases earthworm functional diversity. *Applied Soil Ecology*, 2014, 83: 79-87 (doi: 10.1016/j.apsoil.2013.10.005).
5. Pelosi C., Pey B., Caro G., Cluzeau D., Peigné J., Bertrand M., Hedde M. Dynamics of earthworm taxonomic and functional diversity in ploughed and no-tilled cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 2016, 156: 25-32 (doi: 10.1016/j.still.2015.07.016).
6. Zagatto M.R.G., Niva C.C., Thomazini M.J., Baretta D., Santos A., Nadolny H., Cardoso G.B., Brown G.G. Soil invertebrates in different land use systems: how integrated production systems and seasonality affect soil mesofauna communities. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 2017, 7: 158-169.
7. Dekemati I., Simon B., Vinogradov S., Birkás M. The effects of various tillage treatments on soil physical properties, earthworm abundance and crop yield in Hungary. *Soil and Tillage Research*, 2019, 194: 104334 (doi: 10.1016/j.still.2019.104334).
8. Jernigan A.B., Wickings K., Mohler C.L., Caldwell B.A., Pelzer C.J., Wayman S., Ryan M.R. Legacy effects of contrasting organic grain cropping systems on soil health indicators, soil invertebrates, weeds, and crop yield. *Agricultural Systems*, 2020, 177: 102719 (doi: 10.1016/j.agsy.2019.102719).
9. Frouz J. Effects of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. *Geoderma*, 2018, 332: 161-172 (doi: 10.1016/j.geoderma.2017.08.039).
10. Jouquet P., Dauber J., Lagerlöf J., Lavelle P., Lepage M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Applied Soil Ecology*, 2006, 32(2): 153-164 (doi: 10.1016/j.apsoil.2005.07.004).
11. Zikeli S., Gruber S. Reduced tillage and no-till in organic farming systems, Germany—Status quo, potentials and challenges. *Agriculture*, 2017, 7(4): 35 (doi: 10.3390/agriculture7040035).
12. Pretty J., Bharucha Z.P. *Sustainable intensification of agriculture: greening the world's food economy*. Routledge, 2018.
13. *Metody pochvenno-zoologicheskikh issledovanii* /Pod redaktsiei M.S. Gilyarova [Research methods in soil zoology. M.S. Gilyarov (ed.)]. Moscow, 1975 (in Russ.).
14. Ashworth A.J., DeBruyn J.M., Allen F.L., Radosevich M., Owens P.R. Microbial community structure is affected by cropping sequences and poultry litter under long-term no-tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017, 114: 210-219 (doi: 10.1016/j.soilbio.2017.07.019).
15. Pelosi C., Barot S., Capowiez Y., Hedde M., Vandenbulcke F. Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2014, 34(1): 199-228 (doi: 10.1007/s13593-013-0151-z).
16. Liu H., Carvalhais L.C., Crawford M., Dang Y.P., Dennis P.G., Schenk P.M. Strategic tillage increased the relative abundance of *Acidobacteria* but did not impact on overall soil microbial properties of a 19-year no-till Solonetz. *Biology and Fertility of Soils*, 2016, 52(7): 1021-1035 (doi: 10.1007/s00374-016-1138-0).
17. Nikitin D.A., Ivanova E.A., Zhelezova A.D., Semenov M.V., Gadzhiumarov R.G., Tkhakakhova A.K., Chernov T.I., Ksenofontova N.A., Kutovaya O.V. *Pochvovedenie*, 2020, 12: 1508-1520 (doi: 10.31857/S0032180X20120084) (in Russ.).
18. Kasprzak K. Soil Oligochaeta III — The family of Earthworms (Lumbricidae). In: *The keys to indicate the invertebrates of Poland.* PWN, Warsaw, 1986.

19. Ruiz N., Lavelle P., Jiménez J. *Soil macrofauna field manual: technical level.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2008.
20. Tskhovrebov V.S., Faizova V.I. Pochvy i klimat Stavropol'ya. *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2015, S2: 21-34 (in Russ.).
21. Pižl V. Succession of earthworm population in abandoned fields. *Soil Biology and Biochemistry*, 1992, 24(12): 1623-1628 (doi: 10.1016/0038-0717(92)90160-Y).
22. Geras'kina A.P. *Zoologicheskii zhurnal*, 2009, 88(8): 901-906 (in Russ.).
23. Bedano J.C., Domínguez A., Arolfo R., Wall L.G. Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. *Soil and Tillage Research*, 2016, 158: 100-109 (doi: 10.1016/j.still.2015.12.005).
24. Sandor M., Brad T., Maxim A., Sandor V., Onica B. The effect of fertilizer regime on soil fauna. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 2016, 73(2): 353-354 (doi: 10.15835/buasvmcn-agr:12445).
25. Fusaro S., Gavinelli F., Lazzarini F., Paoletti, M.G. Soil Biological Quality Index based on earthworms (QBS-e). A new way to use earthworms as bioindicators in agroecosystems. *Ecological Indicators*, 2018, 93: 1276-1292 (doi: 10.1016/j.ecolind.2018.06.007).
26. Dane S., Laugale V., Lepse L., Silina D. Influence of legumes on soil fertility in strawberry-legume intercropping. *Research for Rural Development*, 2017, 2: 26-32 (doi: 10.22616/rrd.23.2017.045).
27. Makulec G. Density and biomass of earthworms (*Lumbricidae*) on leys and permanent meadows. *Ekologia Polska*, 1997, 45(3-4): 815-823.
28. Ventiņš J. Earthworm (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) communities in common soil types under intensive agricultural practice in Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 2011, 65(1-2): 48-56 (doi: 10.2478/v10046-011-0018-0).
29. Geras'kina A.P. *Ekologicheskaya otsenka dinamiki kompleksa dozhdevykh chervei (Lumbricidae) v khode vosstanovitel'nykh suktsessii* [Ecological assessment of the earthworm complex (*Lumbricidae*) dynamics during restoration successions]. Smolensk, 2016 (in Russ.).
30. Bayley M., Overgaard J., Høj A.S., Malmendal A., Nielsen N.C., Holmstrup M., Wang T. Metabolic changes during estivation in the common earthworm *Aporrectodea caliginosa*. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2010, 83(3): 541-550 (doi: 10.1086/651459).
31. Bokina I.G. *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2018, 1: 72-79 (in Russ.).
32. Mordkovich V.G. *Stepnye ekosistemy* [Steppe ecosystems]. Novosibirsk, 1982 (in Russ.).
33. Semerenko S.A. *Maslichnye kul'tury*, 2011, 2(148-149): 153-158 (in Russ.).
34. Wang M., Fu S., Xu H., Wang M., Shi L. Ecological functions of millipedes in the terrestrial ecosystem. *Biodiversity Science*, 2018, 26(10): 1051 (doi: 10.17520/biods.2018086).
35. Kurdyukov Yu.F., Loshchinina L.P., Popova Zh.P., Shubitidze G.V., Kuz'michev F.P., Tret'yakov M.V. *Agrarnyi vestnik Yugo-Vostoka*, 2010, 3-4(6-7): 67-70 (in Russ.).
36. Godunova E., Sigida S., Patyuta M. *Pochvennaya mezofauna stepnykh i lesostepnykh agrolandshaftov Tsentral'nogo Predkavkaz'ya* [Soil mesofauna of steppe and forest-steppe agricultural landscapes of the Central Ciscaucasia]. Stavropol', 2018 (in Russ.).
37. Kuznetsova N.A. *Ekologiya*, 2009, 6: 439-448 (in Russ.).
38. Rakhleeva A.A., Semenova T.A., Striganova B.R., Terekhova V.A. *Pochvovedenie*, 2011, 1: 44-55 (in Russ.).
39. Prasanthi G., Kumar N.G., Raghu S., Srinivasa N., Gurumurthy H. Study on the effect of different levels of organic and inorganic fertilizers on microbial enzymes and soil mesofauna in soybean ecosystem. *Legume Research-An International Journal*, 2019, 42(2): 233-237 (doi: 10.18805/LR-3850).
40. Malcicka M., Berg M.P., Ellers J. Ecomorphological adaptations in Collembola in relation to feeding strategies and microhabitat. European *Journal of Soil Biology*, 2017, 78: 82-91 (doi: 10.1016/j.ejsobi.2016.12.004).
41. Pass G., Szucsich N.U. 100 years of research on the Protura: many secrets still retained. *Soil Organisms*, 2011, 83(3): 309-334.
42. Geras'kina A.P., Kuznetsova N.A. *Materialy VI Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Gornye ekosistemy i ikh komponenty»* [Proc. VI Russian Conf. «Mountain ecosystems and their components»]. Makhachkala, 2017: 96-97 (in Russ.).