

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева
Проблемная лаборатория по разработке теоретических основ управления водным, солевым и теплом
режимами на мелиорируемых землях

Биоиндикация плодородия мелиорируемых земель для целей точной мелиорации



РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА

Маркин В.Н., Солошенко А.Д., Стрижников О.А., Шабанов В.В.

2022



СОДЕРЖАНИЕ

1. Назначение и краткое содержание разработки
2. Преимущества и новизна
3. Краткие рекомендации по применению научной разработки
4. Апробация
5. Форма представления научной разработки
6. Дополнительные сведения

Назначение и краткое содержание разработки.



В работе предлагается метод биоиндикации состояния почвенной биоты, как показателя почвенного плодородия. В качестве индикатора деятельности биоты приняты дождевые черви. «Здоровье» почвы характеризуется посредством учета численности и биомассы дождевых червей. Для управления деятельностью почвенной биоты устанавливаются количественные закономерности требований дождевых червей (*Eisenia fetida*) к водному, тепловому и кислотному режимам.

Для этих целей :

- создано техническое решение – экспериментальная установка по определению оптимальных условий жизнедеятельности дождевых червей;
- найдена эмпирическая зависимость относительной урожайности горчицы белой от количества (массы) индикаторных организмов по данным полевого опыта;
- получена количественная зависимость между урожайностью сельскохозяйственной культуры и интегральной биомассой дождевых червей в каждой точке поля;
- показаны биоиндикационные возможности дождевых червей, как «измерителей» почвенного плодородия;
- показана необходимость назначения дифференцированного управления для разнородных групп рассматриваемых точек при планировании мелиоративных мероприятий;
- получены непрерывные функции требований дождевых червей к влажности, температуре и кислотности среды обитания.

Преимущества и новизна



- Теоретические основы представленной работы могут быть применены на практике непосредственными пользователями земель - фермерами.
- Полученные кривые требований червей к различным факторам жизнедеятельности (водному, тепловому и кислотному), будут полезны для оптимизации производства дождевых червей и интенсификации получения ценных продуктов их жизнедеятельности, таких как вермикомпост (биогумус) и «вермичая».
- Учет требований почвенной биоты наряду с требованиями сельскохозяйственных растений позволит достигнуть эколого-экономического компромисса при проведении мелиоративных мероприятий.
- Предложенная методика оценки относительного почвенного плодородия может быть полезна фермерам для оценки неоднородности почвенного плодородия и принятия решений о внесении органических удобрений.
- Полученная количественная зависимость между урожайностью сельскохозяйственной культуры и интегральной биомассой дождевых червей в каждой точке поля позволяет приближенно рассчитывать потенциальную продуктивность с/х культур на основании данных наблюдений за динамикой дождевых червей в каждой точке поля.
- Представленная установка по определению требований дождевых червей позволяет уточнить существующие данные по оптимальным значениям факторов, влияющих на их жизнедеятельность. В существующих источниках представляются различные не согласующиеся между собой данные как по водному, тепловому так и кислотному режимам, также не обнаружено экспериментальных данных, описывающих экологическую валентность червей в различных диапазонах факторов внешней среды. Модуль и эксперименты, которые проводятся с его помощью, должен заполнить эти пробелы и дать разумное, однозначное описание закономерностей влияния факторов внешней среды на жизнедеятельность червей.



Кривые требований дождевых червей к условиям внешней среды

В рамках данной работы уточнены требования к следующим факторам внешней среды для дождевых червей: влажность почвы, температура, pH. Требования, в частности, гибрида «Старатель», описаны у ряда авторов. Обобщенные данные для компостных червей (*Eisenia fetida*), обитающих в зоне умеренно-континентального климата (Нечерноземной зоны РФ), представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Границы диапазонов факторов жизнедеятельности червей

Фактор	Оптимальные значения фактора	Критические значения фактора
Влажность, % [10]	70-85% ПВ	min=22%, max=100%*
Температура, °C	15...22°C [14]	min=8°C, max=29°C
pH	6,8...7,2 pH [11]	min=5pH, max=9pH

По полученным данным, определены кривые требований дождевых червей к перечисленным факторам жизнедеятельности (рис. 1) по методике В.В. Шабанова.

Функции (по В.В. Шабанову) имеют вид:

$$S = \left(\frac{F_i}{F_{\text{опт}}} \right)^{\gamma F_{\text{опт}}} \cdot \left(\frac{1 - F_i}{1 - F_{\text{опт}}} \right)^{\gamma(1 - F_{\text{опт}})}$$

где S – относительная продуктивность организма в долях от единицы; F_i – значение рассматриваемого фактора в долях от единицы (абсолютные значения критического диапазона (табл. 1) приводятся к значениям от 0 до 1); $F_{\text{опт}}$ – оптимальное значение фактора в долях от единицы; γ – коэффициент, характеризующий устойчивость функций организма при изменении условий среды и влияющий на вид графика функции $S = f(F)$.

Пример полученных однофакторных функций $S = f(F)$ для водного, теплового и «пищевого» режимов представлен на рисунке 1.

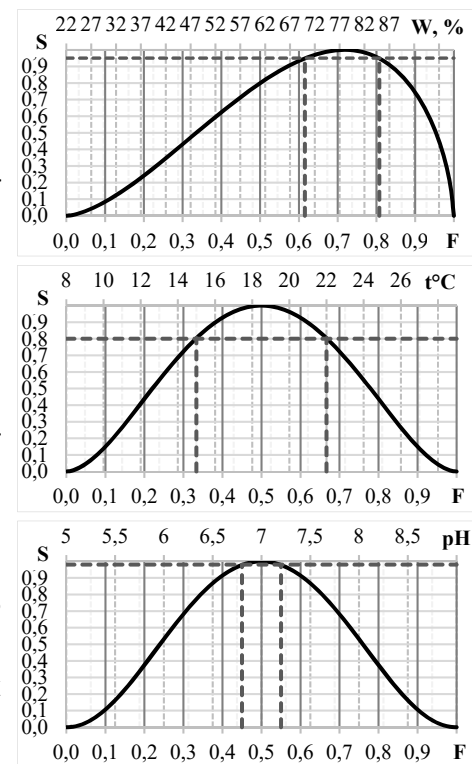


Рис.1 - Требования червей *Eisenia fetida* к водному фактору (а), теплового фактору (б) и к кислотности среды (в)

Взаимосвязь биомасс растений и почвенной биоты



К обсуждению предлагается методика оценки относительного плодородия, разработанная для достижения целей точного мелиоративного регулирования. Суть методики заключается в определении количества и суммарной массы индикаторных организмов, а также относительной урожайности возделываемой культуры по опытным точкам с последующей оценкой их взаимосвязи. В процессе апробации данной методики в 2019 г. был проведен опыт по определению зависимости относительной продуктивности горчицы белой от суммарно накопленной биомассы дождевых червей по 10 опытным точкам.

Вдоль изолиний рельефа были выбраны места расположения вермиаккумуляторов для мониторинга численной и массовой динамики дождевых червей. Произведена копка шурфов размерами 0,027 м³ (30 x 30 x 30 см) с последующим их наполнением питательным субстратом-приманкой. Наблюдения за влажностью, окружающей опытные точки почвы, осуществлялись с помощью импульсного влагомера TRIME-FM послойно, в слоях 0...20, 10...30, 20...40 и 30...50 см. Ежеженедельно проводились забор, подсчет и взвешивание дождевых червей в каждой из опытных точек. При этом черви не возвращались в вермиаккумуляторы. В следующем замере (примерно через неделю) в вермиаккумуляторе оказывались черви, вновь приползшие из окружающего пространства. Такой подход позволил наблюдать динамику изменения численности червей во времени.

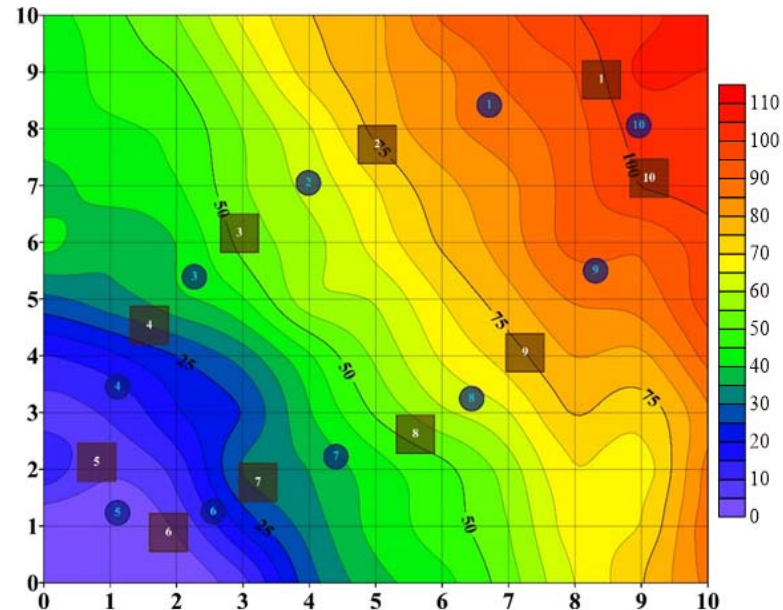


Рис. 2. Топографическая схема участка в сантиметрах превышения над самой низкой точкой участка: высота нулевой точки – 153 м над уровнем моря; размеры участка 16 x 14 м (224 м²); шаг сетки по оси абсцисс – 1,6 м, по ординат – 1,4 м; ■ – Вермиаккумуляторы; ● – скважины

Взаимосвязь биомасс растений и почвенной биоты



Дважды за период вегетации горчицы белой производился укос надземной массы к фазе цветения (укосная спелость) и после созревания. Укос осуществлялся квадратами площадью $0,5 \times 0,5 \text{ м} = 0,25 \text{ м}^2$ в непосредственной близости к опытным точкам. Оценку растительной биомассы осуществляли взвешиванием зеленой и высушенной массы. Периоды (фазы) вегетации: дата посева – 1 июня 2019 г., всходы – 8 июня 2019 г., цветение (укос 1) – 13 июля 2019 г., спелость (укос 2) – 31 августа 2019 г.

Данные, накопленные к моментам проведения укосов, биомасс червей по точкам в пересчете на м^2 , а также данные зеленых и сухих масс горчицы белой, отобранных по опытным точкам и пересчитанным на т/га , представлены в таблице 3 основного описания разработки.

Накопленная биомасса червей рассчитывалась суммированием значений, отобранных из точек, биомасс червей по дням наблюдений: от дня первого отбора 17 июня до момента проведения укоса включительно. За вегетацию «накоплено» червей более $1,6 \text{ кг/м}^2$. При пересчете на 1 га это составляет 16 т живой биомассы – высококачественного белка, депонирующего углерод. Учитывая, что рыночная стоимость червей составляет 1-3 тыс. руб. за 1 кг, можно рассчитать стоимость «выращенной» в почве биомассы: $2 \text{ тыс. руб./кг} * 16 \text{ 000 кг/га} = 32 \text{ млн руб/га}$. Это примерная стоимость «воспроизведенного» плодородия, которая сейчас не учитывается.

По полученным данным построена зависимость относительной продуктивности горчицы белой от относительной суммарной накопленной биомассы дождевых червей по опытным точкам (рис. 3).

Зависимость аппроксимирована двумя функциями: первая – квадратичная парабола с достаточно высоким коэффициентом корреляции $R^1 = 0,95$; вторая – логарифмическая с более высоким коэффициентом корреляции $R^2 = 0,96$.

Квадратичная функция может характеризовать продуктивность растения на почвах с так называемым «остаточным плодородием». В этих почвах биота работает, но некоторые звенья ее (черви) отсутствуют (например, почвы в горшках комнатных растений). При полном отсутствии дождевых червей в почве еще остаются некоторое количество необходимых для роста и развития растения веществ и часть биотического сообщества, однако в случае отсутствия пополнения запасов корнеобитаемого слоя органикой, плодородие будет истощаться до полной его утраты.

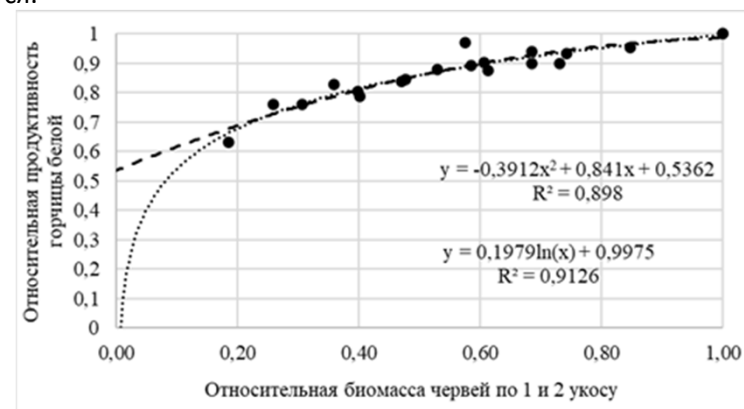


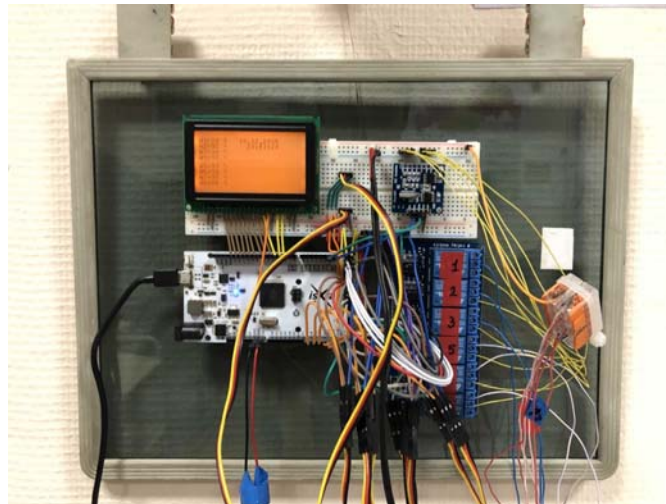
Рис. 3. Обобщенная зависимость относительных биомасс горчицы белой от относительной суммарной накопленной биомассы дождевых червей

Апробация

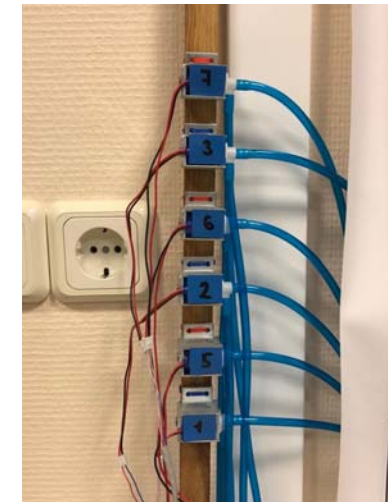


Автоматизированный модуль выращивания дождевых червей

Автоматизированный модуль установлен в Проблемной научно-исследовательской лаборатории по разработке теоретических основ совместного управления водным, солевым и тепловым режимами мелиорируемых земель РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. При помощи этой установки проводится опыт по определению оптимальных значений ограничивающих факторов жизнедеятельности дождевых червей



Главное устройство Модуля



Нормально закрытые соленоидные клапаны 8

Форма представления научной разработки



Прототип установки, техническая документация, код программы управляющей плат, отчет, графики, таблицы фотографии.

Внешний вид головного устройства был представлен на стр. 8.

На этой установке проводились исследования по определению оптимальных, для дождевых червей, условий по влажности субстрата. Для этого к управляющей плате модуля подключены 8 датчиков, которые осуществляют круглосуточный мониторинг влажности субстрата в вермибоксах с интервалом в 1 час.

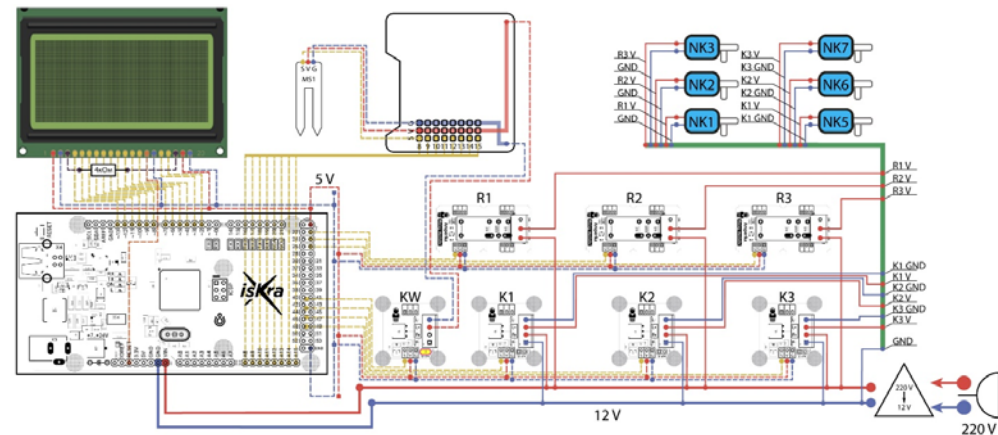
В вермибоксах поддерживается постоянная заданная влажность:

1 – 90%; 2 – 70%; 3 – 50%; 4 – 30%, а вермибоксы № 5...8 их попарно повторяют (вермибоксы представлены на слайде. 8).

Вермибоксы имеют перфорированное дно и отделяются друг от друга сплошными поддонами, это предотвращает стекание излишков влаги в нижестоящие контейнеры и позволяет собирать материал для «вермичая». Вермибоксы № 4 и 8 накрыты контейнерами со сплошным дном для предотвращения попадания света и создания условий близким к условиям нижестоящих контейнеров.

В каждом вермибоксе находится одинаковая по количеству, массе, возрастному и видовому составу семья дождевых червей. В качестве субстрата использована смесь почвы (с заданным NPK), перепревшие конский навоз, луговая растительность и горохо-овсяная смесь. Перед заселением семей дождевых червей в вермибоксы субстрат измельчался, во избежание присутствия в составе крупных включений, и равномерно распределялся по площади контейнера. Сверху субстрат укрывается слоем соломы.

Головное устройство осуществляет управление влажностью посредством открытия нормально закрытых соленоидных клапанов, к которым подведены баки с водой. Алгоритм работы заключается в следующем: раз в час система опрашивает датчики влажности и выводит показания на дисплей. В случае, если влажность субстрата в каком-либо вермибоксе меньше заданного значения, от управляющей платы передается сигнал на соответствующее нормально разомкнутое реле (или силовой ключ. Но в виду того, что реле и силовые ключи в данном проекте выполняют одинаковые функции, по тексту они будут называться реле) и оно замыкается. Замкнутое реле подает ток на коммутируемый нормально закрытый соленоидный клапан, открывая его. Система удерживает клапан в открытом состоянии в соответствии с заданными длительностями полива для каждого яруса вермибоксов. Спустя час от предыдущего чтения показаний датчиков алгоритм повторяется (начинается следующая итерация).



Монтажная схема автоматизированного модуля выращивания дождевых червей

Форма представления научной разработки



Длительность проведения опыта 15-16 недель, за этот период адаптировавшаяся к новым условиям популяция червей дает потомство, которое, в свою очередь, достигает половой зрелости и начинает размножаться. По окончании периода проведения опыта содержимое вермибоксов извлекается, производится подсчет и взвешивание дождевых червей. Разница начальных и конечных биомасс по каждому из контейнеров позволяет судить о комфортности созданных условий. Биомассы, приведенные к единице, позволят уточнить существующую кривую требований дождевых червей к влажности субстрата и обосновать мелиоративные мероприятия, направленные на улучшение условий для почвенной биоты.

После определения оптимальной влажности субстрата и построения кривой толерантности дождевых червей к заданным условиям (прим. Рис.1) будут произведены опыты по получению значений оптимальных диапазонов по температуре и pH. В опыте, связанном с регулированием температурного режима вместо показанных выше соленоидных клапанов, могут быть использованы нагреватели, управляемые по данным показаний температурных сенсоров. В свою очередь, в опыте по определению требований дождевых червей к pH будут задействованы pH-сенсоры (pH-метры, подключаемые к управляющей плате), а регулирование кислотности будет проводиться в полуавтоматическом режиме.

№ п/п	Иллюстрация	Обозначение
1		Нормально закрытый соленоидный клапан Номинальное напряжение питания: 12 В Ток питания: 120 мА Рабочее давление: 0,02–0,048 МПа Рабочая температура: 0–100 С° Неактивное состояние: нормально закрытый Пропускная способность: 11 литров в минуту Материал трубопровода: пищевой пластик Диаметр подводки: 5,5 мм
2		Силовой ключ на базе полевого транзистора Транзистор: IRLR8113 (N-канальный) Рабочее напряжение: 3,3–5 В Потребляемый ток: до 100 мА Максимальное коммутируемое напряжение: 30 В Максимальный коммутируемый ток: 20 А
3		Реле Номинальное напряжение питания: 5 В Номинальное напряжение сигнала: 3–5 В Максимальный ток коммутации: 16 А Коммутируемое переменное напряжение (пиковое): 250 В Потребляемый ток: 87 мА Рабочая температура: –40...+85 °С Магнитная система катушки: моностабильная Электрическая износостойкость контактов: 30×10 ³ переключений
4		Сенсор влажности Максимальная глубина погружения в почву/субстрат: 40 мм Максимальный потребляемый ток: 50 мА Напряжение питания: 3,3–5 В
5		Плата расширения Тройка Mega Tail Shield — это плата расширения для Arduino Mega и Arduino Due, которая упрощает подключение периферии через стандартные 3-проводные шлейфы
6		Дисплей Жидкокристаллический (LCD) экран MT-12864J Размеры модуля: 75×52,7×8,5 мм Разрешение: 128×64 Размер точки: 0,4×0,4 мм Контроллер: KS107/KS108 Напряжение питания: 3,3–5 В Потребляемый ток логики: 4 мА Потребляемый ток подсветки: 64 мА
7		Резистор 4 кОм

Обозначения компонентов на монтажной схеме автоматизированного модуля выращивания дождевых червей 10

Выводы



- **В РЕЗУЛЬТАТЕ:**
- Получена количественная зависимость между урожайностью сельскохозяйственной культуры и интегральной биомассой дождевых червей в каждой точке поля.
- Показаны биоиндикационные возможности дождевых червей как «измерителей» почвенного плодородия.
- Получены непрерывные функции требований дождевых червей к влажности, температуре и кислотности среды обитания.
- Проведенный эксперимент показал, что даже на небольших участках существует масса неоднородностей – как рельефных, так и режимных, влияющих на рост и развитие не только растительности, но и почвенного биотического сообщества, поэтому мелиоративные воздействия должны быть дифференцированы в пространстве и во времени.
- Большое варьирование данных свидетельствует о необходимости назначения дифференцированного управления для разнородных групп рассматриваемых точек при планировании мелиоративных мероприятий.
- Данные свидетельствуют о необходимости точного мелиоративного регулирования – точного регулирования в каждой точке поля. Только при таком точном подходе возможно достижение компромисса между воспроизводством плодородия и урожайностью. Только в этом случае возможно минимизация углеродного следа.



Публикации

1. Шабанов В.В., Маркин В.Н., Солошенко А.Д. Оценка требований почвенной биоты к гидротермическим условиям внешней среды // Доклады ТСХА. - М.: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. - С. 173-178.
2. Фабрика дождевых червей // Тимирязевка, – 2019. – №3 (3023). – С. 8.
3. Шабанов В.В., Голованов А.И. Некоторые аспекты точной мелиорации // Природообустройство. 2019. №1. С. 92-96.
4. Shabanov V.V., (2003) 5.9.1. Necessity of development of land reclamation. UNESCO-EOLSS Encyclopedia of life support systems, Eolss publishers co. Ltd. Paris. 2003. (en)
5. Shabanov. V.V. (1981) Moisture supply of the spring wheat and its calculation. - L.: Gidrometeoizdat, 1981. 140 pgs. [The methods of calculation of moisture supply of the spring wheat based on the mathematical models of plant - medium system and stochastic models of creation of moisture content in the calculated layer.]
6. Shabanov V.V. (1973) The bio-climatic substantiation of hydro-thermal melioration. L., 1973. Gidrometeoizdat,. (rus) [The monograph is devoted to the questions of bioklimatic substantiation of land reclamation which means setting quantitative indices of discrepancy of crop demands to environment conditions. The developed method of calculation may be used for the purposes of planning and basing land reclamation on the vast territories.]