

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭТАЛОННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ НА ОСНОВЕ ЗАВИСИМОСТИ «ДОЗА-ЭФФЕКТ»

*С.С. Огородников, А.С. Яковлев, д.б.н., М.В. Евдокимова, к.б.н., МГУ имени М.В. Ломоносова,
119234, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр.12, sir.ogorod@yandex.ru*

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90131

Показана возможность использования макрокинетической модели, основанной на зависимости «доза-эффект» для определения оптимальных значений элементов питания в почвах. Для выщелоченных черноземов на территории Тульской области оптимальные значения показателей плодородия для яровой пшеницы составляют 12,0 мг/кг азота, подвижного фосфора – 178, обменного калия – 205 мг/кг.

Ключевые слова: почвенное плодородие, яровая пшеница, азот, подвижный фосфор, обменный калий.

Для цитирования: Огородников С.С., Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Определение эталонных значений показателей почвенного плодородия на основе зависимости «доза-эффект» // Плодородие. – 2021. – №6. – С. 6-9.
DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.02.

В настоящее время для определения эталонов почв используются следующие подходы: метод экспертной оценки [3], логико-математическое моделирование [10], различные регрессионные и концептуальные модели [1]. Эталоны почв выделяют на землях как сельскохозяйственного назначения, так и ООПТ (недеградированные аналоги). Причем, как показывают исследования, почвы на землях ООПТ существенно отличаются от почв на землях сельскохозяйственного назначения.

С учетом того, что главная функция почв на землях сельскохозяйственного назначения – это стабильное воспроизводство урожая, полагаем, что разумным подходом является поиск эталонных (оптимальных) значений показателей почвенного плодородия, основанный на отклике сельскохозяйственных культур. Данный отклик может быть выражен в значениях как урожайности (ц/га), так и ормализованного относительного индекса растительности (NDVI).

В прошлом данные дистанционного зондирования практически не использовались для установления почвенных эталонов. Исследователи отмечали возможность применения космических снимков при изучении и картографировании на основе системы каталогов почвенных эталонов [8], но эта задача не решена на практике.

В 80-90-х годах XX в. модели эталонов почв строили на поисках зависимости между урожайностью и свойствами почв контрольной площадки. Современные технологии позволяют оценивать оптимальность значений показателей плодородия по отклику NDVI. Среди преимуществ такого подхода следует отметить лучшее разрешение снимков, более высокую точность координат, полученную с помощью GPS-приёмников. Современные методы также дают возможность поиска взаимосвязей на разных фазах вегетации растений, а не только после уборки урожая.

В данной работе макрокинетическая модель [5], ранее успешно апробированная для оценки отклика естественной растительности на загрязнение [6], впервые применена для оценки отклика культурных растений на значения показателей почвенного плодородия.

Цель исследования – определить эталонные значения показателей почвенного плодородия на основе зависимости «доза-эффект».

Для достижения поставленной цели осуществлен отбор почвенных образцов, проведены химические испытания, проанализированы данные дистанционного зондирования, рассчитаны значения индекса NDVI, к массиву экспериментальных данных применена макрокинетическая модель, рассчитаны значения показателей почвенного плодородия, на основе официальных статистических сведений оценена возможность применения данного метода для установления локальных эталонов почв.

Методика. Объект исследования – почвы на землях сельскохозяйственного назначения на территории бывшего совхоза «Тихий Дон» в Куркинском районе Тульской области. На исследуемой территории было отобрано 20 почвенных образцов выщелоченного чернозема, химические испытания выполнены по стандартным методикам.

Материалы дистанционного зондирования в форме NDVI для однородных во всех отношениях (кроме химического состава почвы) площадок пробоотбора анализировали с использованием макрокинетической модели:

$$q = \Lambda c^{-B} \exp\left(\frac{K}{c}\right), \quad (1)$$

где Λ – масштабирующий коэффициент; c – концентрация, мг/кг, B – коэффициент, характеризующий интенсивность убывания фотосинтетически активной биомассы; K – коэффициент, характеризующий интенсивность возрастания фотосинтетически активной биомассы (NDVI).

При определении NDVI были выбраны максимальные значения индекса в данном вегетационном сезоне, полученные по материалам Sentinel-2 в июне 2019 г. [4].

Для нахождения значений коэффициентов уравнения был применен метод наименьших квадратов. Практически он с помощью специального алгоритма, реализованного на языке программирования Python 3, с применением библиотек SciPy, NumPy, Pyeq3 и Matplotlib.

Применяемая модель имеет особые точки, которые разделяют кривые отклика на интервалы, характеризующиеся сходством макроскопической кинетики. Для

нахождения данных точек применялся пакет программ компьютерной алгебры Maxima [12].

Расчет констант и особых точек уравнения (1) позволил определить оптимальные концентрации элементов питания в почвах. Расположение точек пробоотбора для совокупности полей представлено на рисунке 1 (карта построена в QGIS [11]). Культура, произрастающая на полях – яровая пшеница.

Методической проблемой предложенного подхода является возможное засорение полей, при котором откликом NDVI становится не отклик культурных растений, а совокупность отклика культурных растений и сорной растительности.

Согласно данным полевых обследований, содержащихся в карточке муниципального района Куркинский, подготовленной Плавским ЦХСР, доля засоренных полей в районе составляет 2,97% от общей площади. При визуальном осмотре полей, засоренности, способной исказить результаты оценки, не было выявлено.

Другой методологической проблемой является то, что разные сельскохозяйственные культуры имеют раз-

ную потребность в элементах питания, поэтому установление эталона почв по отклику растительности затруднительно. Для решения этой проблемы необходимо рассмотреть структуру посевных площадей территории, для которой устанавливается почвенный эталон. По данным Росстата [2] (2012-2020 г.), в среднем 50% пашни ежегодно занято под пшеницу (озимую и яровую), 77% площади в среднем ежегодно занимают зерновые культуры. Таким образом, с учетом сложившейся в районе системы землепользования, обоснованным является установление эталонов почв для преобладающих культур – зерновых.

Результаты и их обсуждение. Применение уравнения (1) позволило построить модели для показателей плодородия и интегрального показателя (z), представленные на рисунке 2. Точки на рисунках соответствуют пробным площадкам, сплошные линии – уравнению (1), RMSE – среднеквадратическая ошибка. Для демонстрации точности модели на рисунках приведены пунктирные линии, характеризующие область значений 95% доверительных интервалов.

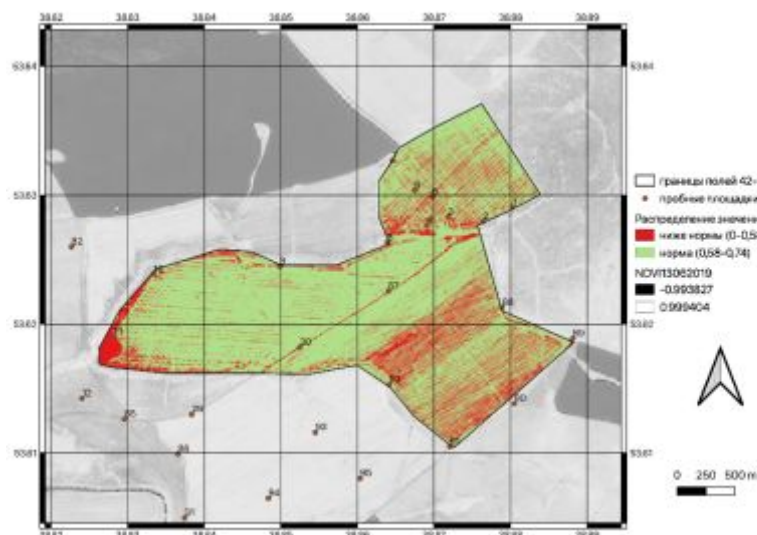


Рис. 1. Расположение пробных площадок в рельефе

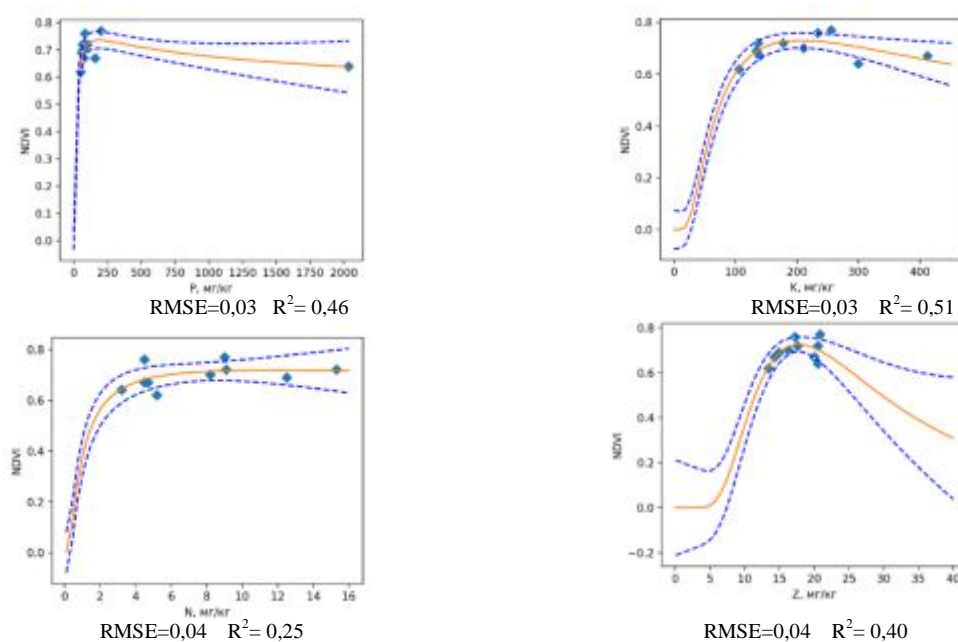


Рис. 2. Зависимость вегетационного индекса NDVI от концентрации в почве N, P, K и всех исследованных элементов (z)

В таблице приведены константы и абсциссы особых точек модели.

Константы и абсциссы особых точек модели [1], мг/кг									
Вариант	Λ	B	K	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
Z	319099,20	3,35	59,62	6,17	9,26	12,78	17,79	26,32	34,42
N	0,94	0,08	0,91	0,19	0,43	0,68	12,04	23,65	35,25
P	1,32	0,09	16,92	3,46	7,89	12,37	178,46	349,02	519,55
K	25,85	0,56	116,01	20,62	41,21	62,70	205,67	370,13	533,70

Точке максимума модели c_4 (выделена в таблице жирным шрифтом) соответствуют оптимальные значения показателей.

Полученные результаты специфичны для исследуемой территории, однако, в целом согласуются с оптимальными концентрациями элементов питания для яровой пшеницы, приведенными в различных литературных источниках.

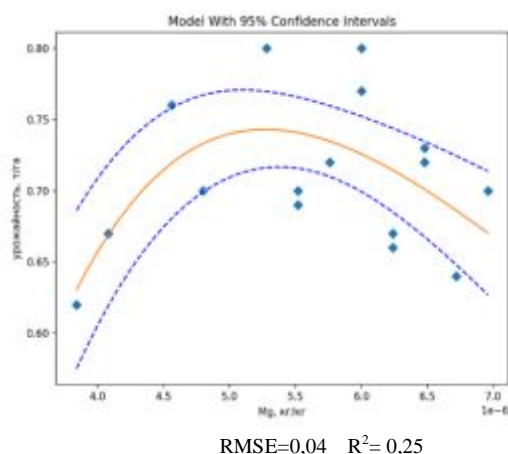
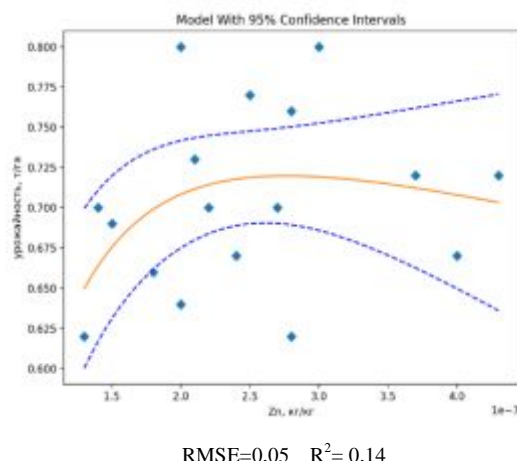
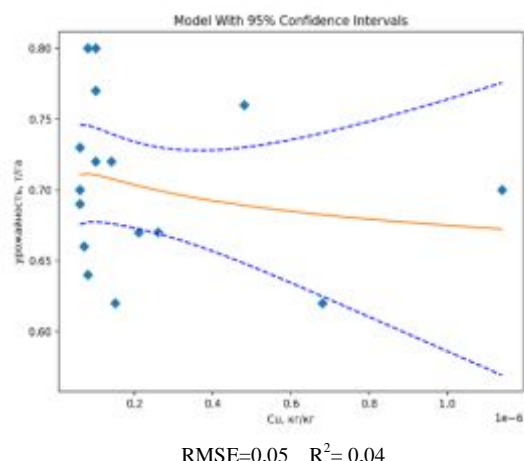
В работе [9] предложена модель чернозема обыкновенного и определены оптимальные концентрации для яровой пшеницы в лесостепи Заволжья. По данной модели для подвижного фосфора они составляют 90-150 мг/кг почвы, а для обменного калия – 180-250 мг/кг почвы.

По данным [7], максимальное содержание общего и белкового азота в зерне яровой пшеницы зафиксировано при диапазонах концентрации подвижного фосфора в почве в интервале 189-211 мг/кг.

Сложнее всего оценить степень оптимальности содержания нитратного азота. По данным [3], в опыте содержание нитратного азота перед посевом яровой пшеницы по чистому пару составляло 9,0 мг/кг, (средняя обеспеченность) или 40,5 кг/га. Однако вынос азота из почвы составил 96 кг/га. Таким образом, ведущую роль в обеспеченности почв нитратным азотом играет минерализация органического вещества во время вегетации.

Следует понимать, что полученные с помощью применяемой модели оптимальные значения элементов питания определены для конкретной группы полей с учетом их климатических и почвенных особенностей. Оптимальные значения, полученные на других массивах данных, могут отличаться от представленных в работе.

Далее были построены зависимости отклика значений NDVI на концентрацию ионов металлов, представленные на рисунке 3.



Металл	Оптимальная концентрация мг/кг
Cu	0,08
Zn	0,28
Mg	5,27

Рис. 3. Зависимость вегетационного индекса NDVI от концентрации в почве Cu, Zn, Mg

Видно, что взаимосвязь отклика значений NDVI на концентрации меди, цинка и марганца в почве выражена гораздо слабее, чем отклик на концентрации элементов питания.

Это может объясняться тем, что исследуемая территория не подвержена антропогенному загрязнению от

объектов промышленности. Поэтому исследуемые показатели выступают в роли микроэлементов, а не загрязняющих веществ. Продуктивность растений, по результатам данного исследования, в большей степени зависит от наличия элементов питания, а не от содержания катионов металлов в почве.

Выводы. Проведенное исследование доказывает возможность применения теоретической модели отклика культурных растений на значения показателей почвенного плодородия для установления оптимальных (эталонных) параметров для исследуемой территории. Оптимальные показатели плодородия для яровой пшеницы на исследованных полях составляют: 12,0 мг/кг азота, 178 подвижного фосфора, 205 мг/кг обменного калия. Содержание цинка, меди и магния в почвах оказывает существенно меньшее влияние на урожай, по сравнению с элементами питания.

Литература

1. Аннотированный перечень моделей плодородия в автоматизированном банке «ПЛОМОД» Вып. 3. – М., – 1995, Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. – 116 с.
2. База данных муниципальных образований. [Электронный ресурс]. 2017. <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst70/DBInet.cgi> (Дата обращения: 05.05.2021 г.).
3. Булгаков Д.С., Славный Ю.А. Эталон плодородия почв // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – №5. – С. 15-18.
4. ВЕГА-Science. [Электронный ресурс]. <http://sci-vega.ru>. (Дата обращения: 01.05.2021 г.).
5. Гендугов В.М., Глазунов Г.П. Макрокинетическая модель микробного роста на многокомпонентном субстрате // Вестник Московского университета. Сер. 17: Почвоведение. – 2014. – № 3. – С. 10-16.
6. Глазунов Г.П., Гендугов В.М., Евдокимова М.В., Титарев Р.П., Шестакова М.В. Макроскопическая кинетика временной и пространственной изменчивости вегетационного индекса NDVI на территории заповедника «Ямская степь» в условиях загрязнения почвы тяжёлыми

- металлами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16. – № 2. – С. 111-127.
7. Микулич В.А. Состав и вынос элементов питания урожаем яровой пшеницы при различной обеспеченности фосфором дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №1(46). – С. 135-145.
 8. Намозов Х., Амонов О., Корыхонов А., Рустамов Н., Аскарлова З. Разработка общей системы каталогов эталонов субтропического почвенного покрова на основе космических снимков // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 кн. / X Международная научно-практическая конференция (4-5 февраля 2015 г.). – Барнаул: РИО АГАУ, 2015. Кн. 2. – С. 425-427.
 9. Олесин О.А. Модель оптимальных показателей плодородия чернозема обыкновенного для яровой пшеницы в лесостепи Поволжья // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты. Сборник статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей / Под ред. Т.М. Сигитова. – Пермь, 2016. – С. 229-235.
 10. Пивоварова Е.Г., Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г., Аверьянова И.П. Математические модели региональных эталонов в агрохимическом мониторинге почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – №8 (178). – С. 54-62.
 11. Свободная географическая информационная система с открытым кодом QGIS. [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://qgis.org/ru/site/forusers/download.html>.
 12. Система компьютерной алгебры Maxima. [Электронный ресурс]. 2017. Дата обновления 17.03.2020 г. URL: <https://sourceforge.net/projects/maxima/>. (Дата обращения: 01.05.2021 г.).
 13. Филонов В.М., Наздрачев Я.П. Оптимизация минерального питания и урожайности яровой пшеницы [Электронный ресурс]. – URL: https://barayev.kz/sistema_zemledelie/plodorodie/524-optimizatsiya-mineralnogo-pitaniya-i-urozhaynost-yarovoy-pshenicy.html (Дата обращения: 21.05.2021 г.).

DETERMINATION OF REFERENCE VALUES OF SOIL FERTILITY INDICATORS BASED ON THE DOSE- EFFECT RELATIONSHIP

Ogorodnikov S.S., Yakovlev A.S., Evdokimova M.V.

The article shows the possibility of using a macrokinetic model based on the dose-effect relationship to determine the optimal values of nutrients in soils. For leached chernozems in the Tula region, the optimal values of fertility indicators for spring wheat are: 12.0 mg/kg of nitrogen, 178 mg/kg of mobile phosphorus, 205 mg/kg of exchangeable potassium.

Key words: soil fertility, spring wheat, nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium.

DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.03

ПРИКОРНЕВАЯ ЗОНА РАСТЕНИЙ, КАК КРИТЕРИЙ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

И.И. Тазин, к.б.н., О.Е. Ефимов, к.б.н., В.И. Савич, д.с.-х.н., Е.С. Федянина, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, e-mail: savich.mail@gmail.com

Показано существенное различие сорбционных свойств корневых систем отдельных видов и сортов растений. Предлагается оценка сорбционных свойств корневых систем растений по составу равновесного питательного раствора и суспензии почв после выращивания растений, по сравнению данных анализов почв прикорневой зоны и всей массы почвы, при оценке изменения в прикорневой зоне положительно и отрицательно заряженных комплексных соединений ионов, по поглощению корнями ионов из ионитовых мембран, по поглощению ионов из питательного раствора после их выращивания в суспензии почв.

Доказывается необходимость оценки сорбционных свойств корневых систем видов и сортов растений для корректировки оценки плодородия почв и применяемых систем удобрения. Показано, что сорбционные свойства корневых систем растений изменяются в зависимости от сочетания свойств почв и гидротермических условий территории. Согласно полученным данным, целесообразно составление паспортов особенностей сорбционных свойств видов и сортов растений.

Ключевые слова: почва, прикорневая зона, сорбционные свойства корней.

Для цитирования: Тазин И.И., Ефимов О.Е., Савич В.И., Федянина Е.С. Прикорневая зона растений, как критерий плодородия почв // Плодородие. – 2021. – №6. – С. 9-13. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.03.

Оптимальные свойства почв отличаются для отдельных типов почв и классификационных единиц более низкого иерархического уровня, от сочетания свойств,

процессов и режимов почв, для отдельных культур и сортов [1]. Оптимальные свойства почв различаются и в зависимости от гидротермических условий террито-