

Wpłynęło 22.02.2017 r.
Zrecenzowano 24.05.2017 r.
Zaakceptowano 06.07.2017 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Людмила В. КИРЕЙЧЕВА^{ABCDEF}, Екатерина А. ЛЕНТЯЕВА^{BCDEF}

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, Москва, Россия

Резюме

На основе термодинамического подхода излагаются методические положения по расчету энергетического состояния зонально-провинциальных почв России, обоснованы основные показатели, позволяющие регулировать энергетический потенциал почв сельскохозяйственных земель, предложена оригинальная модель оценки энергетического состояния почв, в основу которой положен интегральный показатель – коэффициент энергетического ресурса, приведен алгоритм восстановления деградированных почв, рассмотрены процессы деградации зонально-провинциальных почв России, связанные с потерями гумуса. Для восполнения утраченной энергии предложено использовать новые органоминеральные удобрения на основе природного сапропеля, приведены требуемые дозы внесения удобрения и мероприятия по обеспечению бездефицитного баланса гумуса.

Ключевые слова: гумусообразование, деградация почвы, модель, плодородие, сапрпель, удобрительно-мелиорирующие смеси, энергетический потенциал

ВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальным направлением является создание и эксплуатация мелиоративных систем нового поколения, функционирование которых базируется на энергоэффективных и инновационных технологических процессах, что требует нового подхода к управлению мелиоративными ре-

Do cytowania For citation: Кирейчева Л. В., Лентяева Е. Л. 2017. Восстановление энергетического потенциала деградированных почв земель сельскохозяйственного назначения. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 17. Z. 3 (59) s. 55–69.

жимами не только для различных природных условий, но и в зависимости от энергетического состояния почвы, определяющего степень ее деградации.

Известно, что почвы, как и другие природные объекты, являются открытыми динамическими системами, существование которых поддерживается балансом вещества, энергии и информации. От режима этих потоков зависит состояние природного объекта и его устойчивость. Взаимодействие функционирующих гидромелиоративных систем (ГМС) с компонентами природной среды обуславливают изменение потоков вещества и энергии в ландшафтах.

Практика гидромелиорации в различных регионах мира показывает, что в результате строительства и эксплуатации гидромелиоративных систем формирование природно-мелиоративных процессов может смещаться в негативном направлении, что приводит к потере устойчивости системы и, как следствие, развитию деградационных почвенных процессов (дегумификация, вторичное засоление, осолонцевание, переуплотнение, переувлажнение, заболачивание и др.).

В последние десятилетия в России складывается ситуация, приводящая к потере органического вещества почв, что приводит к изменению их энергетического состояния. По данным Министерства сельского хозяйства России на сельскохозяйственных землях наблюдается отрицательный баланс питательных веществ. Результаты мониторинга состояния плодородия почв свидетельствуют о том, что в Российской Федерации преобладают почвы с содержанием органического вещества в диапазоне от 3 до 6%, доля таких почв составляет 49,0%. Пахотные почвы с содержанием органического вещества менее 4% составляют 52,0%, в том числе менее 3–31,2% [Minsel'khos RF 2013]. Это связано, в том числе, с несоблюдением агротехнологий и недостаточным внесением минеральных и органических удобрений (рис. 1).

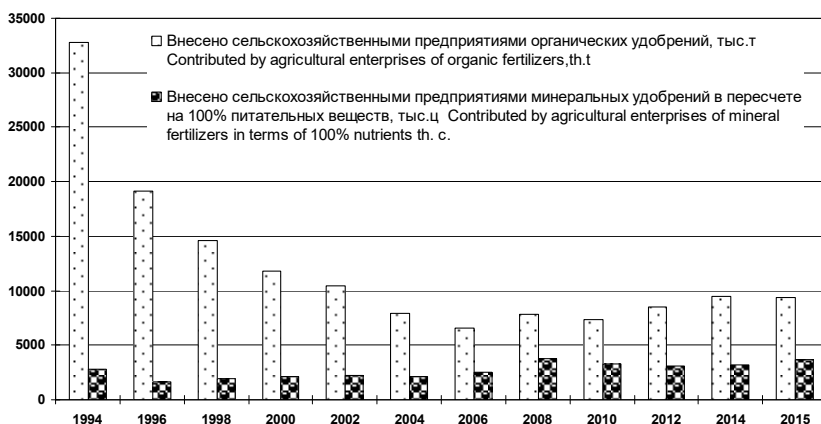


Рис. 1. Динамика внесения минеральных и органических удобрений под сельскохозяйственные культуры в России, источник: Rosstat [без даты]

Fig. 1. Dynamics of mineral and organic fertilizers for crops in Russia, source: Rosstat [undated]

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Основная цель исследований заключается в разработке теоретических основ и моделей энергетического состояния зонально-провинциальных почв в зависимости от степени их деградации и обоснование необходимых мероприятий, направленных на восполнение запасов утраченной энергии.

Впервые разработана модель энергетического состояния почв, позволяющая определить коэффициент энергоэффективности почвы в зависимости от степени ее деградации. Предлагаемая модель, позволяет судить об изменении энергетического состояния почвы при проведении мелиоративных мероприятий, учитывая эффективное использование суммарной солнечной радиации и дополнительной антропогенной энергии в виде внесения органических и минеральных веществ, регулирования водного, воздушного и теплового режимов почвы.

На основе обобщения работ [PEGOV, КНОМУАКОВ 1991; ORLOV и др. 1996] были выбраны показатели, определяющие энергетическое состояние почвы. Продуктивность почв и их энергетическое состояние определяется количеством поступающей солнечной энергии и соотношением тепла и влаги. Среди агрохимических показателей важнейшая роль принадлежит гумусовому состоянию почв. Не менее важную роль для устойчивого состояния плодородия играет и соотношение в гумусе гуминовых и фульвокислот [ORLOV и др. 1996]. Важное значение для обеспечения высокой продуктивности имеют основные элементы питания (NPK) растений, находящиеся в доступных для растений формах и определяющие актуальное плодородие почвы. С точки зрения физико-химических показателей, понижающих плодородие и, следовательно, энергетическое состояние почвы, следует учитывать гидролитическую и обменную кислотность.

С энергетических позиций модель управления энергетическим состоянием почвы можно выразить через показатель (коэффициент) энергетического ресурса почв ($K_{ЭР}$), который может быть представлен следующим образом [KIREYCHEVA (ред.) 2009]:

$$K_{ЭР} = \left(1 - \frac{R - R_P}{R_P} \right) \frac{\Gamma_\phi}{\Gamma_{\max}} \exp \left(- \frac{|\Delta pH|}{\sqrt[3]{N \cdot P \cdot K (C_{эк} / C_{фк})}} \right) \quad (1)$$

где:

- R = фактический радиационный баланс, $\text{кДж} \cdot \text{см}^{-2}$;
- R_P = радиационный баланс в условиях, необходимых для достижения экологически обоснованной (биологической) продуктивности, $\text{кДж} \cdot \text{см}^{-2}$;
- Γ_ϕ = фактическое содержание гумуса в почве, %;

- Γ_{\max} = максимальное содержание гумуса в почве, характерное для данных почвенно-климатических условий, %;
- ΔpH = отклонение значения pH от оптимального для данных почвенно-климатических условий (абсолютная величина);
- N, P, K = содержание элементов минерального питания, в долях от максимального значения доступных форм для данных условий;
- $C_{\text{ок}}/C_{\text{фк}}$ = отношение содержания гуминовых кислот к фульвокислотам.

Коэффициент энергетического состояния почв изменяется от 1 до 0, чем выше его значение, тем больше энергетический ресурс почвы. Следует отметить, что в соответствии с поставленной задачей мы ограничились минимальным числом параметров. Выбранные параметры корректируются в результате конкретных рассматриваемых почвенных условий.

Анализ энергетического состояния почв показал, что наиважнейшим фактором, влияющим на энергетическое состояние почвы, является наличие в ней органического вещества (гумуса), а также соотношение гуминовых и фульвовых кислот, поскольку наличие именно гуминовых веществ в почве существенно определяет почвенное плодородие, а, следовательно, и энергию почвенного гумуса. Таким образом, чтобы количественно определить энергию почвенного плодородия воспользуемся понятием биоэнергетический потенциал, в частности – почвенного гумуса. Биоэнергетический потенциал представляет собой потенциальную энергетическую ценность (количество энергии) любого органического вещества, включая органическое вещество почвы (БЭП). Зная элементный состав органической молекулы можно рассчитать БЭП по следующей стехиометрической формуле [KIREYCHEVA (ред.) 2009]:

$$\text{БЭП} = 183\text{C} + 45,75\text{H} - 91,5\text{O} \quad (\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}) \quad (2)$$

где:

C, H и O = атомные доли или молекулярные индексы элементов углерода, водорода и кислорода в молекуле органического субстрата.

Если известны массовые доли элементов в веществе, то используется формула (2):

$$\text{БЭП} = (15,25\text{C} + 45,75\text{H} - 5,72\text{O}) / (\text{C} + \text{H} + \text{O}) \quad (\text{кДж} \cdot \text{г}^{-1}) \quad (3)$$

где C, H и O выражены в %.

Элементный состав гуминовых и фульвокислот различных почв достаточно близок, поэтому мы воспользуемся средними значениями соотношениями углерода, водорода и кислорода. Элементный состав гуминовых кислот по массе составляет: C – 50–62%; H – 2,8–6,6%; O – 31–40%; фульвокислот: C – 40–52; H – 4–6; O – 40–48% [КНОКНЛОВА 2007]. В фульвокислотах значи-

тельно меньше углерода и больше кислорода, поэтому их биоэнергетический потенциал будет меньше. Среднее значение БЭП для гуминовых веществ, рассчитанное по формуле (3) составило $8,98 \text{ кДж}\cdot\text{г}^{-1}$, для фульвокислот $7,14 \text{ кДж}\cdot\text{г}^{-1}$. В зависимости от типа гумуса (соотношение гуминовых и фульвокислот) был рассчитан биоэнергетический потенциал лабильной части почвенного гумуса основных зональных типов почв (таб. 1).

Таблица 1. Биоэнергетический потенциал лабильной части почвенного гумуса различных типов почв

Table 1. Bioenergy potential of the labile soil humus different soil types

| Тип почвы Type of soil | БЭП гуминовых кислот, $\text{кДж}\cdot\text{г}^{-1}$ <i>BEP</i> humic acids, $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ | БЭП фульво кислот, $\text{кДж}\cdot\text{г}^{-1}$ <i>BEP</i> fulvic acid, $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ | Тип гумуса $C_{\text{гк}}/C_{\text{фк}}$ Type of humus $C_{\text{ha}}/C_{\text{fa}}$ | Доля фракционируемого гумуса, % The proportion of fractionated humus, % | БЭП фракционируемой части гумуса, $\text{кДж}\cdot\text{г}^{-1}$ <i>BEP</i> fractionated part humus, $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ |
|--|---|--|---|--|---|
| Дерново-подзолистые Sod-podzol | 8,98 | 7,14 | 0,6–0,8 | 50 | 3,95 |
| Серые лесные Gray forest | 8,98 | 7,14 | 1,0–1,1 | 70 | 5,64 |
| Черноземы Chernozems | 8,98 | 7,14 | 1,5–2,5 | 70 | 5,80 |
| Каштановые Chestnut soils | 8,98 | 7,14 | 1,5 | 60 | 4,95 |
| Бурые пустынно-степные Brown desert-steppe soil | 8,98 | 7,14 | 0,8–1,0 | 60 | 4,80 |

Объяснения: БЭП = биоэнергетический потенциал.

Explanations: *BEP* = bioenergy potential.

Источник: разработка авторов с учетом данных Д.С. Орлова [ORLOV и др. 1996], Л.В. Кирейчевой и др. [KIREYCHEVA (ed.) 2009, Л.В. Кирейчевой и др. [KIREYCHEVA и др. 2010]

Source: own elaboration considering the data by D.S. ORLOV *et al.* [ORLOV (ed.) 1996] and Kireycheva *et al.* [KIREYCHEVA (ed.) 2009], Kireycheva *et al.* [KIREYCHEVA (ed.) 2010].

Оценка биоэнергетического потенциала почвенного гумуса также выполнялась для почв различной степени деградации. Зная процентное содержание гумуса и объемный вес для каждой степени деградации определяется количество гумуса в почвенном слое толщиной 20 см.

$$G_y = a \cdot G_y, \% \cdot H \quad (4)$$

где:

G_y = количество гумуса в расчетном слое, $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$;

a = объемный вес почвы, $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$;

$G_y, \%$ = процентное содержание гумуса в почве;

H = толщина расчетного слоя, см, принимаем $H = 20$ см.

Исходя из количества гумуса и биоэнергетического потенциала лабильной части гумуса возможно для каждой степени деградации почвы определить потери энергии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненные расчеты по формуле (1) для различных типов зонально-провинциальных почв Европейской части России с учетом разной степени деградации (сильной, средней, слабой и оптимального состояния) [KIREY-SHEVA, LENTYAEVA 2016] показали, что практически все почвы при оптимальных значениях основных анализируемых параметров имеют достаточно высокий энергетический ресурс от 0,76 у дерново-подзолистых до 0,96 у черноземов (рис. 2).

Как видно из рисунка 2 для всех типов почв в зависимости от степени деградации существует свой энергетический потенциал, соответствующий оптимальному соотношению показателей плодородия почвы. В процессе дегра-

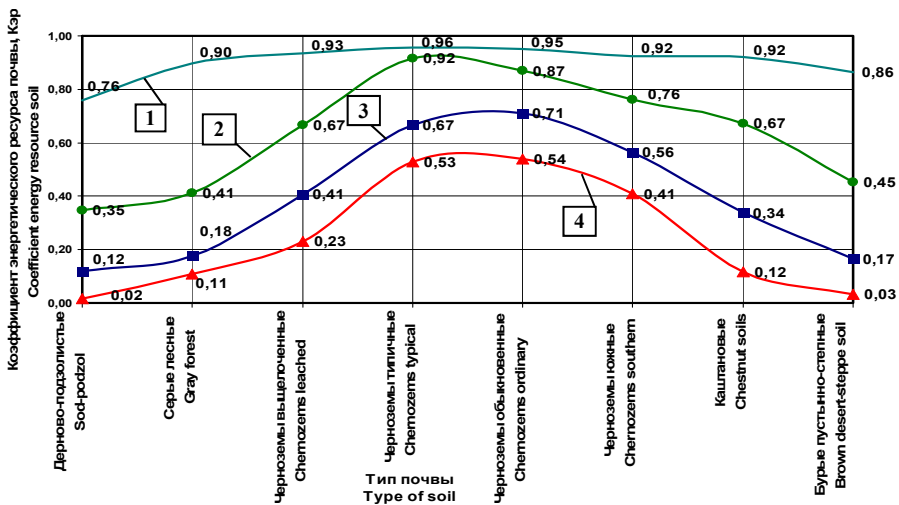


Рис. 2. Коэффициенты энергетического ресурса различных типов почв в естественных условиях и после проведения мелиорации; 1 = $K_{эп}$ при оптимальных значениях показателей; 2 = $K_{эп}$ при слабой степени деградации; 3 = $K_{эп}$ при средней степени деградации; 4 = $K_{эп}$ при сильной степени деградации; источник: разработка авторов

Fig. 2. The coefficients of the energy resources of different types of soils in natural conditions and after reclamation; 1 = $K_{эп}$ at the optimum values of the indicators; 2 = $K_{эп}$ with a low degree of degradation; 3 = $K_{эп}$ at medium degree of degradation; 4 = $K_{эп}$ with a severe degree of degradation; source: own elaboration

дации значения показателей плодородия отличаются от оптимальных значений и энергетический потенциал падает. Поэтому при оценке уровня деградации почвы необходимо учитывать не только общее количество утраченного гумуса и элементов минерального питания, но и количество энергии, потерянное данным типом почвы.

Результаты расчетов биоэнергетического потенциала почвенного гумуса (количество энергии) для рассматриваемых типов почв представлены на рисунке 3.

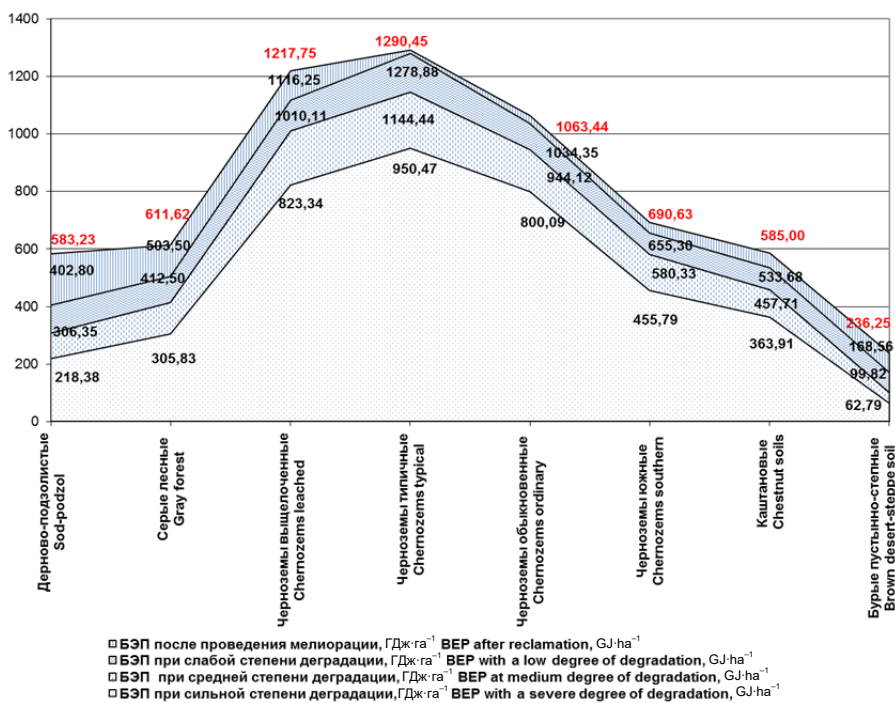


Рис. 3. Биоэнергетический потенциал почв с разной степенью деградации, ГДж·га⁻¹; источник: разработка авторов

Fig. 3. Bioenergy potential of soils with varying degrees of degradation, GJ·ha⁻¹; source: own elaboration

Рассчитав дефицит количества энергии по разнице БЭП при разной степени деградации, связанной с дегумификацией по формуле (2) (таб. 2), определены необходимые затраты на восполнение энергии, а также объемы внесения органических удобрений, торфа, сапропеля и др. органических веществ, необходимых для восстановления природного энергетического потенциала почвы и, соответственно, оценить целесообразность мероприятий в данном направлении.

Таблица 2. Затраты энергии на восстановление деградированных почв**Table 2.** Energy costs for the restoration of degraded soils

| Тип почвы Type of soil | Количество энергии необходимое для восстановления почвы: The amount of energy required to restore soil: | | | Всего Total |
|--|--|---|---|----------------|
| | от сильной до средней степени деградации from severe to medium degree of degradation | от средней до слабой степени деградации from medium to low degree of degradation | от слабой степени деградации до оптимального состояния from low degree of degradation to optimum state | |
| | ГДж·га ⁻¹ GJ·ha ⁻¹ | | | |
| Дерново-подзолистые Sod-podzol | 87,97 | 96,45 | 180,43 | 364,85 |
| Серые лесные Gray forest | 106,67 | 91,00 | 108,12 | 305,79 |
| Черноземы выщелоченные Chernozems leached | 184,48 | 163,32 | 101,50 | 449,29 |
| Черноземы типичные Chernozems typical | 193,97 | 134,44 | 11,57 | 339,98 |
| Черноземы обыкновенные Chernozems ordinary | 163,29 | 70,96 | 29,09 | 263,35 |
| Черноземы южные Chernozems southern | 124,53 | 74,97 | 35,33 | 234,83 |
| Каштановые Chestnut soils | 93,80 | 75,97 | 51,32 | 221,09 |
| Бурые пустынно-степные Brown desert-steppe soil | 37,03 | 68,73 | 67,70 | 173,46 |

Источник: разработка авторов. Source: own elaboration.

Анализируя данные из таблицу 2 видно, что при каждой степени деградации в каждом типе почв по-разному протекают химические и физические процессы, то есть отсутствует прямая зависимость биоэнергетического потенциала почвы от наличия в ней органического вещества. Так, для дерново-подзолистых почв наиболее энергоемким будет переход от слабой степени деградации до оптимального состояния по гумусу: потребуется 180,43 ГДж·га⁻¹, а для перехода от сильной к средней и слабой 88 и 96 ГДж·га⁻¹ соответственно. Для типичных черноземов наоборот, наибольшие затраты энергии потребуются для перехода от сильной до средней степени деградации, что составит 193,97 ГДж·га⁻¹, а дальнейшим эволюционирующим процессам в почве будут способствовать такие свойства черноземов, как буфер-

ность и высокая структурная организация, таким образом для восстановления до оптимального состояния потребуется внести всего 11,57 ГДж·га⁻¹.

В соответствии с разработанной методологией проведены расчеты необходимых доз внесения органических удобрений для различных типов почв. Дозу внесения органических удобрений, навоза, торфа, сапропеля и др. органических веществ необходимых для восстановления природного энергетического потенциала почвы можно определить по дефициту количество энергии $BЭП_{пт}$. В основу расчета положена методика Хохловой О.Б. [КНОКНЛОВА 2007].

Расчетная доза удобрения (сухого вещества) определяется по следующей формуле:

$$D_{уд} = \frac{\Delta BЭП_{не}}{BЭП_{уд.с.в.} \cdot K_{из}} , \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \quad (5)$$

где:

$\Delta BЭП_{не}$ = дефицит биоэнергетического потенциала почвы по гумусу, ГДж·га⁻¹;

$BЭП_{уд}$ = биоэнергетический потенциал 1 т вносимого органического удобрения (сухого вещества), принимается по таблице 3;

$K_{из}$ = изогумусовый коэффициент, принимается по таблице 4.

Таблица 3. Биоэнергетический потенциал органических удобрений

Table 3. Bioenergy potential of organic fertilizers

| Органическое удобрение (вещество), доля органического вещества (ОВ) Organic fertilizer (substance), the proportion of organic matter (OM) | <i>BЭП</i> удобрения (в пересчете на сухое вещество), ГДж·т ⁻¹ <i>BEP</i> fertilizer (on dry substance), GJ·t ⁻¹ |
|--|--|
| Компост на основе навоза от крупного рогатого скота, ОВ 60% Compost is based on cattle manure, OM 60% | 4,77 |
| Торф верховой, ОВ 60% Peat riding, OM 60% | 5,89 |
| Сапропель карбонатный, ОВ 30% Sapropel carbonate, OM 30% | 3,31 |
| Сапропель органический, ОВ 70% Sapropel organic, OM 70% | 7,09 |
| Сапропель кремнезистый, ОВ 30% Sapropel kremnezisty silicium, OM 30% | 3,06 |
| Сапропель смешанный, ОВ 40% Sapropel mixed, OM 40% | 3,96 |
| УМС на основе сапропеля, ОВ 50% FMM based on sapropel, OM 50% | 4,93 |

Объяснения: *BЭП* = биоэнергетический потенциал.

Explanations: *BEP* = bioenergy potential.

Источник: KIREYCHEVA (ред.) [2009], KIREYCHEVA, YASHIN [2015], переработанная.

Source: KIREYCHEVA (ed.) [2009], KIREYCHEVA, YASHIN [2015], modified.

Таблица 4. Изогумусовые коэффициенты органических удобрений**Table 4.** Izohumus rates of organic fertilizers

| Органическое удобрение Organic fertilizers | Изогумусовый коэффициент Izohumus rate |
|--|---|
| Компост на основе навоза от крупного рогатого скота Compost is based on cattle manure | 0,4 |
| Солома зерновых Straw of cereals | 0,2–0,25 |
| Стерня зерновых Stubble cereals | 0,17 |
| Зеленые удобрения Green manures | 0,12 |
| Органоминеральное удобрение «БлагоДар» Organic fertilizer «БлагоДар» | 0,89 |

Источник: ORLOV и др. [2005], переработанная. Source: ORLOV *et al.* [2005], modified.

Изогумусовый коэффициент или коэффициент гумификации представляет собой количество стабильного гумуса, образующегося из одной тонны внесенного в почву сухого вещества органического удобрения или органического вещества.

Для формирования сбалансированного процесса накопления и минерализации органического вещества в почве, целесообразно применять специальные новые удобрительно-мелиорирующие смеси или органоминеральные удобрения на основе сапропеля, которые обеспечивают поступление в почву органического вещества, формирование коллоидной структуры, увеличение почвенно-поглощающего комплекса (ППК) и емкости катионного обмена (ЕКО), повышение сорбционных свойств, активизацию почвенной микрофлоры, что в свою очередь будет способствовать повышению ее устойчивости почвы к деградационным процессам. В отличие от традиционных органических удобрений (навоза, компоста, соломы и др.) органоминеральные удобрения на основе сапропеля обладают следующими свойствами:

- за счет высокого содержания извести в почве формируется особо устойчивая буферная система, что обеспечивает повышение устойчивости почвы к подкислению и подщелачиванию, снижение гидролитической кислотности, увеличение емкости катионного обмена;
- под действием сапропеля в почве повышается микробиологическая активность, возрастает количество почвенных бактерий, актиномицетов, и практически не увеличивается содержание патогенной микрофлоры;
- сапропели препятствуют потере питательных элементов при использовании минеральных удобрений, так как закрепляют их на поверхности своих коллоидов и постепенно отдают растениям;
- обладают такими свойствами, как высокая водоудерживающая способность, тонкодисперсный состав, наличие гуминовых веществ и битумов, что позволяет их использовать для коренного улучшения почв (даже песчаных);

- являются природными сорбентами и поглощают из почвы загрязнители, в частности тяжелые металлы, не допуская их поступление в растительную продукцию;
- в сапропели отсутствуют семена сорных растений, что сокращает трудозатраты по уходу за растениями.

Учитывая положительные свойства органоминеральных удобрений на базе сапропеля нами совместно с ООО ТПК «Камский сапропель» [без даты] разработано новое органоминеральное удобрение «БлагоДар» на основе сапропеля и торфа с добавлением минеральных удобрений, которое содержит 50% органического вещества, базовые элементы питания (общее содержание в сухом веществе): азот общий (в сухом веществе) – 1,9–2,5%; фосфор общий (в сухом веществе) – 1,2–1,6%; калий общий (в сухом веществе) – 1,2–1,5%; кальций (в сухом веществе) – 4–6%. В состав удобрения так же входят следующие микроэлементы: медь (в сухом веществе) – 30 мг·кг⁻¹; марганец (в сухом веществе) – 470 мг·кг⁻¹; цинк (в сухом веществе) – 60 мг·кг⁻¹. Удобрение имеет влажность 30% и рН – 6,0–7,5 (нейтральный). Органическое вещество удобрения «БлагоДар» содержит 20–23% гуминовых веществ, фульвокислот и гумина, что представляет собой готовый стабильный гумус, который напрямую поступает в почву. Следовательно, изогумусовый коэффициент сапропеля, входящего в состав удобрения близок к 0,9. Кроме того, в «БлагоДар» присутствует органическое вещество в виде торфа с соотношением С : N 30–40, что также обеспечивает изогумусовый коэффициент близкий к 0,9. Таким образом, изогумусовый коэффициент «БлагоДар» достаточно высокий и близкий к 0,9. Наши исследования, проведенные в полевых условиях в 2015–2016 г.г. в Рязанской обл. показали, что при внесении «БлагоДар» из расчета 600 г на м², органического вещества в почву было внесено 300 г, что обеспечило повышение гумуса с 7,1 до 7,4%, т.е. на 0,3%, что в пересчете составило 267 г на м². При этом изогумусовый коэффициент составил $267 : 300 = 0,89$.

Биоэнергетический потенциал сухого органического вещества «БлагоДар» составляет 4,93 ГДж·т⁻¹. Для других органических удобрений биоэнергетический потенциал приведен в таблице 3.

По представленным данным очевидно, что наибольшая энергия содержится в веществе сапропеле органическом 7,09 ГДж·т⁻¹, это можно объяснить наличием в нем наиболее энергоемкой липидной фракции, так как в исходном биологическом материале преобладает микробиологическая компонента.

Из таблицы 3 видно, что органоминеральные удобрения на основе сапропеля также обладают достаточно высоким биоэнергетическим потенциалом, оказывая при этом, помимо гумификации, комплексное восстанавливающее действие на почву.

Рекомендуемые дозы внесения удобрительно-мелиорирующей смеси на основе сапропеля для восполнения органического вещества (гумуса) и обеспечения эволюционирующего режима для каждого типа почв приведены

в таблице 5. Как видно на комплекс мелиоративных мероприятий необходимый для восполнения энергетического ресурса существенно влияет тип почвы и ее исходное состояние. В зависимости от степени деградации восстановление до оптимального состояния целесообразно осуществлять в несколько этапов с целью предотвращения резких изменений в естественных биологических, физических и химических процессах в почве.

Таблица 5. Расчет дозы внесения удобрительно-мелиорирующей смеси на основе сапропеля для восполнения органического вещества (гумуса)

Table 5. Calculation of fertilizer application rates, ameliorating the mixture on the basis of sapropel to replenish organic matter (humus)

| Тип почвы Type of soil | Количество органоминерального удобрения «БлагоДар» (в расчете на сухое вещество): Quantity of organic fertilizer «БлагоДар» (based on dry substance): | | | |
|--|---|--|--|----------------|
| | от сильной до средней степени деградации from severe to medium degree of degradation | от средней до слабой степени деградации from medium to low degree of degradation | от слабой степени деградации до оптимального состояния from low degree of degradation to optimum state | всего total |
| | т·га ⁻¹ t·ha ⁻¹ | | | |
| Дерново-подзолистые Sod-podzol | 20,05 | 21,98 | 41,12 | 83,15 |
| Серые лесные Gray forest | 24,31 | 20,74 | 24,64 | 69,69 |
| Черноземы выщелоченные Chernozems leached | 42,57 | 24,19 | 23,13 | 89,89 |
| Черноземы типичные Chernozems typical | 44,21 | 30,64 | 2,64 | 77,48 |
| Черноземы обыкновенные Chernozems ordinary | 32,82 | 20,56 | 6,63 | 60,02 |
| Черноземы южные Chernozems southern | 28,38 | 17,09 | 8,05 | 53,52 |
| Каштановые Chestnut soils | 21,38 | 17,32 | 11,70 | 50,39 |
| Бурые пустынно-степные Brown desert-steppe soil | 8,44 | 15,66 | 15,43 | 39,53 |

Источник: разработка авторов. Source: own elaboration.

Для определения дозы при непосредственном внесении удобрения, следует сделать поправку, учитывая реальную влажность применяемого вещества. Вносить в почву удобрительно-мелиорирующую смесь на основе сапропеля рекомендуется разбрасывателем минеральных удобрений МВУ-8Б весной перед севом. Периодичность внесения 1 раз в 4–5 лет.

Применение энергетического подхода позволяет с достаточной точностью рассчитать количество необходимого органического удобрения для восстановления деградированной почвы до требуемого состояния.

ВЫВОДЫ

1. Предложен новый энергетический подход и модель энергетического состояния почв сельскохозяйственных угодий, в основу которой положен коэффициент энергетического ресурса, что позволяет оценить актуальное энергетическое состояние почвы и наметить мероприятия по восстановлению ее плодородия в конкретных условиях.

2. Разработано и внедрено комплексное органоминеральное удобрение «БлагоДар», созданное на основе сапропеля, торфа с добавлением минеральных удобрений, которое содержит до 50% органического вещества, базовые элементы питания: азот, фосфор, калий, а также кальций 4–6%. Включает микроэлементы: медь (в сухом веществе) – 30 мг·кг⁻¹; марганец (в сухом веществе) – 470 мг·кг⁻¹; цинк (в сухом веществе) – 60 мг·кг⁻¹. Имеет влажность 30–50% и рН – 6,0–7,5 (нейтральный). В отличие от навоза и торфо-навозных смесей «БлагоДар» обеспечивает не только высокий удобрительный эффект, но и стимулирует процессы гумусообразования, создает высокую водоудерживающую способность в почве и является мелиорантом длительного действия (длительность действия после внесения до 5–6 лет). Удобрение экологически чистое, не содержит патогенную микрофлору, семена сорных растений, пестициды и токсичные тяжелые металлы.

3. Предложена методика расчета объема внесения органических удобрений и веществ для восстановления плодородия почв и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. Приведены рекомендуемые дозы внесения «БлагоДар» для восполнения энергетического запаса утраченного в процессе деградации дифференцировано от степени деградации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Камский сапропель без даты. Сапропель [Sapropel] [онлайн]. [Дата обращения 09.01.2017]. Режим доступа: <http://sapropel.su/produksiya/organo-mineralnye-udobreniya-blagodar/obschaya-informatsiya/>
- КНОКНЛОВА О.В. 2007. Повышение плодородия малопродуктивных и деградированных почв удобрительно-мелиорирующими смесями на основе сапропелей [Increasing fertility unproductive and degraded soil-ameliorating Fertilizer mixtures based on sapropel]. Диссертация на поискание ученой степени д-ра техн. наук. Москва. Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова сс. 302.
- KIREYCHEVA L. V. (ред.) 2009. Эколого-экономическая эффективность комплексных мелиораций Барабинской низменности [Ecological and economic efficiency of complex reclamation

- Baraba Lowlands]. Москва. ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии. ISBN 978-5-9238-0090-6 сс. 312.
- KIREYCHEVA L. V., KARPENKO N. P., KNOKHLOVA O. B., YURCKHENKO I. F., BELOVA I. V., TIN'GAEV A. V., YASHIN V. M., GOL'COV YU. YA 2010. Новые технологии проектирования, обоснования строительства, эксплуатации и управления мелиоративными системами [New design technology, study for the construction, operation and management of land reclamation systems]. Москва. ВНИИГиМ. ISBN 978-5-9238-0117-0 сс. 240.
- KIREYCHEVA L. V., LENTYAEVA E. A. 2016. Восстановление антропогенно деградированных почв земель сельскохозяйственного назначения [The restoration of the anthropogenically degraded soils in the agricultural lands]. Агротехнический вестник. Т. 5. № 5 с. 2–6.
- KIREYCHEVA L. V., YASHIN V.M. 2015. Эффективность применения органоминеральных удобрений на основе сапропеля [The effectiveness of organic fertilizers based on sapropel application]. Агротехнический вестник. Т. 2. № 2 с. 37–40.
- Minsel'khoz RF 2013. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения [Report on the status and use of agricultural land]. Москва. Минсельхоз РФ сс. 61.
- ORLOV D. S., BIRYUKOVA O. N., SUKHANOVA N. I. 1996. Органическое вещество почв Российской Федерации [The organic matter of soil of the Russian Federation]. Москва. Наука. ISBN 5-02-003643-9 сс. 254.
- ORLOV D. S., SADOVNIKOVA L. K., SUKHANOVA N. I. 2005. Химия почв [Chemistry soil]. Москва. Высш. Шк. ISBN 5060044285 сс. 561.
- PEGOV S.A., KНОМУАКОВ P.M. 1991. Моделирование развития экологических систем [Modelling of ecological systems]. Ленинград. Гидрометеоиздат. ISBN 5-286-00935-2 сс. 222.
- Rosstat без даты. Проведение работ по химической мелиорации земель в сельскохозяйственных организациях [Chemical reclamation in agricultural organizations] [онлайн]. Москва. Федеральная служба государственной статистики. [Дата обращения 16.01.2017]. Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#/

Lyudmila V. KIREYCHEVA Ekaterina A. LENTYAEVA

ODTWORZENIE ENERGETYCZNEGO POTENCJAŁU ZDEGRADOWANYCH GLEB UŻYTKOWANYCH ROLNICZO

Słowa kluczowe: degradacja gleb, energetyczny potencjał, mieszanki nawozowo-melioracyjne, model, powstawanie próchnicy, sapropel, żyzność

Streszczenie

W pracy przedstawiono bazujące na zasadach termodynamiki wytyczne metodyczne odnośnie do obliczeń energetycznego stanu gleb Rosji z uwzględnieniem ich strefowo-regionalnego rozmieszczenia. Uzasadniono podstawowe wskaźniki umożliwiające kształtowanie potencjału energetycznego gleb użytkowanych rolniczo. Opracowano oryginalny model oceny stanu energetycznego gleb z zastosowaniem kompleksowego wskaźnika – współczynnika zasobu energetycznego. Podano algorytm odtworzenia zdegradowanych gleb. Omówiono procesy degradacji gleb Rosji z uwzględnieniem ich strefowo-regionalnego rozmieszczenia związane ze stratami próchnicy. Do uzupełnienia strat energii zaproponowano zastosowanie nowych nawozów organiczno-mineralnych z wykorzystaniem naturalnego sapropelu. Podano wymagane dawki nawozów i zabiegi w celu zachowania zrównoważonego bilansu próchnicy.

Lyudmila V. KIREYCHEVA Ekaterina A. LENTYAEVA

REHABILITATION OF THE ENERGY POTENTIAL FOR THE DEGRADED SOILS OF THE AGRICULTURAL LANDS

Key words: *energy potential, fertility, fertilizing-meliorative mixtures, humus formation, model, saptopel, soil degradation*

S u m m a r y

Methodological statements on the estimation of the energy status of the zonal soils of Russia are shown on the base of the thermodynamic approach. The main parameters of the energy potential of soils for the agricultural lands are suggested. The original model to estimate the energy status of soil, basing on the use of the integrated parameter – ratio of the energy resource, was developed. The algorithm of the rehabilitation of the degraded soils has been described. The processes of the degradation of the zonal-provincial soils caused by the losses of humus are considered. To replenish the energy losses new organomineral fertilizers based on saptopel were suggested to use. The required rates of fertilizers and measures to provide positive balance of humus were suggested.

Adres do korespondencji: д.т.н., профессор Людмила В. Кирейчева, Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, Москва, Россия; e-mail: kirychevalw@mail.ru

