

Научная статья
УДК 502/504:627.5:004.94
DOI: 10.36508/journal.2024.93.18.004

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ГУМУСА ПОЧВ И ПРОДУКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕЛЬХОЗКУЛЬТУР ОСНОВНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН РОССИИ

Карпенко Нина Петровна

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»; г. Москва, Россия

prkarpenko@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Почва представляет собой целостную, многокомпонентную систему с необратимо протекающими термодинамическими процессами. Основное свойство почвы – плодородие, которое меняется в зависимости от действия разных факторов. Динамичной системой является гумус, оценка которого может быть дана с использованием термодинамического подхода. Цель исследований - оценка динамики гумуса почв и продукционного потенциала сельскохозяйственных культур основных природно-климатических зон России.

Методология. Работа выполнена по материалам агрохимического обследования почв основных природно-климатических зон Европейской части России с использованием теоретических моделей и уравнений термодинамики открытых систем. Обобщены многолетние данные по разным типам почв и природно-климатическим зонам нашей страны.

Результаты. Расчеты динамики гумуса проводились по предложенной А.И. Головановым модели. Установлена связь распадки почв с потерей запасов гумуса и органического вещества в рассматриваемых природных зонах России с учетом типов почв: в гумидной зоне дефицит гумуса в дерново-подзолистых почвах составляет $-0,21$ т/га, степной зоне в черноземе обыкновенном $-0,86$ и полупустынной в бурой почве $-0,05$ т/га. Показана возможность уменьшения дефицита гумуса внесением органических удобрений, мелиорантов, в состав которых входит навоз. Дана оценка продуктивности используемых в сельскохозяйственном производстве почв при введении в технологию земледелия восстановительных мероприятий.

Заключение. В качестве основного метода оценки запасов гумуса использованы термодинамические уравнения, отображающие вещественно-энергетические потоки в почве.

Ключевые слова: термодинамический подход, почвы, природно-климатические зоны, гумус, антропогенные воздействия.

Original article

ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF SOIL HUMUS AND THE PRODUCTIVE POTENTIAL OF AGRICULTURAL CROPS IN THE MAIN NATURAL-CLIMATIC ZONES OF RUSSIA

Karpenko Nina Petrovna

¹Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation Named after A.N. Kostyakov"; Moscow, Russia

¹npkarpenko@yandex.ru

Abstract.

Problem and purpose. *From the standpoint of thermodynamics, soil is an integral, multicomponent environment where thermodynamic processes occur irreversibly. To understand the specifics of assessing the dynamics of humus and soil fertility, a thermodynamic approach can be used. It is in humus that energy processes occur, expressed in thermodynamic characteristics. The purpose of the research was to assess the dynamics of humus in soils of the main natural and climatic zones of Russia.*

Methodology. *The work was carried out based on materials from an agrochemical survey of soils in the main natural-climatic zones of the European part of Russia using theoretical models and thermodynamic equations of open systems. Long-term data on different types of soil and natural and climatic zones of our country were summarized.*

Results. *Calculations of humus dynamics were carried out according to proposed by A.I. Golovanov model with subsequent calculation of the dynamics of humus reserves for the main natural zones of Russia and their characteristic soil types under conditions of agricultural use - plowing. Eliminating humus deficiency was possible only with the introduction of organic fertilizers and complex land reclamation, which, from the point of view of applying the thermodynamic approach, could increase the internal energy of soils by increasing the humus content in soils. As a result of complex reclamation (drainage in the humid zone, sprinkling in chernozem soil and irrigation in the semi-desert zone), an increase in humus reserves was observed. In the process of the research, an assessment was made of the dynamics of the formation of productivity of agrocenoses to ensure maximum productivity of renewable (biological) resources and their effective use, the involvement of which would not lead to the development of degradation processes and pollution processes.*

Conclusion. *As the main method for studying soils as open systems, a thermodynamic approach was proposed, which allowed total consideration of the processes of transformation of material and energy flows in a natural object. The thermodynamic balance equation of the underlying soil surface was studied and it showed that its structure changed significantly under natural conditions and under reclamation influences.*

Key words: *thermodynamic approach, soils, natural climatic zones, humus, anthropogenic influences.*

Введение

Среди факторов внешней среды, оказывающих большее влияние на продукционный процесс, выделяют плодородие почвы, которое является интегральным показателем, включающим и биологическую продуктивность. Конечно, для каждой природно-климатической зоны страны эти показатели будут разными [6, 8]. Проведенный авторами обзор научной литературы показал значительное снижение органического вещества в обрабатываемых почвах и интенсивный их вынос в природных флуктуациях, вызывая их динамические изменения. Так, дефицит гумуса и сработка запасов гумуса происходит со средней скоростью 0,3...1,0 т/а в год [1, 2, 3, 12]. Риски, связанные с хозяйственной деятельностью и потреблением невозобновимых сырьевых и энергетических ресурсов, возрастают, по данным Э.П. Романовой (1993), в геометрической прогрессии.

Учитывая необходимость сохранения и повышения плодородия почв, требуется внесение научно обоснованных доз органических удобрений, мелиорантов, в состав которых входит навоз, а также проведением комплексных мелиораций. Исходя из вышеизложенного, исследования рисков развития негативных процессов, их выявления и устранения являются актуальными. Оценивая динамику запасов и баланс гумуса с применением термодинамических уравнений, следует акцентировать внимание на возможность установить точки бифуркации в развитии геосистем при антропогенном воздействии. Целью исследований являлась оценка динамики гумуса почв и продукционного потенциала сельскохозяйственных культур основных природно-климатических зон России.

Материалы и методы исследований

Работа включает результаты авторских исследований и теоретических выводов по обзору информации с использованием материалов отчетов ВНИИГиМ за многолетний период. Основным фактором плодородия почв выступает гумус.

Объекты исследования – гумус, разные типы почв и сельскохозяйственные культуры. Расчет баланса гумуса проводился с учетом антропогенного воздействия на почву в виде распашки, осушения, орошения и других мероприятий. Сейчас в научных работах часто используется модель А.И. Голованова [4] для расчета величины образовавшегося гумуса, в которой учитывался углерод:

$$G_{\text{нов}} = 1,724K_{\text{гум}}K_cB_{\text{ро}}, \text{ т/}(га \cdot \text{год}), \quad (1)$$

$$G_{\text{уд}} = 1,724K_{\text{гум}}K_cK_{\text{св}}D_{\text{н}}, \text{ т/}(га \cdot \text{год}), \quad (2)$$

где: 1,724 – коэффициент, показывающий количество углерода в гумусе;

$K_{гум}$ – коэффициент преобразования растительных остатков или навоза в гумусовые вещества;

K_c – доля углерода в сухой биомассе или в навозе;

$B_{ро}$ – сухая биомасса растительных остатков с учетом урожая $U_{ф}$, кг/(га·год).

$B_{ро}$ вычисляется как:

$$B_{ро} = U_{ф}K_{св}(1-K_{ур})/K_{ур}, \text{ т/(га·год)}, \quad (3)$$

где: $K_{св}$ – доля сухой массы в урожае, навозе или сидератах;

D_n – ежегодная доза навоза или запахиваемых сидератов, т/(га·год).

При исходном условии $t = 0$; $G = G_0$ расчеты выполняются по формуле:

$$G = A/B + (G_0 - A/B)\exp(-Bt). \quad (4)$$

Таким образом, проведенное в последствии сравнение результатов запасов гумуса в разных природно-климатических зонах страны с последующей обработкой в компьютерной программе Statistika 10.

Результаты исследований и их обсуждение

Территория нашей страны находится в нескольких природно-климатических зонах, автором ниже анализируется три: гумидная, степная, полупустынная.

Итоги анализированы и обобщены в таблице 1.

Таблица 1 – Сработка запасов почвенного слоя на пашне

Природные зоны (тип почв)	Запасы гумуса G_0 т/га	Опад F , т/га в год	Урожайность озимой пшеницы $У$, т/га	$G_{нов}$	Промываемость почв, мм	$G_{выл}$ т/га в год	A , т/га в год	$B = A/G_0$, год ⁻¹	$G = A/B - G_0$ т/га
Гумидная (дерново-подзолистые)	75	8,0	4,4	0,851	115	0,40	0,45	0,0087	-0,21
Степная (черноземы обыкновенные)	150	14,0	8,0	1,548	45	0,16	1,39	0,015	-0,86
Полупустынная (бурые)	37	2,0	1,0	0,20	6	0,18	0,22	0,0071	-0,05

На черноземах обыкновенных в степной природной зоне коэффициент скорости минерализации гумуса $B_{мин}$ при возделывании озимой пшеницы составляет 0,015, но резко снижается по направлению к полюсам: в гумидной природной зоне он равен уже 0,0087 и в полупустынной природной зоне – 0,0071. Это объясняется распространением дерново-подзолистых почв и наличием промывного режима вследствие большего объема выпадающих осадков (в среднем на 50...100 мм). В полупустынной зоне малая величина $B_{мин}$ объясняется слабой скоростью образования гумуса при дефиците увлажнения в естественных условиях.

Экспериментальные данные коррелируют с расчетными, полученными А.И. Головановым ранее, о содержании гумуса в пахотных почвах: доля отчуждения определенного количества биомассы урожаем высокое и не компенсируется в полной мере внесением органических удобрений. Об этом свидетельствуют показанные на рисунках 1, 2 и 3 данные о динамике гумуса в дерново-подзолистых, черноземах обыкновенных и бурых полупустынных, рассматриваемый в качестве примера.

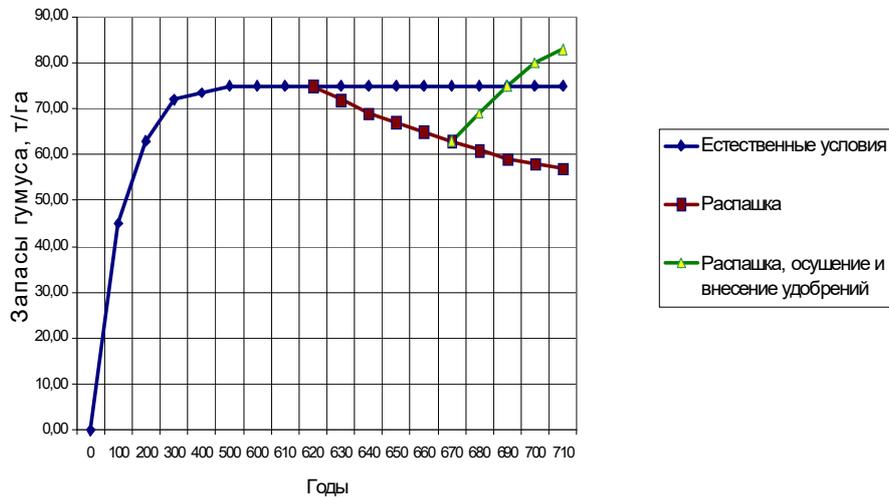


Рисунок 1 – Динамика гумуса в дерново-подзолистых почвах
Figure 1 - Dynamics of humus in soddy-podzolic soils

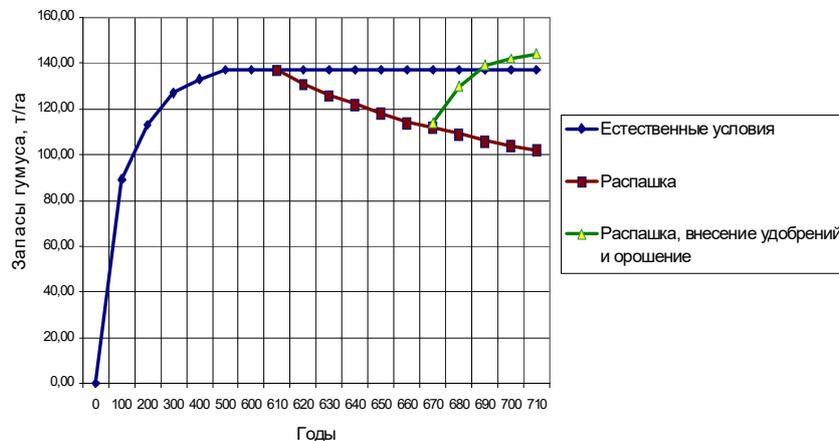


Рисунок 2 – Динамика гумуса в черноземах обыкновенных при антропогенных нагрузках
Figure 2 - Dynamics of humus in ordinary chernozems under anthropogenic loads

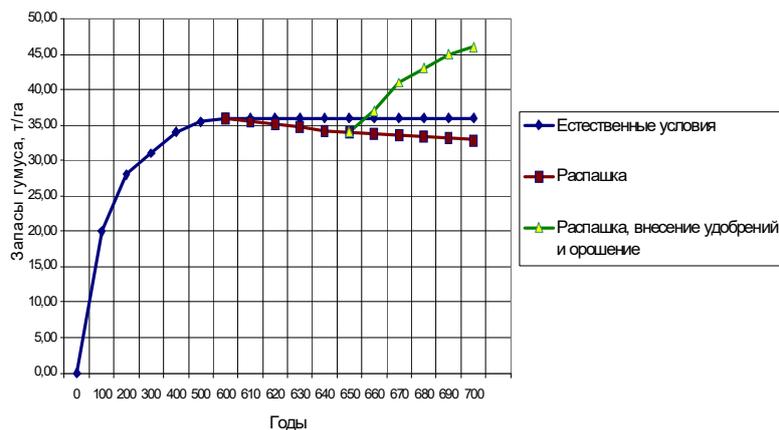


Рисунок 3 – Динамика гумуса в бурых полупустынных почвах
 Figure 3 - Dynamics of humus in brown semi-desert soils

Кривые на рисунках 1, 2 и 3 отображают сработку органического вещества и гумуса в дерново-подзолистых, черноземах обыкновенных и бурых почвах в 1-ый год распашки $\Delta G = -0,10 \dots -0,59$ т/га. Наибольшие изменения характерны для чернозема обыкновенного.

Результаты расчетов продемонстрировали рост при совместном влиянии факторов антропогенного воздействия (распашка, внесение навоза) запасов гумуса, а, следовательно, растет и внутренняя энергия почв, что объясняется термодинамическими процессами: в дерново-подзолистых почвах $\Delta G = +0,48$ т/га, в черноземах обыкновенных $\Delta G = +0,30$ т/га и бурых полупустынных почвах $\Delta G = +0,28$ т/га.

Параллельно с проведенными расчетами динамики расхода и прихода органического вещества в почвах, была дана оценка продуктивности рассматриваемых агроценозов. Полученные результаты в дальнейшем использованы для характеристики природно-ресурсного потенциала. Ранее упомянутые факторы антропогенного воздействия предполагают, во-первых, возможность поддержания продуктивности на заданном уровне, поэтому оценить их эффективность представляется именно по этому показателю; во-вторых, лимитирующими урожайность культур условиями являются погодные, тип почвы, характер рельефа, экспозиция склона и другие.

Во всех почвенно-климатических зонах необходимо регулировать не только пищевой, но и водный режимы. Как известно из научной литературы [6, 7, 8, 9, 11], более благоприятный для культурных растений микроклимат создается на осушаемых землях гумидной зоны отводом воды с территории, что ведет к снижению влажности атмосферного воздуха и повышению его температуры. И, наоборот, в степной и полупустынной зонах проводимое человеком орошение повышает влажность атмосферного воздуха и понижает его температуру в приземных слоях. Эрозия ветровая и водная, заболачивание развиваются при определенных условиях при наличии на территориях неблагоприятных геоморфологических условий. Повысить продуктивность этих земель при

сельскохозяйственном их использовании возможно при проведении комплексных мероприятий, регулирующих пищевой и водный режимы. При этом важно учитывать биологические требования выращиваемых культур и микробиоценоз почвы. В этом случае рекомендуется применять для расчета баланса гумуса модели В.В. Шабанова [5] и С.А. Пегова и П.М. Хомякова, которые к тому же уделяют внимание почвенно-климатическим особенностям территории.

В натуральных условиях продуктивность фитоценоза рассчитывается по формуле:

$$P \approx S \cdot CL \quad (5)$$

S – индекс почвы, характеризующий ее качественное состояние, рассчитывается как:

$$S = 6,4(G_{ГН} + 0,2G_{ФК}) / 600 + 8,5\sqrt{NPK(\%)} + 5,1e^{-[HГ-1]/4} \quad (6)$$

где: 6,4; 8,5; 5,1 – весовые коэффициенты;

$G_{ГН}$ и $G_{ФК}$ – содержание гуматного и фульватного гумуса;

N, P, K – содержание в почве азота, фосфора и калия, соответственно, в долях от максимального;

$HГ$ – гидролитическая кислотность, мг-экв/100г

Расчеты показали результаты:

в дерново-подзолистых почвах $S=13,0$

в черноземах обыкновенных $S=16,1$

в бурых полупустынных почвах $S=11,2$

К показателям продуктивности фитоценоза относятся индекс почвы в натуральных условиях (таблица 2) и коэффициент благоприятности климата CL .

Таблица 2 – Значения индекса почв для основных типов почв России в естественных условиях

Природные зоны (тип почв)	Σзапасы гумуса, т/га	$G_{ГК}/G_{ФК}$	N/N_m	P/P_m	K/K_m	Гидролитическая кислотность мг-экв/100 г	Индекс плодородия	Вклад гумуса, %	Вклад NPK, %	Вклад кислотности, %
Гумидная (дерново-подзол.)	80	0,8	0,4	0,2	0,6	4	5,6	5,5	51,5	43,0
Степная (черноземы обыкновенные)	500	2,0	0,8	0,3	0,9	1	14,1	19,4	44,4	36,2
Полупустынная (бурые)	40	0,5	0,12	0,14	0,6	0	7,6	1,8	12,1	86,0

Данные таблицы 2 показывают роль в плодородии почв величины гидролитической кислотности, которая имеет максимум в гумидной зоне и никакого влияния не имеет в сухой и жаркой полупустынной. Большое влияние имеет содержание элементов минерального питания с максимумом в полупустынной зоне и минимум - в степной.

Коэффициент благоприятности климата CL вычисляется:

$$CL = \sqrt{(\operatorname{arctg} \frac{Hf-113}{4} + 1,57) \cdot (\operatorname{arctg} \frac{T-6}{2} + 1,57)}, \quad (7)$$

где: Hf – показатель эффективного увлажнения,

$$Hf = 43,21 \lg R - T;$$

T – среднегодовая температура, $^{\circ}C$, показал средние величины в дерново-подзолистых почвах $CL=6,9$

в черноземах обыкновенных $CL=8,9$

в бурых полупустынных почвах $CL=4,9$

Данный показатель включает значения тепловлагообеспеченности территории с учетом потенциальной продуктивности фитоценозов.

С.А. Пегов и П.М. Хомяков разработали для оценки продуктивности сельскохозяйственных угодий формулу:

$$P \approx S \cdot ART \cdot CGR \quad (8)$$

где: P – биологическая продукция агроценозов, включающая в себя

хозяйственно полезную, побочную продукцию и остатки биомассы после уборки урожая, т/га воздушно-сухого вещества;

ART – показатель соответствия климатических условий данной культуре;

CGR – коэффициент, зависящий от культуры производства.

Так, по авторским расчетам получилось, что

в дерново-подзолистых почвах $P=7,5$

в черноземах обыкновенных $P=10,1$

в бурых полупустынных почвах $CL=5,5$

В формулу расчета урожайности вводится коэффициент $K_{хоз}$ для определения конкретных долей в общей массе полезной продукции в виде зерна, корнеплодов и др.:

$$P \approx S \cdot ART \cdot CGR \cdot K_{хоз} \quad (9)$$

Результаты расчета:

в дерново-подзолистых почвах $P=8,20$

в черноземах обыкновенных $P=9,60$

в бурых полупустынных почвах $P=6,10$

Показатель соответствия климатических условий данной культуре в агроценозе был рассчитан по зависимости:

$$ART = \exp \left[- \left[\left(\frac{Hf - Hf_0}{DH} \right)^2 + \left(\frac{T - T_0}{DT} \right)^2 \right] \right] \quad (10)$$

где: Hf , DH , T_0 , DT – параметры, которые определяются в зависимости от биологических особенностей рассматриваемой культуры

(Hf_0 и T_0 - характеризует оптимальное увлажнение и температуру;

DH и DT - диапазон соответствующих условий, приемлемых для данной сельскохозяйственной культуры).

Значения коэффициента CGR находятся в диапазоне $0,9 \dots 1,45$.

Проведенные расчеты показали следующие его значения

в дерново-подзолистых почвах $CGR=1,22$

в черноземах обыкновенных $CGR =1,40$

в бурых полупустынных почвах $CGR =1,06$

По модели С.А. Пегова и П.М. Хомякова рассчитаны величины продукционного потенциала для многолетних трав Тверской области (таблица 3). Продуктивность земель при увлажнении в оптимальных режимах способствует повышению их продуктивности на 60%, а внесение органических удобрений при невысокой культуре земледелия – еще выше. И, конечно, комплексное воздействие оказывает максимальное влияние на продуктивность - до 6,8 т/га воздушно-сухого вещества. Максимальное повышение интегрального показателя плодородия почв будет наблюдаться при индексе почвы, возросшем в 2,6 раза.

На рисунке 4 приведена динамика максимальной продуктивности многолетних трав на дерново-подзолистых почвах Тверской области при антропогенных воздействиях.

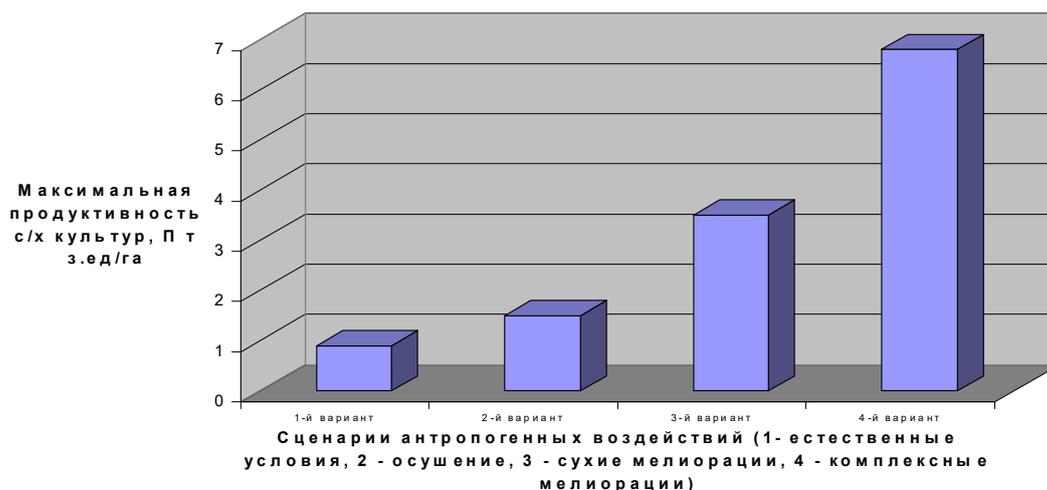


Рисунок 4 – Динамика максимальной продуктивности многолетних трав на дерново-подзолистых почвах Тверской области

Figure 4 - Dynamics of maximum productivity of perennial grasses on sod-podzolic soils of Tver region

Рассчитанные показатели модели Голованова и прогноза величины продукционного потенциала для степной зоны Орловской области с черноземами обыкновенными в условиях орошения (таблица 4) дали представление о возможности повышения урожайности на 3 т/га (при проведении комплексных мероприятий), в то время как индекс почвы увеличился незначительно с 16,1 до 18,1.

Таблица 3 – Расчеты продукционного потенциала сельскохозяйственных культур (многолетние травы) при различных вариантах антропогенного воздействия для Тверской области

Варианты антропогенного воздействия	Запасы гумуса G_0 , т/га	Гидролитическая кислотность Нг	Обеспеченность $\sqrt[3]{NPK}$	Индекс Почвы S	Параметр ART	Параметр CGR	Параметр Кхоз (много-летние травы)	Продукционный потенциал, $P=S \cdot ART \cdot CGR \cdot K_{хоз}$ т.з.ед./га
1. Естественные условия	80	4,0	0,34	5,6	0,20	0,9	0,85	0,9
2. Осушение	80	4,0	0,34	5,6	0,34	0,9	0,85	1,5
3. Внесение органических удобрений (сухие мелиорации)	164	1,0	0,9	13,6	0,34	0,9	0,85	3,5
4. «Комплексные мелиорации», высокая культура производства	164	1,4	0,9	14,5	0,38	1,45	0,85	6,8

Таблица 4 – Расчеты продукционного потенциала сельскохозяйственных культур (озимые пшеница) при различных вариантах антропогенного воздействия для Орловской области

Варианты антропогенного воздействия	Запасы гумуса G_0 , т/га	Гидролитическая кислотность Нг	Обеспеченность $\sqrt[3]{NPK}$	Индекс почвы S	Параметр ART	Параметр CGR	Параметр Кхоз (озимая пшеница)	Продукционный потенциал, $P=S \cdot ART \cdot CGR \cdot K_{хоз}$ т.з.ед./га
1. Естественные условия	500	1,0	0,90	16,1	1,19	0,9	0,40	6,9
2. Внесение органических удобрений (сухие мелиорации)	780	1,0	0,95	18,1	1,19	0,9	0,40	7,8
3. «Комплексные мелиорации», высокая культура производства	780	1,0	0,95	18,1	0,94	1,45	0,40	9,9

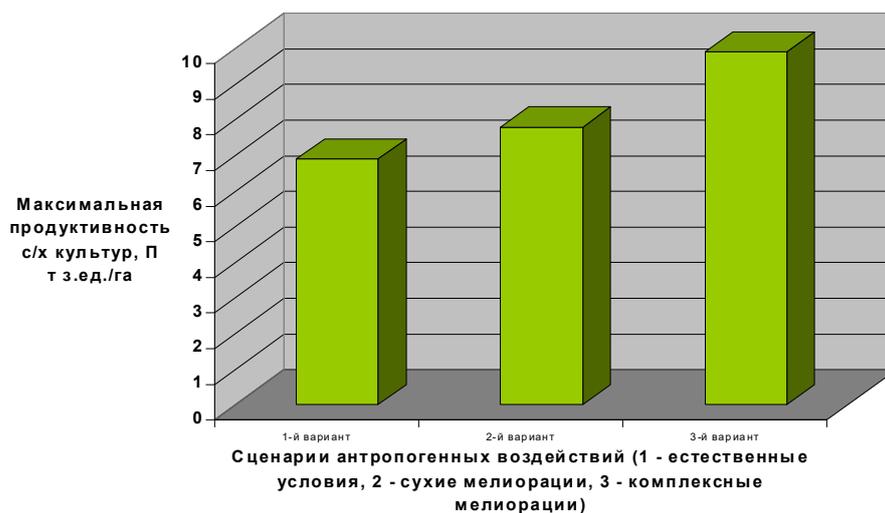


Рисунок – 5 Динамика максимальной продуктивности озимой пшеницы на черноземах обыкновенных Орловской области

Figure - 5 Dynamics of maximum productivity of winter wheat on ordinary chernozems in Oryol region

Результаты расчетов представленные в таблице 4 и в виде диаграммы на рисунке 5, теоретически доказали возможность получить урожайность озимой пшеницы при высокой культуре земледелия на черноземе обыкновенном до 10 т з.ед/га.

Расчеты по прогнозу продуктивности агроценозов при проведении комплексных мероприятий (включая агротехнические приемы, мелиоративные и др.) доказали возможный рост природно-ресурсного потенциала и продуктивности сельскохозяйственных угодий.

Заключение

Использование при расчете запасов гумуса термодинамического балансового уравнения подстилающей поверхности почв с учетом трансформации вещественно-энергетических потоков в природном объекте доказали существенные изменения почвенно-ресурсного потенциала в естественных условиях [10]. Установлена убыль гумуса при антропогенном воздействии (в частности, распашка) и его новообразование при научно-обоснованных комплексных воздействиях.

Оценка динамики гумуса почв и продукционного потенциала сельхозкультур основных природно-климатических зон России показала возможность восстановления гумуса при проведении комплексных мероприятий: например, для степной зоны Орловской области при регулировании пищевого (с обязательным применением органических удобрений или удобрительных средств на их основе) и водного режимов наблюдается увеличение индекса почвы с 16,1 до 18,1.

Библиографический список

1. Голованов А.И., Кожанов Е.С., Сухарев Ю.И. Ландшафтоведение. – М.: Колос, 2005. – С. 66-90. URL: <https://files.student-it.ru/previewfile/4479>

2. Голованов А.И., Шабанов В.В. Система математических моделей расчетного мониторинга мелиорируемых земель // Мелиорация и водное хозяйство, 2004. – № 4. – С.46-48. URL: https://ecatalog.volgatech.net/cgi-bin/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&Z21ID=&I21DBN=STATY&P21DBN=STATY&S21STN=1&S21REF=5&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=10&S21P01=0&S21P02=1&S21P03=A=&S21STR=Голованов%2C%20А.%20И.
3. Аввакумова, Н.П. Сравнительный анализ термодинамических характеристик гумусовых кислот пелоидов / Н.П. Аввакумова, С.Х. Шарипова, М.А., Жданова А.В. Кривопалова, Е.Е. Катунина, М.Н. Глубокова, И.В. Фомин // Современные проблемы науки и образования, 2017. – № 6. – С. 22-29. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32390562>
4. Голованов, А.И. Взаимосвязь между плодородием почв и водным режимом при выращивании картофеля на дерново-подзолистых почвах / А.И. Голованов, В.В. Пчелкин, В.О. Герасимов, О.М. Кузина // Научная жизнь. 2018. - № 6. - С. 85-94. URL: http://www.sced.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=738:vzaimosvyaz-mezhdu-plodorodiem-rochv-i-vodnym-rezhimom-pri-vyraschivanii-kartofelya-na-dernovo-podzolistyh-rochvah&catid=43&Itemid=156
5. Голованов, А.И. Динамика запасов гумуса при мелиорации земель / А.И. Голованов // Природообустройство, 2014. - №3. – С. 4-9. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Динамика-запасов-гумуса-при-мелиорации-земель-Иванович/5cf445721c644869097cfc80f1fc32612d3ab88b>
6. Кирейчева, Л.В. Научные основы и технологические приемы комплексного регулирования параметров агроэкосистемы / Л.В. Кирейчева, Н.П. Карпенко, В.М. Яшин и др. - Москва, 2022. – 110 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49411749>
7. Кирейчева, Л.В. Технологии и технические средства повышения продуктивности сельскохозяйственных земель комплексными мелиорациями / Л.В. Кирейчева, И.Ф. Юрченко, Н.П. Карпенко и др. - Москва, 2022. – 88 с. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2022.68.94.001
8. Мусаев, Ф.А. Органическое вещество серой лесной почвы в условиях длительного орошения сточными водами и его последствие / Ф.А. Мусаев, О.А. Захарова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2014. - №9-1. – С. 155-157. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5807>
9. Научные основы и методы оценки энергетического состояния почв в агроландшафтах / Масютенко Н.П., Шеховцова В.В., Шеховцов А.И., Леонтьева Е.В. – Курск: Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии Россельхозакадемии, 2004. – 60 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23920511>
10. Никитин, И.В. Моделирование гумусообразования в почвах Ботанического сада КГУ // Материалы XIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум», 2022. – С. 16-25. URL: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018026828>

11. Шеуджен, А. Х. Органическое вещество почвы и его экологические функции: учебное пособие / А. Х. Шеуджен, Н. Н. Нецадим, Л. М. Онищенко. – Краснодар, КубГАУ, 2011. – 202 с. URL: <https://elibrary.ru/vjcwht>

References

1. Golovanov A.I., Kozhanov E.S., Suharev Yu.I. *Landshaftovedenie*. – M.: Kolos, 2005. – S. 66-90. URL: <https://files.student-it.ru/previewfile/4479>
2. Golovanov A.I., Shabanov V.V. *Sistema matematicheskikh modelej raschetnogo monitoringa melioriruemyyh zemel'* // *Melioraciya i vodnoe hozyajstvo*, 2004. – № 4. – S.46-48. URL: https://ecatalog.vlgatech.net/cgi-bin/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&Z21ID=&I21DBN=STATY&P21DBN=STATY&S21STN=1&S21REF=5&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=10&S21P01=0&S21P02=1&S21P03=A=&S21STR=Golovanov%2C%20A.%20I
3. Avvakumova, N.P. *Sravnitel'nyj analiz termodinamicheskikh harakteristik gumusovyh kislot peloidov* / N.P. Avvakumova, S.H. Sharipova, M.A., Zhdanova A.V. Krivopalova, E.E. Katunina, M.N. Glubokova, I.V. Fomin // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2017. – № 6. – S. 22-29. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32390562>
4. Golovanov, A.I. *Vzaimosvyaz' mezhdru plodorodiem pochv i vodnym rezhimom pri vyrashchivanii kartofelya na dernovo-podzolistykh pochvah* / A.I. Golovanov, V.V. Pchelkin, V.O. Gerasimov, O.M. Kuzina // *Nauchnaya zhizn'*. 2018. - № 6. - S. 85-94. URL: http://www.sced.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=738:vzaimosvyaz-mezhdru-plodorodiem-pochv-i-vodnym-rezhimom-pri-vyrashchivanii-kartofelya-na-dernovo-podzolistykh-pochvah&catid=43&Itemid=156
5. Golovanov, A.I. *Dinamika zapasov gumusa pri melioracii zemel'* / A.I. Golovanov // *Prirodoobustrojstvo*, 2014. - №3. – S. 4-9. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Dinamika-zapasov-gumusa-pri-melioracii-zemel'-Ivanovich/5cf445721c644869097cfc80f1fc32612d3ab88b>
6. Kirejcheva, L.V. *Nauchnye osnovy i tekhnologicheskie priemy kompleksnogo regulirovaniya parametrov agroekosistemy* / L.V. Kirejcheva, N.P. Karpenko, V.M. Yashin i dr. - Moskva, 2022. – 110 s. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49411749>
7. Kirejcheva, L.V. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva povysheniya produktivnosti sel'skohozyajstvennyh zemel' kompleksnymi meliorაციями* / L.V. Kirejcheva, I.F. Yurchenko, N.P. Karpenko i dr. - Moskva, 2022. – 88 s. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2022.68.94.001
8. Musaev, F.A. *Organicheskoe veshchestvo seroj lesnoj pochvy v usloviyah dlitel'nogo orosheniya stochnymi vodami i ego posledejstvie* / F.A. Musaev, O.A. Zaharova // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2014. - №9-1. – S. 155-157. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5807>
9. *Nauchnye osnovy i metody ocenki energeticheskogo sostoyaniya pochv v agrolandshaftah* / Masyutenko N.P., Shekhovcova V.V., Shekhovcov A.I., Leont'eva E.V. – Kursk: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut zemledeliya i zashchity pochv ot erozii Rossel'hozakademii, 2004. – 60 s. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23920511>

10. Nikitin, I.V. Modelirovanie gumusoobrazovaniya v pochvah Botanicheskogo sada KGU // *Materialy XIII Mezhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii «Studencheskij nauchnyj forum»*, 2022. – S. 16-25. URL: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018026828>
11. Sheudzhen, A. H. *Organicheskoe veshchestvo pochvy i ego ekologicheskie funkicii: uchebnoe posobie* / A. H. Sheudzhen, N. N. Neshchadim, L. M. Onishchenko. – Krasnodar, KubGAU, 2011. – 202 s. URL: <https://elibrary.ru/vjcwht>