

## БАЛАНС ЭНЕРГИИ В ЗВЕНЕ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ И ОБЫКНОВЕННОМ ЧЕРНОЗЕМЕ

В.И. Савич<sup>1</sup>, В.В. Гукалов<sup>2</sup>, В.Д. Наумов<sup>1</sup>, Н.Л. Каменных<sup>1</sup>, К.А. Шмакова<sup>1</sup>, Н.А. Бобоева<sup>3</sup><sup>1</sup> ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева,<sup>2</sup> Северо-Кубанская с.-х. опытная станция,<sup>3</sup> Самаркандский государственный университет ветеринарной медицины, животноводства и биотехнологий  
kshmakova@rgau-msha.ru*Работа выполнена в рамках программы «Приоритет 2030»*

При интерпретации данных 30-40-летних полевых опытов на дерново-подзолистых почвах и обыкновенном черноземе показано, что энергетическая эффективность систем земледелия определяется генезисом и плодородием почв, оптимальным выбором для конкретных условий систем севооборотов, удобрения, обработки. Урожай сахарной свеклы на обыкновенном черноземе составлял 30,1 т/га, при применении  $N_{44}P_{52}K_{36} - 43,2$  т/га, при внесении одновременно удобрений и 12 т/га навоза – 45,7 т/га. При неоправданном увеличении доз удобрений под урожай, не обеспеченный КПД ФАР и совокупностью свойств почв, проявляется закон убывающей отдачи, по влиянию как на увеличение урожая, так и на улучшение свойств почв и качество продукции. На слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах более выгодно выращивание трав и вико-овсяной смеси, на хорошо окультуренных – озимой пшеницы. Показано, что существенное влияние на энергетическую эффективность выращивания с.-х. культур оказали чередование культур, выбор оптимальных способов обработки, взаимосвязи между свойствами почв.

Ключевые слова: севооборот, почва, энергетическая эффективность, системы удобрения и обработки.

Для цитирования: Савич В.И., Гукалов В.В., Наумов В.Д., Каменных Н.Л., Шмакова К.А., Бобоева Н.А. Баланс энергии в звене полевого севооборота на дерново-подзолистых почвах и обыкновенном черноземе // Плодородие. – 2023. – №5. – С. 55-59. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.14.

**Цель исследований** – изучить баланс энергии при выращивании с.-х. культур в севооборотах на дерново-подзолистых почвах и черноземах обыкновенных.

**Задачи исследования:** 1) теоретическая оценка энергии, затрачиваемой растениями при поглощении ими необходимого количества биотических элементов из почв; 2) сравнение энергетических показателей резко различающихся типов почв, почв разной степени окультуренности, эродированности и оглеенности; 3) оценка влияния на энергетический баланс в звене полевого севооборота погодных условий, системы удобрения, обработки, чередования культур; 4) оценка факторов, определяющих степень проявления при выращивании с.-х. культур закона убывающей отдачи.

**Объектом исследования** выбраны дерново-подзолистые окультуренные среднесуглинистые мелкоподзолистые среднесуглинистые почвы на покровных средних суглинках Московской области [5] и чернозем обыкновенный мощный малогумусный легкосуглинистый на лессовидных отложениях Краснодарского края [4] (опыты РГАУ-МСХА и Северо-Кубанской с.-х. опытной станции).

**Методика исследования** состояла в интерпретации данных 30-40-летних опытов по влиянию на урожай с.-х. культур чередования их в севообороте, систем обработки и удобрения, в энергетической оценке почв и урожайности [3, 4-6]. Использовались методики, принятые ГОСТ. Принятый уровень вероятности  $P = 0,95$ .

**Экспериментальная часть. 1. Энергетическая оценка эволюции почв.** Выращивание сельскохозяй-

ственных культур сопровождается затратами энергии, размер которых зависит от степени окультуренности почв, оптимальности систем удобрения, выращиваемых культур, уровней интенсификации производства и планируемых урожаев. В значительной степени энергетическая оценка плодородия почв зависит от затрат энергии на почвообразование и от запасов энергии в гумусе и в растительном веществе. Так, по данным [2], затраты энергии на почвообразование составляют в черноземах 62850 (кДж/см в год), в дерново-подзолистых почвах – 41900; запасы энергии в гумусовом слое 0-20 см, соответственно, 30168 и 16341 кДж/см в год; в слое 0-100 см – 96370 и 22626 (кДж/см в год).

Различные типы почв содержат определенное количество энергии. Так, например, обыкновенные черноземы характеризуются энергопотенциалом гумусового слоя почвы 6113838 МДж/га, дерново-подзолистые суглинистые – 1534566 МДж/га [3]. Приращение энергопотенциала при возделывании озимой пшеницы составляет, соответственно, 60883 и 38383, а при возделывании многолетних трав 83409 и 117588 МДж/га.

Урожай сельскохозяйственных культур определяется суммой фотосинтетически активной радиации (ФАР), поступающей на поверхность земли в районе выращивания с.-х. культур, за период биологической активности (ПБА) почв, коэффициентом использования ФАР растениями ( $k$ ), который чаще составляет 1-3%, и количеством энергии в единице урожая –  $K$ :

$$Y = (\Sigma FAP k) : K.$$

При этом затраты энергии на получение из почв биофильных элементов и обеспечение себя всеми факторами жизни зависят от свойств почв, обусловленных их генезисом и эволюцией. Так, в черноземах уровень оптимизации свойств почв для развития культурных растений выше, чем в более северных (в серых лесных, дерново-подзолистых почвах и более южных районах каштановых, бурых полупустынных почвах).

Уровень плодородия и накопления в них энергии существенно изменяется и в пределах катены – на разных элементах рельефа и при разной степени эродированности и оглеенности. Это иллюстрируют данные по оценке дерново-подзолистых среднесуглинистых почв Московской области по показателям биопродуктивности с учетом прихода ФАР за период ПБА.

Почва	Оценка, млн кДж/га
Слабоэродированная	236,6
Среднеэродированная	207,0
Слабооглеенная	253,9
Среднеоглеенная	234,5
Нижняя треть склона Пд <sub>2</sub> <sup>Г2</sup>	229,1
Модель плодородия	276,0

В то же время, поступление на поверхность почв фотосинтетически активной радиации в значительной степени определяется и погодными условиями года [5, 7].

Уровень плодородия почв и степень их окультуренности определяют риск падения урожая при неблагоприятных погодных условиях. Величина риска существенно различается и для отдельных сельскохозяйственных культур. Так, по полученным данным, риск снижения урожая для озимой пшеницы при неблагоприятных климатических условиях на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве равен 99%, на хорошо окультуренной и удобренной – 96,7%. В то же время, для многолетних трав он составлял для этих вариантов, соответственно, 70,0 и 45,1%.

В 32-летних опытах, проведенных в Краснодарском крае на обыкновенных черноземах урожай с.-х. культур, значительно изменялся в зависимости от погодных условий года. Так, в зернопропашном севообороте урожай озимой пшеницы на контроле изменялся по ротациям от 3,1 до 4,0 т/га, или на 29%, при применении N<sub>89</sub>P<sub>106</sub>K<sub>71</sub> – от 3,5 до 5,8 т/га, или на 66%, т.е. применение удобрений позволило увеличить урожай, особенно в неблагоприятный по климатическим условиям год [4].

При влиянии отдельных факторов на свойства почв и урожай проявляются эффекты синергизма и антагонизма. В разные периоды вегетации растений они требуют различное количество и соотношение биофильных элементов. При этом деятельные корни распространяются в основном в разных горизонтах. В начальные периоды роста корни развиваются в верхнем горизонте – Ап и растениям необходим азот. В более поздние фазы растений деятельные корни развиваются в подпахотных слоях, и растения больше нуждаются в фосфоре и калии. Полагаем, что оптимумы свойств почв в отдельных горизонтах должны различаться [3, 7].

**2. Энергетическая оценка почвенного поглощающего комплекса.** Баланс энергии в системе почва-растение в значительной степени обусловлен сорбционными свойствами почв, запасом энергии в отдельных компонентах почв, затратами энергии растениями, развивающимися на исследуемых почвах, для обеспечения

себя всеми факторами жизни (биофильными элементами, водой, воздухом и др.) [9].

Состояние почв определяется трансформацией, миграцией и аккумуляцией в системе почва – растение – микрофлора вещества, энергии и информации. Для повышения плодородия почв необходима оптимизация этих потоков, характеризующихся определенной интенсивностью, скоростью, продолжительностью, очередностью. В связи с этим, при рассмотрении системы почва – растение – микроорганизмы изучают их свойства, протекающие в них процессы и режимы, которые существенно различаются для разных групп почв и гидротермических условий территории [1, 2, 7].

По рассчитанным данным приход ФАР на поверхность почвы за период ее биологической активности (ПБА) составляет в дерново-подзолистой почве 83,7, в черноземе – 167,5 кДж/см<sup>2</sup>. Урожай зерна пшеницы при КПД использования ФАР 2,5% равен, соответственно, 48,4 и 96,7 ц/га. С учетом коэффициента увлажнения для дерново-подзолистой почвы (КУ = 1) накопление энергии составляет 90,9 МДж • 10<sup>3</sup>/га, в черноземе обыкновенном (КУ = 0,7) – 127,3 МДж • 10<sup>3</sup>/га. В этих условиях при КПД ФАР 2,5% поступление энергии в почву при запашке соломы будет в дерново-подзолистой почве 154,5 МДж • 10<sup>3</sup>/га, в черноземе обыкновенном – 216,4 МДж • 10<sup>3</sup>/га. Закрепление энергии в гумусовом слое (0–15 см) будет составлять в дерново-подзолистой почве – 23,2, в черноземе – 32,5 МДж • 10<sup>3</sup>/га.

Затраты энергии на получение урожая с.-х. культур связаны как с внесением удобрений, так и с обработкой почв [9]. При этом для получения высоких урожаев требуются и большие затраты энергии, которые возрастают при развитии эрозии почв. Так, по данным [3], для получения урожая озимой пшеницы на черноземе 60 и 30 ц/га требуются затраты энергии, соответственно, 5200 и 3332 МДж/га, а при дополнительном проведении противоэрозионных обработок – 6388 и 4567 МДж/га.

**3. Энергетическая оценка взаимосвязей реакций в ППК, затрат энергии на поглощение биофильных элементов из почв.** При поглощении элементов питания растениями из почв происходят определенные затраты энергии. Согласно полученным данным, они равны:  $Y = \Sigma K_1 X_1$ , где  $K_1$  – затраты энергии на единицу поглощенных растениями из почв биофильных элементов (ккал/мг),  $X_1$  – количество поглощенных элементов, мг/100 г почв.

Для каждой почвы характерен свой фракционный состав биофильных элементов, в т.ч. по прочности их связи с ППК (в ккал/мг или ккал/мг-экв.). То есть каждый биофильный элемент, поглощенный из почвы растением, характеризуется суммой  $K_1 X_1 + K_2 X_2 + K_n X_n$  затраченных энергий при поглощении растением отдельных фракций этого иона за вегетацию. При поглощении растением нескольких ионов  $Y = \Sigma K_1 X_1 + k_n Z_n$  и т.д. При этом затраты энергии на вытеснение ионов из ППК устанавливают методом химической автографии на основе электролиза, определяя в эксперименте напряжение, силу тока, время реакции и количество вытесненного иона. Определяют положительно и отрицательно заряженные комплексные соединения вытесняемых из почв ионов. При применении в системе разного напряжения можно установить содержание в почве рыхло- и более прочносвязанных в ППК ионов. Так, по полученным данным, в слабоокультуренной и в хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве содержание железа

(в мкг/см) составляло при напряжении 5 В и времени 1 мин : отрицательно заряженных соединений  $0,29 \pm 0,0$  и  $1,58 \pm 0,23$ ; положительно заряженных  $0,32 \pm 0,02$  и  $1,08 \pm 0,04$ . При напряжении 75 В и времени 30 мин содержание в слабоокультуренной и в хорошо окультуренной почве составляло, соответственно, отрицательно заряженных соединений  $0,26 \pm 0,03$  и  $2,54 \pm 0,84$ ; положительно заряженных соединений –  $0,36 \pm 0,03$  и  $1,07 \pm 0,06$ .

Прочность связи ионов с почвенным поглощающим комплексом может быть определена и методом конкурирующего комплексообразования, зная константы устойчивости лиганды десорбента с вытесняемыми из почв ионами. В то же время, при переходе ионов из ППК в

раствор и при поглощении их растениями протекают реакции конкурирующего комплексообразования, осадкообразования, ионного обмена, проявляются эффекты синергизма и антагонизма.

**4. Энергетическая оценка взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой.** Урожай сельскохозяйственных культур зависит от содержания биофильных элементов в почвах и их содержания после внесения удобрений. В то же время, эти зависимости различаются для отдельных культур [6]. Рассмотрим уравнения регрессии зависимости урожая с.-х. культур от свойств дерново-подзолистых среднесуглинистых почв.

Культура, вариант	$Y = f(pH)(S)(P_2O_5)(K_2O)(\text{гумус})$
Пшеница: без удобрений	$Y = 15 + 17,6X_1 - 2,9X_2 + 0,5X_3 - 0,13X_4 - 11,4X_5$
с удобрениями	$Y = 68,9 + 25,9X_1 - 4,7X_2 + 0,7X_3 - 1,3X_4 - 0,6X_5$
Мн. травы: без удобрений	$Y = 10,2 - 402X_1 + 14,5X_2 - 2,9X_3 + 8,4X_4 + 33,1X_5$
с удобрениями	$Y = 27,4 + 10,7X_1 - 3,6X_2 + 3,4X_3 + 0,4X_4 - 2,8X_5$

Как видно из представленных данных, урожай пшеницы и многолетних трав в разной степени зависит от pH, S, содержания гумуса, подвижных форм фосфора и обменного калия. Пшенице без удобрений необходимо повышение pH, для трав это не отмечено. Для пшеницы требуется увеличение содержания подвижных фосфатов, для трав – это также не отмечено. В то же время, урожай пшеницы отрицательно коррелировал с содержанием обменного калия и степенью гумусированности. Для трав наблюдается противоположная зависимость.

Для всех выращиваемых культур содержание гумуса, подвижного фосфора и обменного калия в почвах положительно коррелировало с величиной pH. Коэффициенты корреляции составляли, соответственно,  $0,43 \pm 0,13$ ;  $0,49 \pm 0,08$  и  $0,13 \pm 0,07$ . Содержание подвижного фосфора и обменного калия положительно коррелировало со степенью гумусированности почв, соответственно,  $0,48 \pm 0,6$  и  $0,32 \pm 0,07$ .

Урожай всех выращиваемых на дерново-подзолистой почве сельскохозяйственных культур положительно коррелировал с изучаемыми агрохимическими и физико-химическими свойствами почв. Без удобрений сумма коэффициентов корреляции равна  $2,0 \pm 0,2$ ; с внесением удобрений –  $3,4 \pm 0,1$ . При этом только урожай картофеля отрицательно коррелировал с pH ( $r = -0,19$ ) и с суммой поглощенных оснований ( $r = -0,37$ ). Аналогичные данные получены и для чернозема. Внесение в обыкновенные черноземы минеральных и органических удобрений значительно повысило урожай с.-х. культур. Так, в зернопропашном севообороте в контрольном варианте урожай озимой пшеницы в среднем за 30 лет составлял 2,8 т/га, а при применении  $N_{44}P_{52}K_{36}$  – 4,8 т/га; при  $N_{44}P_{52}K_{36} + 12$  т/га навоза – 5,0 т/га. Для сахарной свеклы, соответственно, 30,1; 43,2 и 45,7 т/га.

Накопление гумуса в почвах также зависит от применения удобрений. Так, по полученным данным, на обыкновенных черноземах в зернопропашном севообороте без удобрений содержание гумуса в 3-й ротации было 3,7%, а при применении  $N_{44}P_{52}K_{36} + 12$  т/га навоза – 4,0%. В зернотравянопропашном севообороте, соответственно, 3,6 и 4,1%. При этом отмечаются и некоторые изменения отношений в качественном составе гумуса: Сгк/Сфк и С/Н. Так, в зернопропашном севообороте в варианте  $N_{44}P_{52}K_{36}$  отношение Сгк/Сфк равно 1,5; С/Н – 11,2, а в варианте с добавлением 12 т/га навоза Сгк/Сфк = 1,6; С/Н = 11,8. В зернотравяно-пропашном

севообороте в варианте  $N_{44}P_{52}K_{36}$  – Сгк/Сфк было равно 1,8, а при добавлении навоза – 2,0.

**5. Энергетическая оценка плодородия почв.** Оптимальные свойства почв различаются для отдельных типов почв (возможно и для более мелких таксономических единиц), зависят от гидротермических условий территории. Сочетание свойств почв определяет затраты растениями энергии для развития на этих почвах [5, 7]. Окультуренность почв определяет КПД использования растениями ФАР и накопления в фитомассе культур энергии. Так, по полученным данным, эта зависимость описывалась наиболее точно следующим уравнением  $Y = A + BX$ , где X – степень окультуренности:  $Y = 3,9 + 0,4X$ ;  $r = 0,53$  – для овса;  $Y = 15,7 + 0,16X$ ;  $r = 0,30$  – для картофеля (млн ккал/га). А также уравнением  $Y = A + B/X$ : для вико-овсяной смеси  $Y = 23,7 - 475,8/X$ ,  $r = -0,29$ ; для озимой пшеницы  $Y = 66,3 - 2213,2/X$ ;  $r = -0,58$ . То есть с увеличением степени окультуривания накопление энергии в культурах увеличивалось [8].

В таблице 1 представлены данные по энергоёмкости гумуса и фитомассы в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности и удобрённости [7].

**1. Энергоёмкость гумуса и фитомассы в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности и удобрённости**

Вариант	Гумус	Фито-масса	Усвоено, кг/га		
	млн ккал/га		N	P	K
Викоовсяная смесь					
OK <sub>1</sub>	195	16,2	55,7	8,6	46,8
OK <sub>2</sub>	231	17,5	61,9	8,9	51,4
OK <sub>3</sub>	231	19,3	68,5	10,4	57,5
OK <sub>3</sub> /OK <sub>1</sub>	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Озимая пшеница					
OK <sub>1</sub>	209	22,8	36,1	8,5	23,1
OK <sub>2</sub>	254	36,0	80,2	14,7	43,2
OK <sub>3</sub>	270	41,2	83,2	14,0	44,2
OK <sub>3</sub> , +NPK	305	61,3	142,8	20,3	67,8
OK <sub>3</sub> /OK <sub>1</sub>	1,3	1,8	2,3	1,7	1,9

Как видно из представленных данных, при увеличении окультуренности почв больше энергии заключено как в гумусе, так и в фитомассе выращиваемых культур. Это соответствует и большему усвоению NPK растениями из почв. В то же время окультуривание почв привело к большему накоплению энергии в фитомассе более требовательной к плодородию культуры (озимой пшеницы, по сравнению с викоовсяной смесью).

По полученным данным, в слабоокультуренной дерново-подзолистой почве содержалось, по сравнению с хорошо окультуренной с внесением NPK на использование растениями 2% ФАР, меньше энергии в гумусе, соответственно, 195-200 млн ккал/га, по сравнению с 284-335 млн ккал/га; меньше поступало с послеуборочными остатками, соответственно, 11,7 и 23,9-24,5 млн ккал/га и меньше была продуктивность посевов озимой пшеницы, соответственно, 15,2 и 37,8 ц/га.

**6. Проявление закона убывающей отдачи, как критерий эффективности систем земледелия.** При выращивании сельскохозяйственных культур и при повышении плодородия почв проявляется закон «убывающей отдачи». Каждое добавочное вложение труда и капитала в землю приносит на единицу затрат все меньшую прибыль. Положительное влияние удобрений на повышение урожая с.-х. культур определяется сочетанием всех свойств почв. Если по каким-то свойствам почв КПД использования ФАР и урожай лимитируются, то возрастающие дозы удобрений приводят к меньшей их эффективности. Это иллюстрируется данными таблицы 2.

**2. Проявление закона убывающей отдачи на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности**

Окультуренность	Доза NPK, кг д.в/га	Урожай озимой пшеницы, ц/га	Отдача от удобрений
OK <sub>2</sub>	0	32,2	
	100	34,8	2,6
	200	36,0	1,2
	313	35,7	-0,3
OK <sub>3</sub>	0	30,8	
	100	34,0	3,2
	200	36,6	2,6
	313	36,6	0,0

По полученным данным, при оптимизации отдельных свойств почв проявление закона убывающей отдачи уменьшается. Так, для исследуемых почв при дозах удобрений 174, 232 и 313 кг/га NPK прибавка урожая пшеницы (в кг зерна на 1 кг NPK) составляла, соответственно, 2,5; 1,3 и 0,8, а с орошением – 4,9; 2,8 и 2,0.

Исследования, проведенные на обыкновенных черноземах Краснодарского края, показали, что при применении повышенных доз удобрений также проявлялся закон убывающей отдачи. Так, в среднем за 30 лет в зернопропашном севообороте внесение N<sub>45</sub>P<sub>53</sub>K<sub>36</sub> повысило урожай озимой пшеницы на 2,0 т/га, а внесение N<sub>90</sub>P<sub>106</sub>K<sub>72</sub> – дополнительно на 0,4 т/га. Аналогичные дозы удобрений, внесенные под сахарную свеклу, повысили урожай на 3 т/га и дополнительно – на 1 т/га. На подсолнечнике внесение N<sub>45</sub>P<sub>53</sub>K<sub>36</sub> увеличило урожай на 0,34 т/га, а N<sub>90</sub>P<sub>106</sub>K<sub>72</sub> дополнительно – не повысило, а снизило урожай на 0,03 т/га. Аналогичная ситуация была и в зерно-травянопропашном севообороте.

По полученным данным, закон убывающей отдачи проявлялся как по уменьшению прироста урожая на 1 ц внесенных удобрений, так и по изменению качества продукции, по увеличению подвижных форм биофильных элементов на 1 ц внесенных удобрений [4].

**7. Пути регулирования энергетического состояния в системе почва-растение в экосистеме.** Регулирование энергетического состояния в системе почва-растение достигается оптимизацией всех звеньев систем земледелия: системы севооборотов, удобрения, интегрированной защиты растений, обработки. Очевидно, что для разных почв и культур существуют свои особенности выбора и применения этих систем. Они различаются и в

зависимости от уровня интенсификации производства, планируемого урожая, экономических и экологических условий территории.

На почвах разной степени окультуренности более целесообразно и выгодно выращивать определенные культуры. Так, по полученным данным, на слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах в урожае пшеницы содержалось 10•10<sup>6</sup> ккал/га энергии, в урожае многолетних трав – 24•10<sup>6</sup> ккал/га. На хорошо окультуренных почвах в урожае пшеницы – 55•10<sup>6</sup> ккал/га, в урожае трав – 14•10<sup>6</sup> ккал/га. Таким образом, на хорошо окультуренной почве более выгодно выращивать пшеницу, на слабоокультуренной – многолетние травы.

Важное значение имеет выбор правильной системы обработки почвы, который зависит как от свойств почв, так и от гидротермических условий территории. Проводимые исследования на черноземе обыкновенном Краснодарского края показали, что при ежегодной разноглубинной отвальной обработке почвы в севообороте равновесная плотность сложения пахотного слоя составляла 1,17-1,20 г/см<sup>3</sup>. Ежегодная разноглубинная плоскорезная обработка увеличивала объемную массу пахотного слоя до 1,25 г/см. Органоминеральные системы удобрения способствовали разуплотнению пахотного слоя до 1,17-1,18 г/см<sup>3</sup>.

Большое значение в повышении эффективности систем земледелия имеет выбор оптимальных систем удобрения. Еще Д.Н. Прянишников писал, что избыток удобрений не может заменить знания взаимодействия удобрений с почвой, что, к сожалению, не учитывается. Большое влияние на повышение плодородия почв и их окультуривание имеет оптимизация гумусового состояния почв.

В.Р. Вильяме отмечал, что «первостепенная роль в плодородии почв принадлежит гумусу, который является источником питательных веществ для растений и энергетической базой для жизнедеятельности микроорганизмов» [6]. В настоящее время доказано поглощение растениями гумусовых веществ и комплексных органоминеральных соединений, как источника энергии. Основной источник образования гумуса в агроценозах – это применение органических удобрений, поступление в почву корневых и пожнивных остатков растений и микробиологическая активность почв. Существенная роль в повышении содержания гумуса в почвах принадлежит многолетним травам и бобовым культурам.

В исследованиях на черноземе обыкновенном Краснодарского края наибольшее количество органического вещества пожнивных и корневых остатков, поступающих в почву, наблюдалось после уборки эспарцета 2-го года вегетации – 7,8-8,5 т/га. Остальные культуры размещались в следующей последовательности: кукуруза, убираемая на зерно (5,5-7,5 т/га), подсолнечник (5,4-6,5 т/га), озимая пшеница (3,5-7,5 т/га), яровой ячмень (3,1-5,2 т/га), горох (2,5-3,4 т/га). Минимальное количество органического вещества поступало в почву после уборки сахарной свеклы (2,1-3,1 т/га).

Известно, что урожай с.-х. культур определяется суммой ФАР за период ПБА и КПД использования ФАР видом и сортом растения. Но в отдельные периоды вегетации растений могут возникать критические условия ФАР, влажности, температуры, что значительно снижает биопродуктивность угодий. Регулирование в течение вегетации агрохимических свойств почв и их водно-

физических показателей позволяет уменьшить потери при неблагоприятных погодных условиях.

**Заключение.** Доказано, что баланс энергии в севообороте в почвах является интегральной характеристикой их генезиса, плодородия, экономической эффективности принятой системы земледелия.

Баланс энергии в почве существенно определяется генезисом почв, степенью оптимальности принятых составляющих систем земледелия. Затраты энергии на поглощение из почв биофильных элементов определяются прочностью связи этих элементов с ППК и количеством элементов, необходимых растениям для получения планируемого урожая.

Запасы энергии в почвах существенно уменьшаются при эродированности и оглеенности почв. В то же время, запасы энергии в урожае с.-х. культур значительно зависят от климатических условий года. Риск снижения урожая при неблагоприятных условиях меньше на почвах большей степени окультуренности.

При правильной системе применения удобрений запасы энергии в почве и урожае возрастают, но при избыточном внесении под урожай, необоснованный по КПД ФАР, проявляется закон убывающей отдачи (меньшая эффективность применения удобрений по приросту урожая, улучшению его качества, повышению плодородия почв).

Установлено, что энергетическая эффективность плодородия почв в значительной степени зависит от взаимосвязей свойств почв в разных интервалах независимых переменных.

Показано, что энергетическая оценка плодородия почв определяется не только выбором оптимальных вариантов систем удобрения в севообороте, но и оптимизацией системы обработки, чередования культур и системы севооборотов.

#### Литература

1. Алиев С. А. Биоэнергетика органического вещества. – Баку: ЭЛМ, 1973. – 66 с.
2. Волобуев В.Р. О двух узловых решениях энергетики почвообразования// Почвоведение. – 1984. – №7. – С. 5-11.
3. Володин В.М. Экологические основы оценки и использования плодородия почв. – М.: ЦИНАО, 2000. – 336 с.
4. Гукалов В.В., Баршадская С.И., Сорокин А.Е., Савич В.И. Изменение эффективности применения минеральных удобрений на черноземах и дерново-подзолистых почвах при неоправданном увеличении их доз// Международный с.-х. ж.-л. – 2020. – №1. – С. 83-86.
5. Замираев А.Г., Савич В.И., Сычев В.Г., Духанин Ю.А. Энергомассообмен в звене полевого севооборота, ч. 2. – М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2005. – 336 с.
6. Панов Н.П., Савич В.И., Шестаков Е.И. Экологически и экономически обоснованные модели плодородия почв. – М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2014. – 380 с.
7. Савич В.И., Сычев В.Г., Замираев А.Г., Сюняев Н.К., Никольский Ю.Н. Энергетическая оценка плодородия почв. – М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2007. – 500 с.
8. Савич В.И., Сычев В.Г., Балабко П.Н., Гукалов В.В. Энергетическая оценка систем земледелия// Международный с.-х. ж.-л. – 2015. – №5. – С. 12-15.
9. Трухачев В.И., Пенчуков В.И., Доронко Г.Р. Энергосберегающие почвозащитные системы земледелия Ставропольского края. Эволюция и деградация почвенного покрова. 3- Международная научная конф., 2007. – С. 206-208.

#### ENERGY BALANCE IN THE FIELD CROP ROTATION LINK ON SOD-PODZOLIC SOILS AND ORDINARY CHERNOZEM

V.I. Savich <sup>1</sup>, V.V. Gukalov <sup>2</sup>, V.D. Naumov <sup>1</sup>, N.L. Kamennykh <sup>1</sup>, K.A. Shmakova <sup>1</sup>, N.A. Babaeva <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,

<sup>2</sup> North Kuban agricultural experimental station,

<sup>3</sup> Samarkand State University of Veterinary Medicine, Livestock and Biotechnology

E-mail: kshmakova@rgau-msha.ru, +79855054522

When interpreting the data of 30-40-year field experiments on sod-podzolic soils and ordinary chernozem, it is shown that the energy efficiency of farming systems is determined by the genesis and fertility of soils, the optimal choice for specific conditions of crop rotation systems, fertilizers, processing. The yield of sugar beet on ordinary chernozem was 30.1 t/ha when using N44P52K36 – 43.2 t/ha, when applying 12 t/ha of manure at the same time – 45.7 t/ha. With an unjustified increase in fertilizer doses for a crop that is not provided with the efficiency of the headlights and the totality of soil properties, the law of diminishing returns is manifested, both in terms of the effect on increasing the yield and in terms of the effect on improving soil properties and product quality. On poorly cultivated sod-podzolic soils, it was more profitable to grow herbs and vico-oat mixture, on well-cultivated ones – winter wheat. It is shown that the alternation of crops, the choice of optimal processing methods, and the relationship between soil properties had a significant impact on the energy efficiency of growing agricultural crops.

УДК: 631.6 : 631.51: 631.41

DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.15

## ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Ю.И. Митрофанов, к.с.-х.н., М.В. Гуляев, к.с.-х.н., Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»

119017, Москва, Пыжевский пер., д.7, стр.2, 2016vniimz-noo@list.ru

Работа выполнена в 2014-2022 г. на агрополигоне Губино ВНИИМЗ в Тверской области. Почва дерново-подзолистая окультуренная легкосуглинистая глееватая на маломощном двучлене, осушаемая закрытым гончарным дренажем. Объемное щелевание проводили под первую культуру опыта на глубину 45-50 см специально разработанным орудием. Ширина щели 16 см, шаг щелевания 140 см. Установлено, что наиболее эффективна комбинированная система обработки с совместным применением в севообороте объемного щелевания и гребневой технологии обработки почвы. В среднем за первые 5 лет при гребнистой вспашке урожайность овса повысилась на 0,36 т/га (12,0%), под влиянием щелевания – на 0,60 (20,0%), при совместном их действии – на 0,82 т/га, или 27,0%. Прибавки урожая получены за счет увеличения количества продуктивных стеблей и массы зерна в метелке: при щелевании – на 8,4 и 11,3%, при гребнистой вспашке – на 6,1 и 12,0%. Применение щелевания позволяет расширить функцио-