

**ДИНАМИКА УГЛЕРОДА ПОДВИЖНОГО ГУМУСА В АГРОЧЕРНОЗЕМЕ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ С ПОМОЩЬЮ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*В первый год применения ресурсосберегающих технологий происходит снижение водорастворимого углерода гумуса при нулевой обработке почвы на 44,8 %. На содержание углерода щелочегидролизующего гумуса способ обработки не повлиял, и оно составило 311–317 мг/100 г.*

**Ключевые слова:** запасы углерода в почве, подвижный гумус, агроценозы, агрочернозем, ресурсосберегающие технологии, минимальная обработка почвы, яровая пшеница.

О.А. Vlasenko

**THE DYNAMICS OF MOBILE HUMUS CARBON IN AGROCHERNOZEM IN THE SPRING WHEAT CULTIVATION WITH THE USE OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES**

*In the first year of the resource-saving technology application there is a decrease of the water-soluble humus carbon in the zero tillage by 44,8 %. The method of tillage didn't influence the carbon content of the alkaline-hydrolyzed humus and it was 311–317 mg/100 g.*

**Key words:** carbon stocks in the soil, mobile humus, crops, agrocoenosis, agrochernozem, resource-saving technologies, minimum tillage, spring wheat.

---

**Введение.** В агропочвах пожнивные и корневые остатки культурных растений являются ближайшим источником пищи для гетеротрофных микроорганизмов и служат основным материалом для процесса разложения, т. е. для минерализации и гумификации. В процесс минерализации могут вовлекаться и гумусовые вещества, особенно при интенсивных обработках и низких запасах мортмассы [3, 11–14, 5]. Минимизация или полное исключение обработок приводит к увеличению запасов растительного вещества в почве, это сопровождается не только увеличением элементов минерального питания, высвобождающихся при разложении мортмассы, но и увеличением количества источников специфических и неспецифических гумусовых веществ, за счет которых воспроизводится стабильная часть гумусовых молекул [10, 9, 15].

Все органические вещества (ОВ) в почве можно разделить на различные компоненты по степени их устойчивости к микробному разложению. С этой точки зрения принято все многообразие органических соединений в почве разделять на две большие группы: легкоминерализуемые и устойчивые органические вещества [6, 14]. К легкоминерализуемой части ОВ почвы мы относим растительные остатки, микробную биомассу и подвижный гумус. Подвижный гумус – это комплекс веществ гумусовой природы, которые легко переходят в растворимую форму, сюда относятся водорастворимые органические соединения. Водорастворимые компоненты представлены неспецифическими (аминокислоты, углеводы, органические кислоты) и специфическими (фульвокислоты) органическими веществами. Щелочерастворимые (в 0,1 н. NaOH) ОВ – это в основном новообразованные гуминовые и фульвокислоты, которые не имеют прочной связи с твердой фазой почвы, они могут одновременно вовлекаться в процессы минерализации и гумифицироваться, обновляя стабильный гумус. Устойчивый (стабильный) гумус представляет инертную часть гумусовых молекул, которые прочно связаны с минеральной частью почвы и слабо подвергаются биодegradации. Подвижные ОВ быстро вовлекаются в динамические процессы, реагируют на изменения внешних условий, поэтому являются одним из индикаторов качества почв и уровня их эффективного плодородия [11, 13–15].

**Цель исследований:** количественная характеристика содержания, запасов и динамики углерода подвижных гумусовых веществ агрочернозема при возделывании яровой пшеницы в условиях отвальной, минимальной и нулевой обработки почвы.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводились в 2012 г. на территории Красноярской лесостепи в УНПК «Борский» Красноярского ГАУ в полевом опыте на сорте яровой пшеницы Новосибирская-15. Смешанные образцы почвы отбирали в 4-кратной повторности только на контрольных вариантах (без применения удобрений) с отвальной, минимальной и нулевой обработкой почвы. Предшественник – пшеница, предыдущая обработка – отвальная вспашка. Почвы на участке исследований представлены комплексом агрочерноземов глинисто-иллювиальных (выщелоченных) и агрочерноземов криогенно-мицелярных (обыкновенных) тяжелосуглинистых на карбонатном тяжелом суглинке.

Агрохимические свойства агрочернозема определяли общепринятыми методами [1]. Содержание углерода гумуса в почвенных образцах определяли микрохромовым методом И.В. Тюрина. Углерод водорастворимого ОВ – методом бихроматной окисляемости; углерод щелочерастворимого ОВ и в его составе углерод гуминовых и фульвокислот – в 0,1 н. щелочной вытяжке по И.В. Тюрину в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [1].

**Результаты и обсуждение исследований.** Изученные агрочерноземы имеют среднемошный и мощный гумусовый горизонт со средним содержанием гумуса 4,7–5,8 %, его распределение по профилю почвы – постепенно убывающее. Емкость катионного обмена в гумусовом горизонте высокая и очень высокая – от 32 до 48 мг-экв/100 г почвы. Реакция среды колеблется от близкой к нейтральной в верхней части профиля до слабощелочной в материнской породе.

Содержание водорастворимого углерода гумуса при отвальной вспашке было самым высоким и составило 67,6 мг/100 г, коэффициент вариации средний – 20,9 %. При нулевой обработке почвы концентрация  $C_{H_2O}$  достоверно снизилась и составила 30,3 мг/100 г. При минимальной обработке достоверного снижения или повышения  $C_{H_2O}$  по отношению к отвальной вспашке не обнаружено, однако коэффициент вариации данных при отсутствии или минимизации обработки значительный – 42–47 % (табл. 1). Таким образом, при нулевой обработке в первый вегетационный сезон, несмотря на увеличение количества растительных остатков, образование водорастворимых гумусовых веществ в почве незначительное, возможно, это связано со снижением биологической активности агрочернозема, так как почва уплотняется, и поступление кислорода, необходимого гетеротрофным микроорганизмам для разложения, становится затруднительным [7, 8, 13].

Таблица 1

**Содержание и пространственное варьирование углерода  
подвижного гумуса в агрочерноземе**

| Обработка            | Содержание,<br>мг/100 г | Средняя    | min   | max   | Коэффициент<br>вариации, % |
|----------------------|-------------------------|------------|-------|-------|----------------------------|
| 1                    | 2                       | 3          | 4     | 5     | 6                          |
| Отвальная<br>вспашка | $C_{H_2O}$              | 67,6±8,2   | 52,8  | 81,0  | 20,9                       |
|                      | $C_{NaOH}$              | 311,3±30,3 | 259,1 | 364,2 | 16,9                       |
|                      | Сгк                     | 167,2±20,0 | 109,6 | 287,7 | 24,3                       |
|                      | Сфк                     | 143,8±19,6 | 92,4  | 188,2 | 35,9                       |
| Нулевая              | $C_{H_2O}$              | 30,3±9,5   | 25,3  | 44,3  | 41,5                       |
|                      | $C_{NaOH}$              | 313,1±35,1 | 246,6 | 365,4 | 19,4                       |
|                      | Сгк                     | 186,5±31,8 | 111,3 | 296,2 | 27,3                       |
|                      | Сфк                     | 126,5±23,6 | 93,6  | 192,5 | 36,4                       |

| 1                  | 2                           | 3          | 4     | 5     | 6    |
|--------------------|-----------------------------|------------|-------|-------|------|
| Минимальная        | C <sub>H<sub>2</sub>O</sub> | 56,1±12,2  | 40,5  | 86,4  | 46,9 |
|                    | C <sub>NaOH</sub>           | 317,6±47,6 | 222,8 | 371,5 | 25,9 |
|                    | C <sub>ГК</sub>             | 204,6±30,7 | 123,4 | 267,5 | 27,4 |
|                    | C <sub>фк</sub>             | 112,4±29,6 | 99,8  | 154,7 | 36,2 |
| НСР <sub>0,5</sub> | C <sub>H<sub>2</sub>O</sub> | 13,3       |       |       |      |
|                    | C <sub>NaOH</sub>           | 51,7       |       |       |      |
|                    | C <sub>ГК</sub>             | 39,7       |       |       |      |
|                    | C <sub>фк</sub>             | 40,1       |       |       |      |

Достаточно высокое содержание углерода водорастворимого гумуса при отвальной вспашке можно объяснить интенсивным перемешиванием, измельчением и аэрацией пахотного слоя почвы вместе с растительными остатками, что стимулирует деятельность микроорганизмов и приводит к накоплению в почве продуктов трансформации органического вещества [7]. При минимальной обработке, в отличие от вспашки, почва боронится на небольшую глубину, но в нее поступает больше мортмассы, это активизирует деятельность микроорганизмов, и водорастворимые гумусовые вещества формируются также активно, как и при отвальной обработке почвы.

Среднее содержание щелочегидролизуемого углерода гумуса при отвальной, минимальной и нулевой обработке не имело достоверных различий и оказалось в пределах 311–317 мг/100 г, коэффициент пространственной вариации данных был средним (16–26 %). Однако в течение вегетации мы обнаружили существенные различия в динамике подвижного гумуса, в зависимости от применяемой обработки. Как известно, на интенсивность и удельную скорость разложения органического вещества оказывает влияние количество растительного материала, химический состав (отношение C/N) остатков растений, а также температура, влажность и окислительно-восстановительные условия [4, 10]. В данном случае, при возделывании яровой пшеницы с помощью отвальной вспашки, нулевой и минимальной обработки, главными факторами, определяющими процессы трансформации органического вещества, становятся количество растительного опада, наличие доступной влаги и кислорода в почве.

На рисунке 1 представлена динамика содержания углерода подвижного гумуса и в его составе динамика углерода новообразованных гуминовых и фульвокислот в агрочерноземе в течение вегетационного периода 2012 г. Погодные условия этого периода можно охарактеризовать, как более жаркие и засушливые по сравнению со средними многолетними значениями (табл. 2). Меньше всего осадков отмечено в июне и июле, в этот период их количество было всего около 30–35 % от нормы. В связи с этим влажность почвы в июле, когда были исчерпаны запасы влаги зимне-весеннего периода, оказалась ниже 50 % от НВ. Самым влажным был август – выпало 68,2 мм осадков, в этот период их количество превысило среднемноголетнюю норму на 10 %, и ГТК составил 1,5, а влажность почвы оказалась на уровне 70 % от наименьшей влагоемкости. Общее количество влаги за вегетационный период 2012 г. составило 134 мм, что намного ниже среднемноголетних значений, в результате за вегетацию 2012 г. ГТК составил 0,75. Однако следует отметить, что в течение всей вегетации при нулевой технологии обработки в верхнем 20 см слое почвы было больше доступной влаги, чем при отвальной вспашке и минимальной обработке.

## Погодные условия и влажность агрочернозема в период вегетации 2012 г.

| Параметр                  | Июнь | Июль | Август |
|---------------------------|------|------|--------|
| Температура воздуха, °С   | 19,1 | 19,8 | 14,7   |
| Осадки, мм                | 14,9 | 27,2 | 68,2   |
| Влажность почвы, %:       |      |      |        |
| отвальная обработка       | 34,5 | 21,0 | 31,9   |
| нулевая обработка         | 34,9 | 22,2 | 32,0   |
| минимальная обработка     | 31,2 | 19,3 | 30,0   |
| Влажность почвы, % от НВ: |      |      |        |
| отвальная обработка       | 76,1 | 47,7 | 72,5   |
| нулевая обработка         | 79,3 | 48,2 | 72,7   |
| минимальная обработка     | 70,9 | 43,9 | 68,2   |

Динамика содержания щелочегидролизуемого углерода гумуса в агрочерноземе во многом определяется динамикой содержания углерода новообразованных гуминовых кислот. Содержание углерода фульвокислот в изученных агрочерноземах в течение вегетации достоверно не изменяется и остается на одном уровне при разной обработке почвы. Это объясняется особыми условиями черноземного процесса почвообразования в лесостепной зоне Красноярского края, при которых гумус имеет ярко выраженный гуматный и фульватно-гуматный тип [2]. Эта тенденция, на наш взгляд, сохраняется и для новообразованных гумусовых веществ. Отношение  $S_{гк}/S_{фк}$  в подвижном гумусе составляло от 1,3 до 4,4 в течение вегетации, а в среднем при отвальной обработке было 2,1; при нулевой обработке – 2,5; при минимальной обработке – 2,3, что говорит о гуматном типе новообразованного гумуса.

В начале июня содержание щелочегидролизуемого углерода гумуса в почве при отвальной и минимальной обработке было на уровне 230–260 мг/100 г, при нулевой обработке оказалось около 370 мг/100 г.

В конце июня, при значительном снижении осадков и возрастании температуры, происходит увеличение концентрации щелочегидролизуемого углерода гумуса за счет увеличения концентрации гуминовых кислот при отвальной и минимальной обработке почвы, а при нулевой технологии содержание углерода гуминовых кислот остается на прежнем уровне.

В июле при отвальной вспашке и нулевой обработке происходит достоверное снижение содержания подвижного гумуса до 240–170 мг /100 г, при минимальной обработке содержание  $C_{NaOH}$  остается на прежнем уровне. С резким увеличением количества осадков, понижением температуры и поступлением в почву опада пшеницы в августе содержание углерода гуминовых кислот в агрочерноземе увеличивается при отвальной вспашке и нулевой обработке, а при минимальной обработке сокращается на 30 %.

Таким образом, при отвальной вспашке и нулевой обработке характер динамики содержания подвижного гумуса схожий, обнаруживаются пики в июне и августе, а в июле содержание углерода новообразованного гумуса снижается. При минимальной обработке содержание щелочегидролизуемого углерода гумуса снижается к августу. Причины этому могут быть разные, при отвальной вспашке снижение концентрации  $C_{NaOH}$  может быть вызвано минерализацией новообразованного гумуса, а при нулевой и минимальной обработке – его дальнейшей гумификацией. Применение нулевой и минимальной технологии исключает активное перемешивание гумусного горизонта почвы, в результате уменьшается его аэрация, возможно, это способствовало замедлению биodeградации уже существующих гумусовых веществ и переходу новообразованного гумуса в более инертную и конденсированную форму. Все это могло отразиться на увеличении содержания гумуса в почве в течение вегетации 2012 г. По нашим данным, содержание гумуса при нулевой обработке увеличилось на 0,35 мг/100 г, что составило 7,2 % по отношению к его содержанию при отвальной вспашке. Коэффициент пространственного варьирования гумуса при нулевой обработке достигает 19 %, следовательно, такое увеличение содержания гумуса не достоверно. Для более точного анализа и

выявления закономерностей в динамике содержания гумуса под влиянием способа обработки почвы необходимо не менее 5–10 лет исследований на одном участке.

Исходя из концентрации гумусовых веществ и плотности сложения пахотного слоя [8], мы определили их запасы. Запасы стабильного гумуса в изученном агрочерноземе были 46–51 т/га, или 85–87 % от всего запаса гумусовых веществ в почве (рис. 2).

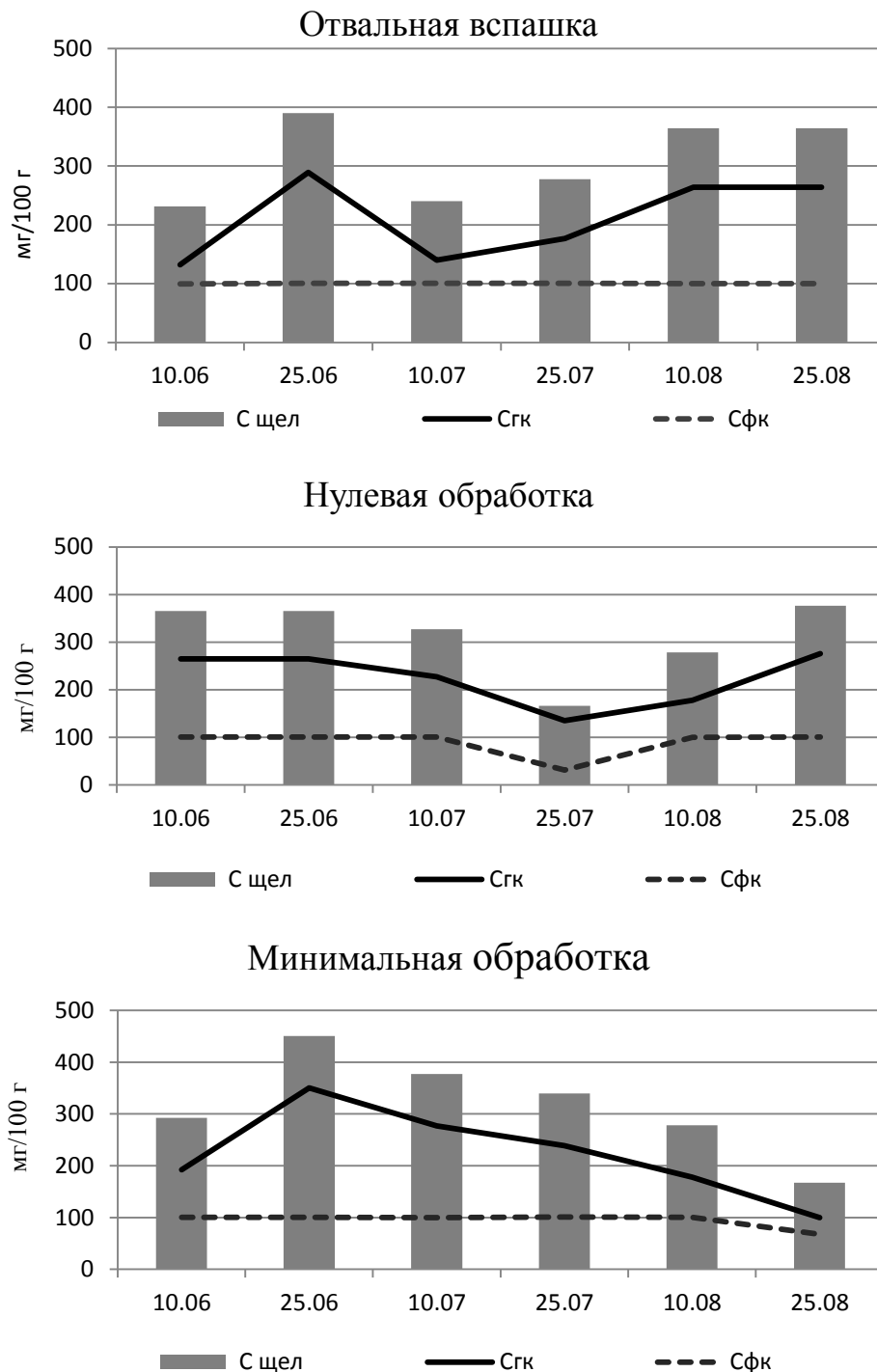


Рисунок 1 – Динамика содержания углерода подвижных компонентов гумуса в агрочерноземе при разных технологиях обработки почвы, мг/100 г: Щел – щелочегидролизуемый углерод гумуса; Сгк – углерод новообразованных гуминовых кислот; Сфк – углерод новообразованных фульвокислот

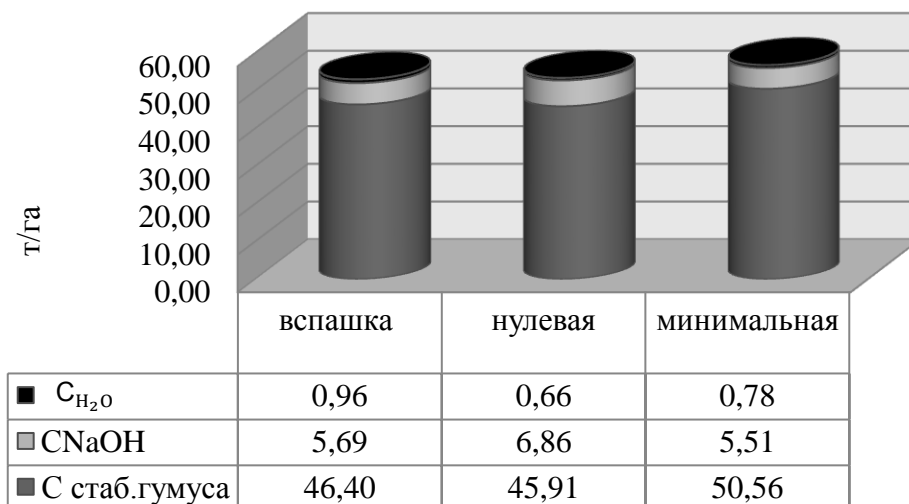


Рисунок 2 – Запасы углерода стабильного и подвижного гумуса в агрочерноземе, т/га: C стаб.гумуса – углерод стабильного гумуса; C<sub>NaOH</sub> – щелочегидролизуемый углерод гумуса; C<sub>H<sub>2</sub>O</sub> – водорастворимый углерод гумуса

Консервативная и наибольшая часть гумуса не участвует в динамических процессах биологического круговорота, она обеспечивает стабильность почвенных признаков и свойств на протяжении длительного периода. Подвижный гумус постоянно обновляется за счет протекающих в почве процессов минерализации и гумификации, его запас в почве незначительный, но именно он обеспечивает ее отклик на внешние воздействия и формирует часть эффективного плодородия [12, 15]. Запасы водорастворимого гумуса составили от 0,7 до 1 т/га, или 1–2 %, запасы щелочегидролизуемого углерода гумуса оказались 5,5–6,9 т/га, или 11–13 % от всего углерода гумуса.

#### Выводы:

1. В первый год применения ресурсосберегающих технологий возделывания пшеницы содержание водорастворимого углерода гумуса при нулевой обработке достоверно снизилось на 44,8 % по отношению к отвальной вспашке. Это может быть обусловлено уплотнением пахотного слоя, ухудшением аэрации и снижением биологической активности агрочернозема. При минимальной обработке содержание водорастворимого углерода гумуса было на уровне 50–60 мг/100 г, достоверных изменений по сравнению с отвальной вспашкой не обнаружено.

2. Динамика содержания щелочегидролизуемого углерода гумуса в агрочерноземе во многом определяется динамикой содержания углерода новообразованных гуминовых кислот. Отношение C<sub>гк</sub>/C<sub>фк</sub> в подвижном гумусе при отвальной обработке было 2,1; при нулевой обработке – 2,5; при минимальной обработке – 2,3, что говорит о гуматном типе новообразованного гумуса.

3. В варианте с минимальной обработкой динамика содержания щелочегидролизуемого углерода гумуса отличается резким возрастанием в середине июля и постепенным снижением к августу. При нулевой обработке и отвальной вспашке наблюдалось резкое снижение концентрации щелочегидролизуемого углерода гумуса в самый засушливый и жаркий период в июле. Однако среднее содержание C<sub>NaOH</sub> не имело достоверных различий в зависимости от обработки почвы и составило 311–317 мг/100 г.

4. Запасы подвижных и стабильных компонентов гумусовых веществ не имели существенных различий в зависимости от способа обработки почвы в первый год применения ресурсосберегающих технологий. Запасы углерода подвижного гумуса в агрочерноземе были около 6–7 т/га, или 12–15 % от всего запаса гумуса. Запасы углерода стабильного гумуса преобладали и были около 85–87 %.

Литература

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
2. *Бугаков П.С., Чупрова В.В.* Агрономическая характеристика почв, земледельческой зоны Красноярского края: учеб. пособие. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 1995. – 176 с.
3. *Власенко О.А.* Пространственное варьирование и запасы легкоминерализуемого органического вещества в агроэкосистемах Красноярской лесостепи // Почвы Сибири: особенности функционирования, использования и охраны.– 2011. – Вып.4. – С.129–133.
4. Влияние влажности на стабильность органического вещества почв и растительных остатков / *А.С. Тулина, В.М. Семенов, Л.Н. Розанова [и др.]* // Почвоведение. – 2009. – № 11. – С. 1333–1340.
5. Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема выщелоченного в лесостепи Западной Сибири / *И.Н. Шарков, Л.М. Самохвалова, П.В. Мишина [и др.]* // Почвоведение. – 2014. – № 4. – С.473–479.
6. Идентификация лабильного и устойчивого пулов органического вещества в агросерой почве / *А.А. Ларионова, Б.Н. Золотарева, И.В. Евдокимов [и др.]* // Почвоведение. – 2011. – № 6. – С.658–698.
7. *Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // Почвоведение. – 2014. – № 6. – С. 724–733.
8. *Кураченко Н.Л., Лелякова А.А., Ржевская Н.И.* Пространственное варьирование плотности сложения черноземов в условиях ресурсосберегающих технологий//Проблемы современной аграрной науки: мат-лы междунар. заоч. науч. конф. – Красноярск, 2012. – С. 9–11.
9. *Носов Г.И., Крюков И.В.* Современные ресурсосберегающие технологии – важный фактор устойчивости роста АПК // Земледелие. – 2005. – № 3. – С. 14–16.
10. Связывание органического вещества в устойчивую к окислению форму при взаимодействии глинистых минералов с растительными остатками / *К.Г. Гиниятуллин [и др.]* // Почвоведение. – 2010. – № 10. – С. 1249–1264.
11. *Титлянова А.А., Чупрова В.В.* Изменение круговорота углерода в связи с различным использованием земель (на примере Красноярского края) // Почвоведение. – 2003. – № 2. –С. 211–219.
12. *Чупрова В.В.* Минерализуемый пул органического вещества в агрочерноземах юга Средней Сибири // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 9. – С. 83–89.
13. *Чупрова В.В., Белоусов А.А., Едимечев Ю.Ф.* Влияние агрогенных воздействий на трансформацию легкогидролизуемого органического вещества в черноземе Красноярской лесостепи // Сиб. вестн.с.-х. науки. – 2005. – № 1. – С. 3–8.
14. *Чупрова В.В., Люкшина И.В., Белоусов А.А.* Запасы и динамика легкоминерализуемой фракции органического вещества в почвах Средней Сибири // Вестн. КрасГАУ. – 2003. – Вып. 3. – С. 65–73.
15. *Шарков И.Н., Бреус И.П., Данилова А.А.* Роль легкоминерализуемого органического вещества в стабилизации запасов углерода в пахотных почвах // Сибирский экологический журнал. – 1994. – № 4. – С. 363–368.

