

УДК 631:81

UDC 633.1:632.51

06.01.01 Общее земледелие, растениеводство  
(сельскохозяйственные науки)

06.01.01 General agriculture and crop production  
(agricultural sciences)

### **АЗОТМИНЕРАЛИЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ КАК КОМПОНЕНТ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОЦЕНОЗА**

### **NITROGEN MINERALIZING ABILITY OF SOILS AS A COMPONENT OF AGROCENOSIS SUSTAINABILITY**

Новиков Алексей Алексеевич  
Доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
ORCID: 0000-0001-9013-2629  
SPIN-код: 6421-5833  
E-mail: al.al.novikov@gmail.com

Novikov Aleksey Alekseyevich  
Doctor of Agricultural Sciences, Professor  
ORCID: 0000-0001-9013-2629  
RSCI SPIN-code: 6421-5833E-mail:  
al.al.novikov@gmail.com

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный  
институт имени А. К. Кортунова – филиал  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Донской государственный  
аграрный университет», Россия, Ростовская  
область, Новочеркасск*

*Novocherkassk Engineering and Reclamation  
Institute named after A. K. Kortunov - branch of the  
Federal State Budgetary Educational Institution of  
Higher Education "Don State Agrarian University"  
Russia, Rostov region, Novocherkassk*

Представлены результаты определения азотминерализующей способности чернозема обыкновенного Ростовской области в различных условиях влажности почвы, температуры, содержания аммонийного и нитратного азота при внесении различных доз азотных удобрений. Для этих целей проводили компостирование почвы чернозема обыкновенного в поле чистого пара и озимой пшеницы, возделываемой по кукурузе на силос. Азотные удобрения вносились в почву перед компостированием в дозах 0 – контроль без удобрения, N<sub>30</sub>, N<sub>60</sub>, N<sub>120</sub>, N<sub>150</sub>. Установлено, что азотминерализующая способность почвы парового поля в наибольшей степени зависела от начального содержания нитратного и аммонийного азота в почве и ее температуры, зависимость от наличия влаги в почве также была относительно высокой. Совместная зависимость этих показателей тесная. При возделывании озимой пшеницы по кукурузе действие изучаемых факторов было ниже, но совместное их влияние такое же, как и в поле чистого пара. В итоге азотминерализующая способность почвы парового поля составила 81 мг/кг, азотминерализующая способность чернозема обыкновенного под озимой пшеницей, возделываемой по кукурузе на силос – 46,1 мг/кг

The results of determining the nitrogen mineralizing ability of ordinary chernozem of the Rostov region under various conditions of soil moisture, temperature, ammonium and nitrate nitrogen content when applying various doses of nitrogen fertilizers are presented. For these purposes, composting of the soil of ordinary chernozem in the field of pure steam and winter wheat cultivated on corn for silage was carried out. Nitrogen fertilizers were applied to the soil before composting in doses 0 - control without fertilizer, N<sub>30</sub>, N<sub>60</sub>, N<sub>120</sub>, N<sub>150</sub>. It was found that the nitrogen-mineralizing ability of the soil of the steam field was most dependent on the initial content of nitrate and ammonium nitrogen in the soil and its temperature, the dependence on the presence of moisture in the soil was also relatively high. The joint dependence of these indicators is close. When cultivating winter wheat on corn, the effect of the studied factors was lower, but their combined effect is the same as in the field of pure steam. As a result, the nitrogen-mineralizing capacity of the soil of the fallow field was 81 mg/kg, the nitrogen-mineralizing capacity of ordinary chernozem under winter wheat cultivated on corn for silage was 46.1 mg/kg

Ключевые слова: АЗОТ ПОЧВЫ,  
ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО,  
АЗОТМИНЕРАЛИЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ,  
ЧЕРНОЗЕМ ОБЫКНОВЕННЫЙ, ВЛАЖНОСТЬ,  
ТЕМПЕРАТУРА, ПЛОДОРОДИЕ

Keywords: SOIL NITROGEN, ORGANIC  
MATTER, NITROGEN MINERALIZING  
ABILITY, ORDINARY CHERNOZEM,  
HUMIDITY, TEMPERATURE, FERTILITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-173-008>

<http://ej.kubagro.ru/2021/09/pdf/08.pdf>

Важность минерализации азота для функционирования экосистемы и в частности агроценоза и создание общей их модели развития стимулирует усилия, направленные на понимание этих процессов и, следовательно, на увеличение возможностей прогнозировать нарушения в окружающей среде и на ключевые процессы, связанные с азотным циклом в почве [1-5].

При этом азотминерализующая способность почвы служит наиболее эффективным фактором устойчивости агроэкосистемы в целом.

Применение азотных удобрений, усиливает эффект устойчивого функционирования системы почва-растение [6-9].

Существует прямая связь между запасами азота в органическом веществе и накоплением минерального азота, так как на основании его количества определяется необходимость внесения азотных удобрений для питания сельскохозяйственных культур [11-13].

В целях диагностики азотного режима почв показатель азотминерализующей способности должен быть определен, так как характеризует обеспеченность растений азотом в начальный период роста и развития.

**Условия и методы.** Для определения потенциала минерализации почвенного азота лежит метод инкубирования почвенных образцов почвы в условиях, благоприятных для минерализации. Для определения потенциала потенциалов минерализации азота применяли уравнение первого порядка по методу В.Н. Башкина, описывающего накопление доступного азота ( $N-NH_4+N-NO_3$ ) в почве в зависимости от доз азотных удобрений [13].

Для этих целей проводили компостирование почвы в течение 4 недель образцов почвы из слоя 0-30 см чернозема обыкновенного Ростовской области. Образцы почвы отбирали из поля чистого пара и озимой пшеницы, возделываемой по кукурузе, при температуре 18-28°C и влажности 40-80% ППВ. В образцы почвы перед компостированием

вносили азотные удобрения в дозах 0, N<sub>30</sub>, N<sub>60</sub>, N<sub>120</sub>, N<sub>150</sub>, наиболее приближенные к действительным значениям в полевых условиях, изучаемых агроценозов.

**Результаты исследований.** Установлено, что главными движущими факторами, которые влияли на минерализацию азота в поле чистого пара, являлись как гидротермические факторы, так и количество в почве аммонийного и нитратного азота, особенно с мая по август (табл. 1).

Таблица 1 - Динамика азотминерализующей способность в пахотном слое чернозема обыкновенного чистого пара

Показатель	Сроки отбора						
	март-апрель	апрель-май	май-июнь	июнь-июль	июль-август	август-сентябрь	сентябрь-октябрь
1-й год							
1	25,0	25,9	25,9	23,2	21,1	24,0	23,5
2	10,0	13,2	21,4	22,0	23,5	14,7	13,1
3	7,1	8,0	28,8	38,6	49,5	13,7	10,2
4	68,0	102,0	95,0	133,0	193,0	71,0	62,0
2-й год							
1	28,2	26,2	29,4	26,0	25,9	26,1	25,8
2	7,0	11,4	16,2	21,7	22,6	22,7	13,7
3	4,3	3,6	7,6	16,8	22,6	20,8	22,8
4	60,0	40,0	45,0	78,0	100,0	98,0	67,0
3-й год							
1	30,0	26,0	28,1	30,8	28,5	27,9	26,7
2	8,8	12,7	17,0	22,0	22,9	16,0	13,8
3	6,4	5,6	11,4	7,6	25,1	17,7	10,2
4	55,0	48,0	69,0	71,0	118,0	77,0	60,0

Примечание. 1 – влажность почвы, %; 2 – температура °С; 3 – исходное количество N<sub>мин</sub> в почве, мг/кг; 4 – азотминерализующая способность, мг/кг

В ране-весенний период (март-апрель) при содержании влаги в почве 25%, минимальных температуре 10°С почвы и содержании минерального азота 7,1 мг/кг минерализация азотных компонентов составляла 68,0 мг на 1 кг почвы.

К началу лета (май-июнь) азотминерализующая способность существенных преобразований не претерпела в сравнении с предыдущим

сроком, несмотря на то, что изменялся температурный режим почвы и количество аммонийного и нитратного азота при неизменной влажности почвы.

В июне-июле минерализация возрастала при остающейся практически неизменной влажности и температуры почвы, но росте количества минерального азота. Наибольших показателей минерализация азотсодержащих соединений достигала во второй половине лета – 193 мг/кг. В этот период влажность была в пределах 21,1%, наблюдалась наибольшая температура почвы – 23,5°C и максимальное количество минерального азота – 49,5 мг на 1 кг почвы.

В следующие два срока компостирования снижалась микробиологическая активность почвы, так как резко падала температура до 14,7-13,1°C, и количество минеральных форм азота в 2-4 раза, что привело к снижению количества минерализованного азота практически до исходного ранневесеннего уровня – 71,0-62,0 мг на 1 кг почвы.

В среднем за первый период наблюдения величина азотминерализующей способности составила 103 мг/кг почвы и имела достоверную, достаточно высокую корреляционную зависимость с температурой почвы согласно уравнению регрессии:  $y_t = -13,48 + 6,94t$  ( $r = 0,79$ ) и с исходным содержанием минерального азота:  $y_n = 48,49 + 2,47n$  ( $r = 0,89$ ). Корреляционная зависимость азотминерализующей способности почвы от влажности почвы также находится на достаточно высоком уровне и определялась уравнением:  $y_w = -340,58 + 10646,24/w$  при  $r = 0,71$ .

Уравнение множественной регрессии, описывающее совместное влияние температуры почвы, содержания минерального азота и влажности на азотминерализующую способность, имеет вид:  $y_{tnw} = 53,82 - 4,11t + 0,008n^2 + 0,004w^2$  ( $r = 0,96$ ).

Особенность второго года заключалась в ранней, но затяжной весне, температура почвы была не высокой - 7,0°C, влажность – 28,2%,

количество азота нитратов и аммония – 4,3 мг/кг. При этом и минерализация доступных форм азота составила 60,0 мг/кг.

В следующие два срока температура почвы возрастала до 11,4-16,2°C, влажности почвы до 29,4% содержания нитратного и аммонийного азота было низким, что не могло не повлиять на минерализующую способность почвы, которая оказалась не больше, чем в начальный период.

К середине лета температура почвы повышалась на фоне снижающейся влажности, что способствовало активизации микробиологической деятельности и способствовало увеличению количества нитратов и аммония, увеличивая при этом минерализационный потенциал на 74-95%.

Наибольших величин минерализационный потенциал достигал во второй половине лета (июль-август), когда и температура почвы, и содержание минерального азота оказались на достаточно высоком уровне. К осени количество  $N_{\text{мин}}$  и влажность почвы оставались на высоком уровне, однако температура падала до 13,7°C, что обусловило затухание процессов минерализации азотных компонентов до 67 мг/кг.

В итоге в среднем азотминерализующая способность была ниже, чем в первый год, и составила 70 мг/кг, корреляционная зависимость ее от температуры, исходного содержания нитратов и аммония и влажности достоверная. Математические регрессии, показывающие взаимосвязь между температурой и процессом минерализации азота:  $y_t = 21,65 + 2,92t$  ( $r = 0,76$ ), содержанием нитратного и аммонийного азота:  $y_n = 37,92 + 2,26n$  ( $r = 0,82$ ), количеством влаги:  $y_w = -191,49 + 6984,40/w$  ( $r = 0,55$ ).

Анализ влияния изучаемых факторов в третий год наблюдений показал, что они мало отличались от года предыдущего по гидротермическому режиму, но содержание нитратного и аммонийного азота в первые три срока определения было более высоким, в июне-июль - в два раза меньшим. Летом количество нитратов и аммония достигало –

25,1 мг/кг, к осени относительно предыдущего периода падало до 17,7 и 10,2, при этом мобилизационная способность существенных изменений не имела за исключением июля-августа, когда она была, как и в прошлые годы, максимальной. В среднем за период с марта по октябрь величина азотминерализующей способности такая же, как и во второй год – 71 мг/кг.

Уравнение регрессии зависимости азотминерализующей способности и содержанием минерального азота определялось уравнением:  $y_n = 34,76 + 3,03n$  ( $r = 0,93$ ); с температурой:  $y_t = 13,96 + 3,54t$  ( $r = 0,78$ ). Зависимость азотминерализующей способности от влажности парового поля, характеризуется как не достоверная -  $r = 0,25$ , уравнение множественной регрессии имеет вид  $y_w = 167,08 - 2705,2/w$ . Совместное влияние изучаемых факторов на минерализацию азота очень высоко -  $r = 0,99$ , а уравнение имеет вид:  $y_{t,n,w} = 17,47 + 1,09t + 0,09n^2 + 0,001w^3$ .

Азотминерализующая способность почвы парового поля в среднем за 3 года изучения составила 81 мг/кг и в наибольшей степени зависела от исходного содержания нитратного и аммонийного азота в почве:  $y_n = 39,04 + 2,63n$  ( $r = 0,90$ ) и ее температуры:  $y_t = 7,73 + 4,47t$  ( $r = 0,67$ ), зависимость от наличия влаги в почве средняя:  $y_w = -147,37 + 5991,44/w$  ( $r_w = 0,60$ ). Уравнение математической зависимости при совместном влиянии изучаемых факторов имеет вид:  $y_{n,t,w} = 46,04 + 2,23n + 0,03t^2 - 0,001w^3$ , зависимость тесная -  $r = 0,90$ .

При изучении азотминерализующей способности в поле озимой пшеницы, возделываемой по кукурузе на силос содержание минерального азота в слое почвы 0-30 см в среднем за годы исследований меньше, чем в почве чистого пара. С марта по июнь оно падало до 3,52 мг/кг и только после уборки в августе-сентябре возрастало до 8,83 мг/кг. Температура почвы колебалась в пределах от 7,4 до 24,0°C.

В фазу весеннего отрастания, выход в трубку (март-апрель) минерализация несколько снижалась от 50,4 до 45,2 мг/кг при

одновременном повышении температуры (в 2 раза) и снижении влажности почвы (табл. 2).

Таблица 2 - Динамика азотминерализующей способности чернозема обыкновенного при возделывании озимой пшеницы по кукурузе, мг/кг

Показатель	Сроки отбора					
	март-апрель	апрель-май	май-июнь	июнь-июль	июль-август	август-сентябрь
1	28,5	23,5	20,3	22,4	23,3	21,4
2	7,4	15,6	17,6	23,0	24,0	20,0
3	4,84	5,31	3,91	3,52	4,79	8,83
4	50,4	45,2	37,6	44,2	49,4	50,2

Примечание. 1 – влажность почвы, %; 2 – температура почвы, °С; 3 – исходное содержание  $N_{мин}$ , мг/кг; 4 – азотминерализующая способность, мг/кг

В фазу колошение-цветение (май-июнь), температура продолжала нарастать, влажность падать, растения наиболее интенсивно потребляли образующийся азот, азотминерализующая способность была минимальной - 37,6 мг/кг.

В послеуборочный период (июль-август) при повышении температуры и влажности почвы минерализация возрастала, достигая уровня весеннего периода. В последний срок определения – сентябрь температура и влажность несколько снижались, азотминерализующая способность оставалась без изменений.

Математическая зависимость минерализации в почве от содержания минерального азота выражалась уравнением:  $y_n = 57,39 - 53,53/n$  ( $r = 0,60$ ), от влажности почвы:  $y_w = 72,72 - 607,88/w$  ( $r = 0,59$ ), зависимость от температуры не достоверная:  $y_t = 43,51 + 40,73/t$  ( $r = 0,25$ ), уравнение множественной регрессии имеет вид  $y_{n,t,w} = -18,98 + 1,64n + 0,57t^2 + 2,00w^3$  ( $r = 0,93$ ).

**Выводы.** В среднем за 3 года изучения минерализация азота в почве парового поля составила 81 мг/кг и в наибольшей степени зависела от исходного содержания минерального азота в почве.

1. Азотминерализующая способность чернозема обыкновенного в поле озимой пшеницей, возделываемой по кукурузе на силос, в среднем за годы исследований меньше, чем в почве чистого пара – 46,1 мг/кг.

3. Азотминерализующая способность почв является количественным показателем, отражающим конкретный уровень плодородия, различные аспекты экологической трансформации минеральных азотных соединений в почве, позволяет прогнозировать экологически безопасные дозы удобрений для получения урожайности сельскохозяйственных культур заданного уровня.

### Список литературы

1. Гамзиков Г. П. Агрохимия азота в агроценозах / Г. П. Гамзиков. – Новосибирск: РАСХН, 2013. – 790 с.
2. Назарюк, В. М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах / В. М. Назарюк. – Новосибирск: СО РАН, 2002. – 257 с.
3. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. – М.: АН СССР, 1963. – 314 с.
4. Башкин В.Н. Агрогеохимия азота. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1987. – 270 с.
5. Тейт Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 400 с.
6. Griffin G.F., A.F. Laine Nitrogen mineralization in soils previously amended with organic wastes // *Agron. J.* - 1983. - №75. - P.124-129.
7. Sollins P., G. Spycher, C.A. Glassman. Net nitrogen mineralization from light and heavy-fraction forest soil organic matter // *Soil Biol. Biochem.* - 1984. - № 16. – P. 31-37.
8. Högborg, M. N. Gross nitrogen mineralization and fungi-to-bacteria ratios are negatively correlated in boreal forests / M. N. Högborg, Y. Chen P. Högborg // *Biology and Fertility of Soils.* –2007. –V. 44. –No. 2. –P. 363-366.
9. A novel <sup>15</sup>N tracer model reveals: Plant nitrate uptake governs nitrogen transformation rates in agricultural soils / E. Inselsbacher, W. Wanek, J. Strauss, S. Zechmeister-Boltenstern, C. Muller // *Soil Biology and Biochemistry.* – 2013. – Vol. 57. – P. 301–310. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio>.
10. Новиков А.А. Эколого-мелиоративное состояние черноземных почв южного региона России. – LAP Lambert Academic Publishing: Saarbrücken, 2015. 112 с.
11. Новиков А. А. Равновесное состояние азота в системе почва – растение / А. А. Новиков, Е. Ю. Кривоконева // *Труды Кубанского государственного аграрного университета.* 2007. Вып. 4(8). С. 124–126.
12. Новиков А.А. Азот и его фракционный состав в черноземе обыкновенном Ростовской области при внесении удобрений // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации,* № 2(38), 2020 г., с 140–150. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-140-150.
13. Башкин В.Н. Определение азотминерализующей способности почв // *Земледелие.* 1986. № 11. С. 58-59.



## References

1. Gamzikov G. P. Agrohimiya azota v agrocenozah / G. P. Gamzikov. – Novosibirsk: RASHN, 2013. – 790 s.
2. Nazarjuk V. M. Balans i transformacija azota v agrojekosistemah / V. M. Nazarjuk. – Novosibirsk: SO RAN, 2002. – 257 s.
3. Kononova M.M. Organicheskoe veshhestvo pochvy. – M.: AN SSSR, 1963. – 314 s.
4. Bashkin V.N. Agrogeohimiya azota. – Pushhino: ONTI NCBI AN SSSR, 1987. – 270 s.
5. Tejt R. Organicheskoe veshhestvo pochvy: Biologicheskie i jekologicheskie aspekty: Per. s angl. – M.: Mir, 1991. – 400 s.
6. Griffin G.F., A.F. Laine Nitrogen mineralization in soils previously amended with organic wastes // *Agron. J.* - 1983. - №75. - P.124-129.
7. Sollins P., G. Spycher, C.A. Glassman. Net nitrogen mineralization from light and heavy-fraction forest soil organic matter // *Soil Biol. Biochem.* - 1984. - № 16. – P. 31-37.
8. Högberg, M. N. Gross nitrogen mineralization and fungi-to-bacteria ratios are negatively correlated in boreal forests / M. N. Högberg, Y. Chen P. Högberg // *Biology and Fertility of Soils.* –2007. –V. 44. –No. 2. –P. 363-366.
9. A novel <sup>15</sup>N tracer model reveals: Plant nitrate uptake governs nitrogen transformation rates in agricultural soils / E. Inselsbacher, W. Wanek, J. Strauss, S. Zechmeister-Boltenstern, C. Muller // *Soil Biology and Biochemistry.* – 2013. – Vol. 57. – P. 301–310. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio>.
10. Novikov A.A. Jekologo-meliorativnoe sostojanie chernozemnyh pochv juzhnogo regiona Rossii. – LAP Lambert Academic Publishing: Saarbrücken, 2015. 112 s.
11. Novikov A. A. Ravnovesnoe sostojanie azota v sisteme pochva – rastenie / A. A. Novikov, E. Ju. Krivokoneva // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2007. Vyp. 4(8). S. 124–126.
12. Novikov A.A. Azot i ego frakcionnyj sostav v chernozeme obyknovennom Rostovskoj oblasti pri vnesenii udobrenij // *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii,* № 2(38), 2020 g., s 140–150. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-140-150.
13. Bashkin V.N. Opredelenie azotmineralizujushhej sposobnosti pochv // *Zemledelie.* 1986. № 11. S. 58-59.