



# Потоки азота в агроэкосистеме: состояние и регулирование

Академик РАН Алексей Анатольевич Завалин

# Содержание лекции

- - валовые сборы и затраты элементов питания на производство растениеводческой продукции
- применение минеральных удобрений
- биологический азот в земледелии России
- баланс азота в земледелии России
- использование растениями и потери азота удобрений
- газообразные потери
- эмиссия закиси азота
- пути снижения газообразных потерь азота

# Круговорот азота в природе



Азот непрерывно циркулирует в земной биосфере под влиянием различных химических и нехимических процессов и благодаря деятельности человека.

# Валовые сборы основных сельскохозяйственных культур в 2016-2020 гг. и прогноз производства продукции растениеводства к 2030 г., млн. т

| Культуры                | Среднегодовой сбор за 2016-2020 гг. | Прогноз к 2030 г.         |                       |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------|
|                         |                                     | технологическая адаптация | технологический рынок |
| Зерновые и зернобобовые | 124,74                              | 146,7                     | 161,2                 |
| в т.ч. пшеница          | 78,4                                | 88,6                      | 97,2                  |
| кукуруза                | 13,53                               | 24,5                      | 26                    |
| ячмень                  | 19,4                                | 15,8                      | 25,1                  |
| рожь                    | 2,163                               | 1,8                       | 2,9                   |
| гречиха                 | 1,065                               | 1,5                       | 1,8                   |
| рис                     | 1,069                               | 1,4                       | 2,1                   |
| прочие                  | 10,9                                | 13,1                      | 6,1                   |
| Масличные, всего        | 15,4                                | 23,8                      | 26,7                  |
| т.ч.: подсолнечник      | 12,52                               | 14,1                      | 15,2                  |
| соя                     | 3,877                               | 4,1                       | 5,8                   |
| рапс                    | 1,827                               | 4,7                       | 6                     |
| прочие                  | 0,70                                | 0,90                      | 1,50                  |
| Сахарная свекла         | 46,41                               | 66,6                      | 77,8                  |
| Картофель               | 21,64                               | 38                        | 40,3                  |
| Овощи, всего            | 13,67                               | 17,6                      | 21                    |
| в т.ч. открытый грунт   | 12,0                                | 16,1                      | 17,7                  |
| защищенный грунт        | 1,672                               | 1,5                       | 3,3                   |

## Среднегодовое накопление основных элементов питания в биомассе сельскохозяйственных культур и вынос их с урожаем основной продукции, млн. т.

| Показатель                                    | N           | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Сумма        |
|---|-------------|-------------------------------|------------------|--------------|
| В среднем за 2016-2020 гг.                    |             |                               |                  |              |
| Накопление в урожае                           | <b>5,38</b> | <b>1,82</b>                   | <b>5,88</b>      | <b>13,08</b> |
| Вынос с основной продукцией                   | <b>3,24</b> | <b>1,15</b>                   | <b>1,16</b>      | <b>5,55</b>  |
| Прогноз по сценарию технологической адаптации |             |                               |                  |              |
| Накопление в урожае                           | <b>5,77</b> | <b>2,25</b>                   | <b>6,02</b>      | <b>14,04</b> |
| Вынос с основной продукцией                   | <b>3,91</b> | <b>1,34</b>                   | <b>1,47</b>      | <b>6,73</b>  |
| Прогноз по сценарию технологический рывок     |             |                               |                  |              |
| Накопление в урожае                           | <b>6,39</b> | <b>2,58</b>                   | <b>6,71</b>      | <b>15,68</b> |
| Вынос с основной продукцией                   | <b>4,36</b> | <b>1,50</b>                   | <b>1,64</b>      | <b>7,50</b>  |

## Российский экспорт зерна и вывоз с ним основных элементов питания в 2020-2021 сельскохозяйственном году

| Культуры       | Экспорт,<br>млн. т | N      | P205  | K20   | Сумма  |
|----------------|--------------------|--------|-------|-------|--------|
|                |                    | тыс. т |       |       |        |
| Всего зерновых | 48,2               | 949,2  | 315,4 | 245,3 | 1509,9 |
| Пшеница        | 39,5               | 782,1  | 252,8 | 197,5 | 1232,4 |
| Ячмень         | 5,93               | 115,0  | 42,1  | 35,6  | 192,7  |
| Кукуруза       | 2,77               | 52,1   | 20,5  | 12,2  | 84,8   |

## Производство минеральных удобрений в Мире и Российской Федерации, млн. т д.в.

| Удобрение | 2018 год |        | 2019 год |        |
|-----------|----------|--------|----------|--------|
|           | Мир      | Россия | Мир      | Россия |
| Азотные   | 169,3    | 10,4   | 171,3    | 10,9   |
| Фосфорные | 52,8     | 4,0    | 54,1     | 4,3    |
| Калийные  | 47,4     | 8,4    | 49,8     | 9,2    |
| Всего     | 269,5    | 22,8   | 275,2    | 24,4   |

# План по наращиванию приобретения минеральных удобрений с учетом производства продукции растениеводства на 2020-2025 годы, тыс. тонн. д.в. По данным Минсельхоза России

| Федеральные округа          | 2019 г.<br>(базовый) | 2021 г.       | 2023 г.       | 2025 г.       | Научно-обоснованная норма | % от нормы  | Прирост к 2019 г, % |
|-----------------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------|-------------|---------------------|
| Центральный                 | 1274,0               | 1344,1        | 1518,2        | 1687,2        | 2487,0                    | 67,8        | 32,4                |
| Северо-Западный             | 74,8                 | 105,4         | 111,1         | 115,2         | 235,2                     | 49,0        | 53,9                |
| Южный                       | 897,2                | 928,4         | 978,6         | 1027,3        | 1731,0                    | 49,3        | 14,5                |
| Северо-Кавказский           | 341,7                | 340,3         | 378,0         | 418,4         | 725,7                     | 57,7        | 22,4                |
| Уральский                   | 93,6                 | 106,5         | 114,8         | 125,9         | 434,3                     | 29,0        | 34,5                |
| Приволжский                 | 619,7                | 697,3         | 746,9         | 791,1         | 1506,8                    | 52,5        | 27,7                |
| Сибирский                   | 168,4                | 206,4         | 226,1         | 249,9         | 1158,4                    | 21,6        | 48,4                |
| Дальневосточный             | 59,9                 | 127,3         | 166,5         | 208,1         | 300,6                     | 69,2        | 247,2               |
| <b>Российская Федерация</b> | <b>3529,3</b>        | <b>3855,8</b> | <b>4240,3</b> | <b>4623,1</b> | <b>8490,7</b>             | <b>54,4</b> | <b>31,0</b>         |



# Поставки минеральных удобрений российским сельхозтоваропроизводителям

Структура поставок, %



## Производители азотных удобрений

- Фосагро
- Еврохим
- Уралхим
- Куйбыше в азот
- Агрон
- Другие

- ▶ Среди производимых удобрений азотные - наиболее конкурентный сегмент. Их выпускают более 10 компаний, самые крупные из которых – «Еврохим», «Акрон», «Уралхим», «СДС Азот» и «Фосагро».
- ▶ На компании «Еврохим» и «Акрон» приходится около половины доли рынка.
- ▶ Азотные удобрения и самые популярные: на них приходится более половины спроса в пересчете на 100% действующее вещество.

## Накопление биологического азота в биомассе бобовых культур в земледелии России. В среднем за 2016-2020 гг.

| Культуры          | Площадь, тыс. га | Общий азот, тыс. т | Биологический азот, тыс. т |
|-------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| Зернобобовые      | 2169,56          | 331,2              | 198,7                      |
| Соя               | 2752,04          | 394,7              | 236,8                      |
| Однолетние травы  | 3197,0           | 119,2              | 77,2                       |
| Многолетние травы | 8410,0           | 732,5              | 512,8                      |
| Итого             | 16528,6          | 1577,6             | 1025,7                     |

## Изменения накопления общего и биологического азота в биомассе (основная, побочная продукция и пожнивно-корневые остатки) бобовых культур

| Культуры             | Общий азот               |               |                 | Биологический азот       |               |                 |
|----------------------|--------------------------|---------------|-----------------|--------------------------|---------------|-----------------|
|                      | 2005-2010<br>гг., тыс. т | 2016-2020 гг. |                 | 2005-2010<br>гг., тыс. т | 2016-2020 гг. |                 |
|                      |                          | тыс. т        | к 2016-2010 гг. |                          | тыс. т        | к 2016-2010 гг. |
| Зернобобовые         | 155,7                    | 311,2         | 1,99            | 77,9                     | 198,7         | 2,55            |
| Соя                  | 135,4                    | 394,7         | 2,92            | 81,3                     | 236,8         | 2,91            |
| Однолетние<br>травы  | 129,8                    | 119,2         | 0,92            | 81,8                     | 77,4          | 0,58            |
| Многолетние<br>травы | 446,0                    | 732,5         | 1,64            | 303,3                    | 512,8         | 1,69            |
| Всего                | 866,9                    | 1577,6        | 1,82            | 544,3                    | 1025,7        | 1,88            |

<sup>1</sup> с учетом долевого участия бобовых 50%.

# ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО АЗОТА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИИ

- **Производство растительного белка (протеина):**  
при выращивании зернобобовых культур – **0,87 млн. т**,  
при выращивании сои – **1,02 млн. т**,  
при выращивании однолетних и многолетних трав – **2,53 млн. т** ;  
**всего 4,42 млн. т.**
- Вовлечение в земледелие биологического азота (**1025,7 тыс. т**) эквивалентно по действующему веществу **3,01 млн. т** аммиачной селитры и в денежном выражении составляет около **59,0 млрд. рублей**.
- Экономия условного топлива в эквиваленте аммиачной селитры составляет **2,82 млн.**
- После уборки бобовых культур в почве остается **566,6 тыс. т** биологического азота, который будет использован следующими культурами севооборота.

# СРЕДНЕГОДОВОЙ БАЛАНС АЗОТА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИИ (2016-2020 гг.), млн. т

| Расход  | Поступление   | Баланс |
|---|---|--------|
| 1. Накопление азота в<br>биомассе растений<br>(формирование урожая)<br>- 5,38       | Минеральные удобрения<br>1,58<br>Органические удобрения<br>0,34<br>Симбиотический азот -<br>1,02<br>Всего<br>2,94 | - 2,44 |
| 2. Вынос с отчуждаемым<br>урожаем - 3,24  |   | - 0,30 |
| - газообразные потери<br>- потери за счет эрозии,<br>- миграция по профилю<br>почвы | + с атмосферными осадками<br>0,4<br>+ за счет фиксации<br>свободноживущими<br>микроорганизмами<br>0,6             | ...?   |

# Использование растениями азота из различных форм удобрений, % от внесенной дозы ( $^{15}\text{N}$ )

| Культура          | Удобрение               |                          |               |                        |                           |                        |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
|                   | Аммиачная селитра (Naa) | Аммоний сернокислый (Na) | Мочевина (Nm) | Селитра натриевая (Nc) | Селитра кальциевая (Nckц) | Аммоний хлористый (Nx) |
| Гречиха           | 54                      | 55                       | 59            | -                      | 57                        | -                      |
| Картофель         | 37                      | 70                       | -             | 47                     | -                         | -                      |
| Кукуруза          | 42                      | 59                       | 29            | 78                     | 71                        | 33                     |
| Многолетние травы | 39                      | 50                       | 47            | 54                     | 48                        | -                      |
| Овес              | 58                      | 49                       | 52            | 51                     | -                         | -                      |
| Пшеница озимая    | 48                      | 31                       | 35            | -                      | -                         | 30                     |
| Пшеница яровая    | 42                      | 44                       | 44            | 48                     | -                         | -                      |
| Рис               | -                       | 37                       | 30            | -                      | 18                        | -                      |
| Хлопчатник        | 33                      | 22                       | 43            | -                      | 36                        | -                      |
| Ячмень            | 39                      | 45                       | 52            | 47                     | 48                        | -                      |

# Размеры потерь азота в процессе водной эрозии на различных почвах, кг/га

| Почва, регион                           | Потери азота со стоком, кг/га |           |           |
|---|-------------------------------|-----------|-----------|
|   | жидким                        | твердым   | общие     |
| Чернозем типичный, Курская обл.         | 0,4-0,5                       | 11,6-16,6 | 12,0-17,1 |
| Дерново-подзолистая, Смоленская обл.    | 3,1-5,6                       | 4,0-10,6  | 7,1-16,2  |
| Дерново-подзолистая, Нечерноземная зона | 1,4-12,5                      | 0,2-1,5   | 1,6-9,1   |
| Черноземы, Центрально-Черноземная зона  | 0,4-3,6                       | 0,5-5,5   | 0,9-9,1   |
| Дерново-подзолистая, Белоруссия         | 0,2-0,4                       | 0,3-13,4  | 0,5-13,8  |
| Дерново-подзолистая, Белоруссия         | 0,3-0,4                       | 0,1-12,8  | 0,3-13,2  |

## Влияние атмосферных осадков на потери азота в результате вымывания

| Число лет | Осадки        | Вымывание азота, кг/га |               |
|-----------|---------------|------------------------|---------------|
|           |               | зимний период          | летний период |
| 5         | Недостаточные | <b>11</b>              | <b>1</b>      |
| 7         | Средние       | <b>16</b>              | <b>7</b>      |
| 3         | Обильные      | <b>46</b>              | <b>14</b>     |



# ГАЗООБРАЗНЫЕ ПОТЕРИ АЗОТА

- Основными процессами образования газообразных соединений азота в почве являются: денитрификация, хемоденитрификация, нитрификационная денитрификация и нитрификация.

В процессе нитрификационной денитрификации происходит окисление  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_2$ , которое сменяется восстановлением  $\text{NO}_2$  до  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{N}_2$ .

Осуществляется этот процесс одной группой аммоний окисляющих микроорганизмов.

В процессе нитрификации аммоний превращается в гидроксилламин и  $\text{NO}_2$ , а побочным продуктом является  $\text{N}_2\text{O}$ . При метанотрофной нитрификации аммоний окисляется метанотрофными бактериями

# Потери азота удобрений из различных почв России

| Форма азотного удобрения | Потери азота удобрений,<br>% от вносимой дозы |
|--------------------------|---|
| Аммиачная селитра        | 11-48   |
| Сульфат аммония          | 9-47  |
| Мочевина                 | 14-50   |
| Натриевая селитра        | 26-49   |
| Калиевая селитра         | 11-29   |
| Цианамид кальция         | 10-39   |

## Размеры газообразных потерь азота удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур, % от применяемой дозы

| Сельскохозяйственная культура | Потери азота удобрения | Сельскохозяйственная культура     | Потери азота удобрения |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Озимая пшеница                | 19-44                  | Кукуруза, зеленая масса           | 22-33                  |
| Озимая рожь                   | 27-52                  | Лен                               | 32-38                  |
| Озимая пшеница                | 19-44                  | Многолетние злаковые травы        | 10-33                  |
| Яровая пшеница                | 19-32                  | Многолетние бобово-злаковые травы | 12-38                  |
| Ячмень                        | 25-35                  | Морковь столовая                  | 56-59                  |
| Овес                          | 19-31                  | Рапс                              | 13-30                  |
| Кукуруза, зерно               | 24-33                  | Сахарная свекла                   | 17-28                  |
| Рис                           | 29-58                  | Свекла кормовая                   | 26-31                  |
| Просо                         | 22-26                  | Свекла столовая                   | 21-40                  |
| Гречиха                       | 12-28                  | Среднее от меньшего к большему    | 22-33                  |
| Картофель                     | 20-36                  | Среднее общее                     | 25-20                  |
| Капуста белокочанная          | 22-29                  |                                   |                        |

## Газообразные потери азота при возделывании различных сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой почве

| Показатель                 | Многолетние бобово-злаковые травы |                       | Зерновые культуры |       |        |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------|-------|--------|
|                            | 1-го года пользования             | 2-го года пользования | озимая рожь       | овес  | ячмень |
| Всего, г/м <sup>2</sup>    | 18,26                             | 11,61                 | 10,98             | 20,59 | 28,43  |
| В т.ч., % :<br>N удобрения | 7,3                               | 8,5                   | 24,0              | 12,8  | 9,9    |
| N почвы                    | 29,2                              | 29,2                  | 76,0              | 87,2  | 90,1   |
| N симбиотический           | 63,5                              | 62,3                  | -                 | -     |        |

## Потери, использование и закрепление азота удобрения при возделывании озимых зерновых культур, % от внесенной дозы

| Срок внесения азотных удобрений      | Дерново-подзолистая песчаная почва |                         |                    | Дерново-подзолистая суглинистая почва |                         |                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------|
|                                      | потери                             | использовано растениями | закреплено в почве | потери                                | использовано растениями | закреплено в почве |
| Н осенью                             | <b>78</b>                          | <b>4</b>                | <b>18</b>          | <b>59</b>                             | <b>15</b>               | <b>26</b>          |
| Н по мерзлой почве                   | <b>40</b>                          | <b>44</b>               | <b>16</b>          | <b>40</b>                             | <b>35</b>               | <b>25</b>          |
| Н весной в начале вегетации растений | <b>19</b>                          | <b>66</b>               | <b>15</b>          | <b>28</b>                             | <b>31</b>               | <b>21</b>          |

## Потери азота удобрений при локальном и разбросном способе внесения, % от вносимой дозы

| Почва                   | Культура                  | Локальное внесение | Разбросное внесение |
|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|
| Серая лесная            | Картофель                 | 13                 | 35                  |
|                         | Кормовая свекла           | 22                 | 31                  |
|                         | Яровая пшеница            | 15                 | 32                  |
|                         | Кукуруза на зеленую массу | 17                 | 36                  |
| Лугово-черноземновидная | Рис                       | 18                 | 64                  |
| Чернозем выщелоченный   | Яровая пшеница            | 22                 | 32                  |
| Пределы колебаний       |                           | 13-22              | 31-64               |

## Потери меченых $^{15}\text{N}$ органических удобрений, % от внесенной дозы

| Органическое удобрение | Соотношение С : N | Потери N |
|------------------------|-------------------|----------|
| Бесподстилочный навоз  | 8                 | 15-32    |
| Биомасса клевера       | 18                | 14-21    |
| Биомасса люпина        | 23                | 15-24    |
| Биомасса тимофеевки    | 27                | 14-27    |
| Кукуруза зеленая масса | 55                | 6-11     |
| Овес зеленая масса     | 26                | 15-27    |

## ПОТЕРИ АЗОТА ИЗ ПОЧВЫ В ВИДЕ ГАЗООБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРОИСХОДЯТ В ФОРМЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА ( $N_2$ ) И ЕГО ОКИСЛОВ ( $NO$ , $N_2O$ ).

Наибольшую экологическую значимость представляет закись азота ( $N_2O$ ) благодаря длительному (более 200 лет) пребыванию в атмосфере и обладающей высокой способностью экранировать инфракрасное излучение Земли.

Повышение содержания в атмосфере «парниковых» газов (диоксид углерода, метан, закись азота) вызвало нарушение радиационного баланса, что привело к увеличению температуры поверхности Земли за последние 100 лет на  $0,6 \pm 0,2^\circ C$ .

Содержание этих газов возросло в 1,31, 2,49, 1,16 раза соответственно. Ежегодный рост содержания закиси азота составляет 0,5-1,2%, высокий потенциальный вклад его в развитие «парникового эффекта» создают реальную угрозу стабильности состояния атмосферы и стратосферы (в том числе озоновому слою).

Вклад  $N_2O$  в общий парниковый эффект составляет 6% [WMO Greenhouse Gas Bulletin, 2019].



Динамика эмиссии закиси азота в результате применения азотных удобрений, млн. т (числитель - эмиссия N<sub>2</sub>O, знаменатель - объемы применения азотных удобрений)[Mosier, Kroeze, 2000].

| Регион           | 1990 г.   | 2000 г.   | 2010 г.    | 2020 г.   |
|------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| Северная Европа  | 0,21/11,2 | 0,23/12,0 | 0,258/13,0 | 0,27/14,0 |
| Западная Европа  | 0,20/10,4 | 0,16/8,5  | 0,18/9,3   | 0,19/10,0 |
| Восточная Европа | 0,09/4,5  | 0,07/3,5  | 0,08/4,3   | 0,10/5,0  |
| Северная Евразия | 0,19/9,9  | 0,13/7,0  | 0,16/8,3   | 0,20/11,2 |
| Азия             | 0,68/36   | 0,84/44   | 1,01/53    | 1,20/62   |
| В Мире           | 1,5/79    | 1,6/83    | 1,9/99     | 2,2/115   |

В СЕМИДЕСЯТЫЕ ГОДЫ XX ВЕКА РОССИЙСКИМИ УЧЕНЫМИ УСТАНОВЛЕНО, ЧТО ГАЗООБРАЗНЫЕ ПОТЕРИ АЗОТА ИЗ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ И ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ПРОИСХОДЯТ В ОСНОВНОМ В ФОРМЕ ЗАКИСИ И МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА, ПРИ ЭТОМ ДВУОКИСЬ АЗОТА СОСТАВЛЯЕТ ОКОЛО 1% ОБЩИХ ЕГО ПОТЕРЬ. В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ В РОССИИ ТАКИХ ДАННЫХ КРАЙНЕ МАЛО.

В результате антропогенной деятельности в сельскохозяйственном производстве в глобальном масштабе примерно от 50 до 60% эмиссии закиси азота в атмосферу ( $N_2O$ ) поступает из почв за счет внесения минеральных и органических удобрений.

Низкое содержание азота в почве и высокая ее влажность, препятствующие выделению  $N_2O$ , способствуют поглощению закиси азота.

Во внутрипочвенном потоке  $N_2O$  образующаяся закись азота распределяется между почвенным воздухом и почвенным раствором, который выполняет барьерную, запасающую и транспортную функцию.

Размеры образования и выделения газообразных соединений азота в разных типах почв контролируются температурой, влажностью, аэрированностью, pH почвенного раствора, минерализационной способностью органического вещества, содержанием минерального азота и зависят от характера землепользования, способов обработки почвы и возделывания культур, доз и соотношения минеральных и органических удобрений, известкования, применения различных биопрепаратов:

- выделение  $N_2O$  из почвы повышается при внесении возрастающих доз азотных удобрений и составляет 0,1-4,6% от дозы;
- при известковании в 1,5-2 раза возрастают потери азота в форме  $NO_2$ ;
- высокий уровень содержания нитратов в почве и снижение pH с 7 до 5 увеличивает долю  $N_2O$  в составе газообразных продуктов;
- при низкой влажности почвы азот микробной биомассы пополняет фонд подвижного азота, а при повышенной - он переходит (наряду с подвижными формами минерального азота) в газообразные соединения в процессе денитрификации.

Приказ Минприроды России  
от 30.06.2015 г. № 300

«Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объёма выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации»  
(Зарегистрировано в Минюсте России 15.12.2015 г. № 40098)

\*\*\*

## НАЦИОНАЛЬНЫЙ ДОКЛАД

### О КАДАСТРЕ

антропогенных выбросов из источников  
и абсорбции поглотителями парниковых газов  
не регулируемых Монреальским протоколом  
за 1990 – 2019 гг.

| Химическая формула | Потенциал глобального потепления (GWP <sub>i</sub> ) |
|--------------------|--|
| CO <sub>2</sub>    | 1  |
| CH <sub>4</sub>    | 25   |
| N <sub>2</sub> O   | 298  |

По усредненным мировым показателям для всех видов применяемых азотных удобрений **эмиссионный фактор (ЭФ<sub>N2O</sub>)** предложено принять за 1% от количества, внесенного в почву азота.

В руководстве Межправительственной группой экспертов по изменению климата в глобальном масштабе принята более высокая величина ЭФ<sub>N2O</sub> = 0.0125 [МГЭИК, 2016].

В Российской Федерации распоряжением Минприроды России № 15-р от 16.04.2015 г. значение ЭФ<sub>N2O</sub> по умолчанию принято 0,0137 (при диапазоне неопределенности 0,0006-0,0357) для расчетов выбросов при внесении азота в виде минеральных удобрений, навоза и растительных остатков.

Для минерализованного азота из минеральных почв в результате потерь почвенного углерода. значение коэффициента по умолчанию для всех полей принято равным 30 кг N/га.

С учетом почвенно-климатических условий РФ предложено использовать более низкие значения ЭФ<sub>N2O</sub>, составляющие для удобряемых азотом зерновых культур 0,066-0,070, для пропашных культур: свеклы сахарной 0,0093, картофеля 0,0196, овощных и бахчевых культур 0,0077 [Кудеяров, 2021].

## Расчетные данные прямой эмиссии N<sub>2</sub>O при внесении минеральных азотных и органических удобрений, тонн в год

| Год                     | Минеральные удобрения  |  |   | Органические удобрения                   |  |  |
|-------------------------|--|--|---|--|--|--|
|                         | расчет по значению эмиссионного фактора ЭФ <sub>N<sub>2</sub>O</sub> |  |   |  |  |  |
|                         | ЭФ <sub>N<sub>2</sub>O</sub> =<br>0,0125                             | ЭФ <sub>N<sub>2</sub>O</sub> =<br>0,0137 | дифференциро<br>ванный ЭФ <sub>N<sub>2</sub>O</sub> | ЭФ <sub>N<sub>2</sub>O</sub> =<br>0,0125 | ЭФ <sub>N<sub>2</sub>O</sub> =<br>0,0137 | дифференц<br>ированный<br>ЭФ <sub>N<sub>2</sub>O</sub> |
| <b>2016</b>             | <b>17500</b>   | <b>19180</b>                             | <b>20598</b>  | <b>4088</b>                              | <b>4480</b>                              | <b>4971</b>  |
| <b>2017</b>             | <b>18750</b>   | <b>20550</b>                             | <b>19964</b>  | <b>4175</b>                              | <b>4576</b>                              | <b>5182</b>  |
| <b>2018</b>             | <b>18750</b>   | <b>20550</b>                             | <b>21728</b>  | <b>4300</b>                              | <b>4713</b>                              | <b>5309</b>  |
| <b>2019</b>             | <b>18750</b>   | <b>20550</b>                             | <b>21816</b>  | <b>4425</b>                              | <b>4850</b>                              | <b>5364</b>  |
| <b>2020</b>             | <b>25000</b>   | <b>27400</b>                             | <b>24443</b>  | <b>4400</b>                              | <b>4822</b>                              | <b>5230</b>  |
| <b>В среднем за год</b> | <b>19750</b>   | <b>21646</b>                             | <b>21710</b>  | <b>4277</b>                              | <b>4688</b>                              | <b>5211</b>  |

**ВОПРОС: ЧТО ДЕЛАТЬ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ПОТЕРЬ АЗОТА?**

**ОТВЕТ: ПОВЫСИТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЯМИ АЗОТА УДОБРЕНИЙ!**

ВНЕСЕНИЕ АЗОТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РФ СОСТАВЛЯЕТ ОКОЛО 1,58 МЛН. Т ПРИ СРЕДНЕМ ЗНАЧЕНИИ КИН = 50%, РАСТЕНИЯМИ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ПРИМЕРНО 0,8 МЛН. Т АЗОТА, ЧТО СООТВЕТСТВУЕТ 1,177 МЛН. Т  $N_{aa}$  И 0,870 МЛН. Т  $N_m$ .

ПРИ УВЕЛИЧЕНИЕ КИН НА 1% ЭМИССИЯ ОКСИДА АЗОТА СНИЖАЕТСЯ НА 795 Т.

## Коэффициент КИН сельскохозяйственными культурами (по данным исследований с применением 15N)

| Культура                            | КИН, % | Культура         | КИН, % |
|-------------------------------------|--------|------------------|--------|
| Гречиха                             | 50-63  | Овес             | 38-49  |
| Капуста белокочанная                | 52-58  | Овсяница луговая | 28-81  |
| Картофель                           | 34-48  | Озимая пшеница   | 31-50  |
| Клевер                              | 42-46  | Озимая рожь      | 29-52  |
| Кормовые бобы                       | 53-57  | Просо            | 52-53  |
| Кормовая свекла                     | 25-71  | Райграс          | 27-35  |
| Кострец безостый                    | 53-72  | Рапс             | 45-72  |
| Кукуруза (зеленая масса)            | 33-50  | Рис              | 16-29  |
| Лен                                 | 26-36  | Свекла сахарная  | 31-51  |
| Люпин                               | 43-49  | Свекла столовая  | 33-47  |
| Лук                                 | 25-46  | Тимофеевка       | 36-66  |
| Многолетние травы (злаковые)        | 38-57  | Яровая пшеница   | 31-42  |
| Многолетние травы (бобово-злаковые) | 21-35  | Ячмень           | 34-45  |
| Морковь столовая                    | 18-26  |                  |        |

# Изменение КИН и окупаемости азота удобрений прибавкой урожая зерна яровой пшеницы при инокуляции семян биопрепаратами

| Почва                                       | КИН, %         |            | Окупаемость N удобрения, кг/кг |             |
|---|----------------|------------|--------------------------------|-------------|
|   | без инокуляции | инокуляция | без инокуляции                 | инокуляция  |
| Дерново-подзолистые<br>песчаные, супесчаные | <b>36</b>      | <b>39</b>  | <b>11,7</b>                    | <b>24,3</b> |
| Дерново-подзолистые<br>легкосуглинистые     | <b>50</b>      | <b>60</b>  | <b>25,0</b>                    | <b>40,7</b> |
| Дерново-подзолистые<br>среднесуглинистые    | <b>43</b>      | <b>46</b>  | <b>13,0</b>                    | <b>19,7</b> |
| Серые лесные                                | <b>29</b>      | <b>31</b>  | <b>8,3</b>                     | <b>17,7</b> |
| Черноземы                                   | <b>28</b>      | <b>46</b>  | <b>9,0</b>                     | <b>20,7</b> |

Использование яровой пшеницей азота из биомодифицированной аммиачной селитры на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве

| Микрополевой опыт с $^{15}\text{N}$ |           |           | Полевой опыт      |                    |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-------------------|--------------------|
| Вариант                             | КИН, %    |           | Вариант           | КИН, %, разностный |
|                                     | разносный | изотопный |                   |                    |
| N 4,5                               | 89        | 44        | N45               | 46,2               |
| N 9,0                               | 58        | 23        | N90               | 47,9               |
| N 4,5 + биопрепарат                 | 128       | 51        | N45 + биопрепарат | 68,4               |
| N 9,0 + биопрепарат                 | 74        | 28        | N90 + биопрепарат | 56,3               |



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

