

Основными проблемами, препятствующими широкому использованию солнечной энергии, являются ее рассредоточенность на большой территории и сезонная неравномерность данного ресурса. Для решения данных проблем необходимо развивать такие направления гелиоэнергетики, как улавливание, концентрация, длительное хранение энергии солнца и преобразование ее в другие виды энергии.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Key World Energy Statistics 2006. International Energy Agency. – Paris: IEA Publications, 2006.
2. Безруков Ю.Ф. Физическая география материков и океанов в вопросах и ответах. Часть 1. Евразия и Мировой океан. Учебное пособие. – Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2005. – 196 с.
3. Строительная климатология. СНБ 2.04.02 – 2000. – Минстройархитектуры, Минск, 2001.
4. Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли ис-

пользования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006 – 2010 годах. – Минск, 2005.

5. Кузьмич В.В. Снижение энергопотребления на технологические и бытовые нужды в сельском хозяйстве путем создания и использования высокоэффективных гелиосистем: автореферат дис. ... доктора технических наук 05.20.01, 05.14.04. – Минск, 1996.
6. Langzeit-Wärmespeicher und solare Nahwärme / BINE Informationsdienst. Themen-Info I/01 [Электронный ресурс]. – 2001. – Режим доступа: <http://www.bine.info/pdf/publikation/pro0101.pdf>
7. Патент ВУ 1468U, F 24H 1/00. Водонагреватель/Северянин В.С., Тимошук А.Л.— заявл. 04.08.2003, опубл. 30.09.2004.
8. Северянин В.С. Геогелиотеплоэлектроцентральный // Сахаровские чтения 2005 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 5 международного науч. конф., 20 - 21 мая 2005, Минск / под ред. С.П. Кундаса, А.Е. Океанова, В.Е. Шевчука. - Ч. 2. - Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2005. - 312 с.

Статья поступила в редакцию 03.04.2007

УДК 504.53.054

Бубнов В.П., Бельская Г.В., Минченко Е.М.

## МЕХАНИЗМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА ПРИ РАБОТЕ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

### Введение

Хозяйственная жизнь человека предполагает использование различных химических соединений и привнесение их в экосистемы. Химические соединения (природного и антропогенного происхождения) считаются загрязнителями, если они нарушают качественный баланс (равновесие) экосистемы. Это справедливо и в отношении почвенных экосистем. На ряду с непосредственным загрязнением почвенных экосистем хозяйственной деятельностью человека на земле (почве) ее загрязнению способствуют вредные вещества, переходящие из атмосферы в почву в виде кислотных дождей, аэрозолей и т.п. Важной проблемой здесь является загрязнение почв оксидами азота, которые содержатся в дымовых газах ТЭС при сжигании органического топлива и выпадение их в виде кислотных осадков. Так, на 1 МВт выработанной электрической мощности ТЭС, работающей на органическом топливе в атмосферу выбрасывается окислов азота при сжигании:

- газа – 24,32 10<sup>6</sup> м<sup>3</sup>/год;
- мазута – 18,37 10<sup>3</sup> т/год;
- угля – 48,02 10<sup>3</sup> т/год.

Сжигание природного газа для получения тепло- и электроэнергетики ведет к образованию вредных выбросов, основными из которых являются оксиды азота (NO<sub>x</sub>).

Дымовые газы (выбросы) ТЭС, оседая на земную поверхность, почвы, растения, загрязняют их. Повреждение и отмирание растений определяются прежде всего непосредственными воздушными контактами их зеленых частей с загрязняющими веществами, накоплением их в тканях растений и токсичным действием среды (почвы, воды), сосредотачивающей вредные ингредиенты выбросов, которые через корневую систему попадают в растения, а затем и в организм животных организмов, в том числе и человека. Загрязнение почв происходит через непосредственное оседание атмосферных выбросов ТЭС, смывание токсикантов с растений, поступление с

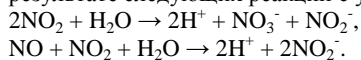
опавшими листьями, ветровым переносом и вместе с осадками. Поступление загрязняющих веществ к земной поверхности может вести также к изменению физико-химических свойств почв, их плодородия, загрязнению поверхностных и грунтовых вод.

В связи с трансформацией соединений азота в почве следует упомянуть еще одну очень важную проблему. В число газообразных продуктов, выделяющихся в разнообразных процессах, входит закись азота N<sub>2</sub>O. Это соединение участвует в разрушении озонового экрана в стратосфере, от которого зависит существование растительной и животной жизни на Земле. Главным природным источником N<sub>2</sub>O, поступающей в атмосферу, служит почва, а широкое применение азотных удобрений и поступление азотной кислоты с дождевыми потоками может увеличить поток N<sub>2</sub>O в атмосферу. Поэтому знание механизма перехода окислов азота из атмосферы в почву и обратно в атмосферу, позволит более объективно оценить экологическую обстановку территории при строительстве различных энергоисточников.

### Механизм перехода окислов азота из атмосферы в почву

Рассмотрим механизм трансформации оксидов азота в атмосфере и последующие их попадание на почву. Удаление оксидов азота из воздуха происходит за счет растворения в облачной воде, газофазного окисления в воздухе, вымывания осадками и сорбции подстилающей поверхностью.

Одним из основных каналов стока оксидов азота из атмосферы является их растворение и химическая трансформация в нитраты и нитриты в воде, присутствующей в воздухе. Образование нитратов и нитритов в воде может происходить в результате следующих реакций с участием окислов азота:



Бубнов Владислав Павлович, д. т. н., профессор кафедры экономики и экологии Института современных знаний имени А.М. Широкова.

Бельская Галина Владимировна, к. с.-х. н., доцент кафедры экологии Белорусского национального технического университета.  
Минченко Елизавета Михайловна, аспирантка кафедры экологии Белорусского национального технического университета.  
Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65.

Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика

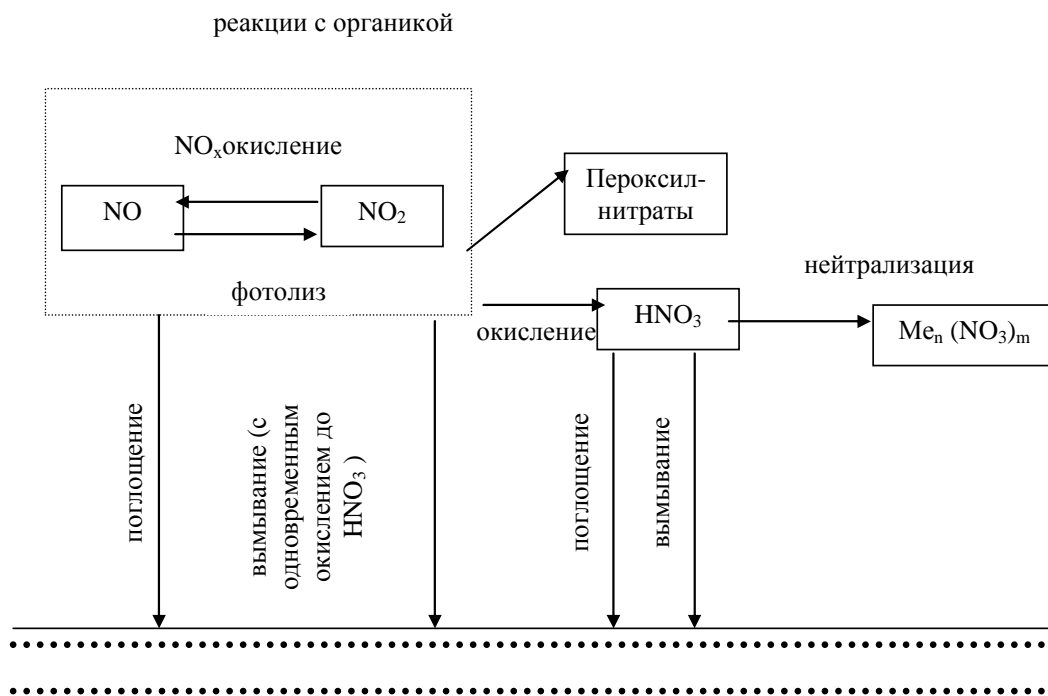
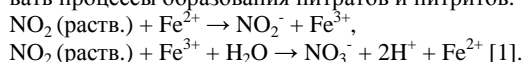


Рис. 1. Механизм образования и трансформации азотной кислоты в атмосфере

Скорость убыли оксидов азота за счет взаимодействия с атмосферной водой зависит от действия многих факторов, таких, как кислотность дождевых и внутриоблачных капель воды, содержания в них металлов, которые могут катализировать процессы образования нитратов и нитритов:



Процесс удаления окислов азота из атмосферы в результате жидкофазного окисления можно разделить на две стадии.

На первой стадии, называемой внутриоблачным вымыванием, происходит растворение окислов азота с последующими химическими реакциями, приводящими к их окислению.

На второй стадии (подоблачное вымывание) удаление окислов азота из атмосферы происходит за счет тех же реакций (сорбции, растворения и окисления), что и при внутриоблачном вымывании, но за существенно короткое время, равное времени падения дождя на поверхность.

Эти две стадии взаимосвязаны и процесс подоблачного вымывания может быть эффективным лишь в том случае, если концентрация окислов азота в воздухе ниже уровня облаков превышает их концентрацию внутри облаков. Это условие выполняется для атмосферы урбанизированных районов, в которой содержание окислов азота может достигать высоких значений. В этом случае за счет процессов подоблачного вымывания концентрация двуоксида азота в приземном слое воздуха может уменьшиться на 20 – 70%.

Таким образом, механизм распространения и трансформации окислов азота в атмосфере можно представить в виде (рис. 1).

Для количественного определения азотной кислоты, поступающей на поверхность почвы, нами изучен подход, основанный на учете потоков исходящего вещества из каждого блока схемы (рис.1) в единицу времени [2], а для пространственного отражения загрязнения – зависимость, учитывающая розу ветров [3]. Полученная математическая модель дает возможность рассчитать количество азотной кислоты, поступающей на поверхность в определенной точке конкретной местности. Этот подход будет описан в дальнейших работах.

Рассмотрим процессы трансформации и аккумуляции соединений азота в почве. Анализируя результаты исследований, опубликованных в отечественной и зарубежной литера-

туре по азотному режиму почв [4-7], можно заключить, что аккумуляция азота в почвах в значительной мере определяется их биохимической активностью и наличием гумуса, хозяйственной деятельностью человека. В разных почвенно-климатических условиях превращение азота в почве имеет свои особенности.

Азот в почвах находится преимущественно в форме органических соединений, и только небольшая его доля (примерно от 1 до 10 % в зависимости от типа почв и содержания гумуса) представлена минеральными соединениями.

Азот, содержащийся в почве, разделяется на следующие структурные части и фракции:

- минеральный – азот нитратов, нитритов и обменного аммония;
- легкогидролизуемый – амиды, часть аминов, часть обменного аммония;
- трудногидролизуемый – часть аминов, амиды, необменный аммоний, часть гуминов;
- негидролизуемый – большая часть аминов, гумины, меланины, битумы, остаток необменного аммония.

Минеральные формы соединений N, кроме аммония, представлены нитратами и нитритами. Нитритов очень мало — десятки доли миллиграмма азота на 1 кг почвы. Кроме того, в газовой фазе обнаруживаются оксиды азота. В доступных растениям минеральных соединениях азота, как правило, 1-3 % общего количества азота почвы.

Непосредственно доступен азот растениям в форме NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, частично усваиваются и низкомолекулярные органические соединения, например аминокислоты. Но поскольку доля минеральных соединений азота невелика, то основным резервом азота для питания растений и источником различных трансформационных процессов являются органические соединения.

Практически все группы и фракции органического вещества содержат азот; около 10% всего азота содержится в виде аминокислот и периферических цепей гумусовых кислот. Ближе к этому содержание аммонийного азота почвенного гумуса и несколько ниже содержание азота аминокислот. От 30 до 50 % всего почвенного азота представлено так называемыми негидролизуемыми соединениями: это азот гумусовых кислот, в том числе и азот гетероциклов.

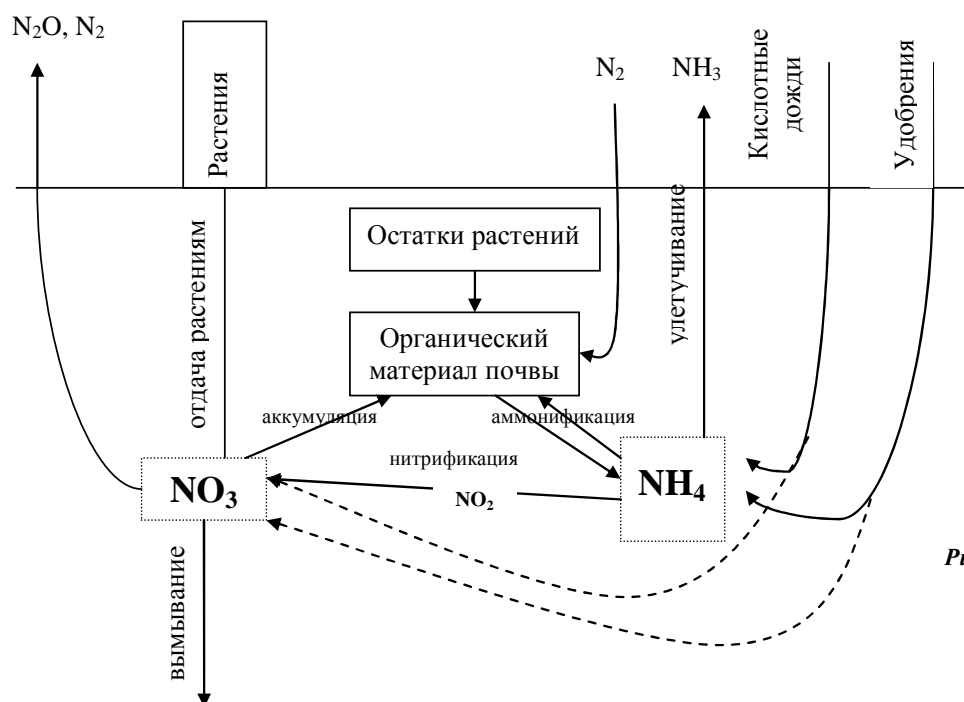


Рис. 2. Механизм поступления и трансформации азота в почве

Азот образует разнообразные окислы, в которых принимает валентности, формально равные от +1 +5; в аммиаке и аммонийных солях он проявляет валентность – 3. В почвах присутствуют соединения, в которых азот представлен почти всеми степенями окисления хотя некоторые из них появляются только как промежуточные продукты в сложной цепи трансформации азотсодержащих соединений.

Обширные литературные данные свидетельствуют о том, что основные процессы, с которыми связано превращение соединений азота почвы и вносимых удобрений, а также его круговорот в системе «атмосфера – почва» теснейшим образом связаны с окислительно-восстановительным состоянием почвенной среды. Основными звеньями превращения азота в почве являются: процессы его поглощения живыми организмами (биологическое поглощение), накопление в форме различных соединений (гумус, растительные и животные остатки), процессы аммонификации, нитрификации и денитрификации, процессы фиксации азота воздуха клубеньковыми и свободноживущими азотфиксирующими микроорганизмами.

Механизм трансформации азота в почве под влиянием антропогенного воздействия может быть представлен в виде (рис. 2).

К наиболее важным циклам превращения азота в почвах в связи с условиями их аэрации, а, следовательно, и с особенностями окислительно-восстановительного режима относятся процессы нитрификации и денитрификации. Различают биологическую денитрификацию и «хемоденитрификацию». Биологическая денитрификация обусловлена деятельностью денитрифицирующих микроорганизмов. Хемоденитрификация — процесс восстановления нитритов в результате химических реакций.

При биологической денитрификации образуются газообразные окислы азота и молекулярный азот ( $NO$ ,  $N_2O$ ,  $N_2$ ). При хемоденитрификации могут образовываться  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O$ ,  $N_2$ . Среди различных химических реакций, приводящих к потере азота (разложение нитритов при кислой реакции в почве с образованием окиси и двуокиси азота; образование нитрита алюминия с последующим его разложением до  $N_2$  и  $H_2O$  и др.), особо необходимо отметить установленную в по-

следние годы возможность восстановления нитритов до  $NO$ ,  $N_2O$  и  $N_2$  при реакции их с почвенным органическим веществом, содержащим фенольные и хинонные группы, а также восстановление их до  $NO$  и  $N_2O$  при участии ионов некоторых тяжелых металлов.

Трансформация соединений азота в почвах включает следующие процессы:

- фиксацию атмосферного азота свободноживущими и клубеньковыми бактериями;
- превращение азотсодержащих соединений органических остатков в гумусовые кислоты;
- аммонификацию органических азотсодержащих соединений;
- процессы нитрификации;
- денитрификацию и потерю азота в атмосферу;
- фиксацию иона  $NH_4^+$  глинистыми минералами;
- вымывание различных соединений азота с внутрисочвенным и поверхностным стоком.

Цель этих превращений, составляющих этапы круговорота азота в ландшафте.

Рассмотрим важнейшие процессы, влияющие на баланс и доступность азота растениям.

Антропогенное воздействие на почву с различной интенсивностью обуславливает различную активность процессов гумусообразования и формирование неоднородного качественного (фракционного) состава азота почв. В связи с этим в почвенных профилях от леса до огорода аккумулируются различные запасы гумуса, общего азота и его фракций (таблицы 1 - 3) [8].

#### Выводы

По изученным литературным источникам сделано обобщение, что из почвы вымывается порядком 5-15 % нитратов, подвергается денитрификации – 15-30 %, поглощается растениями – 40-50 % и аккумулируется поглощающим комплексом почвы около 25 % [9].

По результатам анализа литературных данных предложен механизм поступления и трансформации соединений азота из атмосферы в почву.

**Таблица 1.** Запас и закономерности распределения содержания азота в профиле суглинистых почв

Угодье	Мощность слоя, см	Гумус, т/га	Азот общий, кг/га	Соединения азота, кг/га			
				минеральные	легкогидролизующие	трудногидролизующие	негидролизующие
Лес	0 - 20	24,5	1202	10	122	74	996
	0 - 40	47,2	1765	19	188	173	1386
	0 - 100	98,6	4091	62	436	438	3155
Пашня	0 - 20	74,7	2685	33	209	257	2189
	0 - 40	81,4	4517	64	360	425	3667
	0 - 100	102,8	6022	104	493	612	4811
Огород	0 - 20	199,1	4624	69	370	550	3636
	0 - 40	204,4	8703	131	700	895	7265
	0 - 100	235,0	11950	258	1014	1250	9914

**Таблица 2.** Запас и закономерности распределения содержания азота в профиле супесчаных почв

Угодье	Мощность слоя, см	Гумус, т/га	Азот общий, кг/га	Соединения азота, кг/га			
				минеральные	легкогидролизующие	трудногидролизующие	негидролизующие
Лес	0 - 20	37,8	1419	13	82	117	1208
	0 - 40	46,9	1866	28	143	280	1414
	0 - 100	72,8	2891	59	193	467	2172
Пашня	0 - 20	41,1	1904	23	217	104	1556
	0 - 40	57,7	2551	35	293	181	2042
	0 - 100	84,9	3505	70	409	321	2706
Огород	0 - 20	151,2	5342	53	376	554	4361
	0 - 40	221,6	7910	100	567	845	6398
	0 - 100	260,7	9395	227	698	1299	7170

**Таблица 3.** Запас и закономерности распределения содержания азота в профиле песчаных почв

Угодье	Мощность слоя, см	Гумус, т/га	Азот общий, кг/га	Соединения азота, кг/га			
				минеральные	легкогидролизующие	трудногидролизующие	негидролизующие
Лес	0 - 20	9,8	340	13	71	64	192
	0 - 40	13,6	631	20	142	127	342
	0 - 100	22,8	1333	58	295	288	692
Пашня	0 - 20	46,4	1623	24	199	140	1252
	0 - 40	59,4	2292	43	326	269	1654
	0 - 100	86,4	3453	89	472	575	2318

Изучение данного вопроса приобретает практически важное значение, так как даже небольшой процент аккумуляции нитратов кислотных дождей, выпадавших в результате их образования при взаимодействии окислов азота продуктов сгорания при сжигании органического топлива в энергоустановках с молекулой воды атмосферы, в почве может в совокупности с остальными условиями оказать отрицательное воздействие на состояние почвы.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Ровинский Ф.Я., В.И. Егоров. Озон, окислы азота и серы в нижней атмосфере. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 185 с.  
 2. Израэль Ю.А., И.М. Назаров. Кислотные дожди. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 269 с.

3. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.  
 4. Д.С. Орлов. Химия почв. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 400 с.  
 5. Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. – М.: Колас, 1982. – 247 с.  
 6. Помазкина Л.В. Агрохимия азота в таежной зоне Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, 1985. – 176 с.  
 7. Кудуяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. – М.: Наука, 1989. – 215 с.  
 8. Семенов Н.Н., Невмержицкий Н.В. Азот в земледелии Беларуси. – Мн.: Бел. изд. тов-о «Хата», 1997. – 196 с.  
 9. Вильдфлуш И.Р. Агрохимия. – Мн.: Ураджай, 1995. – 479 с.

*Статья поступила в редакцию 14.03.2007*

УДК 62-664.263

**Кушнерик В.В.**

**ОТХОДЫ РАСТЕНИЕВОДСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ**

**Введение**

В последнее время в Республике Беларусь уделяется огромное внимание использованию местных видов топлива для получения тепловой и электрической энергии. В данной статье рассматривается один из новых способов термической утилизации отходов растениеводства.

Задача использования отходов производства для получения пара, тепла и электроэнергии является в настоящее время крайне актуальной. В условиях постоянного удорожания энергетического топлива выгода от сжигания отходов становится существенной. Кроме того, и это в ряде случаев еще