

Физиология растений в стихах
Сезон 2012 года
Метаболизм азота



Титульная иллюстрация
©Автор — Сутягина О.

Предисловие

В университетах средневековой Европы умению выразить свою мысль в стихах придавали особое значение. Для тренировки студенты сочиняли научные трактаты на заданную тему, и, более того, часто нужно было использовать определённый стихотворный размер (скажем, гекзаметр, пятистопный хорей или что-то в этом роде). При этом текст должен быть на латыни или на греческом, поскольку именно на этих языках вели службу в католических храмах. А всякий там немецкий с французским совершенно не котировались :).

Такая «тренировка» на самом деле важна и полезна. Эксперимента ради можно попросить кого-нибудь сочинить сначала стих на заданную тему, а потом – прозаический текст. По мере стихосложения невольно приходится перебирать кучу синонимов, подбирать удачное расположение слова в предложении и в строке, следить за рифмой. После такой работы – независимо от качества окончательного стиха – стиль прозаического текста будет намного лучше, а тема – проработанной глубже.

В целях возрождения традиций стихосложения в университетах мы открываем проект «**Физиология растений в стихах**». В сезоне 2012 года темой для научной поэзии объявлен **Метаболизм азота**: от поступления нитрата в растение до образования аминокислот. Стихотворный размер и жанр не были ограничены. В итоге мы получили сказку, героический эпос (былину), несколько романтических историй о любви, нравоучительную оду, балладу, поэму. В одном из произведений образ нитрата был художественно переосмыслен как Дракон с телом из атома азота и тремя атомами кислорода в качестве голов. По мере метаболизации головы последовательно усекаются Богатырями. Эта иллюстрация использована на титульной странице нашего сборника.

Представленные произведения были оценены коллегиально: преподаватели и сотрудники кафедры физиологии растений составляли рейтинги в порядке убывания предпочтений. Конечно, оказалось, что у физиологов растений разный вкус: кому-то нравятся оды, а кто-то был пленён любовной интригой. По ходу работы выяснилось, что ради благозвучия в стандартные названия ферментов вставлены лишние гласные (нитрат**о**редуктаза вместо нитратредуктаза и в аналогичных местах). Ради красного словца *Vanilia planifolia* – лиана из семейства Орхидных – превратилась в «дерево ванили», а родина шоколадного дерева (*Theobroma cacao*) перенесена из тропической Америки на юг Африки, где климат абсолютно непригоден для его выращивания. Местами «хромало» число электронов, используемых в редокс-реакциях, а ГОГАТ в результате досадной опечатки превратился в ГАГАТ (наверное, в честь леди Гага). Тем не менее, в целом получилось хорошо. В итоге авторы лучших произведений были премированы отличными оценками на экзамене. С согласия авторов стихотворные произведения включены в данный сборник для некоммерческого использования. Авторский стиль и оформление полностью сохранены.

Выражаю сердечную признательность всем, кто участвовал в нашем конкурсе!

Искренне Ваш

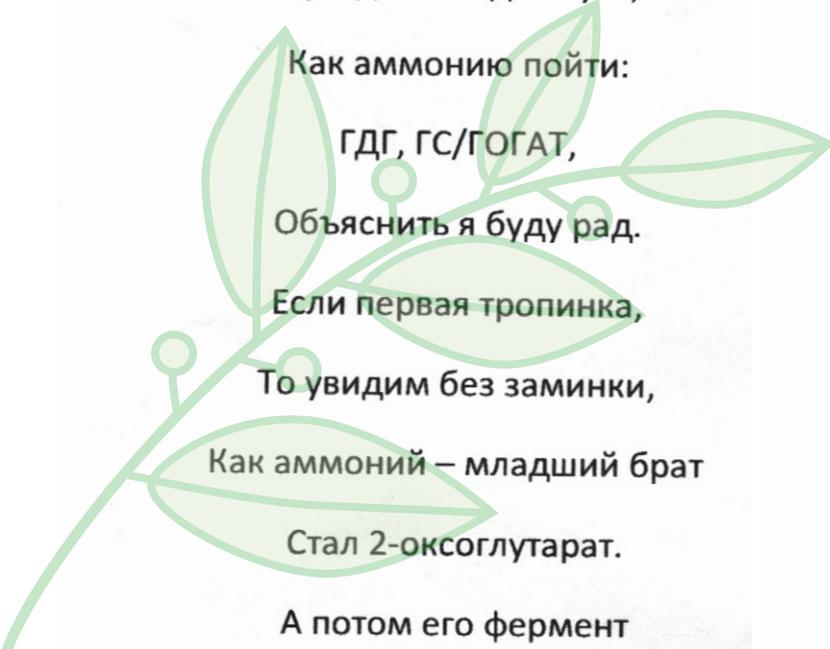
Профессор кафедры физиологии растений
Биологического факультета МГУ, доктор биол. наук

В. В. Чуб

Сказка об азоте

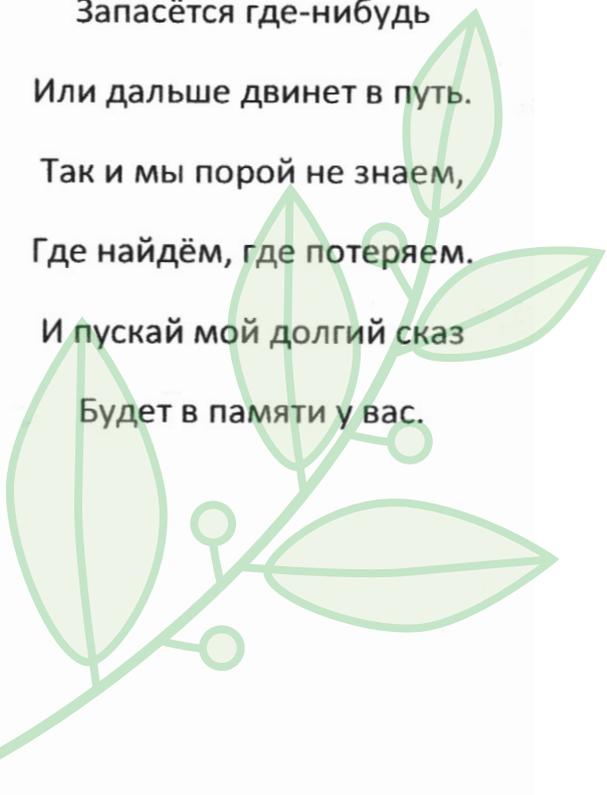
Где в растении азот
Припеваючи живёт?
С кем он дружит, а с кем нет,
Я раскрою вам секрет.
Ты, читатель, посмотри,
Что в растении, внутри.
Пять минут не пожалей,
Начинаем мы с корней.
Первым прибыл старший брат.
Познакомьтесь, он нитрат.
На подземный на вокзал
Неспроста его позвал
Друг – протонный градиент
Выбрал правильный момент:
Он без всякого родства
В транспорт разного сродства
Поместил нитрат, протон
И ждёт следующий ион.
Призадумался нитрат:
«Кто мне будет в корне рад?
Лучше я поеду в лист,
Он зелён, умыт и чист».
В цитозоле ион сразу

Встретил нитратредуктазу.
Говорит она: «Нитрат,
Скоро будешь средний брат.
Вот получишь электрон,
Станешь ты нитрит-ион.
Подсобит тебе НАДН,
Ну а ты OH^- отдашь.
И поехал наш герой
В хлоропласт, к себе домой.
Говорят ему: «Нитрит,
Агрессивен ты на вид.
Не поможешь ты ни разу,
Ищи нитритредуктазу».
Сам его нашёл фермент,
Электроны дал в момент
От «железного» кузина –
Донора ферродоксина.
Имя среднего нитрита
Всеми уж теперь забыто,
Потому что есть у нас
Новый аммонийный класс.
Он без всяких без забот
В синтез аминокислот
Каждый миг готов включиться



И азотом поделиться.
Ну а дальше два пути,
Как аммонию пойти:
ГДГ, ГС/ГОГАТ,
Объяснить я буду рад.
Если первая тропинка,
То увидим без заминки,
Как аммоний – младший брат
Стал 2-оксоглутарат.
А потом его фермент
Аминирует в момент:
ГДГ помочь лишь рад –
Представляем глутамат!
Но ещё второй есть путь,
Как аммоний обернуть.
Здесь на станции «Один»
Получаем глутамин.
Без энергии никак,
АТФ ведь нам не враг!
И, конечно, в помощь сразу
Глутоминсинтетаза.
Прибываем мы на «Два»,
В гости к нам пришла «братва»:
Это наш фермент ГОГАТ

И 2-оксоглутарат.
А войдя в финальный раж,
Восстановит всё НАДФН.
И в итоге буду рад
Вам представить глутамат!
Не один, как было раньше,
Здесь природа пошла дальше:
Для ГС готов субстрат –
Это первый глутамат.
А второй, не ровен час,
Как уйдёт домой в запас.
Получил герой урок
И решил, что лучше впрок
Запасётся где-нибудь
Или дальше двинет в путь.
Так и мы порой не знаем,
Где найдём, где потеряем.
И пускай мой долгий сказ
Будет в памяти у вас.



Воспоминания из жизни одного растения

Я помню чудное мгновение,
Как я фиксировал азот.
Я рассказать хочу о том явлении,
Ведь путь азота так непрост.

Nitrosomonas, Nitrobacter –
Все мои лучшие друзья.
Любой бобовый тоже знает –
Прожить без них никак нельзя.

Не все растения имеют
Тех симбионтов в клубеньках.
Поэтому в доступной форме
Азот им нужно добывать.

Ион аммония, нитрат
Довольно сложно нам достать.
А NO_2 – тот, что нитрит?
И тут ужасный дефицит!

Раз так доступной формы мало,
Вопрос сей нужно разрешать...
Так что же с почвой сделать надо?
Ах, точно, нужно удобрять!

Калийная селитра – вот наш выход!
Важнейший компонент оружия.

Сам Бонапарт когда-то сделал вывод –
Для урожая вещь селитра нужная!

Ну что ж, пора от лирики уйти
И непосредственно к процессам перейти.
Задача, скажу прямо, не проста.
Не сразу все рифмуются слова.

В цитозоле растений есть особый фермент –
Нитратредуктаза – это гомодимер.
Она превращает нитраты в нитрит.
Давайте рассмотрим мы сей механизм.

Три части имеет нитратредуктаза,
По ним электрон достигает нитрата:
Сначала на ФАД, на железо затем,
Последний участок цепи – молибден.

Откуда берется в цепи электрон?
NADH преподнес нам любезно его.
NADH – восстановленный эквивалент,
И имя второе ему кофермент.

В итоге фермент образует нитрит –
Опасный для клетки, ведь он ядовит.
Нельзя данный ион в цитозоле держать,
В пластиды же можно его направлять.

Ну что ж, пора от лирики уйти
И непосредственно к процессам перейти.
Задача, скажу прямо, не проста.
Не сразу все рифмуются слова.

В цитозоле растений есть особый фермент –
Нитратредуктаза – это гомодимер.
Она превращает нитраты в нитрит.
Давайте рассмотрим мы сей механизм.

Три части имеет нитратредуктаза,
По ним электрон достигает нитрата:
Сначала на ФАД, на железо затем,
Последний участок цепи – молибден.

Откуда берется в цепи электрон?
NADH преподнес нам любезно его.
NADH – восстановленный эквивалент,
И имя второе ему кофермент.

В итоге фермент образует нитрит –
Опасный для клетки, ведь он ядовит.
Нельзя данный ион в цитозоле держать,
В пластиды же можно его направлять.

В пластиде – не менее важный фермент,
Нитритредуктаза – она мономер.
Нитрит превращает в аммония ион,
Сквозь пару участков бежит электрон.

Его принимает белок FeS(фerrум эс),
Затем эстафету берет сирогем.
Опасность нитрита фермент устранил,
Электрон предоставил ферродоксин.

Затем у аммония есть два пути:
Компартмент решит по какому пойти.
Есть путь ГДГ – в митохондрии он.
А ГС/ГОГАТ? – Подойдет цитозоль!

На этом должна я рассказ свой прервать,
Ведь нужно интригу уметь сохранять.
Закончить хочу старой фразой из фильмов:
Продолжение следует или to be continued!

Поэма об одиноком нитрате

Рудакова Н. гр. 321
микробиология

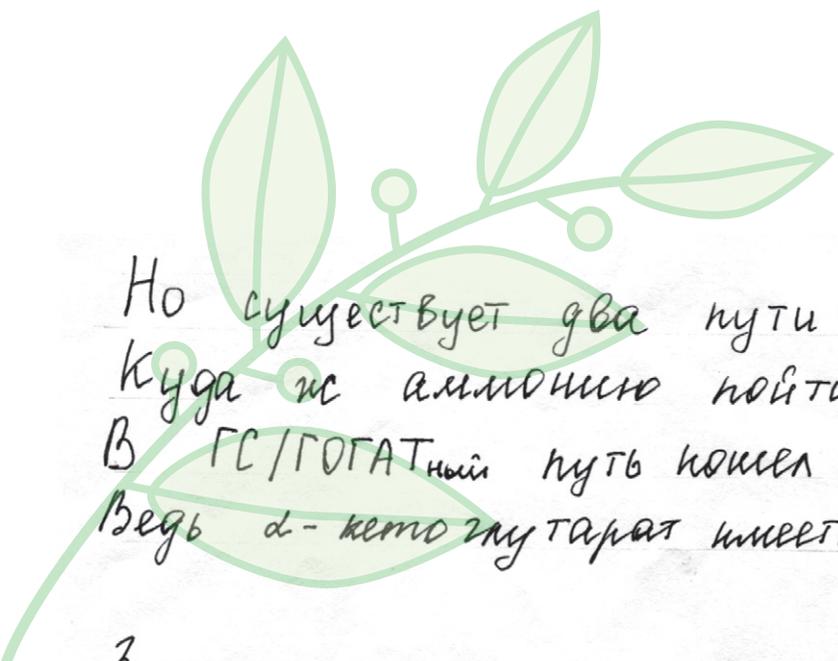
Раньше жил свободно я в почвенном растворе,
Но тут встретил корень зря и случилось горе:
Симпартнули там меня на протон обычный,
Так нитрат, мои друзья, стал метаболический.

Дальше что случилось расскажу вам смело:
Нитратредуктаза вскоре принялась за дело.
Электрона два дала и ТАК восстановила!
Но НАДН при этом до НАД⁺ она подокусила.

Жизнь изменилась моя:
Был нитрат, а стал нитритом я.
Не долго я имел сей вид,
Поскольку стал я ядовит...

Нитритредуктаза меня подцепила,
Шесть электронов предложила:
У ферредоксина их отобрала,
Через [4Fe-4S] и серогем передала.

Так из нитрита аммонием стал,
Но горевать не перестал.
И тут меня пустили в ход
В путь синтеза аминокислот.



Но существует два пути —
Куда из аллононго пойти?

В ГС/ГОГАТный путь кошел не по ошибке,
Ведь α -кетоглутарат имеется в изобилие!

Заветный путь таил в себе сюрприз,
Судьбы моей несчастной очередной каприз:
Из аллонона в глутамин я превратился,
ГС мне помогла, затем мой путь продолжился.

После быль разумно рад —

Я встретил α -кетоглутарат;

При помощи ГОГАТ мы подружались,

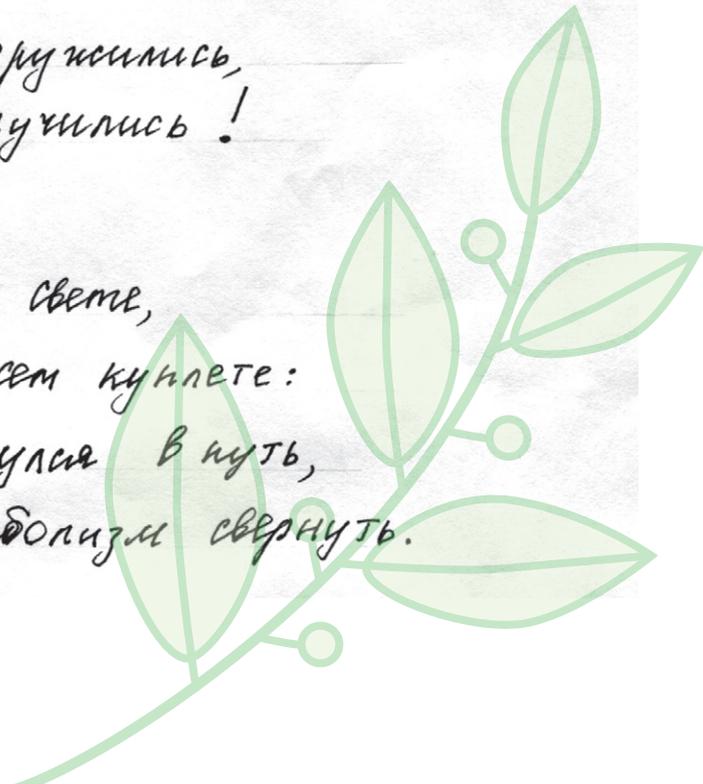
Из нас два глутамата получились!

Нет новости печальнее на свете,

Чем новость о истрате в сем куплете:

Ведь кривой глутамат вернулся в путь,

А мне пришлось в метаболизм свернуть.



Сейчас расскажем без сомнения
Как протекает азотный обмен у растений.

История это увлекательная
И тема будет познавательной.

Растения делают аминокислоты,
И белки, и нуклеиновые кислоты.

Из почвы поглощают они
Нитрат и аммоний.

А что это такое? - спросите вы.

Сейчас расскажем, потерпи.

В почве около корня появляется,
Азотфиксирующие бактерии называются.

Азот у арены - самый дефицит!

Накапливается он в виде N_2 .

Он поступает в цитозоль,

Он залезает в вакуоль,

Чему и рад он очень сильно!

Еще дальше - есть два нитрата

Один из них - келлема,

Вверх идут аминокислоты и N_2 .

Ролью назовем второй,

Он спускается вниз в аминокислотой.

То есть веревочная проблема -

Транспорти и плазмолемма.

Чтоб попасть нитрату в вакуоль

И чтоб кошел он на метаболизм в цитозоле

Транспортёры пептидные

Переносят нитрат в клетки не забыли.

Нитрат проходит этот путь

И отдыхает так, что шуметь!

А дальше есть два варианта

Рассветановления нитрата.

Вначале - нитратредуктаза,

У ней два электрона на базу.

Нитрат превращается в нитрит,

А он - опасный метаболит!

Тотом - нитритредуктаза

Шесть электронов забито

Получается аммоний из нитрита.

Днём они работают,

Ну а ночью выключаются.

В конечном итоге

Забавная история получается.

Разекачаем больше про аминокислот,
Через аминокислотный транспортёр
Что в клетки попадает.

Потом полученный аминокислот
В образовании аминокислот убегает.

Он проходит два пути.

Сперва аминокислоты восстанавливаются,
Потом глутаматдегидрогеназный путь удивительнейшей.

И вот все догадались, я был бы этому рад,
Мы получаем всем известный глутамат.

Глутамат везде у нас один,

Но после глутаминсинтетазы он - глутамин.

Глутамином ферментируется с помощью
Глутаматсинтетазного цикла.

А к нему приезжает α -кетоглутамат на мотоцикле.

И только две молекулы глутаминовой кислоты

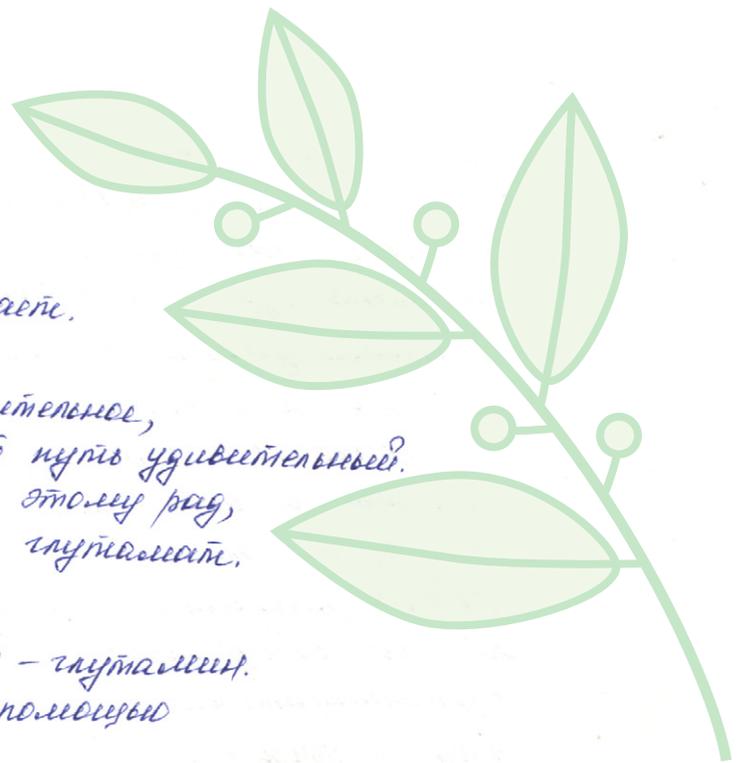
Отправляются в белки и достигают по растению максимальной
Высоты.

Вот такой вот процесс -

Обмен азота у растений.

Вот такие вот реакции,

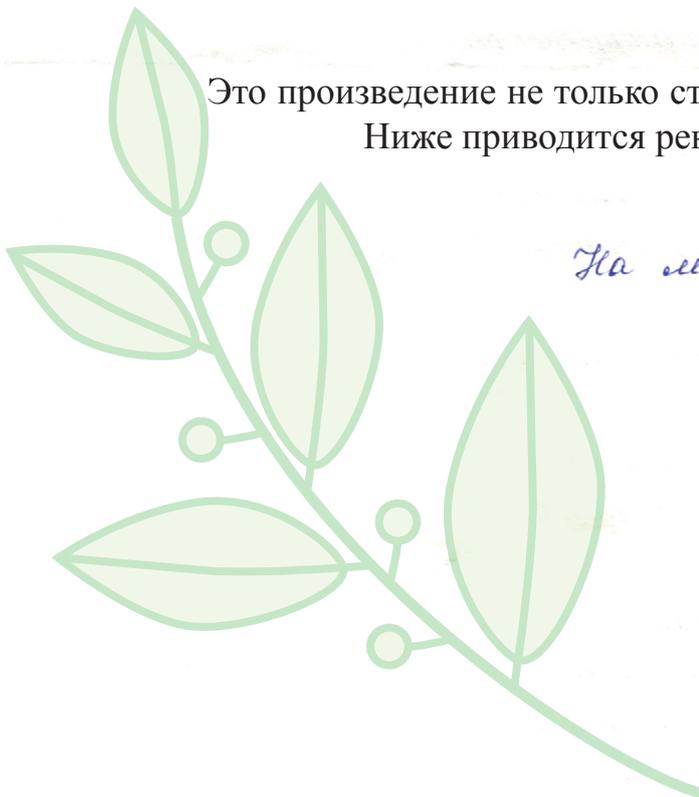
Вот такая вот вечная молодость!



Это произведение не только стихотворное, но и музыкальное.

Ниже приводится рекомендованный мотив

На мотив песни группы "Челси & Co" -
"Вечная молодость."





Быль о РАКОНЕ,
о мудром БОГАТЫРЕ Нитратредуктазе,
о брате его – стремительном
Нитритредуктазе
и о прекрасной Глутаминсинтетазе –
победительнице РАКОНА.

Коль ветер не носит набата звон,
То весть принесу вам я:
Объявился в Цитозоле дракон –
Драгоценная чешуя.

Пусть смирен он, затишье для,
И деревень сон не тревожит –
Не сыщется ль богатыря,
Что одолеть дракона сможет?

Дракон ведь – он всегда дракон:
Вдруг раздражишь? – с ним жить опасно.
Добытая же чешуя
Не пропадёт в Листе напрасно.

Богатырь Нитратредуктаза
О драконе том услышал.
На коня вскочил он сразу?
С драконом на бой поскакал?

Нет. В раздумья погружён,
Отчего-то медлит он.
Дождается рассвета.
Отчего? Иль трусость это?

Не видать победы
Без солнечного света.
Так говорили деды.
И витязь знает это.

А коль кто в одиночку сразиться рискнёт
(Другое преданье гласит)
Лишь горе родимой земле принесёт,
«Ибо грядёт Нитрит».

Богатырь, к счастью, был не из тех «храбрецов»,
Что делить с кем-то славу бояться.
Был он мудр, твёрдо помнил заветы отцов:
В трудный год брату брата держаться.

Брату меньшому завет:
Быть готовым в бой вступить
И – «За то несёшь ответ!» –
Чудище не упустить.

Младший брат – Нитритредуктаза
В граде Хлоропласте проживал,
Хоть не слышал братского наказа,
О драконе – тоже услышал.

Нитритредуктаза, быстрый в бою,
Сразу понял задачу свою.
Первый бой – не его, знает он наперёд,
Но глаз не смыкая – ждёт.

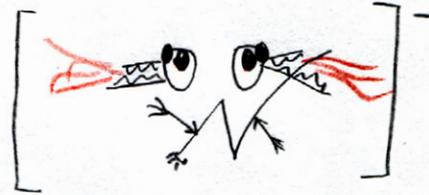
Рассвет. Взяв НАДН в подручные,
На поле брани вступил старший брат.
Навстречу – дракон – три главы неразлучные –
Имя дракону – Нитрат.



НАДН подаёт две калёных стрелы,
Старший брат-богатырь их пускает неспешно.
Дракон, что остался без головы,
Со стрелами в теле – бушует, конечно.

Теперь его имя – Нитрит.

Активен, опасен и так, спору нет,
Но если в град стольный Ядро прилетит –
ТАКИХ там наделает бед!..



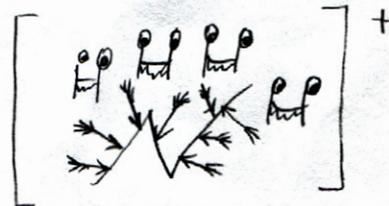
В Хлоропласт доставить Нитрит!
Где Нитритредуктаза сражения ждёт,
В бою (быстротой он бой первый затмит)
Ферредоксин ему стрелы даёт.

Шесть стрел вонзаются в дракона, две головы отсечены!

Но предвкушением победы не рано ль мы опьянены?

В новом воплощении пред нами дракон.

Да, не так активен... Но – безопасен он?



Глутаминсинтетаза – невеста

Юного богатыря

От тревоги не находит места:

И, как вы видите, не зря:

Аммоний дракона теперь надо звать.

Важнейшим процессам грозя,

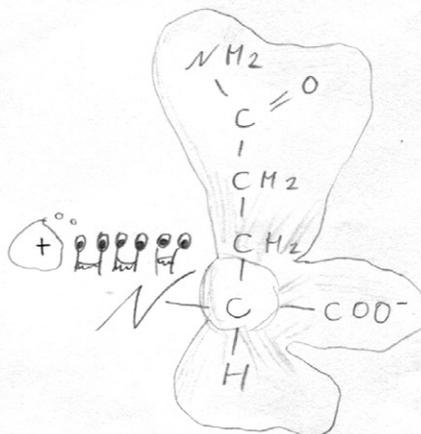
Градиент он протонный умеет снимать.

Его без присмотра оставить нельзя.

На счастье меньшого брата,
Который не знает: а дальше как быть?
Не случилось поблизости Глюфосината,
Что мог бы невесту его полонить.

Она к дракону подходит смело:
Ни ножа, ни меча – будто бой будет прост,
И – виданное ль это дело?! –
Вдруг бант повязывает на хвост!

И, хоть лента и проста
(Глутаминовая кислота) –
Вышел бант пышным – невероятно:
Больше дракона. Дракону – приятно.*



Необратимо его изменить
Ласка смогла – от злобы лекарство!
Будет Листу верой-правдой служить.
Уж не вернётся дракона коварство.

Дракона – Глутамином нарекут.
Ему ещё путь Алгий предстоит.
О превращениях же, что Глутамин нас ждут –
Уже другая сказка говорит.

* примечание автора:

О том, что на завязывание банта была затрачена энергия АТФ, бант упрощает наречие.

Чтобы не огорчить действительно изменившегося в лучшую сторону дракона, который непременно почувствовал бы себя виноватым



- 2 -

Нитрат из почвы примитивный

Всосется в корешки куста,

А ХАТС и ЛАТС оперативно

Перенесут его в места,

Где вмиг нитрато-редуктазой

Или нитрито-редуктазой

Приняв протоний водородный

Азот наш будет превращен

Отнюдь не в аммиак зловонный,

А в правильный аммоний-ион.

- 1 -

Основой жизни выступает

Несметный почвенный азот.

Мужей учёных занимает

Метаморфоз азота ход.

Чьей волей превратится оный

В нуклеотиды и гормоны?

Так воспоем же мы растенья

Процессов мудрый оборот,

Что превратит в соединенья

И зафиксирует азот!

- 3 -

Затем аммоний сей любимый

При волшебстве ГС-ГАГАТА

Полезным станет глутамином,

Что с альфа-кетоглутаратом

Даст в результате глутамат.

Ему всяк сущий будет рад!

«Суть оды?» - спросите сурово....

Приправу знаете «Вегета»?

Без глутамата вы в столовой

Едва ль осилите котлету!

Любви ионы все покорны.

А потому, без лишних слов,

Представим сразу вам героев

Сей пьесы.

Итак, знакомьтесь. Энотри.

Храбрец-ион, без недостатков.

Что? Минус? Бросьте вы.

Он это...так...для красоты.

Подруга верная его, Энашчетыре Сплюсом,

Что в почвенном растворе,

Меж частиц пространство поделила с ним

И в радости, и в горе.

Влюбленным, как известно, не терпится гулять.

И наши два иона не стали нарушать

Обычай этот бережно хранимый.

Влекомые потоками воды,

Отправились они навстречу приключениям.

Ничто не предвещало им беды.

Но вдруг течение стало очень быстрым,

И прямо на глазах у Энотри

Энашчетыре потянула вихрем

Откуда-то из темноты

Неведомая им обоим сила.

И скажем без прикрас,

Была она чудовищна и непреодолима.

То корень был, растение питавший

И так внезапно разорвавший

Любви и дружбы узы.

О, бедный Энотри! Метнулся он,

Чтобы спасти Энашчетыре. Но, увы,

Попытки эти тщетны были.

Рванул герой что было мочи,

И закрутил водоворот,

Что чуть не выпал кислород

Из иона храброго. Ну вот.

Теперь герой наш в корне ищет,

Быть может здесь его Душа.

Стремится в клетку он проникнуть,

Но плазмалемма, шебурша

Своими портерами грозно,

Не хочет внутрь его пустить. По счастью,

Протоны, что рядом проходили,

Мольбам нитрата внемля, нитрата провели

С собой в симпорте.

Теперь наш Энотри - ион метаболического пула.

А где Энашчетыре? Быть может в вакуоли?

Увы, нашел там Энотри себе подобных только. Но они

Совет ему ценнейший дали.

Пройти в симпласт они ему велели через подвижный пул,

А там уж по ксилеме подняться сможет он повыше по растению

И посмотреть, уж нет ли там Ее.

Помчался Энотри с потоком вверх и вскоре

Достиг заветного листа. Но кто же знал,

Что путешествие его окажется напрасным. О горе!

Пустынны вакуоль и цитозоль.

Нет и следа избранницы прекрасной.

Побрел герой в отчаянье восвояси.

Но кто это?

Бежит ему навстречу нитрат другой..."Спаси!

Металлофлавопротеин под тяжестью оков изнемогает.

Давай мы активируем ее!"

И вот они вдвоем отправились освободить ЭнЭр.

Инактивировал ее четырнадцать три-три – димер.

К тому ж остаток кислоты, что фосфорной зовется, на ней повис

(то протеинкиназа, словно хитрый лис,

Инактивировала серин первой петли).

Нитраты вмиг индукцию произвели.

Освобожденная, спросила Редуктаза: “Могу ли я полезной вам быть?”

И рассказал ей Энотри об участии его постигшей.

А мудрая Энэр дала такой ответ:

“Твоя Энашчетыре скорей всего уже в аминокислоте”.

“Но как попасть туда мне?” - молвил

Всерьез обеспокоенный нитрат.

“Я знаю путь и укажу тебе дорогу.

Но будешь ты подвергнут превращениям.

Готов ли ты?” “Конечно. Без сомнений”

Преображен был Энотри в нитрит

Ценой прибавки электрона. Да что там ...даже двух.

У Энотри ажхватило дух,

Но не успел опомниться он, а НиР, сестра Энэр,

Продолжила цепочку превращений.

И вот уже нитрит, приняв 6 электронов,

Похож стал на аммоний.

В пластиде дело было. Посему, закруженный каскадом,

Посажен был герой наш в глутамин.

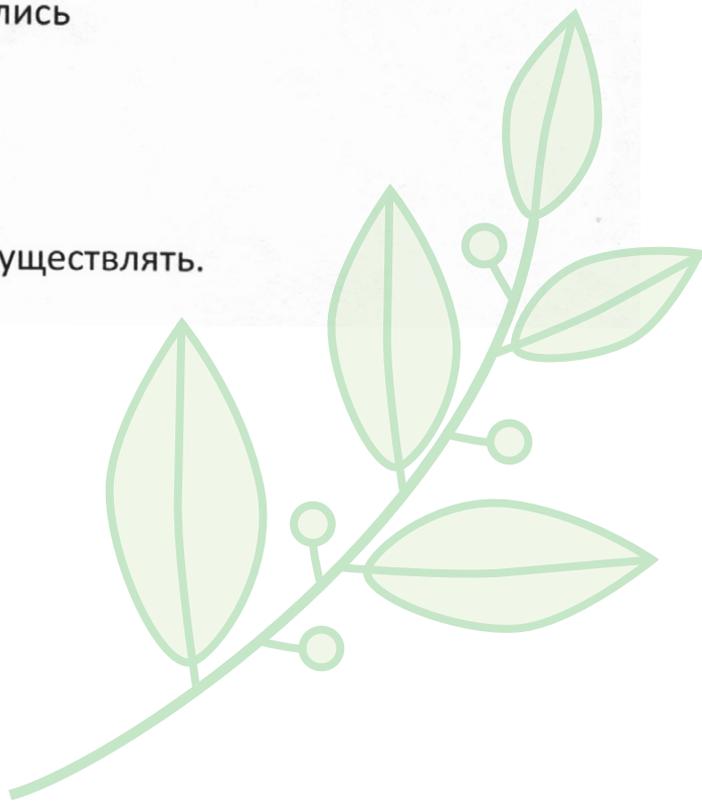
То потрудился добрый ГС 2 - он глутамат преобразил,

И заодно решил помочь влюбленным ионам.

Фд – ГОГАТ, трудолюбивый друг ГСа, прибавил альфа кетоглутарат.



И вот уж глутамат и глутамат готовы.
Так где ж Энашчетыре? А она, как предсказала Редуктаза,
Была подвергнута преобразению:
ГС 1 и НАДН-ГОГАТ осуществили превращение.
И вот она в аминокислоте несется вверх,
Чтобы попасть в листок.
И, о чудо-провидение! Включились
Две аминокислоты в белок
И встретились влюбленные
азоты и стали функцию одну осуществлять.



Баллада об азоте

¹
Пора пропеть хвалу нам в честь азота
От имени зелёного листа:
Оставшись без его круговорота,
Земля безвидна будет и пуста.

²
Не оживут под Солнцем континенты,
Их почвы не родят вовеки плод,
Лишённые важнейшей компоненты
Белков и нуклеиновых кислот.

³
Всё учтено при сотвореньи мира,
Роптать и бесполезно, и грешно.
Планета наша – милая квартира,
Хотя, признаться, не без ряда «НО».

⁴
Возможно, дух мятежный Люцифера
Повинен в том, что доверху полна
Инертного азота атмосфера,
А почва им, увы, весьма бедна.

⁵
На козни эти смотрим сверху вниз мы,
И нет пока резона опасаться их:
Ведь есть на наше счастье механизмы
Биологической азотфиксации.

⁶
Идёт процесс фиксации азота,
Слегка в нём голод почвы утолён,
И возблагодарим прокариота,
Что древний шар цветущ и населён.

⁷
Незримо в недрах почвенных субстратов
И день и ночь, умелы и шустры,
Аммоний окисляют до нитратов
Бактерии-нитрификаторы.

⁸
И, словно итальянец макароны,
Растенья поглотить спешат в борьбе
Растворы, содержащие ионы
Нитрата и аммония в себе.

⁹
Источником азота для растений
Является, как правило, нитрат.
Путём довольно сложных превращений,
Больших энергетических затрат

10

Нитратной формы строгие чертоги,
Благоприятный улучив момент,
Растение разрушит и в итоге
Усвоит столь желанный элемент.

11

Ведь чтоб азоту засиять в оправе
Какой-нибудь аминокислоты,
В нитрате оставаться он не вправе,
Ему к лицу аммония черты.

12

Их обрести азот не может сразу,
Две стадии процессу суждены.
Нитрато- и нитриторедуктазы
Руководить посменно им должны

13

Жжёт углеводы, как в печи поленья,
Растенье чтоб пройти этап сперва
Двухэлектронного восстановленья
Нитрата до нитрита – NO_2^-

14

Быть может, чувство посильней экстаза
Доступно цитозолям клеток в миг,
Когда фермент нитраторедуктаза
Нитрит токсичный производит в них,

15

И как душа перед вратами рая,
Растение трепещет и горит,
Когда проходит стадия вторая,
И стать спешит аммонием нитрит?

16

В пластидах клеток дуба и осины,
Любых других кустов, деревьев, трав,
Шесть электронов у ферредоксина
Ион нитрита нагло отобрав,

17

Восстановился с лютым наслажденьем,
И вот готов уже – глядите все!
Нитриторедуктазы порожденье -
Аммония ион во всей красе,

18

Имеющий способность к превращенью
В азот любых растительных белков,
И скажем, прибегая к упрощенью,
Что ход реакций должен быть таков:

19

В процессе усвоения аммоний
Даёт нам глутамин и глутамат.
Два варианта этих церемоний -
Путь «ГДГ» и путь «ГС/ГОГАТ».

20

Тот и другой ведут в одни ворота
И оба, как увидишь после ты,
Закончатся включением азота
В молекулу аминокислоты.

21

Вступают в связь во время первой фазы
Аммоний и 2-оксоглутарат,
От **глутаматодегидрогеназы**
Зависит их союза результат.

22

Цикл носит имя этого фермента,
Он скор и точен, словно автомат.
Продукцией его ассортимента
Является вода и глутамат,

23

И в ритме автоматного затвора
Работать в обе стороны он рад,
Опять из глутаматного раствора
Производя 2-оксоглутарат.

24

И в скобках тут же, кстати, с автоматом
Такую аналогию дадим:
Не только огурцам или томатам,
Критически азот необходим.

25

Нужны нитраты, чтобы делать порох,
И хочешь так порою, нету слов,
Чтоб истины могли рождаться в спорах,
И пули не покинули стволов.

26

Чтоб зрели кукурузные початки,
Селитрой пашня сдобрена была,
И чтоб аммоний в облике взрывчатки
Не рвал живые тёплые тела.

27

А мирно в глутаматсинтазном цикле
Рождal бы снова жизнь за кругом круг,
Шумел бы лес, над речкой ивы никли,
И гнал пастух коров пастись на луг.

28

Наперекор способностям зловещим
Мир жил бы так, как молвил Божий глас,
И в недрах клеток вот какие вещи
Творились бы тайком от наших глаз:

29

Аммония ионы с глутаматом
Вступают в связь до той поры, пока
Не заместят в нём кислородный атом,
Когда минует в цикле пол-витка.

30

И глутаминосинтетазу клетки
(Или энзим ГС) пускают в ход,
Надёжней лома, проще табуретки
Был чтоб процесс и весь его исход.

31

Ковшом процесс энергию черпает,
И клетка щедро, лишь бы не погас,
В реакторную топку подсыпает
Аденозинтрифосфорный припас.

32

А глутамин, полученный в итоге,
Находит α -кетоглутарат
И в связке с ним вторые пол-дороги
Пройдёт он вместе, будто с братом брат.

33

И глутаматсинтазе, что привыкла
К известности под именем «ГОГАТ»,
Обязана вторая доля цикла
Тем, что на результаты он богат.

34

Но чтобы вышел прок из глутамина,
И глутамат, как надобно, возник,
Поддерживать огонь внутри камина
Исправно должен будет истопник.

35

Не сварись каши, клетка это знает,
Пока в печи ты жару не поддашь,
И потому усердно окисляет,
Внутри себя молекулы НАДН.

36

Одна из двух молекул глутамата,
Что выдал на горà ГОГАТ-процесс,
Используется в качестве субстрата,
И в новый цикл включается ГС.

37

**Другую, плавя как металл в горниле,
Придав любую форму ей легко,
В замысловатом или строгом стиле –
Барокко, а быть может рококо -**

38

**Пристроит, как задумывалось, клетка
В состав своей аминокислоты,
Которую, как здесь подметим метко,
Как знать – когда-нибудь усвоишь ты.**

39

**В борьбе добра со злом и света с тенью
Не выдумать страшнее катаклизм,
Чем неспособность полная растений
Азотный проводить метаболизм.**

40

**Поскольку все мы хлорофилла дети,
И нужен нам, как воздух, протеин,
Присущ невольный пафос строкам этим,
Хоть комом, как обычно, первый блин:**

41

**Не слишком вышла складною баллада,
Но, право, много ль в свете есть таких,
Кто знает, как писать об этом надо,
И кто б сложил хоть раз подобный стих.**

42

**Пусть он порой нелеп, косноязычен,
Но хочется надеяться, что всё ж
Как минимум, понятен и приличен,
Есть в нём намёк, как в сказке, но не ложь.**

ноябрь 2012 г.

Поэма о чудесах азотного обмена

Пролог

Как много есть чудес на свете.
И мне, конечно, всех не счесть.
Азот в листе, азот в ракете*,
Нельзя их, право, не учесть.

Лишь пару атомов имеет,
Летит, как воздух*, над землей,
Все изотопы он лелеет,
Хранит их лишь в земле сырой*.

Нитрат, селитры и амиды
Повсюду в почве и в воде,
Взрывоопасные азиды*
Светясь, таятся в темноте.

N₂-тиран и исполнитель.
Незримо правит он Землей.
Белков структуры повелитель.
Всем клеткам он диктует строй.

— • —

Суббота. Лекция. Картинки.
Передо мной одна из них.
Проектор, луч ... и без заминки
Азот торжественно возник.

Процессов много в жизни разных
И с этим атомом все так.
Простых и сложных, несуразных,
Какой придумал их чужак?

Азотфиксация, к примеру,
Разнообразнейший эксцесс,

Поток из почвы в атмосферу.
Восстановительный экспресс.

N₂ скорей в NH₄⁺
Аммоний нужен для всего,
Azotobacter и Бацииллы,
Смекнули это уж давно.

Еще важны гетеротрофы,
Органику разложат вмиг,
И получить ион готовый
Любой из них всегда привык.

Услышав это, удивился,
Куда же делись все бобы?
На экологии влюбился.
Я в их азотные ходы.

Но тут возникли симбиозы,
И появились клубеньки,
Арахис, соя и люцерны,
Как звезд далеких огоньки.

*Trifolium** – один из видов,
Как получает он азот?
Среди амидов, уреидов
И многих Аминокислот.

Щелчок. Щелчок. Опять картинка...
На полотне - цветной парад
Из схем различных анионов.
И вышел к публике нитрат.

Ион он в общем негативный,
Легко вступает в связь с водой.
И с током в почве, реактивный,
Перемещается порой.

Когда проплыв, достиг он корня
Возник протонный градиент,
Забрал в симпорт H^+ без боя,
Закончив свой эксперимент.

Ах да, конечно, все непросто,
По сути там системы две.
Чтоб оценить иона сходство,
У них есть гены NRT.

И вот, пройдя сквозь плазмалемму,
Герой наш вовсе не устал,
Метаболические пулы
По цитозолю распластал.

Создал он также запасные,
И разошелся не шутя,
Подвижность пула, проездные,
Как непослушное дитя.

Затем пошло все по-другому,
Два электрона захватил,
И перешел в другую форму,
Как редуктазу подключил.

Когда же друг наш стал нитритом,
Не захотел он долго ждать,
Чтобы не быть метаболитом,
Решил NH_4^+ стать.

Ну а потом уже включился.
В составе Аминокислот.
Пройти сей путь не поленился,
Себя избавив от забот...

Но вот звучат аплодисменты,
Закончен длительный рассказ,
Однако же не все моменты.
Пока раскрыты напоказ.

— • —

Четверг, азотная система,
Лежит поодаль книг рядок.
К контрольной мучаю я тему,
Бежит по телу холодок.

В талмуд* любимый мой зеленый
Смотрю я с пламенем в глазах,
Но смысл ферментов изощренный
Дается мне почти в слезах.

НР – димеры, тетрамеры,
Металлофлавопротеин,
С НАДН играть любил без меры
Бросал им с ФАД-а на птерин*.

А НиР- совсем другая мука,
Она не просто мономер,
Каскад из форм, такая штука
Всем редуктазам, как пример.

Есть два кофактора, домены,
Ферредоксин и сирогем,
Железо-серные обмены
С нитритом свяжут без проблем.

Теперь пришла пора, наверное
Аммоний кратко обсудить,
Его забавы и причуды
В стихах поэмы отразить.

Сродство важно для всех растений,
Бывает малым и большим,
Как целый мир хитросплетений,
Зависит транспорт от машин.

Есть транспортеры и каналы
И нужен даже там протон,
Чтоб в антипорте их сигналы
Перенесли бы внутрь ион.

Чтобы забрать NH_4^+ ,
Есть важных синтезов набор
Без глутамина, глутамата
Похоже все это на вздор.

И главной роли исполнитель,
Катализатор и фермент,
Он в обе стороны ровнитель
Большой цепи чудес фрагмент.

Есть в митохондриях и пластах,
Но ГДГ там не всегда,
Ведь жизнь порой не так прекрасна
Сигнал начала и конца*

Еще становится активным,
Ведет кого-то в быстроте.*
Без углерода в цикл Кребса,
Энзим при полной темноте.

Однако есть еще синтаза,
ГОГАТ ее всегда зовут,
Подружка верная в проказах,
ГС возьмется тут как тут.

Вдвоем они творят безумства,
В две стадии, всегда подряд,
Ассимилируют аммоний
Из глутамина в глутамат.

Еще частенько к ним приходят,
Ферредоксин или НАДФН,
Восстановители привносят
В процесс особый антураж.

Ах да, ГС бывает разной
По настроению всегда
То цитозольной, то пластидной
Бывает лишь 1 и 2.

— • —

Вокруг темно, во власти ночь.
Повсюду снег мерцает.
Листва осенняя летит,
завесу тайн скрывает.

И вижу я перед собой
Молекулу большую,
И не одну, а целый рой,
Как будто сеть речную.

Ох, что сказать о ней ?
Не знаю ...
Уж очень схема непростая...

Но есть там точно переходы
От шикимата в хоризмат*
Водили стрелок хороводы.
Арогенат и префенат.

И вскоре понял для чего же
Цикл шикиматный нужен нам ,
Не будь его и невозможен
F, Y* и даже триптофан .

Затем пошли пластохиноны ,
Токоферолы и лигнин,
Плюс алкалоиды возникли , и запах сена...
- Кумарин.

Еще на подписи к картинке,
Был удобрений целый ряд,
«Азот – осинке, хворостинке
Повсюду все его хотят»

И правда, что же перспективней
Нитрат, аммоний – вот вопрос
Наверное, то что эффективней.
Даешь на землю аммофос!

В нем много атомов заветных,
И даже фосфор есть в венце,

И много функций несравненных
Открыли в нем в Череповце.*

Конечно, нужен «N» растениям,
но также важен он и нам
без элемента сложно будет
Ученым, детям, бегунам.

И где найти такой источник ?
Повсюду мрак, сплошной разлад
- «А удобрения?»
- Люди! Полно!
Ведь появился шоколад *!

— • —

На юге Африки открыли
Прекрасных зерен аромат,
Забыв про дерево ванили,
Создав совсем иной формат.

Веками люди все мечтали,
Попасть в ужасный сладкий плен
И цепенели, и терялись,
Увидев шоколадный крем.

Прошли года, но все осталось,
Нужны азота очаги,
Но... в целом суть не поменялась
С изящной линией фольги...

— • —

Проснулся... Время 9-40.
И бросило внезапно в жар,
Собрал учебников я ворох,
И побежал на семинар.

Эпилог

*Закат разгоревшийся тает,
Мерцающая огарком свечи,
Азот по планете летает,
Химический символ в ночи.*

Комментарии автора

- «азот в ракете» – в качестве ракетного топлива и источников кислорода на космических кораблях часто используют нитраты и нитриты натрия.
- «как воздух» – $M(r)(N_2) \sim M(r)(\text{возд})$, 28~29
- «в земле сырой» – большинство изотопов азота находится в почве
- «азиды» – соли азотистоводородной кислоты, взрывоопасны и слабо люминесцируют.
- «Trifolium» – здесь *Trifolium acer*.
- «талмуд» – зд. Учебник «Физиология растений» под ред. Ермакова.
- «птерин» – зд. имелась ввиду передача электронов на молибдоптерин.
- «ведет кого-то в быстроте» – зд. образующийся после дезаминирования α -кетоглутарат дополнительно включается в цикл Кребса.
- «от шикимата в хоризмат» – зд. конечно, представлена только часть шикиматного пути синтеза ароматических аминокислот.
- «F,Y» – в современной номенклатуре обозначения аминокислот – фенилаланина и тирозина.
- «в Череповце» – город в Вологодской области, где расположен один из крупнейших в России комплекс по производству азотных удобрений ФосАгро.
- «...шоколад» – шоколад рекомендуют употреблять при недостатке азота в организме (один из вариантов)