

# УТИЛИЗАЦИЯ АЗОТ- И ФОСФОР-СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В ГОРОДЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ **БИОТОПЛИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

**Показано, что природно-техногенные циклы азота и фосфора являются в настоящее время «ключом» к запуску масштабных программ по производству биотоплива.**

**Показано, что сточные бытовые воды, осадки сточных вод, стоки животноводческих комплексов, твердые бытовые отходы являются важной частью реализации таких программ. Сделан расчет количества получаемого биотоплива на основе биогенных элементов, поступающих из отходов мегаполиса. Произведена оценка количества потенциально возможной электроэнергии, которую можно получить из биотоплива, используя уже разработанные, внедренные и перспективные технологии.**



## Введение

Среди путей энергосбережения наиболее перспективный – замена ископаемого топлива возобновляемым, то есть так называемым «биотопливом». Оценки экспертов предполагают, что в передовых европейских странах доля ископаемых ресурсов, заменяемых на биотопливо, в ближайшие 5-10 лет составит 10 %.

По способу получения исходной биомассы можно выделить два направления развития биотопливной энергетики:

1) получение биотоплива из органического вещества, уже произведенного природой или образующегося как отход жизнедеятельности людей в городских агломератах (органические бытовые и производственные отходы, биомасса древесных отходов города и т.д.);

2) производство биомассы из  $\text{CO}_2$  (атмосферного или из состава продуктов сгорания органических топлив), когда требуется применение биогенных элементов (азота, фосфора и др.) и дальнейшая переработка полученной биомассы в биотопливо.

Биогенные элементы – кирпичики, составляющие биомассу. Соотношение их меняется

**Н.М. Щеголькова\***,  
доктор биологических наук, главный специалист Инженерно-технологического центра, Московское государственное унитарное предприятие «Мосводоканал»

в зависимости от происхождения биомассы, но набор основных макроэлементов неизменен.

Углерод, необходимый для производства биомассы фотоавтотрофов, потребляется непосредственно из атмосферы или из выбросов энергетических предприятий. Это углекислый газ, избыток которого не первый год считается причиной изменения климата. Следующие по значимости макроэлементы – азот и фосфор.

Недооценка лимитирующей роли азота и фосфора для получения биотоплива сводит на «нет» все грандиозные планы по снижению потребления ископаемого топлива. Для технологии производства биомассы эти элементы могут поставляться с минеральными и органическими удобрениями, в том числе с теми, что получены из разного рода отходов. Цель работы: оценить возможности развития биотопливной энергетики, исходя из получения биотоплива на основе использования отходов мегаполиса (осадки водоочистных сооружений, сточные бытовые воды,

\* Адрес для корреспонденции: [NShegolkova@mail.ru](mailto:NShegolkova@mail.ru)

стоки животноводческих комплексов, твердые бытовые отходы) и определить, какая доля производимого электростанциями  $\text{CO}_2$  может быть ассимилирована в биомассу при наличии ограничений на количество биогенных элементов.

Объекты исследования: массовые балансы азота и фосфора в природно-техногенных циклах крупного мегаполиса (на примере Москвы).

## Материалы и методы исследования

*Методология расчета необходимого количества азота и фосфора, необходимого для биотопливного производства*

Атомарное соотношение элементов в биомассе фотоавтотрофов составляет  $106\text{C}:16\text{N}:1\text{P}$ . Исходя из этого соотношения для получения 1 кг сухой биомассы необходимо около 500 г углерода, 80 г азота и 13 г фосфора.

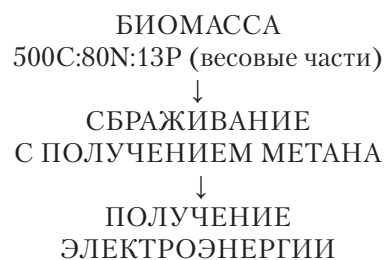
Фотоавтотрофные организмы (водоросли или наземные растения) получают азот и фосфор в виде минеральных соединений (азот – из аммонийных, нитритных или нитратных солей, фосфор – из фосфатов). При интенсивном растениеводстве невозможно избежать внесения азотных и фосфорных удобрений, так как эти элементы выносятся из почвы с биомассой. То же справедливо и для водорослевых реакторов – высокая продуктивность водорослей обеспечивается постоянным поступлением азота и фосфора в рабочий раствор фотобиореактора. Источниками поступления питательных элементов служат минеральные и органические удобрения, изготовленные на базе минерального сырья или отходов.

Сырьем для получения азотных удобрений (аммиачная селитра, карбамид, сернокислый аммоний и др.) является аммиак. Ранее аммиак получали из кокса и коксового газа, в последнее время на смену коксу и коксовому газу в качестве основного сырья для производства аммиака пришел природный газ. По объему производства аммиака Россия занимает четвертое место в мире после Китая, США и Индии, получая примерно 6 % этого вида продукции. Производство фосфорных удобрений основано на переработке фосфорного сырья – фосфоритов. Следует отметить, что для всей отрасли минеральных удобрений характерна высокая тепло- и энергоемкость (доля энергоносителей в себестоимости продукции составляет от 25 до 50 %).

В РФ в 2009 г. произведено всего 16207 тыс. т минеральных удобрений. [1]. Производство

удобрений в России – экспортно ориентированная отрасль. Наш расчет доли удобрений, остающихся для нужд сельскохозяйственного производства РФ, показал, что эта доля составляет всего около 10 %. Некоторые эксперты, впрочем, называют значение 20 % для остающихся в стране удобрений [2].

Для выяснения количества электроэнергии, которую возможно получить из биотоплива с применением производимых в стране минеральных удобрений, нами был проделан расчет по следующей технологической схеме:



Выбор данной технологической схемы обусловлен тем, что для получения биогаза уже существуют готовые технические решения, и данное направление интенсивно развивается в странах Европы.

При этом мы воспользовались общедоступными удельными показателями:

Чтобы оценить потенциал РФ по производству биотоплива, мы рассчитали потенциально возможное количество биомассы, которую можно получить из биогенных элементов всех производимых в стране минеральных удобрений за 1 год. Расчет делался по азотным удобрениям, так как соотношение N/P для всех производимых удобрений показывает, что лимитирующим элементом является азот. Количество электроэнергии, которое может быть получено из данной

При этом мы воспользовались общедоступными удельными показателями:

Показатель	Размерность	Значение показателя (источник)
удельный расход условного топлива	г у.т./кВт.ч	333 [1]
соотношение тонны метана к т.у.т. по удельной теплоте сгорания топлива	-	1,709
вес 1 м <sup>3</sup> метана при н.у.	кг	0,714
выход метана при сбраживании из 1 т сухой биомассы	м <sup>3</sup>	250

биомассы, равно 78,2 млрд. кВт ч, что составляет 7,9 % от всей энергии, производимой в РФ [1]. Учитывая, что только 20 % удобрений остается для внутренних нужд, значения уменьшаются до 15,6 млрд. кВт ч и 1,6 %, соответственно. При этом необходимо иметь в виду, что остающаяся часть удобрений используется, прежде всего, для сельскохозяйственного производства, а не для производства биотоплива. Таким образом, производство биотоплива с применением минеральных удобрений в настоящее время возможно лишь в ничтожно малых количествах.

#### *Сравнение с количеством биотоплива, получаемого без использования азотных и фосфорных удобрений*

Получение биотоплива без использования минеральных удобрений тоже возможно. Это, например, производство топливных пеллет из отходов деревообработки, переработка отходов сельскохозяйственного производства (соломы) или других органических отходов, а также использование органического вещества любых отходов для конверсии его в биотопливо (метан, спирт и т.п.). В последнем случае микроорганизмы, используя энергию химической связи уже созданного ранее фотоавтотрофами органического вещества, производят биогаз или спирт. В данной работе мы рассматривали лишь технологии получения биотоплива, осуществимые в крупном городском агломерате, биотопливо из отходов лесного и сельскохозяйственного производства для таких территорий не имеет решающего значения.

Одной из задач являлось сравнение производимого количества энергии мини-ТЭС очистных сооружений, работающих на биогазе, с потенциально возможным получением энергии из биотоплива с использованием азота и фосфора городских отходов.



#### **Ключевые слова:**

азот,  
фосфор,  
биотопливо,  
бытовые стоки,  
осадки сточных вод,  
твердые бытовые  
отходы

Самым крупным источником органического вещества в городе, конвертируемого в биогаз для дальнейшего использования на мини-ТЭС, является избыточный активный ил очистных сооружений и органическая часть стоков животноводческих комплексов. Технологии сбраживания органической массы в метантенках для получения биогаза уже реализованы в Москве и данные по выходу биогаза и получаемой электроэнергии известны [3]. На мини-ТЭС очистных сооружений такого города как Москва за счет использования биогаза очистных сооружений может быть получено 150 млн. кВт ч электроэнергии в год, что составляет половину всей энергии, затрачиваемой на технологию очистки воды. Получение электроэнергии на биогазе животноводческих комплексов только начинает внедряться в некоторых хозяйствах Московской области, поэтому данных по удельным характеристикам этих технологий нет. Однако, зная количество биогенных элементов всех стоков животноводческих комплексов (табл. 1), которые весьма близки по значениям к количеству биогенных элементов сооружений очистки (стоки и осадок в сумме), можно принять потенциально возможное количество получаемой энергии от биогаза всех животноводческих комплексов равным тому, что образуется на очистных сооружениях бытовых стоков, т. е. 150 млн. кВт ч электроэнергии в год.

#### *Источники биогенных элементов для производства биотоплива*

Выбор биомассы для биотоплива всегда зависит от специфики природно-экономических условий региона. Как ранее было доказано [4], биомасса, используемая на биотопливо, должна быть получена «не по плану биосферы». Лишь в этом случае имеет место глобальное энергосбережение и снижение выброса парниковых газов одновременно. Наиболее перспективной технологией получения биомассы является производство микроводорослей. В данной работе не рассчитывались массовые балансы по конкретным технологическим цепочкам, но принималось, что технология получения биомассы может быть как водорослевая, так и любая другая – например, полученная в результате выращивания быстрорастущих пород деревьев [5]. В статье оцениваются способы обеспечения растущей биомассы необходимыми биогенными элементами, полученными из следующих городских отходов:

1. загрязненные поверхностные стоки с городских или сельскохозяйственных территорий,

2. бытовые стоки городских очистных сооружений,
3. городские осадки сооружений водоочистки и водоподготовки,
4. газовые выбросы ТЭЦ мегаполиса [4],
5. золошлаки ТЭЦ,
6. выбросы автотранспорта,
7. твердые бытовые отходы,
8. древесные отходы,
9. отходы животноводческих комплексов.

#### *Расчет материальных потоков, содержащих азот и фосфор, в мегаполисе*

В соответствии с приведенным списком источников азота и фосфора для производства биомассы нами сделан расчет для Москвы по каждому из источников.

#### *Методология расчетов*

1. Количество азота и фосфора, поступающего в реку-водоприемник с городскими поверхностными диффузными стоками (помимо бытовых), было рассчитано по массовому расходу азота и фосфора через створ р. Москва, расположенный выше первого выпуска очистных сооружений бытовых стоков [6]. В реке в этом створе основную долю азота и фосфора составляют соединения, попавшие с загрязненным поверхностным стоком в городской черте. Расчет производился:

$$MP_{N, P \text{ река}} = \sum (C_{N, P} \times Q_{p.Москва}),$$

где  $MP_{N, P}$  – массовый расход азота/фосфора (т/год);

$C_{N, P}$  – концентрация азота/фосфора в створе, определяемая ежемесячно (г/дм<sup>3</sup>);

$Q_{p.Москва}$  – расход реки через данный створ за месяц (тыс.м<sup>3</sup>).

2. Количество азота и фосфора в бытовых стоках города рассчитывалось:

$$MP_{N, P \text{ стоки}} = \sum (C_{N, P} \times Q_{\text{сток}}),$$

где  $MP_{N, P}$  – массовый расход азота/фосфора в стоках (т/год);

$C_{N, P}$  – концентрация азота/фосфора в стоках, определяемая ежемесячно;

$Q_{\text{сток}}$  – месячный расход стоков (тыс.м<sup>3</sup>).

3. Масса азота и фосфора в осадках станций водоподготовки и водоочистки рассчитывалась:

$$M_{N, P \text{ осадки}} = \sum (C_{N, P(ОСВП)} \times M_{ОСВП}) + \sum (C_{N, P(ОСВО)} \times M_{ОСВО}),$$

где  $M_{N, P}$  – масса азота/фосфора в осадках (т/год);

$C_{N, P(ОСВП)}$  – концентрация азота/фосфора в осадках станций водоподготовки, определяемая ежемесячно, г/кг;

$M_{ОСВП}$  – количество образующегося в месяц осадка станций водоподготовки (тыс.т);

$C_{N, P(ОСВО)}$  – концентрация азота/фосфора в осадках станций водоочистки, определяемая ежемесячно, г/кг;

$M_{ОСВО}$  – количество образующегося в месяц осадка станций водоочистки (тыс.т).

4-5. Данные по газовым выбросам и по отходам золы ТЭЦ взяты из измерений выбросов ТЭЦ (по формам 2 ТП) [7]. Содержание фосфора в золе ТЭЦ принималось равным 0,6% [8]. Необходимо учитывать, что использованные данные основаны на оценке образования золы в ситуации, когда большую часть топлива составляет природный газ. При сжигании угля для получения того же количества энергии содержание золы по оценочным расчетам составит 16,2 тыс. т в год.

6. Выбросы автотранспорта рассчитывались:

$$B_N = UB_N \times СП_{\text{авто}} \times K_{\text{авто}},$$

где  $B_N$  – выбросы азота всеми автомобилями, тыс. т/год;

$UB_N$  – удельный выброс N одного автомобиля, г/час [9];

$СП_{\text{авто}}$  – средний пробег одного автомобиля в городе (принимался равным 3 часам в сутки),

$K_{\text{авто}}$  – количество зарегистрированных в Москве автомобилей на 2010 г (3 861 000) [10].

7. Содержание азота и фосфора в твердых бытовых отходах города рассчитывалось:

$$M_{N, P \text{ ТБО}} = ЧЖ \times НО \times СОФ \times C_{N, P \text{ ОФ}}$$

где ЧЖ – число жителей (12 млн. чел.);

НО – норматив отходов на 1 жителя (0,262 т/год);

СОФ – содержание органической фракции в ТБО, % [11];

$C_{N, P \text{ ОФ}}$  – содержание азота/фосфора в органической фракции ТБО, %.

8. Содержание азота и фосфора в древесных отходах города рассчитывалось, исходя из образования отходов (300 тыс. м<sup>3</sup>/год), плотности (500 кг/м<sup>3</sup>), влажности (50 %) и содержания азота на сухой вес (1 %) и фосфора (0,03 %).

9. Содержание азота и фосфора в отходах животноводческих и птицеводческих комплексов рассчитывалось исходя из данных по мощностям (поголовью) функционирующих комплексов в Московской области [1], а также из известных данных по суточному выделению и составу фекалий коров, свиней и птицы [12].

**Таблица 1**

Содержание азота и фосфора в потоках отходов мегаполиса, тыс.т/год (н/з – не значимо)

	Азот	Фосфор
В городской реке, загрязненной поверхностными стоками (без учета бытовых стоков)	5,34	0,22
В стоках очистных сооружений мегаполиса	35,2	4,1
В городских осадках сооружений водочистки и водоподготовки	10,8	8,0
В газовых выбросах ТЭЦ мегаполиса [5]	20,4	н/з
Золошлаки ТЭЦ [5]	н/з	0,007 (16,2 <sup>*</sup> )
В выбросах автотранспорта	42,7	н/з
В твердых бытовых отходах	4,6	2,2
В древесных отходах города	0,8	0,023
В стоках животноводческих комплексов	42,2	8,8
ВСЕГО потенциально	162,1	39,6
Всего реально в настоящее время	114,0	23,2

\* – в случае сжигания угля

## Результаты и их обсуждение

Результаты расчетов представлены в *табл. 1*.

Поскольку золошлаки ТЭЦ утилизируются в основном в строительные материалы, содержание фосфора в них для получения биотоплива не учитывалось.

К источникам биогенных элементов, которые реально не могут быть использованы из-за отсутствия (в настоящее время) технологии сбора и утилизации данного отхода, относятся выбросы автотранспорта. Однако, имея в виду значительный вклад данного источника азота, технологические способы, позволяющие очищать выбросы автотранспорта и одновременно снабжать азотом процесс получения возобновляемого биотоплива, несомненно, появятся в дальнейшем.

Производство биомассы в загрязненной городской реке также пока является проблематичным, однако бурное развитие в мире технологий ветландов и биоплато позволяет утверждать, что и данный источник биогенных элементов будет, в конце концов, использоваться.

Технологии, которые предлагается использовать для получения биотоплива в мегаполисе, представлены в *табл. 2*. Для сбалансированного снабжения растущей биомассы азотом и фосфором необходимо объединять азот- и фосфорсодержащие потоки в нужном соотношении. Эта задача, не рассматриваемая в данной работе, реально осуществима.

Стимулом и экономическим обоснованием

для развития всех перечисленных выше технологий может являться дополнительный «бонус» от их внедрения – все они направлены на очистку городской среды обитания от вредных для человека веществ. Производство биотоплива может очищать газовые выбросы, стоки, а также почвы тех территорий, на которых будут располагаться комплексы выращивания биомассы.

Соотношение азота к фосфору в сумме всех реальных источников биогенов свидетельствует о том, что азот является лимитирующим элементом, поэтому далее расчет потенциально возможной электроэнергии мы делали по азоту.

Как видно из *табл. 2*, из биогенных элементов, содержащихся в реально существующих и уже собираемых отходах города, используя имеющиеся технологии можно произвести 1,3 млрд. кВт ч в год, что составляет 2,6 % от всей электроэнергии, потребляемой в Москве или 0,13 % электроэнергии, производимой в РФ. Это в 9 раз больше, чем возможно получить на электростанциях, работающих на биогазе очистных сооружений мегаполиса. Разработав технологии сбора и утилизации автомобильных выбросов, возможно увеличить количество получаемой электроэнергии до 1,9 млрд. кВт ч в год (или 3,7 % от потребляемой в Москве).

Наши расчеты позволяют сделать оценочный расчет доли всего биотоплива, образующегося в результате указанных в *табл. 2* технологий, а также уже реализованных технологий мини-ТЭС на очистных сооружениях и животноводческих комплексах. Общее возможное производство энергии биотоплива в мегаполисе равно 1,6-2,2 млрд. кВт ч в год (реально и потенциально, учитывая развитие технологий). Это составляет 3,2-4,3 % от потребляемой энергии в Москве, соответственно. Таким образом, максимально возможная доля всего биотоплива, производимого за счет утилизации отходов города – около 5 %.

Расчеты показывают, что при оптимальном использовании имеющихся в городе потоков биогенных элементов технологически в процессе получения биотоплива будет утилизировано около 3 млн. т CO<sub>2</sub> в год, что составляет 5 % от выделяющегося CO<sub>2</sub> на теплоэнергетических предприятиях города в настоящее время.

Выполненные нами расчеты позволили оценить, каков реальный потенциал биоэнергетики в крупных городах. Кроме того, они показали, что существуют совершенно новые направления развития технологий, которые могут реально увеличить долю получаемого биотоплива. Это такие направления, как очистка газовых выбросов ТЭЦ и автотранс-



**Таблица 2**

Используемые технологии получения биотоплива с использованием биогенных элементов городских отходов

Материальные потоки города, содержащие биогенные элементы	Технологические цепочки получения биотоплива			
Стоки очистных сооружений мегаполиса	Биореакторы по производству водорослей →	Сбор и сбраживание биомассы (получение биогаза)		
Городские осадки сооружений водоочистки и водоподготовки	Производство почвогрунтов и выращивание биомассы на специальных полях →	Сбор и переработка биомассы в биогаз/ пеллеты/биоэтанол		
Газовые выбросы ТЭЦ мегаполиса [2]	Системы мокрой очистки выбросов →	Системы сбора азотсодержащей жидкости →	Биореакторы по производству водорослей →	Сбор и сбраживание биомассы (получение биогаза)
Органическая часть Твердые бытовые отходы	Сепарация органической части →	Компостирование органической части с городскими осадками или древесными отходами →	Производство почвогрунтов и выращивание биомассы на специальных полях →	Сбор и переработка биомассы в биогаз/ пеллеты/ биоэтанол
Древесные отходы города	Измельчение →	Компостирование (только вместе с городскими осадками) →	Производство почвогрунтов и выращивание биомассы на специальных полях →	Сбор и переработка биомассы в биогаз/ пеллеты/ биоэтанол

**Таблица 3**

Сравнение энергетического потенциала биомассы, которую можно получить, используя биогенные элементы минеральных удобрений и отходов мегаполиса в расчете на 1 год

	Реально в отходах Москвы в соответствии с имеющимися технологиями	Потенциально в отходах Москвы	Азотных удобрений, произведенных в РФ
Имеется азота, тыс.т	114,0	162,1	6830
Будет произведено сухой биомассы, тыс. т	1425	2026	85375
Получится метана, тыс.м <sup>3</sup>	356145	506607	21343750
Из метана может быть произведено электроэнергии, млрд. кВт ч	1,3	1,9	78,2
Доля полученной энергии от всей потребляемой в Москве, %	2,6	3,7	157,1
Доля полученной энергии от всей производимой в РФ, %	0,13	0,19	7,9
Во сколько раз полученная электроэнергия превышает производимую на мини-ТЭС очистных сооружений мегаполиса	9	12	522

порта с дальнейшим использованием азотсодержащих жидкостей в качестве азотного удобрения. Разработка этих технологий позволит существенно увеличить получение биотоплива с использованием городских отходов.

## Заключение

**О**тходы мегаполиса – важная составляющая в производстве биотоплива. По нашим оценочным расчетам общий вклад биотоплива в энергоснабжение города реально может составлять 4,3 % от всей электроэнергии, потребляемой городом. Большая часть биотоплива может быть произведена лишь с использованием новых технологий, используя городские отходы (осадки сооружений водоочистки и водоподготовки, сточные бытовые воды, стоки животноводческих комплексов, твердые бытовые отходы), как источник азота и фосфора для биомассы.

## Литература

1. Российский статистический ежегодник, 2007 год.
2. Государственная программа на 2008-2012 гг. Минсельхоз РФ. Электронный ресурс: <http://www.mcx.ru/navigation/docfeeder/show/145.htm>
3. Данилович Д.А. Энергосбережение и альтернативная энергетика на очистных сооружениях канализации. // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 1. С.9-20.
4. Щеголькова Н.М. Основные направления и перспективы развития биоэнергетики // Теплоэнергетика.. 2010. № 4. С. 36-44.

5. Щеголькова Н.М. Формирование искусственных почвогрунтов в городской среде: новые подходы к решению экологических проблем мегаполисов / Н.М. Щеголькова, А.Я. Ванюшина // Сб.матер. III Междунар. конф. «Современные проблемы загрязнения почв». М.: ф-т почвоведения МГУ, 2010. С. 180-182.

6. Щеголькова Н.М. Закономерности формирования экологических условий современной реки мегаполиса // Вода и экология. Проблемы и решения. 2006. № 4. С. 3-12.

7. Анализ влияния ТЭЦ Москвы на концентрации загрязнителей и риск для здоровья по районам города. Электронный ресурс: <http://www.wiki.rssi.ru/ehips/Moscow/MoscowStep2.htm>

8. Переработка золошлаков ТЭС. Электронный ресурс: <http://ссп.e-apbe.ru/uploads/files/ecoba.pdf>

9. Бретшнайдер Б. Охрана воздушного бассейна / Б. Бретшнайдер, И. Курфюрст. Л.: Химия. 1989. 345 с.

10. История объектов Москвы (автоматическая привязка описаний). Электронный ресурс: <http://mosday.ru/forum/viewtopic.php?t=1907>

11. Особенности производства из компостов ТБО эффективных почвогрунтов и перспективы рынка. Архипченко И.А. (Влияние добавки микробной ассоциации «ОМУГ» на химические параметры компоста из ТБО.) Электронный ресурс: [http://incot.ru/www/docs/exh\\_acc/08\\_othody/03.pdf](http://incot.ru/www/docs/exh_acc/08_othody/03.pdf)

12. Арзуманян Е.А. Животноводство / Е.А. Арзуманян, А.Л. Бегучев и др. М: Агропромиздат, 1989. 512 с.



N.M. Shchegolkova

## UTILIZATION OF NITROGEN-AND PHOSPHORUS-CONTAINING WASTES, ISSUES OF BIOFUEL ENERGY DEVELOPMENT

**N**atural man-made cycles of nitrogen and phosphorus are shown to be the "key point" for launching production of biofuels. It is shown that household waste water, sewage sludge, cattle-breeding complexes sewage, municipal solid

wastes are an important part of the implementation of such programs. Resulting biofuel-based nutrients, wastes coming from the city have been calculated. Potential possible energy derived from biofuels by using already developed and

implemented technologies has been estimated.

**Key words:** nitrogen, phosphorus, biofuels, domestic sewage, sewage sludge, municipal solid waste

