

З.Е. Баязитова<sup>1\*</sup>, А.С. Курманбаева<sup>1</sup>, С.Б. Жапарова<sup>1</sup>,  
А.С. Бельгибаева<sup>1</sup>, Ж.О. Тлеуова<sup>2</sup>, Н.Г. Темирбекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НАО Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Казахстан, г. Кокшетау

<sup>2</sup>Кокшетауский университет им. А. Мырзахметова, Казахстан, г. Кокшетау

\*e-mail: z\_bayazitova@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ АНАЭРОБНОГО ТЕРМОФИЛЬНОГО СБРАЖИВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Установлено влияние анаэробного термофильного сбраживания сырья растительного и животного происхождения на изменение содержания биогенных элементов в жидкой и твердой фракциях эффлюента после биогазовой установки (БГУ). Превращение органических соединений в процессе анаэробного сбраживания обуславливает щелочную реакцию биогазового эффлюента. Сравнивая образцы жидкой фракции (фугата) и твердой фракции (дигестата) отходов из различного сырья (пищевых растительных отходов с навозом КРС и добавлением биопрепарата «Аграрка», навозом свиней и подстилочным навозом КРС), установлено, что содержание азота и калия в образцах фугата превышает соответствующие показатели дигестата, но содержание фосфора выше в дигестате (почти втрое). По содержанию биогенных элементов эффлюент после анаэробного термофильного сбраживания преобладают отходы после переработки пищевых растительных отходов с навозом КРС и добавлением биопрепарата «Аграрка». Жидкая и твердая фракции отходов биогазовой установки обогащены аммонийным азотом по сравнению с исходным сырьем более на 40 – 60% в зависимости от вида сырья. Фугат содержит менее от 4- 10% сухого вещества и основное количество калия. До 80% массовой доли азота в фугате составляет его аммонийная форма. На фоне низкой зольности дигестата содержание общего углерода высокое (более 30%).

**Ключевые слова:** эффлюент, удобрение, исходное сырье, общий углерод, гумусообразование, дигестат, фугат.

Z.E. Bayazitova<sup>1\*</sup>, A.S. Kurmanbayeva<sup>1</sup>, S.B. Zhaparova<sup>1</sup>,  
A.S. Belgibayeva<sup>1</sup>, Zh.O. Tleuova<sup>2</sup>, N.G. Temirbekova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kazakhstan, Kokshetau

<sup>2</sup>Kokshetau University named after A. Myrzakhmetov, Kazakhstan, Kokshetau

\*e-mail: z\_bayazitova@mail.ru

## The effect of anaerobic thermophilic fermentation of organic waste on changes in the content of biogenic elements

The influence of anaerobic thermophilic fermentation of raw materials of plant and animal origin on the change in the content of biogenic elements in the liquid and solid effluent fractions after a biogas plant (BSU) has been established. The transformation of organic compounds in the process of anaerobic digestion causes an alkaline reaction of the biogas effluent. Comparing samples of liquid fraction (fugate) and solid fraction (digestate) of waste from various raw materials (food plant waste with cattle manure and the addition of the biopreparation "Agrarka", pig manure and litter manure of cattle), it was found that the nitrogen and potassium content in the samples of the fugate exceeds the corresponding digestate values, but the phosphorus content is higher in the digestate (almost three times). According to the content of biogenic effluent elements after anaerobic thermophilic fermentation, waste after processing of food plant waste with cattle manure and the addition of the biological preparation "Agrarka" prevails. Liquid and solid fractions of biogas plant waste are enriched with ammonium nitrogen by more than 40-60% compared to the raw material, depending on the type of raw material. The fugate contains less than 4 to 10% dry matter and the main amount of potassium. Up to 80% of the mass fraction of nitrogen in the fugate is its ammonium form. Against the background of low ash content of digestate, the total carbon content is high (more than 30%).

**Key words:** effluent, fertilizer, feedstock, total carbon, humus formation, digestate, fugate.

З.Е. Баязитова<sup>1\*</sup>, А.С. Құрманбаева<sup>1</sup>, С.Б. Жапарова<sup>1</sup>,  
А.С. Белгібаева<sup>1</sup>, Ж.О. Тлеуова<sup>2</sup>, Н.Г. Темірбекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Қазақстан, Көкшетау қ.

<sup>2</sup> А. Мырзахметов атындағы Көкшетау университеті, Қазақстан, Көкшетау

\*e-mail: z\_bayazitova@mail.ru

### Органикалық қалдықтарды анаэробты термофильді ашытудың биогендік элементтер құрамының өзгеруіне әсері

Өсімдіктер мен жануарлардан алынатын шикізатты анаэробты термофильді ашытудың биогаз қондырғысынан (БГК) кейінгі эффлюенттің сұйық және қатты фракцияларындағы биогендік элементтер құрамының өзгеруіне әсері анықталды. Анаэробты ашыту процесінде органикалық қосылыстардың өзгеруі биогазды эффлюенттің сілтілі реакциясын тудырады. Сұйық фракцияның (фугат) және әртүрлі шикізаттан алынған қалдықтардың қатты фракциясының (дигестат) үлгілерін (ірі қара малдың көңімен және «Аграрка» биологиялық өнімін, шошқа көңін және ірі қара малдың төселетін көңін қоса отырып) салыстыра отырып, фугат үлгілеріндегі азот пен калийдің мөлшері тиісті дигестат көрсеткіштерінен асатыны анықталды, бірақ фосфордың мөлшері дигестатта жоғары (шамамен үш есе). Биогендік элементтердің құрамы бойынша эффлюент анаэробты термофильді ашытудан кейін ІҚМ көңімен және «Аграрка»биопрепаратын қосудан тағамдық өсімдік қалдықтарын қайта өңдеуден кейінгі қалдықтар басым болады. Биогаз қондырғысы қалдықтарының сұйық және қатты фракциялары шикізат түріне байланысты бастапқы шикізатпен салыстырғанда 40-60% – ға артық аммоний азотымен байытылған. Фугаттың құрамында 4-10% құрғақ зат пен калийдің негізгі мөлшері аз. Фугаттағы азоттың массалық үлесінің 80% – ы оның аммоний формасы болып табылады. Дигестаттың төмен құдділігі аясында жалпы көміртегі мөлшері жоғары (30% – дан астам).

**Түйін сөздер:** эффлюент, тыңайтқыш, бастапқы шикізат, жалпы көміртек, қарашірік түзілуі, дигестат, фугат.

### Введение

Технология получения биогаза и переработки органических отходов путем анаэробного сбраживания, давно известна человечеству. Она успешно применяется в ряде стран, способна значительно улучшить экономические, экологические и социальные условия в сельском хозяйстве. В ходе процесса анаэробного сбраживания в основном акцентируется внимание исключительно на производство биогаза и его переработку. Тем не менее, в процессе анаэробного сбраживания органической массы получаем эффлюент- который представляет собой жидкий материал с твердыми частицами в суспензии, имеющий такие химико-физические и агрономические характеристики, что можно считать хорошим удобрением [1]. Процесс анаэробного сбраживания, по сути, приводит к уменьшению органического вещества, но не уменьшает количество азота и фосфора, в то время как минерализует часть органического азота в аммиачный азот, делая его легкодоступным. Для биомассы, пригодной к анаэробному сбраживанию, входят отходы сельского хозяйства, пищевые отходы, навоз и др. Страны, где применение биогазовых технологий появились одними из первых это Япония, Непал, Индия и Китай [2]. В Казахстане

внедренных биогазовых технологии практически нет. Следует отметить, у отходов биогазовых установок (БГУ) нет общепринятого названия. В отечественной и зарубежной литературе их обозначают различными терминами: отходы БГУ – твердая и жидкая фракции вместе (эффлюент), дигестат – биогазовый осадок, биошлам, фугат – жидкий продукт центрифугирования, что выделяется во время обезвоживания сыпучего материала. По сепарации эффлюента образуется твердая и жидкая фракции.

Одним из обязательных условий от которого зависит качество эффлюента- это температурный режим сбраживания биомассы, при повышенной температуре неутрализируются патогенные микроорганизмы, погибают семена сорняков и т.д. в связи с этим можно считать что термофильное сбраживание является наиболее оптимальным.

Жидкий остаток сброженной массы отличается высокой экологичностью, так как во время термофильного анаэробного сбраживания органического сырья уничтожается патогенная микрофлора, находящаяся в навозе, нейтрализуется неприятный запах [3].

Дигестат является побочным продуктом анаэробного сбраживания, который редко считается производственным отходом (только тогда, ког-

да он не соответствует действующим нормам, например, с точки зрения азота или загрязняющих веществ), фактически, по большей части он представляет собой сырье для производства натуральных удобрений [4-5].

Состав дигестата также варьируется в зависимости от состава органического вещества, поступающий в анаэробный БГУ. Фактически, если он состоит только из сточных вод животноводства, азот состоит преимущественно из его аммиачной формы, тогда как если он образован выделенными культурами или агропродовольственными отходами азот преимущественно органический [6]. Некоторые исследования подчеркивают, как рН культуры сильно влияет на растворимость фосфора и микроэлементов; действительно, повышение рН сдвигает химический баланс в сторону образования фосфата ( $\text{HPO}_4^{2-} \rightarrow \text{PO}_4^{3-}$ ), а затем его осаждения в виде фосфата кальция или магния (например,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ). Изменения фосфора также может зависеть от формы связывания других элементов, таких как железо. Кроме того, минерализация магния, фосфора и азота в сочетании с повышенным рН культуры может привести к образованию и кристаллизации фосфата магния аммония (гидрат фосфата  $\text{Mg}$  e  $\text{NH}_4^+$ ). Сера, одно из самых важных питательных веществ для растений, наиболее доступна в окисленной форме, то есть сульфате ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) [7]. На реакции серы влияет окислительно-восстановительный уровень: органическая фракция сульфата, в отсутствие реагирует с протонами, что приводит к образованию сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) и других молекул, которые приводят к повышению рН и снижению концентрации сульфата.

Проведенные во многих исследованиях [8 – 14] эксперименты, показывают что качество возможных удобрений эффлюентов зависит от большого многообразия исходного сырья применяемого для производства биогаза, где содержание азота значительно отличался [15].

В исследованиях Qi G., Pan Z., Sugawa Y. и др. проведено сравнение свойств дигестатов из навоза крупного рогатого скота (КРС), полученных в условиях мезофильного и термофильного сбраживаний [16], особое внимание уделялось бактериям, стимулирующим рост растений.

Установлено, что свойства эффлюента зависят от исходного сырья и условий анаэробного сбраживания. С агрономической точки зрения использование эффлюента, имеет положительный эффект, т.к. обладает хорошей способностью удобрения, поскольку он приносит орга-

нические вещества и питательные элементы в почву, заменяя себя синтетическими удобрениями. Показано, что возможное использование анаэробных эффлюентов является альтернативой навозу в качестве удобрения [17]. В результате исследований образцы эффлюента и навоза были протестированы на питательные вещества, а также содержание бактерий, способствующих росту растений, и содержание тяжелых металлов.

Высокие концентрации калия, фосфора и тяжелых металлов содержали в навозе. По сравнению с навозом КРС в эффлюенте сброженной биомассы выявлено меньшее содержание тяжелых металлов, наличие большого количества азота, значительное количество бактерий, стимулирующих рост растений, которое подтверждают потенциальную способность эффлюента повышать плодородие почв. С. И. Тарасовым, Д. А. Ковалевым, Ю.В. Караевым проведено исследование влияния термофильного и мезофильного режимов работы БГУ за использование субстратов различных типов (полужидкого навоза КРС, жидкого свиного навоза, жидкого птичьего помета) на агрохимическую характеристику эффлюента [18]. Отмечается, что, несмотря на снижение содержания органических веществ, сохраняются основные гумусообразующие вещества и элементы биогенного питания растений. Влияние температурного режима анаэробной ферментации на изменение свойств субстрата не выявлено. Установлено, что чем выше и дольше температура в реакторе, тем лучше эффект обеззараживания. Таким образом, гибель патогенов и паразитов начинается в режиме мезофильной ферментации ( $33\text{-}38^\circ\text{C}$ ) и достигает максимума в режиме термофильной ферментации ( $53\text{-}55^\circ\text{C}$ ) [19-20]. Поэтому отходы БГУ имеют значительное преимущество как сырье для получения органического удобрения по сравнению с компостом, навозом и свежим пометом [21-24]. Определение влияния анаэробного сбраживания на изменение содержания биогенных элементов в жидкой и твердой фракциях эффлюента из отходов растениеводства и животноводства является важным вопросом в сельскохозяйственном производстве с целью дальнейшего его применения в земледелии [25-26]. Цель исследования – установить влияние анаэробного сбраживания сырья растительного и животного происхождения на изменение содержания биогенных элементов в жидкой и твердой фракциях эффлюента после биогазового реактора.

## Материалы и методы

Все эксперименты, проводили в анаэробных термофильных условиях (52- 55 °С) в биореакторе БУГ-Р производства компании «Ассоциация предприятий БМП», г. Вологда, Россия (рис 1.) при периодическом перемешивании (1 раз в сутки) в течении 15 суток. Биореактор, это расположенный вертикально, цилиндрическая емкость, внутри которой расположена мешалка. В нижней части биореактора находится водяная рубашка – полость заполненная водой, через ко-

торую происходит подогрев емкости с субстратом в автоматическом режиме до температуры 52- 55 С.

Аналитические работы проводились с образцами твердой (дигестат) и жидкую (фугат) фракций отходов БГУ, работающих на пищевых растительных отходах с навозом КРС и добавлением биопрепарата «Аграрка» (биодеструктор для компостирования органических отходов) в соотношении 1:1: 0,1 (1-я БГУ) и отходах животноводства (жидком навозе свиней и подстилочном навозе КРС, в соотношении 1:4) (2-га БГУ):



**Рисунок 1** – Биореактор БУГ-Р

1 – ТЭН для нагрева воды; 2 – люк; 3 – вентиль для отвода получаемого газа;  
4 – отверстие для слива субстрата и для очистки и промывки внутренней емкости биореактора;  
5 – ручка вала; 6 – отверстие для загрузки субстрата.

Образцы органического сырья до и после анаэробного сбраживания анализировали в лаборатории в 3-разовой повторности в соответствии с действующими нормативно-методическими документами: определение влаги и сухого остатка ГОСТ 26713-85; определение золы по ГОСТ 15113.8-77 определение pH по ГОСТ 26423-85; определение суммарной массовой доли азота и массовой доли аммонийного азота по ГОСТ 30181.1-94; определение общего фосфора по ГОСТ 20851.2-75 ; определение общего калия по

ГОСТ 26718-85; определение общего углерода по ГОСТ Р 52991-2008. При обработке аналитических данных применяли математико-статистические методы и дисперсионный анализ для расчета достоверности результатов исследований.

## Результаты и их обсуждение

Биогазовый эффлюент-органическая масса влажностью 63,5-99% со щелочной реакцией, с незначительным запахом. Водный показатель

pH образцов эффлюента различного сырья-в щелочном диапазоне: фугат-pH 6,8 – 8,2 дигестат – 7,2-9,1 (таблица 1).

Изменение значений показателя pH в отходах БГУ связана с преобразованием органических соединений и определяется балансом органических кислот, аммиака, углекислоты. Жидкая фракция (фугат) содержит меньше 10% сухого вещества и основное количество калия. Азот в фугате содержится преимущественно в аммонийной форме (до 80% от массовой доли общего азота). Фугат из пищевых растительных отходов содержал в 6 раз больше общего азота, в 3,2 раза больше фосфора и 2,9 раза больше калия по сравнению с исходным сырьем. Утилизация органических отходов методом анаэробного сбраживания позволяет исключить сточные воды животноводческих комплексов из катего-

рии опасных и получить вторичное сырье в виде жидкого органического удобрения. Фугат навоза свиней и жидкого навоза КРС характеризуется низким содержанием общего азота, фосфора и калия. Фугат навоза свиней и подстилочного навоза КРС, по сравнению с жидким, содержит в своем составе в три раза больше азота и фосфора. Твердая фракция после сепарации эффлюента содержит около 30% влаги и характеризуется повышенным pH (8,2 – 9,2) и низкой зольностью (7,5 – 12,5%). Содержание азота в образцах дигестата после переработки различного сырья почти одинаков – на уровне 2% на сухое вещество, причем аммонийная форма составляет около половины от общего азота. Массовая доля общих соединений макроэлементов органического вещества после анаэробного термофильного сбраживания (сырого вещества) показан на рис. 2

**Таблица 1** – Агрохимический состав органического сырья, твердого и жидкого остатков после анаэробного процесса сбраживания

Сырье	Сухое вещество/ сухой остаток, %	pH	Зольность %	C <sub>общ</sub> , %
Пищевые растительные отходы с навозом КРС и добавлением биопрепарата «Аграрка» (1-я БГУ)	32,5	6,1	9,2	43,2
Жидкая фракция	4,2	6,8	14,5	7,1
Твердая фракция	39,8	7,2	8,2	35,6
Жидкий навоз свиней и подстилочный навоз КРС, в соотношении 1:4) (2-га БГУ):	24,3	9,2	35,2	30,2
Жидкая фракция	10,2	8,2	22,7	38,2
Твердая фракция	52,3	8,5	14,3	76,3

Содержание общего фосфора варьирует от 6,68% на сухое вещество в дигестате после анаэробного сбраживания пищевых растительных отходов с навозом КРС и добавлением биопрепарата «Аграрка» и до 1,68% в дигестате из жидкого навоза свиней и подстилочного навоза КРС. Содержание фосфора в дигестате из пищевых растительных отходов с навозом КРС и добавлением биопрепарата «Аграрка» – 6,68 % на сухое вещество. Твердая фракция ухода из БГУ обеднена на калий по сравнению с жидкой фракцией. Массовая доля общих соединений макроэлементов органического вещества после анаэробного термофильного сбраживания (сухого вещества) показан на рис.3.

В результате проведенных исследований в процессе термофильного сбраживания общее

содержание основных элементов питания, гумусообразующих веществ заметно не изменилось. Вместе с тем, в результате анаэробного термофильного процесса в сбраживаемой биомассе значительно повысилась концентрация аммонийного азота (на 40-60%), уменьшилось содержание общего углерода (на 15-30%), сухого, органического вещества, сузились соотношения  $C: N_{\text{общ}}$ ;  $C: N - NH_4$ . С увеличением содержания аммонийного азота, снизилась кислотность эффлюента. В результате анаэробной переработки улучшились реологические свойства удобрений. В сравнении с эффлюентом до сбраживания было замечено, что после сбраживания в эффлюенте снизилось общее содержание взвешенных веществ, количество частиц крупного размера, уменьшилось плотность биомассы.

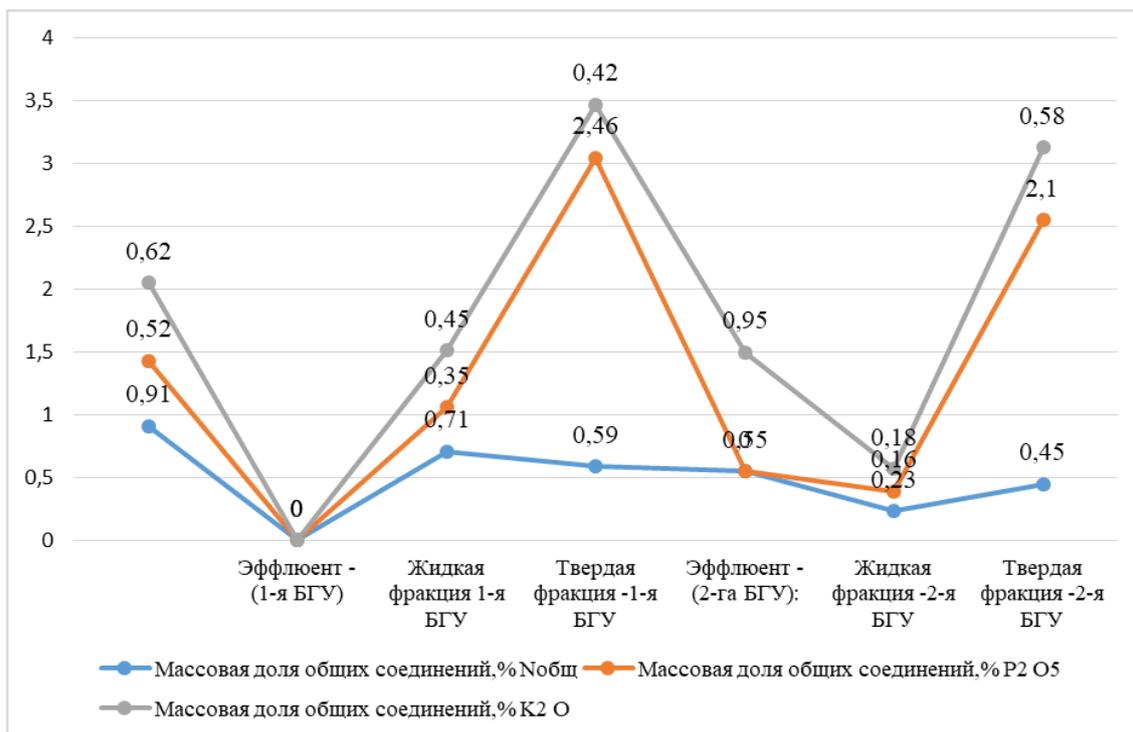


Рисунок 2 – Массовая доля общих соединений макроэлементов органического вещества после анаэробного термофильного сбраживания (сырого вещества)

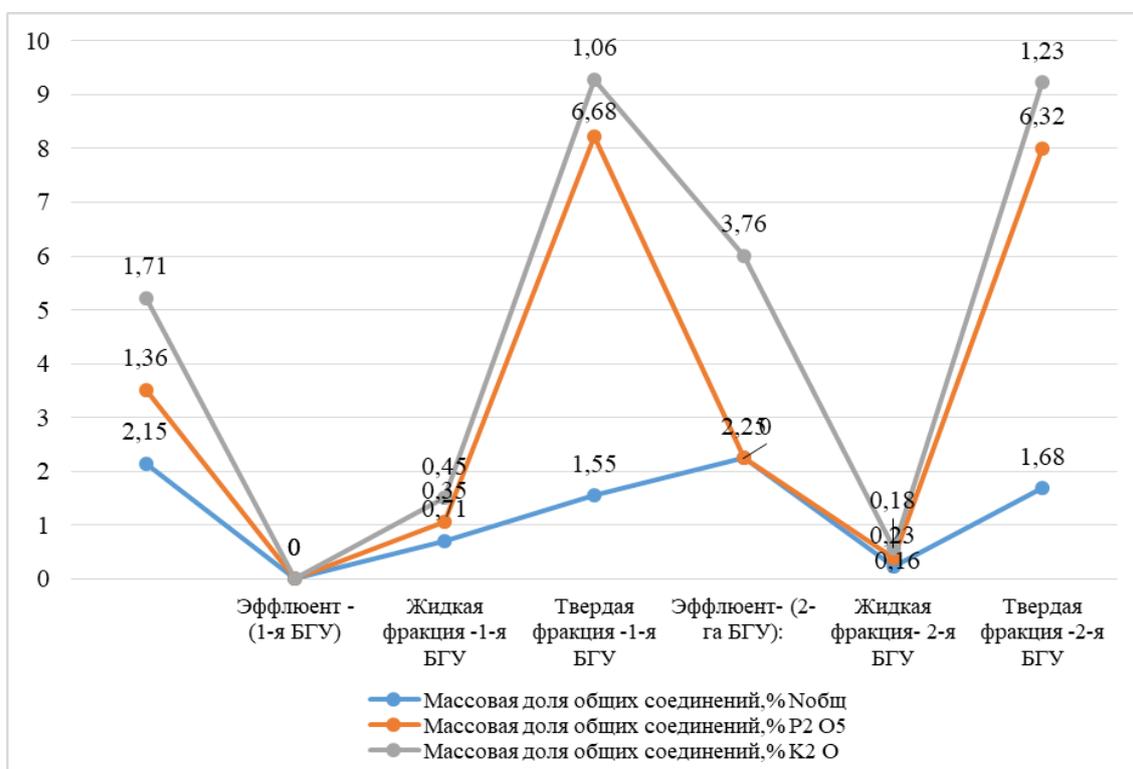


Рисунок 3 – Массовая доля общих соединений макроэлементов органического вещества после анаэробного термофильного сбраживания (сухого вещества)

По результатам наших исследований выявлено, термофильный температурный режим сбраживания не оказывает влияния на общее содержание основных биогенных элементов питания в исследуемых субстратах. Наблюдается значительное увеличение в эффлюенте уровня аммонийного азота до 60%, снижение содержания общего углерода на 15–30%, сухого и органического вещества. С повышением содержания аммонийного азота в сброженном эффлюенте отмечалось увеличение значений рН. Несмотря на снижение содержания органического вещества, количество основных гумусообразующих веществ в эффлюенте не изменилось.

На фоне низкой зольности дигестата выявлено высокое содержание общего углерода (более 30%). В жидкой фракции эффлюента после переработки пищевых растительных отходов с навозом КРС и добавлением биопрепарата «Аграрка» содержится  $C_{\text{общ}}$  7,1%. Жидкая фракция навоза свиней и подстилочного навоза КРС в своем составе содержат наибольшее количество общего углерода 38,2% из исследований сырья. Установлено, что после анаэробного сбраживания жидкая и твердая фракции, образовавшиеся после сепарации, гораздо больше обогащены аммонийным азотом (самой доступной для растений формой азота), чем исходное сырье. Аммонийная форма азота создается в результате процесса разложения азотистых органических соединений исходного сырья.

После проведенных исследований установлено, что эффлюент из пищевых растительных отходов и навоза КРС после процесса ферментативного сбраживания приобретает качества высокоэффективных органических удобрений, применение которых способно повысить плодородие почвы. Они содержат в себе доступные для усвоения растениями формы элементов минерального питания. После брожения органическая масса приобрело более темную окраску, что может свидетельствовать о появлении темноокрашенных гуминовых соединений.

На основе обобщения результатов исследований по агрохимическому составу жидкой и твердой фракций БГУ доказана возможность их эффективного применения в производстве органических удобрений. 1 т фугата содержит: азота – 0,6–7 кг, фосфора – 0,4 – 2,3, калия – 1,2 – 4,2, углерода – 68-204 кг. Из 1 т дигестата в почвы поступает: азота – 11,8–15,3 кг, фосфора – 5,4 – 66,5, калия – 4,9 – 12,2, углерода – 315-335 кг. Отработанную биомассу из БГУ рекомендовано применять как органическое удобрение способом сочетания фугата или дигестата с органическими

компонентами. Дополнительными компонентами могут быть глинистые минералы (бентонит), твердые или жидкие отходы животноводства (навоз, помет), при необходимости влагопоглощающий материал (торф, солома) и добавление микроорганизмов за определенного температурного режима (не более 60°C) для защиты биологически активных веществ от теплового разрушения. Во время изготовления органических удобрений нужно соблюдать соотношение жидкой/ твердой фракций отходов БГУ на уровне 1-1,5. Органические удобрения на основе отходов БГУ имеют существенный удобрительный потенциал и будут эффективны при условии внесения на средне – и слабокислых почвах (с рН 4,6 – 5,0 и 5,1 – 5,5) под озимую пшеницу, гречку, сою и овощные культуры (капусту, лук, огурцы, морковь, помидоры).

## Выводы

Исследуемые отходы биогазовых установок, работающих на разном сырье (пищевых растительных отходов с навозом КРС и добавлением биопрепарата «Аграрка», навозе свиней и подстилочном навозе КРС), по агрохимическим показателям не уступают другим сырьевым ресурсам и имеют существенный удобрительный потенциал, особенно на кислых почвах, учитывая их щелочную реакцию. Установлено, что содержание азота и калия в образцах фугата превышает соответствующие показатели дигестатов, но содержание фосфора выше в твердой фракции (почти втрое). По содержанию основных элементов питания растений эффлюент после анаэробного сбраживания преобладают отходы после переработки пищевых растительных отходов с навозом КРС и добавлением биопрепарата «Аграрка». Отходы БГУ характеризуются низкой зольностью и высоким содержанием общего углерода (до 35,2%), что подтверждает их ценность для потенциального гумусообразования в почвах.

## Финансирование

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан. Грантовое финансирование научных и (или) научно-технических проектов на 2021-2023 годы со сроком реализации 36 месяцев.

Тема проекта: Разработка технологии эффективной переработки органических отходов методом термофильной ферментации для производства биологических удобрений. Проект ИРН: AP09259015.

## Литература

1. Arthurson V. Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land – potential benefits and drawbacks. *Energies*. 2009. V. 2. P. 226–242. doi:10.3390/en20200226
2. Seadi T.A.I., Lukehurst C.T. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer. *IEA Bioenergy*. 2012. 38 p.
3. Садчиков А.В. Применение метанового эффлюента для восстановления естественного цикла агрогеосистем. *Успехи современного естествознания*. 2017. № 1. С. 72–76.
4. Appels, L. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge / L. Appels, J. Baeyens, J. Degrève, R. Dewil // *Progress in Energy and Combustion Science*.– 2008.– N34(6).– P. 755–781.
5. Баязитова З.Е. и др. Оценка экологической опасности фильтрационных вод полигона твердых бытовых отходов г. Кокшетау. *Вестник КазНУ. Серия экологическая, [S.l.]*, v. 70, n. 1, p. 46-55, apr. 2022. ISSN 2617-7358. Доступно на: <<https://bulletin-ecology.kaznu.kz/index.php/1-eco/article/view/1269>>.
6. Lin, Q., De Vrieze, J., Li, C., Li, J., Li, J., Yao, M., ... & Frouz, J. (2017). Temperature regulates deterministic processes and the succession of microbial interactions in anaerobic digestion process. *Water research*, 123, 134-143.
7. Mantovi, P., Fabbri, C., Soldano, M., & Piccinini, S. (2009). La separazione del digestato aumenta il potere fertilizzante. *L'informatore agrario*, 43, 55-58.
8. Kuszal M., Lorencowicz E. Agricultural use biogas degistate as replacement fertilizers. *Agricultural and Agricultural Science Procedia*. 2015. V. 7. P. 119–124. 5. Cavalli D., Cabassi G., Borrelli L. et al. Nitrogen fertilizer replacement value of undigested liquid cattle manure and digestates. *European J. of Agronomy*. 2016. V. 73. P. 34–41. doi: 10.1016/j.eja.2015.10.007
9. Riva C., Orzi V., Carozzi M. et al. Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (N) fertilizer: agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. *Science of The Total Environment*. 2016. V. 547. P. 206–214. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.156
10. Kumar S., Malav L.C., Malav M.K. et al. Biogas Slurry: Source of Nutrients for Eco-friendly Agricultural. *International J. of Extensive Research*. 2015. V. 2. P. 42–46.
11. Helias A., Brockmann D. Use of fertilizing residues by agricultural activities in LCA studies. *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector*. 2014. P. 523–532.
12. Alfa M.I., Adie D.B., Igboro S.B. et al. Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic digestion effluent of cow dung and chicken droppings. *Renewable Energy*. 2014. V. 63. P. 681–686. doi: 10.1016/j.renene.2013.09.049
13. Comparetti A., Febo P., Greco C. Current state and future of biogas and digestate production. *Bulgarian J. of Agricultural Science*. 2013. V. 19. № 1. P. 1–14.
14. Eickenscheidt T., Freibauer A., Heinichen J. et al. Short-term effects of biogas digestate and cattle slurry application on greenhouse gas emissions affected by N availability from grasslands on drained fen peatlands and associated organic soil. *Biogeosciences*. 2014. V. 11. Is. 15. P. 6187–6207. doi: 10.5194/bg-11-6187-2014 12. Song T.A., Dragicevic I., Linjordet R. et al. Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizer value and risk of leaching. *International J. of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2018. V. 7. Is. 1. P. 49–58. doi: 10.1007/s40093-017-0188-0
16. Qi G., Pan Z., Sugawa Y. et al. Comparative fertilizer properties of digestates from mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of manure: focusing on plant growth promoting bacteria (PGPB) and environmental risk. *J. of Material Cycles and Waste Management*. 2018. № 20. Is. 3. P. 1448–1457. doi: 10.1007/s10163-018-07087
17. Mukhuba M., Roopnarain A., Adeleke R. et al. Comparative assessment of bio-fertilizer quality of cow dung and anaerobic digestion effluent. *Cogent Food&Agriculture*. 2018. V. 4. P. 14–35.
18. Тарасов С.И., Ковалев Д.А., Караева Ю.В. Применение эффлюента биогазовой установки в качестве удобрения для органического земледелия. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 1. С. 91 – 97. doi: 10.18286-1816-4501-2018- 3-91-97
19. Macadi M., Tomocsik A., Orocz V. Digestate: A New Nutrient Source – Review. *Biogas. Croatia: In Tech*, 2012. P. 295–310. doi: 10.5772/ 31355
20. Никитина А.А., Каллистова А.Ю., Литти Ю.В., Некрасова В.К., Ножевникова А.Н. Термофильная анаэробная деградации органической фракции ТБО и выделение участвующих в процессе метаногенных архей // IX Молодежная школа – конференция с международным участием «Актуальные аспекты современной микробиологии» – Москва, ИНМИ РАН, 21–23 сентября 2013 г, с. 41– 43.
21. Drouiche M.C., Moussaceb K., Joussein E., Bollinger J.C. “Stabilization/solidification by hydraulic binders of metal elements from landfill leachate”. *Nova Biotechnologica et Chimica*, no 18 (2019): 72–83.
22. Витковская, С. Е. Агроэкологические основы использования биотермически переработанных твердых бытовых отходов для повышения плодородия кислых почв [Текст]: диссертация... доктора биологических наук: 06.01.03 / Витковская Светлана Евгеньевна. Санкт-Петербург. 2006. 249 с.
23. Витковская С. Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота. Санкт-Петербург: АФИ, 2012.
24. Водяницкий Ю., Яковлев А. ”Загрязнение почв и почвенно-грунтовых вод новыми органическими микрополлютантами (обзор)». *Почвоведение*, № 5 (2016): 609-619.

25. Завизион, Ю., Слюсарь, Н., Коротаев, В. Критерии выбора комплекса технических мероприятий по снижению выбросов на полигонах захоронения твердых коммунальных отходов [Электронный ресурс] / Ю. Завизион, Н. Слюсарь, В. Коротаев. Экология и промышленность России, № 9 (2018): 52-57.

26. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов Республики Казахстан <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/101873?lang=ru> (дата обращения 20.05.2022).

27. Большонелла Д., Кавинато С., Фатоне Ф., Паван П., Чекки Ф. Высокоскоростное мезофильное, термофильное и термофазное анаэробное сбраживание отработанного активного ила: экспериментальное исследование // Управление отходами. – 2012. – Т. 32. – № 6. – С. 1196-1201.

## References

1. Arthurson V. Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land – potential benefits and drawbacks. *Energies*. 2009. V. 2. P. 226–242. doi:10.3390/en20200226

2. Seadi T.A.I., Lukehurst C.T. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer. *IEA Bioenergy*. 2012. 38 p.

3. Sadchikov A.V. The use of methane effluent to restore the natural cycle of agroecosystems. The successes of modern natural science. 2017. No. 1. pp. 72-76.

4. Appels, L. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge / L. Appels, J. Baeyens, J. Degreè, R. Dewil // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2008. – N34(6). – P. 755–781;

5. Bayazitova Z.E. et al. Assessment of the environmental hazard of filtration waters of the solid waste landfill in Kokshetau. *Bulletin of the Treasury. Ecological series, [S.L.]*, vol. 70, No. 1, pp. 46-55, April 2022. ISSN 2617-7358. Available on: <<https://bulletin-ecology.kaznu.kz/index.php/1-eco/article/view/1269>>. Access date: May 22, 2022 Document: <https://doi.org/10.26577/EJE.2022.v70.i1.05>.

6. Lin, Q., De Vrieze, J., Li, C., Li, J., Li, J., Yao, M., ... & Frouz, J. (2017). Temperature regulates deterministic processes and the succession of microbial interactions in anaerobic digestion process. *Water research*, 123, 134-143.

7. Mantovi, P., Fabbri, C., Soldano, M., & Piccinini, S. (2009). La separazione del digestato aumenta il potere fertilizzante. *L'informatore agrario*, 43, 55-58.

8. Kuszel M., Lorencowicz E. Agricultural use biogas degistate as replacement fertilizers. *Agricultural and Agricultural Science Procedia*. 2015. V. 7. P. 119–124. 5. Cavalli D., Cabassi G., Borrelli L. et al. Nitrogen fertilizer replacement value of undigested liquid cattle manure and digestates. *European J. of Agronomy*. 2016. V. 73. P. 34–41. doi: 10.1016/j.eja.2015.10.007

9. Riva C., Orzi V., Carozzi M. et al. Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (N) fertilizer: agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. *Science of The Total Environment*. 2016. V. 547. P. 206–214. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.156

10. Kumar S., Malav L.C., Malav M.K. et al. Biogas Slurry: Source of Nutrients for Eco-frendly Agricultural. *International J. of Extensive Research*. 2015. V. 2. P. 42–46.

11. Helias A., Brockmann D. Use of fertilizing residues by agricultural activities in LCA studies. *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector*. 2014. P. 523–532.

12. Alfa M.I., Adie D.B., Igboro S.B. et al. Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic digestion effluent of cow dung and chicken droppings. *Renewable Energy*. 2014. V. 63. P. 681–686. doi: 10.1016/j.renene.2013.09.049

13. Comparetti A., Febo P., Greco C. Current state and future of biogas and digestate production. *Bulgarian J. of Agricultural Science*. 2013. V. 19. № 1. P. 1–14.

14. Eickenscheidt T., Freibauer A., Heinichen J. et al. Short-term effects of biogas digestate and cattle slurry application on greenhouse gas emissions affected by N availability from grasslands on drained fen peatlands and associated organic soil. *Biogeosciences*. 2014. V. 11. Is. P. 6187–6207. doi: 10.5194/bg-11-6187-2014

15. Song T.A., Dragicevic I., Linjordet R. et al. Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizer value and risk of leaching. *International J. of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2018. V. 7. Is. 1. P. 49–58. doi: 10.1007/s40093-017-0188-0

16. Qi G., Pan Z., Sugawa Y. et al. Comparative fertilizer properties of digestates from mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of manure: focusing on plant growth promoting bacteria (PGPB) and environmental risk. *J. of Material Cycles and Waste Management*. 2018. № 20. Is. 3. P. 1448– 1457. doi: 10.1007/s10163-018-07087

17. Mukhuba M., Roopnarain A., Adeleke R. et al. Comparative assessment of bio-fertilizer quality of cow dung and anaerobic digestion effluent. *Cogent Food&Agriculture*. 2018. V. 4. P. 14–35.

18. Tarasov S.I., Kovalev D.A., Karaeva Yu.V. Application of the effluent of a biogas plant as a fertilizer for organic farming. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018. No. 1. pp. 91 – 97. doi: 10.18286-1816-4501-2018- 3-91-97

19. Macadi M., Tomocsik A., Orocz V. Digestate: A New Nutrient Source – Review. *Biogas. Croatia: In Tech*, 2012. P. 295–310. doi: 10.5772/ 31355

20. Nikitina A.A., Kallistova A.Yu., Litt Yu.V., Nekrasova V.K., Nozhevnikova A.N. Thermophilic anaerobic degradation of organic fraction of solid waste and isolation of methanogenic archaea involved in the process // IX Youth School – conference with international participation “Actual aspects of modern microbiology” – Moscow, INMI RAS, September 21-23, 2013 g, pp. 41-43.

21. Drouiche M.C., Moussaceb K., Joussein E., Bollinger J.C. “Stabilization/solidification by hydraulic binders of metal elements from landfill leachate”. *Nova Biotechnologica et Chimica*, no 18 (2019): 72–83.

22. Vitkovskaya, S. E. Agroecological foundations of the use of biothermally processed solid household waste to increase the fertility of acidic soils [Text]: dissertation... Doctor of Biological Sciences: 06.01.03 / Vitkovskaya Svetlana Evgenievna. St. Petersburg. 2006. 249 p
23. Vitkovskaya S. E. Solid household waste: an anthropogenic link in the biological cycle. St. Petersburg: AFI, 2012.
24. Vodyanitsky Yu., Yakovlev A. "Contamination of soils and soil-groundwater with new organic micro-pollutants (review)". Soil Science, No. 5 (2016): 609-619.
25. Zavizion, Yu., Slyusar, N., Korotaev, V. Criteria for choosing a set of technical measures to reduce emissions at landfills of solid municipal waste [Electronic resource] / Yu. Zavizion, N. Slyusar, V. Korotaev. Ecology and industry of Russia, № 9 (2018): 52-57.
26. National report on the state of the environment and use of natural resources of the Republic of Kazakhstan <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/101873?lang=ru> (accessed 20.05.2022).
27. Bolzonella D., Cavinato S., Fatone F., Pavan P., Cecchi F. High-speed mesophilic, thermophilic and thermophase anaerobic fermentation of spent activated sludge: an experimental study // Waste management. – 2012. – Vol. 32. – N 6. – pp. 1196-1201.