

Ткаченко Ю.Л., кандидат технических наук, доцент,
 Морозов С.Д., старший преподаватель,
 Рахметова Э.Р., студент,
 Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАМКНУТОГО ВОДООБОРОТА ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГО- И ЭКОЛОГОНЕЗАВИСИМОГО ЖИЛОГО МОДУЛЯ

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы организации замкнутого водооборота при создании искусственных экологических систем, предназначенных для обеспечения жизнедеятельности человека в экстремальных условиях окружающей среды. Для утилизации органических отходов предложена анаэробная биологическая очистка путём их сбраживания в метантенках, что позволяет получать биогаз, пригодный для использования в качестве топлива систем энергообеспечения жилого модуля. Обессоливание оборотной воды и возвращение биогенных элементов и хлорида натрия в пищевую цепочку человека предлагается осуществлять с помощью микроводорослей хлореллы обыкновенной и специально подобранной галофитной флоры.

Ключевые слова: искусственная экосистема, система водооборота, утилизация органических отходов, анаэробное брожение, метантенк, биогаз

Описание проблемы

При решении ряда задач, связанных с обороной страны, защитой населения в чрезвычайных ситуациях, природопользованием и восстановлением окружающей среды, часто возникает проблема обеспечения жизнедеятельности людей в экстремальных условиях. Неблагоприятные для человека внешние условия характерны, например, для территорий арктических и аридных пустынь, зон химического и радиационного загрязнения. Поэтому, представляется весьма актуальной разработка технических средств, позволяющих создать безопасную и комфортную жилую среду на этих неблагоприятных территориях.

Для решения указанной проблемы предлагается использовать автономные энерго- и экологонезависимые жилые модули, построенные на основе принципа замкнутости внутренних материальных потоков. Так как этот принцип характерен для природной среды обитания, то внутреннюю среду создаваемого жилого модуля можно назвать искусственной экосистемой (ИЭС). В работе [1] представлена схема материальных потоков, которую необходимо реализовать внутри автономного модуля. Общая схема этих потоков показана на рис. 1.

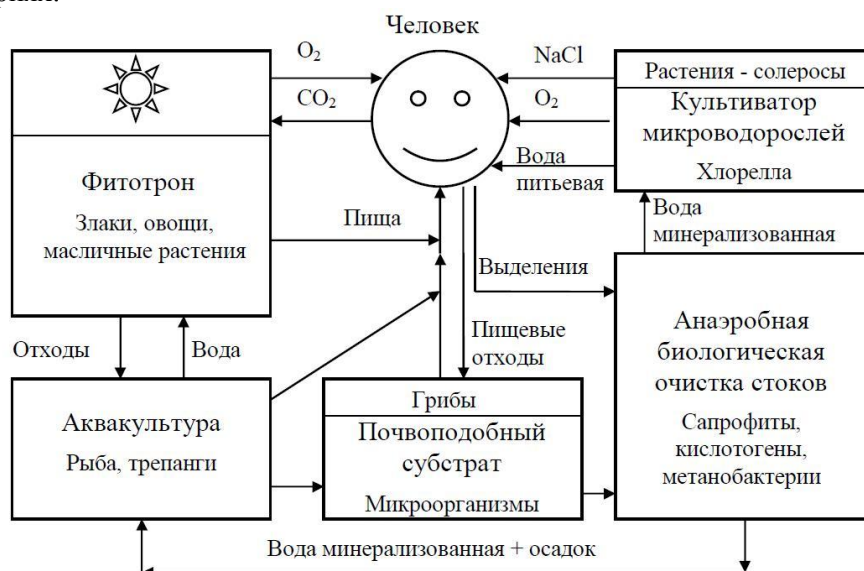


Рис. 1. Схема замкнутых потоков вещества в автономном жилом модуле

Человек является замыкающим звеном всех физико-химических процессов в представленной искусственно созданной экосистеме. Параметры фотосинтеза биомассы, энерго- и массообмена заранее

рассчитаны, исходя из необходимых потребностей обеспечения жизнедеятельности обитателей модуля.

ИЭС включает в себя фитотрон для выращивания высших растений, обеспечивающих растительную часть рациона обитателей модуля, ёмкость для формирования почвоподобного субстрата, систему утилизации органических отходов и анаэробной биологической очистки сточных вод, а также культиватор микроводорослей, вырабатывающих необходимый для дыхания кислород и опресняющих воду. Также, в ИЭС предусмотрена возможность разведения аквакультуры за счёт использования оборотной воды и пищевых отходов, возможность выращивать грибы на почвоподобном субстрате и высаживать съедобные растения-солеросы в очищаемую питьевую воду для удаления избытка солей и возврата хлорида натрия в пищевую цепочку человека.

Рассмотрим более подробно процесс утилизации органических отходов, образующихся в моду-

ле, которые составляют несъедобные части выращенных растений, твёрдые и жидкие выделения, сопровождающие жизнедеятельность обитателей модуля.

Метод анаэробной биологической очистки воды и утилизации органических отходов

В автономном жилом модуле необходима организация замкнутого водоснабжения для обеспечения комфортной жизнедеятельности людей. Замкнутый водооборот позволит очищать воду в объемах, необходимых человеку для питья, гигиенических процедур, технических нужд, стирки белья, мытья посуды, орошения растений в фитотроне. Суточный объем очищенной воды, предназначенной для различных целей, из расчёта на 1 человека, проживающего в модуле, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Количество очищаемой воды, необходимое для обеспечения жизнедеятельности человека в автономном модуле [2]

Назначение	Питьё	Душ	Стирка	Посуда	Туалет	Фитотрон	Всего
Количество, л / (сут.чел)	2,5	4,5	7,0	2,0	0,6	0,3	16,9

Согласно [3] ежедневно один человек вносит во внутренний поток вещества ИЭС (в пересчёте на сухую массу) 375 г твёрдых отходов жизнедеятельности и 345 г несъедобных растительных отходов. В суточных выделениях человека содержится до 22 г общего азота и до 12 г азота аммонийного, а так же до 1,75 г общего фосфора.

Для организации замкнутого водооборота в модуле предлагается использовать анаэробный метод очистки сточных вод от широкого спектра органических веществ. Для переработки этих органических загрязнений применяется метановое брожение. Брожение называют метановым, так как оно осуществляется метанобразующими бактериями, а одним из основных конечных продуктов распада органических веществ является метан. При этом, на разных стадиях процесса выделяются и другие

газы: диоксид углерода, водород, азот и небольшое количество (менее 1%) сероводорода и аммиака. При оптимальных условиях выход газообразных продуктов может достигать 90-95% массы первоначального органического вещества. Остальные 5-10% вещества расходуются на воспроизводство бактериальных клеток [4].

Отходящую смесь газов называют «биогазом». Так как он содержит горючие компоненты, то его можно использовать в качестве топлива для установок, обеспечивающих тепло- и энергоснабжение автономного жилого модуля. Теплота сгорания биогаза ниже, чем у чистого CH_4 (37,3 МДж/м³) и составляет от 17,8 до 24,9 МДж/м³ при концентрации метана от 50 до 70% соответственно. Влияние исходного органического вещества на количество и состав получаемого биогаза приведено в табл. 2.

Таблица 2

Влияние состава исходного органического вещества на выход биогаза и содержание в нём метана [5]

Вид исходного вещества	Выход биогаза, м ³ /кг сухого вещества	Содержание метана, % по объёму
Коммунальные сточные воды, фекалии	0,31 – 0,74	70
Овощные отходы	0,33 – 0,5	50 – 70
Пшеничная солома	0,2 – 0,3	50 – 60
Листья масличных культур	0,28 – 0,32	59 – 65

Для описания процесса метанового брожения Баркером в 1970 г. была предложена двухстадийная схема, включающая кислую и щелочную фазы [6]. В настоящее время это представление считает-

ся достаточно грубым. Современная схема метанового брожения описана в работе [7] и включает в себя четыре фазы, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

Четырёхфазная схема анаэробного метанового брожения

Фаза	Процессы	Микроорганизмы	Основные продукты	
			Исходные	Конечные
1.	Ферментативный гидролиз	Сапрофиты	Белки, жиры, углеводы	Ацетаты, бутираты, спирты,
2.	Кислотогенез	Ферментативные кислотогены, выделяющие водород	Ацетаты, бутираты, спирты	Органические кислоты, H ₂
3.	Ацетогенез	Ацетогены, поглощающие водород	Органические кислоты, H ₂	Уксусная кислота, CO ₂ , H ₂
4.	Метаногенез	Метанобактерии	Уксусная кислота, CO ₂ , H ₂	Метан

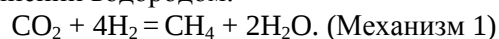
В первой фазе из сложных органических веществ – белков, углеводов и жиров – с участием воды образуются простые растворимые органические соединения: спирты (метиловый, этиловый, пропиловый, бутиловый и др.), газы (сероводород, аммиак), аминокислоты, глицерин и проч. Этот распад осуществляют обычные сапрофитные анаэробы, которые широко распространены в природе, в том числе, содержатся в выделениях человека. К сапрофитам относятся маслянокислые, протеинолитические, липолитические и прочие бактерии, грибки и дрожжи. Они быстро размножаются и проявляют свою жизнедеятельность при pH среды 4,5-7.

Во второй фазе кислотогенные микроорганизмы превращают продукты первой фазы в органические кислоты (муравьиная, молочная, масляная, пропионовая и др.). При этом образуется водород, часть которого выделяется в виде газа. Другая часть водорода используется группой бактерий, которые в третьей фазе брожения производят уксусную кислоту, поэтому эта фаза называется ацетогенной. Эта группа микроорганизмов-ацетогенов способна производить уксусную кислоту из CO₂ и H₂. В четвертой фазе брожения метаногенные бактерии производят метан. При этом выделяется газ, состоящий из метана и диоксида углерода.

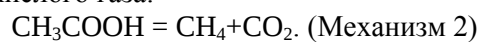
Образовывать метан способны не все анаэробные бактерии, а только особая группа, называемая археобактерии или археи (т.е. «древнейшие»). Археи представляют собой одноклеточные микроорганизмы, не имеющие ядра, а также мембранных структур. Характерно, что вся энергия их обмена веществ направлена на образование метана в качестве главного конечного продукта метаболизма. Биохимическим путем метан образуется из относительно простых органических веществ – углекислого газа, уксусной кислоты и других органических кислот и спиртов.

Собственно метаногенез осуществляют около 50 известных к настоящему времени видов мета-

нобактерий, относящихся к 13 родам. Микроорганизмы – метаногены делятся на две группы: Первая группа производит восстановление CO₂, метанола, муравьиной кислоты и других органических соединений водородом:



Метановые бактерии первой группы являются единственными на Земле организмами, способными утилизировать диоксид углерода без использования хлорофилла и поглощения солнечной энергии. Вторая группа метанобактерий производит расщепление уксусной кислоты с образованием углекислого газа:



При нормальном режиме работы метантенка, по первому механизму образуется 72% метана, а по второму – 28%.

Метановые бактерии – строгие анаэробы; Концентрация кислорода, равная 0,01 мг/л, приводит к гибели всех метановых бактерий. Так же метанобактерии чувствительны к другим окислителям (например, к нитратам). Присутствие в стоках значительного количества нитрат-ионов может препятствовать выделению метана. Поэтому в системе очистки воды на входе должен быть предусмотрен денитрификатор.

Способность метановой группы бактерий использовать углерод проявляется в простых органических и неорганических средах, какими являются карбоновые кислоты (муравьиная, уксусная, пропионовая), спирты (метиловый, этиловый), и газы (водород, диоксид и монооксид углерода) – то есть как раз содержащих те вещества, которые образуются в предыдущих фазах брожения. Так как каждый вид метановых бактерий способен разрушать определенные органические вещества, то в целом, специально подобранное сообщество метанобактерий, может преобразовывать практически все продукты первой фазы брожения.

Для нормального развития метановых бактерий, в среде необходимо наличие диоксида углерода и определенного количества азотистых со-

единений. Метановые бактерии не могут использовать азот, содержащийся в аминокислотах. Если сточные воды или осадок не содержат достаточного количества азотистых соединений, их необходимо добавлять вручную. Для этого можно применять углекислый аммоний, который вырабатывается почвоподобным субстратом.

Требуемое количество аммонийного азота для правильного хода процесса брожения составляет 3,5 мг на 1 г сухого вещества активного бактериального ила. Необходимым условием является поддержание в среде метантенка соотношения азота и углерода 1:20. Для жизнедеятельности метановых бактерий важна так же концентрация ионов водорода. Как правило, метановые бактерии более активны при $pH = 6,4 - 7,2$. При $pH > 8$ и при $pH < 6$ скорость роста бактерий резко падает, а при $pH < 5,5$ процесс выработки метана прекращается.

При нормальном ходе процесса брожения разные группы бактерий работают согласованно и одинаково энергично. При правильно подобранном видовом составе, все промежуточные продукты распада первой фазы брожения перерабатываются бактериями второй фазы. Это говорит о том, что скорость превращения веществ в кислой и щелочной фазах одинакова, поэтому в иловой жидкости метантенка находится мало продуктов первой фазы. На ход анаэробного процесса влияет количество анаэробного активного ила, который должен отличаться хорошей буферностью, высоким содержанием ферментов и достаточной бактериальной флорой.

Температура сбраживания является одним из важнейших факторов, влияющих на скорость распада исходного органического вещества. По температуре различают два типа брожения: мезофильное сбраживание, происходящее при температуре 30-35 °C и термофильное сбраживание, происходящее при температуре 50-55 °C. Каждый тип брожения осуществляется своей специфической группой организмов. Первому типу соответствует мезофильная микрофлора, второму – термофильная.

Термофильное сбраживание отличается большей интенсивностью распада органических веществ и заканчивается примерно в 2 раза быстрее, за счет чего вдвое сокращается требуемый объем сооружений. При термофильном сбраживании

достигается полная дегельминтизация осадка, тогда как в условиях мезофильных температур погибает лишь 50-80% яиц гельминтов. Основным преимуществом мезофильного сбраживания является самообеспечение процесса теплотой, получаемой от сжигания газов брожения. Подогрев осадка до термофильных температур, особенно в зимнее время, требует дополнительного расхода топлива, что влечет за собой увеличение эксплуатационных затрат. Осадок, сброженный в термофильных условиях, значительно труднее обезвоживается, чем осадок, сброженный при мезофильном процессе, поэтому выбор температурного режима брожения должен производиться с учетом принятой схемы дальнейшей обработки осадка.

Технологическая схема системы регенерации воды в автономном модуле

Все твердые и жидкие органические отходы в автономном жилом модуле, включая выделения человека, подлежат биологической очистке с целью разложения и минерализации органического вещества. Полученная минерализованная вода может использоваться для питания растений и для бытовых и технических нужд. Для получения питьевой пресной воды необходимо проводить обессоливание очищенной от органики воды, например путём культивирования низших растений, очищающих воду от растворённых элементов питания.

Отдельную проблему представляет собой накопление в оборотной воде NaCl. Для вовлечения выпадающего хлорида натрия в круговорот вещества, Институтом биофизики СО РАН предложено выращивание в соляном растворе специальных растений – солеросов (галофитов), эволюционно приспособленных для обитания на засоленных почвах. Съедобная трава – солерос европейский (*Salicornia europaea*), однолетнее растение семейства амарантовых, способна накапливать NaCl в количестве до 50% от сухой массы. Добавка этого солероса к растительному рациону позволяет вернуть хлорид натрия в пищевую цепочку человека [8].

Выделения человека и измельченные растительные остатки поступают в систему анаэробной очистки стоков и разложения углеродных соединений. Общая технологическая схема утилизации органических отходов и очистки воды представлена на рис. 2.

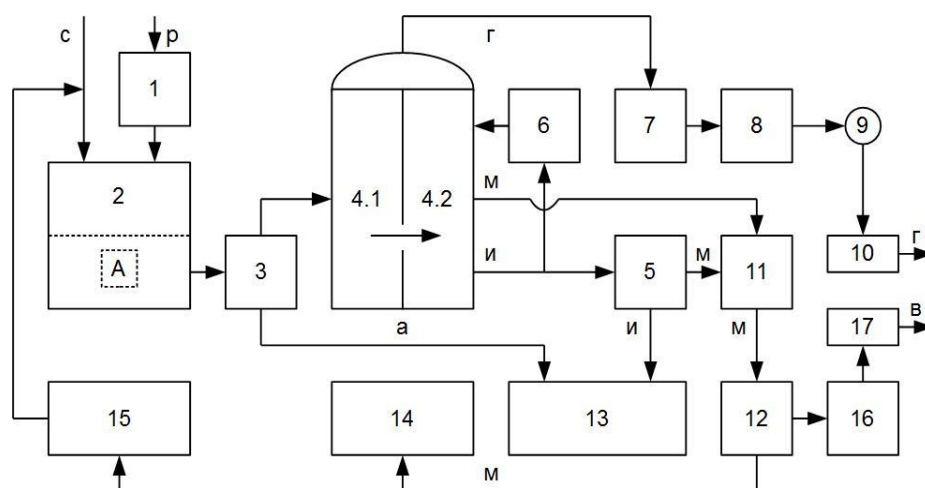


Рис. 2. Схема переработки органических отходов и регенерации химического состава воды в цикле водооборота автономного жилого модуля

1 – Измельчитель; 2 – Накопитель-гомогенизатор органики; 3 – Денитрификатор; 4.1 и 4.2 – Камеры метантенка; 5 – Илоуплотнитель; 6 – Ёмкость адаптации микроорганизмов; 7 – Газгольдер; 8 – Адсорбер для очистки биогаза от сероводорода; 9 – Компрессор; 10 – Магистраль очищенного биогаза; 11 – Ёмкость для иммобилизации микроорганизмов; 12 – Культиватор растений-солеросов; 13 – Ёмкость с почвоподобным субстратом; 14 – Фитотрон; 15 – Бассейн для разведения аквакультуры; 16 – Культиватор микроводорослей хлореллы; 17 – Установка для доочистки и обеззараживания питьевой воды; А – анаэробная зона

Стрелочками показаны потоки: а – молекулярного азота; в – питьевой воды; г – биогаза; и – бактериального ила; м – минерализованной воды; р – растительных отходов; с – сточных вод.

Измельчённые в устройстве 1 растительные отходы смешиваются с бытовыми сточными водами и другими стоками, загрязнёнными органикой и образуют в накопителе-гомогенизаторе 2 жидкую органическую взвесь. Растворённый кислород постепенно окисляет органические вещества, поэтому происходит естественная деаэрация органического раствора и внизу накопителя-гомогенизатора формируется анаэробная область А.

Органический раствор перегружается из накопителя-гомогенизатора в денитрификатор. В нём происходит обработка раствора микроорганизмами, которые в процессе анаэробного дыхания восстанавливают нитрат- и нитрит- ионы до молекулярного азота. Азот подаётся на обдув почвоподобного субстрата 13, где специально подобранный микробоценоз, включающий азотфиксирующие и аммонифицирующие бактерии позволяет получать углекислый аммоний, который необходимо добавлять в метантенк.

Роль почвоподобного субстрата в ИЭС, в том числе и в системе водооборота, крайне важна. В работе [9] показано, что почвоподобный субстрат выполняет такую же важную роль аккумулятора вещества, как и естественная почва в природных экосистемах. Причём «скорость работы» почвы по поддержанию баланса химических параметров

достаточно велика – почва может «работать» согласованно с основными процессами денитрификации и анаэробного сбраживания – то есть совершать полные циклы превращения вещества в течение 5-10 дней.

Денитрифицированный органический раствор подаётся в первую камеру метантенка 4.1. В ней протекают первые две фазы брожения. Третья и четвёртая фазы брожения протекают во второй камере 4.2, где ацетогенные бактерии и метанобактерии осуществляют дальнейшее разложение веществ, образовавшихся в первой камере. При этом в качестве конечного продукта из обеих камер выделяется биогаз, содержащий метан, углекислый газ, водород, азот и остаточные примеси сероводорода и аммиака. Полученный биогаз поступает в резервуар - газгольдер 7, после чего подвергается очистке от сероводорода, аммиака и других дурно пахнущих примесей в адсорбере 8 и компрессором 9 подаётся в топливную магистраль 10. В качестве адсорбентов можно использовать природные глинистые минералы, например цеолит. Так же возможно использование в качестве адсорбентов различного рода отходов. Адсорбенты, получаемые из отходов, которые могут применяться для очистки биогаза, описаны в работе [10]

Активный микробный ил из метантенка периодически извлекается и подаётся на илоуплотнитель 5, в котором он обезвоживается и поступает на формирование почвоподобного субстрата 13, так как содержит ценные питательные вещества, аналогичные веществам, составляющим плодород-

дие естественных почв. Вода, попадающая в ёмкость 13 переходит в выращиваемые на почвоподобном субстрате растения и грибы, а избыток воды испаряется.

Часть активного ила поступает на рециркуляцию для восполнения популяции микробоценоза в метантенке. Согласно данным, приведённым в работе [11], в течение некоторого времени необходима передержка метаногенов для чего бактериальный ил помещается в ёмкость для адаптации микроорганизмов 6. Из этой ёмкости, после привыкания анаэробов – метаногенов к условиям внутренней среды биореактора и роста их численности, бактериальная «закваска» подаётся в камеру 4.2. метантенка.

Очищенные воды, содержащие значительное количество растворённых минеральных солей (фосфат-ионов, хлорид-ионов, аммонийного азота и катионов калия, натрия, кальция, магния) проходят через специальную ёмкость для иммобилизации микроорганизмов 11, устройство которой описано в [12] и поступают в культиватор для разведения растений-солеросов 12. На это же устройство 11 подаётся остаточная вода из илоуплотнителя 5 и проходит далее по схеме минерализованной воды (м). Ил из иммобилизатора 11 идёт на удобрение растениям-солеросам. Вода, после удаления солеросами растворённого хлорида натрия, используется для питания растений в фитотроне, для выращивания аквакультуры и для хозяйственно-бытовых целей. Возможность использования воды, прошедшей через метантенк, для полива растений показана на примере установки, описанной в статье [13]. Поливная вода, переходящая в растения, после потребляется человеком вместе с питательной биомассой или поступает в систему очистки вместе с растительными отходами. В фитотроне так же происходит транспирация воды через листья растений, поэтому часть воды из системы водооборота теряется. Для пополнения общего запаса можно использовать воду, полученную от растапливания снега и льда (в арктических пустынях) или воду, собираемую системой конденсации влаги из воздуха (в аридных пустынях).

Часть очищенных стоков, в объёмах, необходимых для потребления человеком, поступает в культиватор одноклеточных зелёных микроводорослей 16, например, хлореллы обыкновенной. Микроводоросли, выделяя в процессе фотосинтеза молекулярный кислород, обеспечивают также окисление аммонийных солей в нитриты и нитраты, которые вместе с фосфатами достаточно быстро усваиваются клетками водорослей для построения своих тел, благодаря чему концентрация нитратов и фосфатов на выходе из системы очистки приближается к нулю, как это и требуется нормами для питьевой воды. Для расчетов можно ориентироваться на примерное потребление молекулярного азота 60 мг на 1 г сухой биомассы хлореллы при скорости её роста 2 г/л в сутки.

Хлорелла так же очень активно уничтожает патогенные для человека микроорганизмы. Болезнетворные микробы погибают в высококонцентрированной живой биомассе хлореллы. Таким образом гибнут все патогенные микробы кишечной группы (возбудители брюшного тифа, паратифа А, паратифа В и всех видов дизентерии), а также вирус полиомиелита и возбудители туберкулеза.

Для гарантированного обеспечения безопасности питьевой воды, пресная вода из культиватора хлореллы подаётся на установку 17, в которой происходит доочистка питьевой воды путём фильтрации через активированный уголь и её обеззараживание при облучении ультрафиолетовыми лампами.

Микроводоросли очищают воду от нитратов и фосфатов – минерализованных при сбраживании микроорганизмами в метантенке остатков органики, а съедобные солеросы, которые можно высаживать непосредственно в водный раствор, получаемый из метантенка, извлекают хлорид натрия и возвращают его в пищевую цепочку человека. С помощью представленной системы возможно осуществить регенерацию химического состава пресной воды – таким образом замыкается система водооборота, тесно связанная с другими потоками вещества – замкнутым газообменом и синтезом биомассы внутри ИЭС автономного жилого модуля.

Литература

1. Ткаченко Ю.Л., Соколова А.А., Астраханцева А.Д., Алексанян А.Н., Вылегжанина Е.С., Диденко А.Ф., Меликова М.Т. Автономный модуль для обеспечения безопасности жизнедеятельности в Арктике // Безопасность жизнедеятельности. 2016. №5. С. 33 – 38.
2. Синяк Ю.Е. Системы жизнеобеспечения обитаемых космических объектов (Прошлое, настоящее и будущее). М.: ИМБП РАН, 2008. 32 с.
3. ИБФ СО РАН Отчёт о научно-организационной деятельности за 2012 г. Красноярск, 2013. 77 с.

4. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: Учебное пособие / Д.А. Кривошеин, П.П. Кукин, В.Л. Лапин и др. М.: Высшая школа, 2003. 344 с.
5. Руководство по биогазовым технологиям [Электронный ресурс] <http://www.rosbiogas.ru/literatura/rukovodstvo-po-biogazovim-tehnologiyam/vixod-gaza-i-soderzhanie-metana-v-biogaze.html> (дата обращения 20.01.2017 г.)
6. Barker H. Bacteriology Fermentation. New York: Interscience Publ., 1970. 210 p.
7. Панфилова Ю.С., Иванцов М.Н., Селезнёва Е.С. Переработка органических отходов пищевых производств // Успехи современной науки. 2016. Т. 2. №10. С. 26 – 33.
8. Дегерменджи А.Г., Тихомиров А.А. Создание искусственных замкнутых экосистем земного и космического назначения // Вестник РАН. 2014. Т. 84. №3. С. 233 – 240.
9. Керженцев А.С. Механизм функционирования почвы и устойчивость экосистем // Вестник РАН. 2010. Т. 80. №8. С. 704 – 709.
10. Казакова Е.В., Фукс С.Л. Получение новых сорбентов из отходов различных производств // Успехи современной науки. 2016. Т. 5. №9. С. 79 – 81.
11. Друзьянова В.П., Петров Н.В., Дарбасова Л.А., Психрофильная биогазовая технология для малых хозяйств Якутии // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 1. №3. С. 17 – 19.
12. Устройство для иммобилизации микроорганизмов при биологической очистке сточных вод. Патент РФ №RU 2369564 C1. Опубликовано: 10.10.2009 Бюл. №28.
13. Куликов Н.И., Куликова Е.Н., Приходько Л.Н. О специфике комплектования очистных установок сточных вод в условиях Причерноморья // Инновационные системы. 2015. Т. 2. №1-4. С. 34 – 41.

References

1. Tkachenko Ju.L., Sokolova A.A., Astrahanceva A.D., Aleksanjan A.N., Vylegzhanina E.S., Didenko A.F., Melikova M.T. Avtonomnyj modul' dlja obespechenija bezopasnosti zhiznedejatel'nosti v Arktike // Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. 2016. №5. S. 33 – 38.
2. Sinjak Ju.E. Sistemy zhizneobespechenija obitaemyh kosmicheskikh ob#ektov (Proshloe, nastojashhee i budushhee). M.: IMBP RAN, 2008. 32 s.
3. IBF SO RAN Otchjot o nauchno-organizacionnoj dejatel'nosti za 2012 g. Krasnojarsk, 2013. 77 s.
4. Inzhenernaja zashhita poverhnostnyh vod ot promyshlennyh stokov: Uchebnoe posobie / D.A. Krivoshein, P.P. Kukin, V.L. Lapin i dr. M.: Vysshaja shkola, 2003. 344 s.
5. Руководство по биогазовым технологиям [Электронный ресурс] <http://www.rosbiogas.ru/literatura/rukovodstvo-po-biogazovim-tehnologiyam/vixod-gaza-i-soderzhanie-metana-v-biogaze.html> (дата обращения 20.01.2017 г.)
6. Barker H. Bacteriology Fermentation. New York: Interscience Publ., 1970. 210 p.
7. Panfilova Ju.S., Ivancov M.N., Seleznjova E.S. Pererabotka organicheskikh othodov pishhevyh proizvodstv // Uspеhi sovremennoj nauki. 2016. Т. 2. №10. S. 26 – 33.
8. Degermendzhi A.G., Tihomirov A.A. Sozdanie iskusstvennyh zamknutyh jekosistem zemnogo i kosmicheskogo naznachenija // Vestnik RAN. 2014. Т. 84. №3. S. 233 – 240.
9. Kerzhencev A.S. Mehanizm funkcionirovanija pochvy i ustojchivost' jekosistem // Vestnik RAN. 2010. Т. 80. №8. S. 704 – 709.
10. Kazakova E.V., Fuks S.L. Poluchenie novyh sorbentov iz othodov razlichnyh proizvodstv // Uspеhi sovremennoj nauki. 2016. Т. 5. №9. S. 79 – 81.
11. Druz'janova V.P., Petrov N.V., Darbasova L.A., Psihrofil'naja biogazovaja tehnologija dlja malyh hozjajstv Jakutii // Uspеhi sovremennoj nauki i obrazovanija. 2016. Т. 1. №3. S. 17 – 19.
12. Ustrojstvo dlja immobilizacii mikroorganizmov pri biologicheskoj ochistke stochnyh vod. Patent RF №RU 2369564 C1. Opublikovano: 10.10.2009 Bjul. №28.
13. Kulikov N.I., Kulikova E.N., Prihod'ko L.N. O specifikе komplektovanija ochistnyh ustanovok stochnyh vod v uslovijah Prichernomor'ja // Innovacionnye sistemy. 2015. Т. 2. №1-4. S. 34 – 41.

*Tkachenko Yu.L., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Morozov S.D., Senior Lecturer,
Rakhmetova E.R., Student,
Bauman Moscow State Technical University*

**DEVELOPMENT SYSTEM OF THE CLOSED WATER FOR STANDALONE ENERGY
AND ENVIRONMENTAL INDEPENDENT HOUSING UNIT**

Abstract: the article deals with the organization of the closed water to create artificial ecological systems, designed for human life in the extreme conditions of environmental protection. To dispose of organic waste anaerobic biological treatment their fermentation in the digesters that produces biogas suitable for use as fuel of power supply module housing systems is offered. Desalting of recycled water and the return of nutrients, and sodium chloride in the human food chain are invited to carry out with the help of microalgae *Chlorella vulgaris* and specially selected halophytic flora.

Keywords: artificial ecosystem, water recycling system, recycling of organic waste, anaerobic digestion, digester, biogas